

Heyelan Etütlerinde Elektrik Özdirenç Ölçümlerinin Kullanılmasına Yönelik Bir Uygulama: Yıldırım Beyazıt Parkı, (Etimesgut-Ankara)

An Application of electric resistivity survey in landslide investigations, (A case study: Yıldırım Beyazıt Park, Etimesgut-Ankara)

NIHAT S. IŞIK¹, MUSTAFA ÖZER¹, MEHMET ORHAN¹, FATİH ADİL²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar/Ankara

²Hendese Jeoteknik, Mustafa Kemal Mah. 2159 sok. No.4/6 Çankaya/Ankara

Geliş (received) : 07 Kasım (November) 2011

Kabul (accepted) : 26 Kasım (November) 2012

ÖZ

Jeofizik yöntemlerinden doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi, hidrojeoloji, maden, çevre mühendisliği ve arkeolojik araştırmalar gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. DAÖ ölçümleri jeoteknikte, yeraltı litolojisinin, taban kayası derinliğinin, yeraltı su seviyesinin ve yeraltı boşluklarının yerinin tahmin edilmesinde uygulanmaktadır. Bununla birlikte, toprak dolgu barajlarda sızıntı tespitinde ve heyelan etütlerinde kayma dairesinin/düzleminin geçtiği bölgenin tahmin edilmesinde de DAÖ ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, DAÖ ölçümlerinin heyelan meydana gelmiş bir bölgede kayma dairesinin/düzleminin yerinin belirlenmesinde jeoteknik yöntemlere destek olarak kullanılabileceğini gösteren örnek bir uygulama sunulmuştur. Bu örnek uygulama, Ankara'nın Etimesgut ilçesinde yer alan ve farklı kesimlerinde heyelan meydana gelmiş olan Yıldırım Beyazıt Parkında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 60 adet elektrottan oluşan çok elektrotlu elektrik özdirenç ölçümü uygulanmıştır. İnceleme sahasında, sondajlı jeoteknik etüt çalışması ve inklinometre ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Çok elektrotlu DAÖ ölçümlerinin yeraltı litolojisinin tahmin edilmesinde ve kayma düzleminin yerinin tespit edilmesinde faydalı sonuçlar verebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğru akım özdirenç, heyelan etüdü, jeofizik, kayma düzlemi.

ABSTRACT

Electric resistivity survey is successfully applied to many areas such as geotechnical engineering, mining engineering, environmental engineering, hydrogeology and archeological investigations. In geotechnical engineering, electric resistivity survey is applied to estimate the depth of the bedrock, groundwater level and location of underground cavities as well as lithology of the soil mass under question. Besides, electric resistivity survey is also used for the determination of leakage in earthfill dams, and estimation of location of the slip surface in landslide investigations. In this study, it is shown that electrical resistivity surveys can be used to support geotechnical methods for the determination of the location of the slip surface. This case study was carried out in Yıldırım Beyazıt Park located at Etimesgut district of Ankara in which landslides have occurred. In resistivity survey, multi-electrode resistivity survey with 60 electrodes was applied. In study area, geotechnical investigation with borings and inclinometer measurements were also made. As a result, it was seen that multi-electrode resistivity surveys can give useful results in estimation of lithology of the soil mass and determination of the location of the slip surface of the landslide.

Keywords: Electric resistivity survey, landslide investigation, geophysics, slip surface.

* M. Özer

E-posta: ozerm@gazi.edu.tr

GİRİŞ

Doğru akım öz direnç (DAÖ) yönteminde yerin gerilim farkının ölçülmesi, zemine çakılan iki adet elektrot (akım elektrotları) yardımıyla zemine akım verilmesi ve farklı iki adet elektrot (potansiyel elektrotları) kullanılmasıyla da voltaj (potansiyel) farkının ölçülmesi esasına dayanır. Yerin gerilim farkının ölçülmesi ilk kez 1920'lerde Schlumberger kardeşlerin çalışmalarıyla başlamış olup (Loke, 2000), günümüzde hidrojeoloji, maden, jeoteknik, çevre mühendisliği ve arkeolojik araştırmalar gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Örneğin çevre mühendisliği çalışmaları kapsamında, kıyı bölgelerinde, yeraltı suyuyla (tatlı su) deniz suyunun (tuzlu su) öz dirençlerindeki belirgin farklılıktan yararlanarak, tatlı suyla tuzlu suyun kesişme/karışma bölgesinin tespit edilmesinde DAÖ yöntemi ideal bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Benzer şekilde, bazı endüstriyel atıklardan kaynaklanan ve kirlilik meydana getiren sıvıların elektrik öz dirençlerindeki belirgin farklılıktan yararlanılarak, yeraltı-suyu kirliliğinin değerlendirilmesinde de DAÖ ölçümleri başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Ayrıca, DAÖ ölçümleri, yeraltı-suyu araştırmaları, su kalitesinin belirlenmesi, yer altı-suyu kirliliğinin değerlendirilmesi, akifer sınırlarının belirlenmesi, atık depolama sahaları için yer seçimi çalışmalarında gerekli olan kırık, çatlak ve aşınma derinliğinin ve taban kayası derinliğinin belirlenmesi, erime boşluklarının belirlenmesi, arkeolojik kalıntıların yerlerinin saptanması gibi çalışmalarda da başarıyla kullanılmaktadır.

Literatürde, DAÖ ölçümlerinin jeoteknik araştırmalarda ve çevre mühendisliği çalışmalarında oldukça başarılı sonuçlar verdiğini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan seçilen bazıları kısaca özetlenmiştir.

