

Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler ile Doğu Karadeniz (Trabzon, Türkiye) Kıyı Şeridinde Deniz Suyu Girişiminin Çevreye Olan Etkisinin Araştırılması

The Investigation of Environmental Effect of Sea Water Intrusions in Eastern Black Sea Coastal Area (Trabzon, Turkey) Using Electric Resistivity and Electromagnetic Methods

ALİ ERDEN BABACAN^{1*}

^{1*} Karadeniz Technical University, Department of Geophysical Engineering, 61080/Trabzon-Turkey

Geliş (received) : 1 Kasım (November) 2017

Kabul (accepted) : 28 Temmuz (July) 2018

ÖZ

Elektrik ve elektromanyetik yöntemler kıyı bölgelerinde olası tuzlu su girişiminin haritalanmasında oldukça yararlı yöntemlerdir. Olası tuzlu su girişiminin; çevreye, yol güzergâhlarına, yeraltı sularına ve tarımsal toprak üzerine birçok olumsuz etkiye neden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ilinde seçilen bir kıyı şeridinde deniz suyu girişiminin olup olmadığının belirlenmesi için bir dizi Jeofiziksel araştırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma alanına yakın olan bir viyadüğün beton ayaklarına deniz suyunun etkisinin olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, çalışmada frekans ortamı elektromanyetik yöntem olan Slingram yöntemi ve elektrik özdirenç tomografi (ERT) yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda, 11 profil de Slingram yöntemi ile 8 profil de ERT yöntemi kullanılarak veriler toplanmıştır. Slingram yöntemi ile 1 boyutlu olarak toplanan veriler birleştirilerek 2 boyutlu görünür iletkenlik haritaları oluşturulmuş, ERT verilerinin 2 boyutlu ters çözümünden de yeraltının özdirenç dağılımı elde edilmiştir. Sonuç olarak, hem çalışma alanının önemli bir kısmında hem de çalışma alanına yakın olan viyadüğün beton ayaklarında yaklaşık 15 m derinliklere kadar tuzlu su girişiminin etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Keywords: Slingram, elektrik özdirenç tomografi, tuzlu su girişi, Karadeniz,

ABSTRACT

Geophysical methods are beneficial for mapping of possible fresh and salt water intrusion in coastal regions. As it well knows, possible sea water intrusion might have negative impacts on environmental, groundwater quality and agricultural soil. In this study, a geophysical survey was performed along to shoreline of the province of Trabzon in the Eastern Black Sea in order to determine possible sea water intrusion. Furthermore, it has been tried to determine whether the effect of sea water on the concrete feet of a viaduct near the study area. For this purpose, Slingram method which is a frequency domain electromagnetic method and electrical resistivity tomography (ERT) method were used. In this context, Slingram and 2D ERT data were collected along 11 profiles and 8 profiles at the selected area, respectively. 2D terrain conductivity maps were created from 1D Slingram measurement profiles, and the resistivity distribution of the underground was obtained from 2D inversion of ERT data. Finally, it has been determined that there is no effect sea water intrusion at least up to 15 meters in depth both in a significant part of the study area and the concrete pillar of the viaduct, which is close to the working area.

Anahtar Kelimeler: Slingram, Electrical resistivity tomography, Sea water intrusion, Black Sea