Bernstone ve Dahlin (1996), İsveç'in Dalby kasabasında eski bir atık sahasının yerini, kalınlığını, yanıl yayılımını ve olası bir yeraltı-suyu kirliliğini tespit etmek için seçilen bir ölçüm hattı üzerinde sabit aralıklarla 10 farklı noktadan DES (düşey elektrik sondaj) tekniğini uygulamışlar ve elde ettikleri sonuçları birleştirerek, yer-altının 2-boyutlu öz direnç kesitini çıkartmışlardır. Bu kesitleri kullanarak, amaçları doğrultusunda oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Nowroozi vd.

(1999), Virjinya kıyılarında tatlı su akiferine tuzlu su karışımını belirlemek için DES tekniğiyle DAÖ ölçümleri uygulamışlardır. Bu amaçla, 111 ayrı noktada Schlumberger dizilimi kullanarak ölçüm gerçekleştirmişler ve elde ettikleri verilere ters çözümleme yöntemi uygulayarak görünür öz direnç değerlerinden gerçek öz direnç değerlerini elde etmişlerdir. Daha sonra, gerçek öz direnç değerlerini kullanarak SURFER programıyla yeraltı eş-öz direnç eğrilerini çizdirmişlerdir. Böylece, elde ettikleri 2-boyutlu öz direnç haritalarını kullanarak öz direnç değerlerindeki yatay ve düşey yöndeki ani değişimlerden yararlanarak, tuzlu su girişiminin hem yatay hem de düşey yayılımını belirlemişlerdir. Zhou vd. (2002), karstik erime boşluklarının tespit edilmesinde Wenner, Schlumberger ve "dipole-dipole" dizilimlerinden hangisinin daha başarılı sonuçlar verdiğini belirlemek için karstik erime boşluklarının sıkça görüldüğü Maryland'da (New York, ABD) henüz yeni çökmüş, yeri ve boyutları bilinen bir erime boşluğunun bulunduğu sahada, 56 elektrottan oluşan bir sistemle çok-elektrotlu ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Zhou vd. (2002), ölçüm sonuçlarını bir bilgisayar yazılımı kullanarak değerlendirmiş ve yüzeye yakın erime boşluğunun saptanmasında en başarılı sonucun "dipole-dipole", en zayıf çözümün ise Wenner dizilimiyle elde edildiğini, Schlumberger diziliminin ise orta düzeyde sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Schoor (2002), çok-elektrotlu öz direnç ölçümlerinin obrukları tespit etmekte ne kadar başarılı sonuçlar verdiğini saptamak için Güney Afrika'da Pretoria yakınlarında yüzeyde çökme yaptığı için yerleri belli olan iki farklı obruğun bulunduğu bir sahada, "dipole-dipole" dizilimi kullanarak çok-elektrotlu öz direnç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Bu ölçümlerin sonucunda öz direnç ölçümlerinin obrukların yerini başarılı bir şekilde saptadığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, elde ettikleri 2-boyutlu öz direnç kesitinde yüzeyden herhangi bir belirti vermeyen başka bir obruk daha tespit etmişler, ancak, proje bütçesinin kısıtlılığından dolayı bunun doğruluğunu kontrol etmek için sondaj yaptıramamışlardır. Arshad vd. (2007), Pakistan'ın Pencap eyaletinin şehir merkezinde DES tekniğiyle 9 farklı serim gerçekleştirerek akifer derinliğini,

kalinlığını ve su kalitesini belirlemeye çalışmışlar ve 30 ile 140 m arasında tatlı su bulunabileceğini belirlemişlerdir. Akca ve Gündoğdu (2010), DAÖ yöntemiyle Samsun ili Baruthane mevkiinde bulunan iki tümülüsü incelemişler ve mezar odalarının, giriş yollarının ve diğer çevre yapılarının yer ve derinliklerini saptamaya çalışmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Hsu vd (2010), Tayvan'da yer alan eski bir dere yatağındaki taban kayası derinliğini tahmin etmek için 8 farklı noktada çok-elektrotlu DAÖ ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Ölçümlerde 1 m elektrot açıklığıyla "pole-pole" dizilimi kullanmışlardır. Özdirenç ölçümlerinin yapıldığı 3 farklı noktada sondaj kuyuları açtırmışlar ve taban kayasının gerçek derinliğini belirlemişlerdir. Buradan özdirenç ölçümleriyle taban kayası derinliğinin makul bir doğrulukla tahmin edilebildiğini belirlemişlerdir. Ahzegbobor vd. (2010), Nijerya'da Ibadan Üniversitesi yerleşkesinde taban kayası aşınma derinliğini ve yer-altı suyu durumunu saptamak için Wenner dizilimini kullanarak birbirine paralel 6, bunlara dik olacak şekilde ise 5 hat üzerinde çok elektrotlu özdirenç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları bir bilgisayar programı kullanarak birleştirmişler ve çalışma sahasının 2-boyutlu ve 3-boyutlu elektrik özdirenç tomografisini (ERT) oluşturmuşlardır. Bu tomografi görüntülerinden aldıkları çeşitli yatay ve düşey kesitleri kullanarak aşınma derinliğini başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Son yıllarda DAÖ yöntemi, heyelan etütlerinde kayma dairesinin/düzleminin yerinin tespit edilmesi amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin; Lebourg vd (2010), 24 elektrottan oluşan çok-elektrotlu DAÖ yöntemi kullanarak bir heyelan etütünde kayma düzleminin yerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Ölçümlerde "dipole-dipole" dizilimini kullanmışlar ve heyelanın kayma doğrultusuna (eksenine) dik doğrultuda 3 farklı hattan (tepe, orta ve topuk noktasına yakın bölgelerden) ölçüm almışlardır. Bu ölçümlerden elde ettikleri sonuçları, bir bilgisayar programı yardımıyla çözümlemişler ve ölçüm hattının özdirenç değerlerine dayanan yapma-kesitini (pseudo-section) çıkartmışlardır. Bu kesitleri kullanarak, jeolojik birimlerin özdirenç farklılıklarından ve ani değişimlerden yararlanarak, kayma yüzeyinin yüzeyden 12-13 m derinden geçtiğini başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Temel ilkesi, yeraltına sistematik bir şekilde akım verip, bu akımın meydana getirdiği potansiyel farkını ölçerek yerin DAÖ haritasını çıkartmaya ve özdirenç değerlerindeki ani değişimlerden ve zıtlıklardan yararlanarak yeraltının litolojisi hakkında fikir edinmeye dayanan DAÖ ölçümlerinin pratikte farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Bu çalışmada, Ankara ili, Etimesgut ilçesi, Pi-yade Mahallesi'nde bulunan Yıldırım Beyazıt Parkında meydana gelen bir heyelanda, DAÖ yönteminin kayma düzleminin yerinin belirlenmesinde jeoteknik yöntemlere destek olarak kullanılabileceğine ilişkin bir uygulama sunulmuştur.

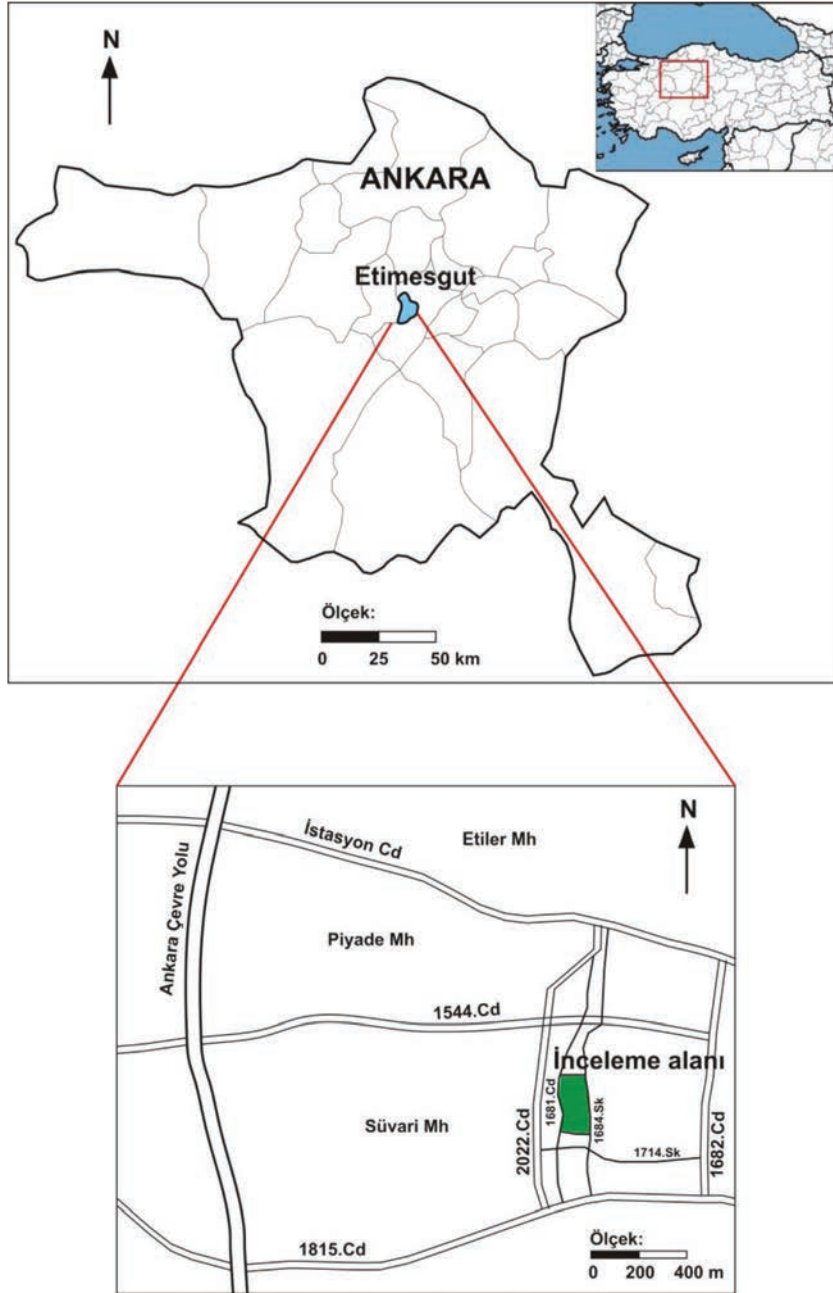
İNCELEME ALANI

İnceleme alanı, Ankara ili, Etimesgut ilçesi, Pi-yade Mahallesi'nde bulunan Yıldırım Beyazıt Park alanıdır (Şekil 1). Park alanının kuzey-batı ve güney-doğu kesimlerinde olmak üzere iki ayrı bölgesinde dairesel türde heyelan meydana gelmiştir. Ayrıca, park içerisinde çeşitli bölgelerde oturma ve kabarma şeklinde deformasyonlar da görülmüştür. Heyelanların meydana geldiği park, batıya doğru eğimli bir arazi üzerinde yer almakta olup, eğim yer yer 0.5° ile 40° arasında değişmektedir (Şekil 2). Bu çalışmada, park alanının kuzey-batı kesiminde meydana gelen heyelan incelenmiş olup, bu heyelanın meydana geldiği bölgedeki eğim 0.5° ile 30° arasında değişmektedir (Şekil 2). İncelemeye konu olan heyelan, parkın batı kesiminde bulunan yaklaşık 2.5 m yüksekliğindeki yığma-istinat duvarının yıkılmasına ve yolun bir bölümünün trafiğe kapanmasına neden olmuştur (Şekil 3).

JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELER

İnceleme alanıyla ilgili, bu çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan jeoteknik veriler, HENDESE Jeoteknik (Adil, 2010) tarafından söz konusu parkta gözlenen heyelanların araştırılmasına yönelik hazırlanan jeolojik-jeoteknik etüt raporundan alınmış olup, aşağıda sunulmuştur.

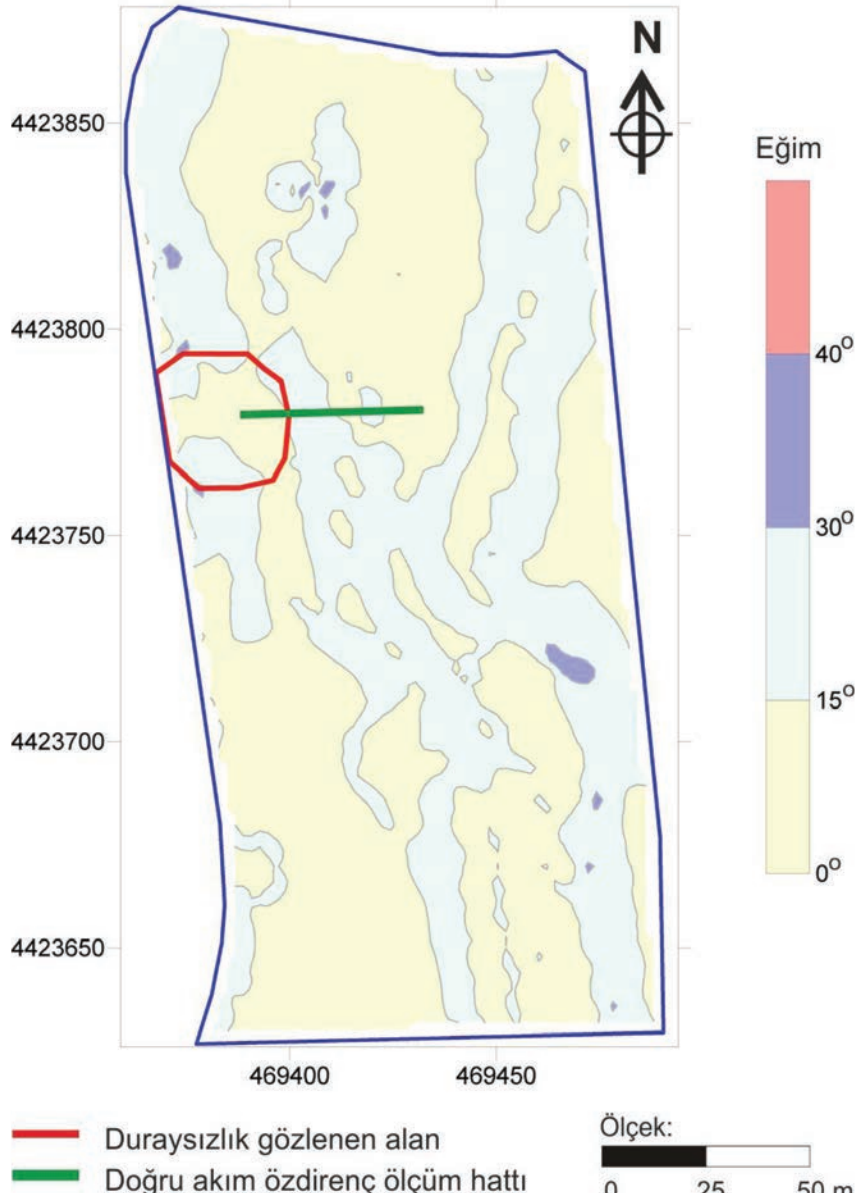
İnceleme alanında, yüzeyde kalınlığı 4-6 metre arasında değişen kahverenkli kumlu çakıllı siltli alüvyon birimler ile bunun altında Pliyosen yaşlı yeşilimsi-gri renkli yer yer açık kahverenkli kalker



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.
 Figure 1. Location map of the study area.

konkresyonlu yer yer suya doymun kum – çakıl bantları içeren katı – çok katı siltli-kil birimler bulunmaktadır. Pliyosen yaşlı kil birimler üst seviyelerde ayrılmış – zayıflamış durumdadır. Alüvyon birimler kum–çakıl içeriklerinden dolayı nispeten yüksek geçirimsliliğe sahiptirler. Benzer biçimde Pliyosen yaşlı kil birimlerin içerisinde

yer yer kum–çakıl bantları bulunmakta olup, bu bantlar da yeraltı suyu taşıma potansiyeline sahiptirler. Bu çalışmaya konu olan DAÖ ölçüm hattının yakınlarında bulunan SK-6'ya ait sondaj logu örnek olarak Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 2. İnceleme alanının eğim haritası.
Figure 2. Slope map of the study area.