* A.E. Babacan

e-posta: alierdenbabacan@hotmail.com

GİRİŞ

Elektrik ve elektromanyetik yöntemler kıyı bölgelerinde deniz suyu girişiminin araştırılmasında başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Tuzlu su girişiminin meydana gelmesi tatlı suların kalitesinin bozulmasına, tarımsal toprağın verimliliğinin düşmesine, denize yakın olan yol, köprü veya viyadük ayaklarının zarar görmesi gibi bir çok çevresel probleme neden olabilmektedir. İnsanlar eski dönemlerden beri kıyı bölgelerini verimli toprakların olması, suya ulaşımın kolaylığı, deniz ticareti gibi sebeplerden dolayı yerleşim yeri olarak tercih etmişlerdir. Günümüzde zamanla değişen çevre ve iklim koşulları, nüfus yoğunluğunun artışı tatlı suya ulaşımı giderek zorlaştırmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı bu alanlarda meydana gelen olumsuz değişikliklerin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Bu tür alanlar bütün jeofizik yöntemler gibi hassarsız olan ve çevreye zarar vermeyen, elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile sürekli olarak izlenerek meydana gelen değişimler kolayca haritalanabilir. Deniz suyunun yeraltı sularına ve tarımsal toprağa verdiği zarar dışında özellikle günümüzde mühendislik yapılarına ve bunlardan sahil boyunca yapılan çok sayıda yol ve bu yollara bağlantılı olan köprü ve viyadük ayaklarına da tuzlu suyun etkisi araştırılmalıdır. Deniz suyu ya da tuzlu su girişiminin uzanımı jeolojik formasyonlara (Himi vd., 2010), akifer tipi ve kalınlığına (Chachadi ve Ferreira, 2005), iklimsel değişimlere bağlı olarak deniz suyunda meydana gelen yükselme (Nguyen vd., 2009) gibi pek çok faktöre bağlı olarak birkaç metreden kilometrelerce uzaklığa kadar, karyaya doğru değişim gösterebilir. Deniz suyu, jeolojik formasyonların elektriksel iletkenliğinin belirgin bir şekilde artmasına neden olur. Diğer bir deyişle deniz suyu girişiminin artmasıyla formasyonun özdirenci azalacaktır. Yanal ve düşey yönde iletkenlik dağılımı frekans ortamı elektromanyetik yöntem ile belirlenebilirken, aynı zamanda çalışılan alanın özdirenç değişimi 2 boyutlu elektrik özdirenç tomografi yöntemi ile haritalanabilir. Deniz suyu girişiminin elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile araştırılması bir çok yazar tarafından çalışılmıştır (Himi vd., 2010; Khalil vd., 2012; Nenna vd., 2013; Chitea vd., 2015, Ardali vd., 2015, 2016).

Çalışma alanı Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ilinin doğu kısmında yer almaktadır (Şekil 1a). Bölge tamamıyla karmaşık ve düzensiz bir dolgu sahası olup, içerisinde her türlü malzeme bulunmaktadır. İnceleme alanının denize uzaklığı yaklaşık 40-45 m olup, sahil yoluna paralel olarak uzanmaktadır. Bu

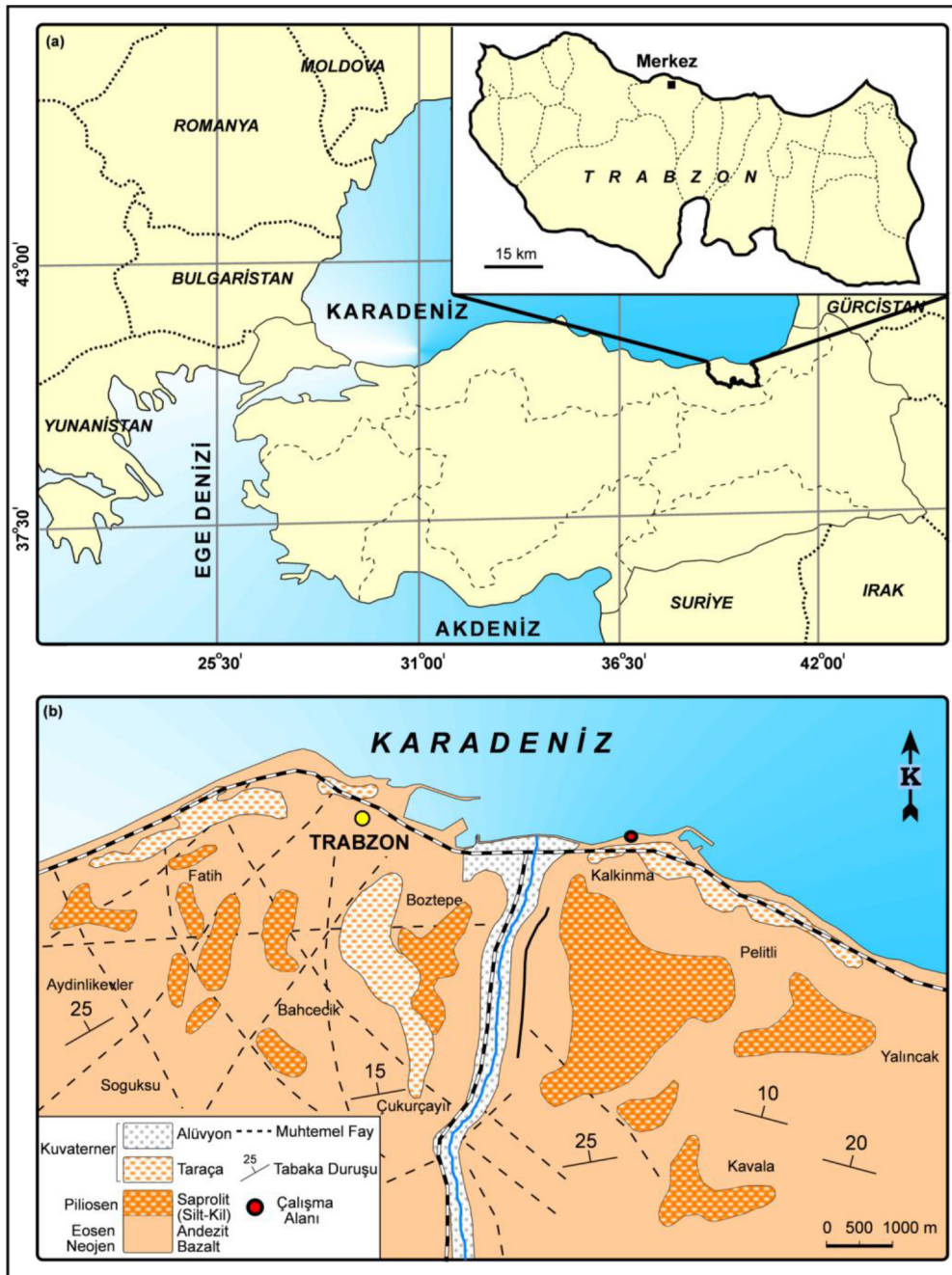
alanın hemen doğusunda Trabzon havalimanı ve güneyinde ise Karadeniz Teknik Üniversitesi yer almaktadır. Bölgede deniz kıyısına paralel yüksek sıradağlar hâkimdir. Doğu-Batı doğrultusundaki bu dağlar, Karadeniz kıyısının hemen gerisinde uzanmaktadır. Nüfusun çoğu dağlar ve kıyı şeridi arasında kalan dar ve düzlük alanlarda yaşamaktadır. Bu bölgenin çoğunluğunda tarımsal topraklar sınırlı olup genelde yoğun bir bitki örtüsüyle kaplıdır. Ayrıca, çalışılan bölgede sıklıkla heyelanlar meydana gelmekte, bu durum tarımsal toprakların azalmasına ve zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca, son yıllarda Doğu Karadeniz sahili boyunca birçok yol, köprü, tünel yapılması mevcut olup, bu yapılara deniz suyunun ne derece etki ettiğinin de belirlenmesi gerekmektedir.