Arazi Çalışmaları

İnceleme alanında zeminlerin jeolojik ve litolojik durumlarının yanal ve düşey yönlerdeki değişimlerinin belirlenmesi ve mühendislik parametrelerinin tespit edilmesi amacıyla derinlikleri 12.0 m ile 21.5 m arasında değişen toplam 9 adet jeoteknik sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyuların çalışma sahasındaki konumları Şekil 5’de

verilmiştir. Açılan her sondaj kuyusunda Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılmış ve uygun görülen derinliklerden UD tüpleriyle örselenmemiş örnekler alınmıştır. Ayrıca, SK-1, 4 ve 9 numaralı sondajlar hariç diğer tüm sondajlarda, Menard Presiyometre deneyi yapılmış ve zeminlerin limit basınçları ve Menard presiyometre modülleri belirlenmiştir. Presiyometre deneyinden elde edilen deformasyon modüllerinin 4–310 kg/cm²

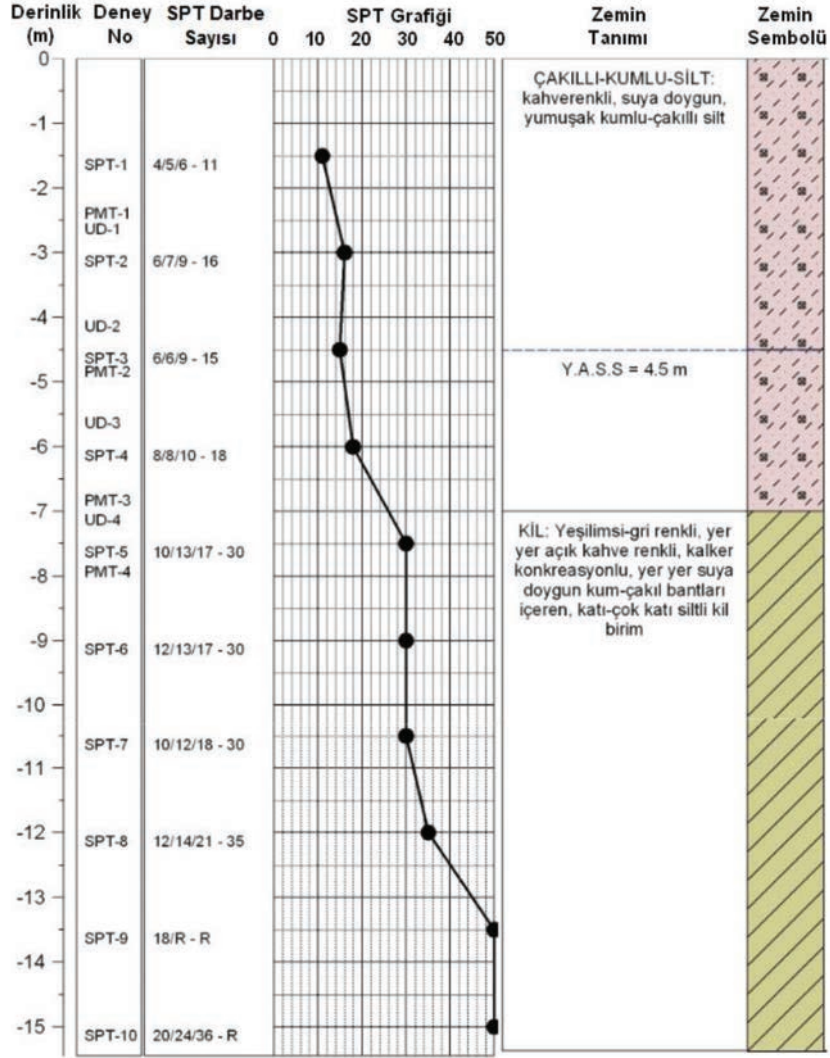


Şekil 3. Parkın kuzey-batı kesiminde meydana gelen heyelandan bazı görünümler, a. Heyelanın topuk kısmından bir görünüm, b. Heyelanın tepe kısmından bir görünüm.

Figure 3. Some views from the landslide that occurred at the north-west part of the garden, a. A view from the toe of the landslide, b. A view from the top side of the landslide.

arasında, zayıf suya doymun seviyelerde ise 4 – 55 kg/cm² arasında değişim gösterdiği saptanmıştır.

Ayrıca, yatay deplasmanları ölçmek amacıyla SK-2, 3 ve 6 numaralı sondaj kuyularında inklinometre gözlemleri yapılmış ve yanal hareket

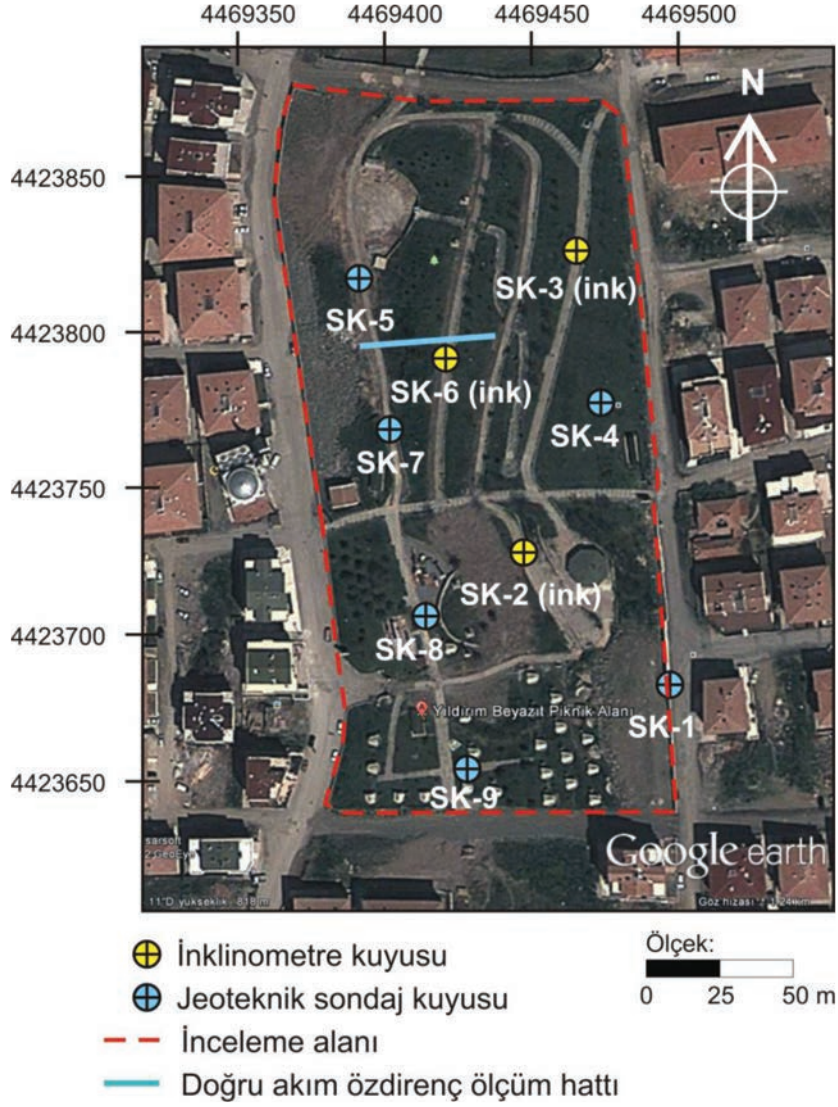


Şekil 4. SK-6'ya ait sondaj logu.
Figure 4. Boring log of the SK-6.

ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İnklinometre bolarları yerleştirilirken özellikle yivlerden birinin (y yönü) hareket yönüne paralel yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Tüm inklinometre ölçümlerinde özellikle "y" yönünde bir veya bir kaç seviyede hareket olduğu tespit edilmiştir. SK-2 numaralı sondajda 4.5 ve 10 metre derinlikte iki farklı hareket seviyesi belirlenmiştir. SK-6 numaralı sondaj ise 3 farklı hareket seviyesi gözlenmiş olup, bunlar 4, 6.5 ve 9 metre derinliktedirler. Özet olarak, inklinometre ölçümleri sonucunda derinlikleri 4.5 ile 10 metre arasında değişen birkaç kayma yüzeyi olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, SPT değerleri incelendiğinde

düşük değerlerin genellikle 4 – 5 metre derinliğe kadar olduğu görülmüştür. Bu nedenle kayma zonlarının ince, suya doymun makaslama zonları şeklinde geliştiği ve alüvyon zemin ile Pliyosen yaşlı birimlerin nispeten ayrılmış seviyelerinden geçtiği düşünülmektedir.

Sondajlarda yapılan ölçümlere göre yeraltı-suyu seviyesi SK-2'de 2 m, SK-3'de 4 m, SK-5'de 2.4 m ve SK-6'da 4.5 m, SK-7'de 2 m, SK-8'de 0.4 m ve SK-9'da 0 m (yüzeyde) olarak ölçülmüş, SK-1'de ise yeraltı-suyu gözlenmemiştir. Genel olarak, parkın yüksek kotlu doğu kısmında yeraltı-suyu seviyesi göreceli olarak derinde,



Şekil 5. Sondaj lokasyon haritası (Google Earth, 2012).

Figure 5. Location map of the drilling points (Google Earth, 2012).

düşük kotlu kesimlerde ise yüzeye daha yakın konumdadır. Özellikle çalışma alanının güney-batı kesimlerinde yeraltı suyu zemin yüzeyinde göllenme yapmaktadır. Yine parkın batı ve kuzeybatı kesimlerinde yağma istinat duvarında, gerek barbakanlarda, gerekse çatlaklarda su sızmaları görülmüş, ayrıca parkın batı sınırındaki heyelan malzemesinden kuvvetli bir su akışının geçtiği gözlemlenmiştir. Bu durum, yeraltı-suyunun çalışma sahasının doğusundan batısına doğru bir akış halinde olduğunu ortaya koymuştur.

Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanında yapılan sondajlarla alüvyon ve Pliyosen yaşlı birimlerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde zeminin fiziksel ve mekanik parametrelerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla, SPT örnekleri üzerinde "elek analizi, Atterberg limitleri ve su içeriği tayini" deneyleri, örselenmemiş örnekler üzerinde ise konsolidasyon, tek eksenli basınç, konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç ve

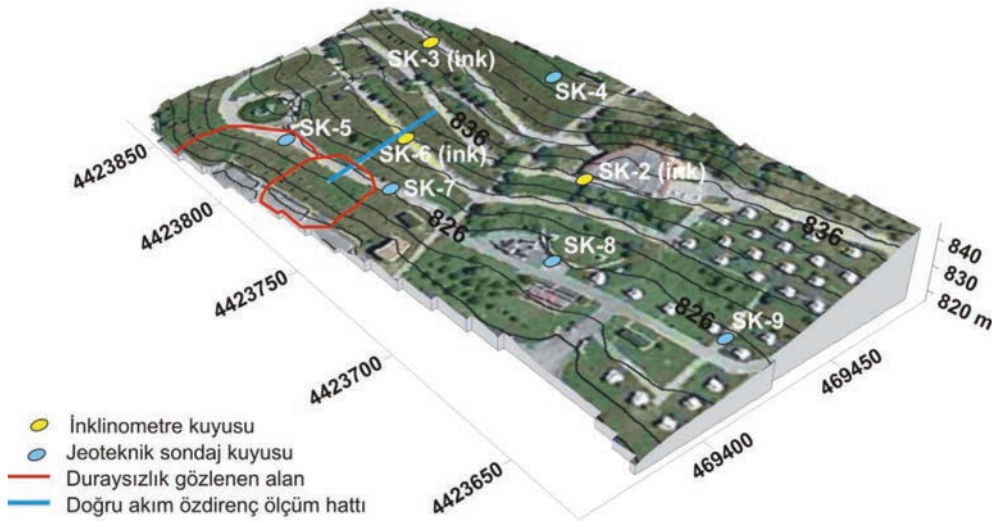
konsolidasyonlu-drenajlı (CD) doğrudan makaslama deneyleri yapılmıştır.

Atterberg limitleri deneylerinin sonucunda, araziden alınan örneklerin likit limitlerinin % 31.6-% 85.7 arasında, plastik limitlerinin % 16.6-%36.6 arasında, plastisite indislerinin ise % 11.6-53.3 arasında değiştiği, ayrıca üç farklı sondajdan alınan farklı seviyelerdeki (SK-3: 13.5m, SK-4: 7.5m, SK-6: 7.0m'deki) zeminlerin NP (non-plastic) olduğu belirlenmiştir. Elek analizi deneyleri sonucunda 4 No.lu elek üzerinde kalan malzeme oranının %0-%35.6 arasında, 200 No.lu elek altına geçen malzeme oranının ise %11.2-%96.2 arasında değiştiği belirlenmiştir. Zeminlerin sınıflandırılması amacı ile örnekleme kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde 81 adet doğal su içeriği deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda, örneklerin doğal su içeriğinin % 5.6 - % 40.1 arasında değiştiği saptanmıştır. Su içeriğinin ortalaması % 26.0, standart sapması ise % 7.6 olarak hesaplanmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre örneklerin çoğunluğu ince taneli zemin ve yüksek platisiteli kil (CH) sınıfına girmiştir.

ÇOK ELEKTROTLU DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ ÖLÇÜMLERİ

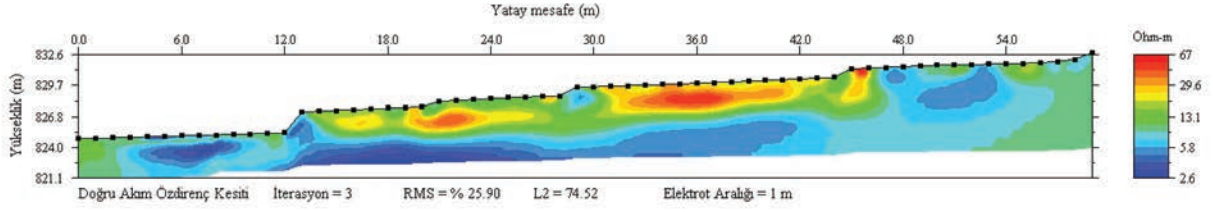
DAÖ ölçümleri, incelemeye konu olan parkın kuzey-batı bölgesinde meydana gelen heyelanda (Şekil 6), çakıllı-killi alüvyon birimler ile nispeten daha sağlam Pliyosen yaşlı birimlerin birbirinden ayrılması, jeolojik yapının ortaya konulması ve böylece kayma dairesinin (düzleminin) yerinin belirlenmesi amacıyla, jeoteknik yöntemlere destek olarak gerçekleştirilmiştir. DAÖ ölçüm hattı olası kayma düzlemine paralel olacak şekilde seçilmiş olup, konumu Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir. Ölçümde 1 metre aralıklarla toplam 60 adet elektrot kullanılmış ve Schlumberger dizilimi uygulanmıştır. Ölçümlerin sonunda araziden elde edilen görünür öz direnç değerleri ters çözümleme işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen iki boyutlu öz direnç kesiti Şekil 7'de sunulmuştur.

Şekil 7 incelendiğinde yüzeyden itibaren yaklaşık 4 metre derinlikte nispeten yüksek öz direnç (13 - 67 ohm-m) sahip birimlerin bulunduğu görülmektedir. Bu birimler, sondajlarla tespit edilen kumlu - çakıllı alüvyon birimlere karşılık gelmektedir. Nispeten yüksek öz dirence sahip



Şekil 6. Çalışma sahasının uydu görüntüsü giydirilmiş topoğrafik modeli üzerinde duraysızlık gözlenen bölge, sondaj lokasyonları ve çok elektrotlu öz direnç ölçüm hattı.

Figure 6. Instability observed region, location of drilling points and multi-electrode resistivity survey line on the topographical model of the study site covered with satellite image.



Şekil 7. Ters çözüm sonrasında elde edilen iki boyutlu özdirenç kesiti.
Figure 7. Two-dimensional resistivity section of the study site obtained from inversion.

birimin altında ise oldukça düşük özdirençli (2.6 – 13.1 ohm-m) birimler bulunmaktadır. Bu birimler ise Pliyosen yaşlı, yer yer ince kum – çakıl bantları içeren killi birimlerdir. Çalışma sahasında gözlenen duraysızlıklara ait kayma zonlarının ince, suya doymun makaslama zonları şeklinde ortaya çıktığı ve alüvyon zemin ile Pliyosen yaşlı birimlerin nispeten ayrılmış seviyelerinden geçtiği inklinometre ölçüleriyle saptanmıştır. Elektrik özdirenç ölçümleri sonucunda elde edilen kesitte, özdirenç değerinin ani değişim gösterdiği seviyeler ile kayma zonlarının geçtiği seviyeler uyum içerisinde çıkmıştır. Böylece, çok elektrotlu özdirenç çalışması ile elde edilen jeolojik kesitten Pliyosen birimler ile alüvyon birimlerin sınırı tespit edilmiş ve buradan hareketle özdirenç ölçümlerinin kayma zonlarının yorumlanmasında faydalı sonuçlar verebileceği görülmüştür.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

DAÖ yöntemi ile ölçülen değerler, diğer jeofizik yöntemlerle ölçülen fiziksel büyüklüklerle kıyaslandığında daha geniş bir aralıkta değişmektedir. Örneğin, ölçüm yapılan bir sahadaki zeminlerin ve kayaçların sismik hızlar 10 kattan daha fazla değişim göstermezken, özdirenç değerleri kayacın veya zeminin gözenekliliğine ve gözenek suyunun kimyasına bağlı olarak önemli değişimler gösterebilmektedir. Bu durum, elektrik özdirenç ölçüm yöntemlerinin oldukça dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir. Ancak, yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi, dikkatli ve bilinçli bir şekilde kullanıldığında, DAÖ ölçümlerinden oldukça yararlı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında örnek bir uygulama olarak heyelanlı bir sahada çok elektrotlu DAÖ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasında yüzeyden itibaren yaklaşık 4 metre derinlikte nispeten yüksek özdirenç (13 – 67 ohm-m) sahip birimlerin bulunduğu, yüksek özdirençli birimlerin altında ise daha düşük özdirençli birimlerin varlığı belirlenmiştir. Nispeten yüksek özdirençli birimlerin sondajlar ile tespit edilen kumlu – çakıllı alüvyon birimlere karşılık geldiği, daha düşük özdirençli birimlerin ise Pliyosen yaşlı killi birimler olduğu anlaşılmıştır. Çalışma sahasında gözlenen heyelanların kayma zonlarının ise ince, suya doymun makaslama zonları şeklinde olduğu ve alüvyon zemin ile Pliyosen yaşlı birimlerin nispeten ayrılmış seviyelerinden geçtiği inklinometre ölçümleriyle belirlenmiştir. Sonuç olarak çalışma sahasında yapılan çok elektrotlu özdirenç ölçümlerinin çalışma sahasının jeolojisinin ve heyelan geometrisinin belirlenmesinde faydalı veriler sağladığı görülmüştür.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, çalışmada kullanılan çok elektrotlu DAÖ ölçümlerini gerçekleştiren Sayın Adil ÖZDEMİR'e (Adil Özdemir Mühendislik&Sondaj, Çankaya/Ankara) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Adil, F., 2010. Almina Parkında Gözlenen Heyelanların Araştırılmasına Yönelik Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Hendese Jeoteknik, Ankara.
- Ahzebobor, P. A., Olayinka, A. I., Singh, V. S., 2010. Application of 2D and 3D

- geoelectrical resistivity imaging for engineering site investigation in a crystalline basement terrain, southwestern Nigeria. *Environ Earth Sci.*, 61: 1481–1492.
- Akca, İ., ve Gündoğdu, N.Y., 2010. Samsun-Baruthane Tümülüslerinin doğru akım öz direnç yöntemi ile incelenmesi. *Yer-bilimleri*, 31(3): 205–215.
- Arshad, M., Cheema, J.M. and Shafique, A., 2007. Determination of Lithology and Groundwater Quality Using Electrical Resistivity Survey. *International Journal of Agriculture&Biology*, 9(1): 143–146.
- Bernstone, C., and Dahlin, T., 1996. 2D resistivity surveying of old landfills, *Procs. 2nd European EEGS Meeting, Nantes, France, 2–4 September*, pp; 188–191.
- Daniels F. and Alberty R.A., 1966. *Physical Chemistry*. John Wiley and Sons, Inc. (*Look, 2000'den alınmıştır*).
- Edwards L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42, 1020-1036 (*Look, 2000'den alınmıştır*).
- EM 1110-1-1802, 1995. *Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations*, Engineer Manual of U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC 20314-1000.
- Google Earth, Ağustos 2012, “Yıldırım Beyazıt Piknik Alanı, Etimesgut, Ankara” anahtar kelimeleriyle yapılan arama.
- Hsu, H-L., Yanites, B.J., Chen, C-C., Chen, Y-G., 2010. Bedrock detection using 2D electrical resistivity imaging along the Peikang River, central Taiwan. *Geomorphology*, 114: 406–414.
- Keller G.V. and Frischknecht F.C., 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford (*Look, 2000'den alınmıştır*).
- Lebourg, T., Hernandez, M., Zerathe, S., El Be-doui, S., Jomard, H., Fresia, B., 2010. Landslides triggered factors analyzed by time lapse electrical survey and multidimensional statistical approach. *Engineering Geology*, 114: 238 – 250.
- Loke, M.H., 2000. *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*, 2011, <http://www.heritagegeophysics.com/images/lokenote.pdf>, 25 Ocak 2011.
- Marescot, L., *Surface and borehole electrical resistivity tomography*, 2011 http://www.tomoquest.com/attachments/File/Introduction_to_ERT_script.pdf, 25 Ocak 2011.
- Nowroozi, A.A., Horrocks, S.B., Henderson, P., 1999. Saltwater intrusion into the freshwater aquifer in the eastern shore of Virginia: a reconnaissance electrical resistivity survey. *Journal of Applied Geophysics*, 42: 1–22.
- Schoor, M., 2002. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 50: 393–399.
- Sharma, P.V., 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge Univ. Press, U.K.
- Zhou, W., Beck, F.B., Adams, A.L., 2002. Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environmental Geology*, 42: 922–928.