Doğu Karadeniz Bölgesi kıyı şeridinde genellikle yazlar sıcak, kışlar ılık ve her mevsim yağışlı bir iklime sahiptir. Trabzon yıl içerisinde önemli derecede yağış alan illerden biri olup, yıllık ortalama yağış miktarı 68,23 mm ve ilkbahar aylarının ortalaması ise 55,77 mm' dir (www.mgm.gov.tr). Genel olarak bu bölgede, Liyas'tan Eosen'e kadar belli zaman aralıklarında gelişimini sürdüren magmatik kayalar ve magmatik faaliyetlerin durduğu dönemlerde çökelen tortul istifler hâkimdir. Çalışma alanında geniş yüzeylenmeler veren tortul ara katkılı andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşan jeolojik birim, Güven (1993); tarafından tanımlanan Kabaköy Formasyonu (Şekil 1b) ile benzer özelliklere sahip olduğu için aynı adla isimlendirilmişlerdir. Çalışma alanı ve civarında hâkim litolojik birim bazalt ve andezitik volkanik kayalar olmakla beraber, ölçüm alınan alan tamimiyle dolgu sahasıdır.

Bu çalışma kapsamında, olası deniz suyu girişiminin ne kadarlık bir alanda etkin olduğunu ve çalışılan alana yakın olan sahil yolu bağlantı noktalarından biri olan viyadüğünün ayaklarının deniz suyu girişiminden etkilenip etkilenmediği elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile belirlemeye çalışılmıştır. Sonuç olarak denize hem paralel hem de dik olmak üzere toplam 11 profilde Slingram ve 8 profilde de elektrik özdirenç tomografi (ERT) verisi toplanarak deniz suyunun girişim yaptığı alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

JEOfİZİK ÖLÇÜMLER VE BULGULAR

Bu çalışma ilkbahar aylarında gerçekleştirilmiş olup, 11 profilde Slingram yöntemi ile 8 profilde de ERT yöntemi ile veriler toplanmıştır. Toplanan veriler değerlendirilerek yer altının elektrik özdirenç ve görünür iletkenlik dağılımı ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 1. (a) Çalışma alanına ait yer bulduru (a) ve jeoloji haritası (b) (Güven, 1993; Baykan, 2011'den değiştirilerek).
Figure 1. The location (a) and geological map of the study area (modified from Güven, 1993; Baykan, 2011).

Slingram Yöntemi

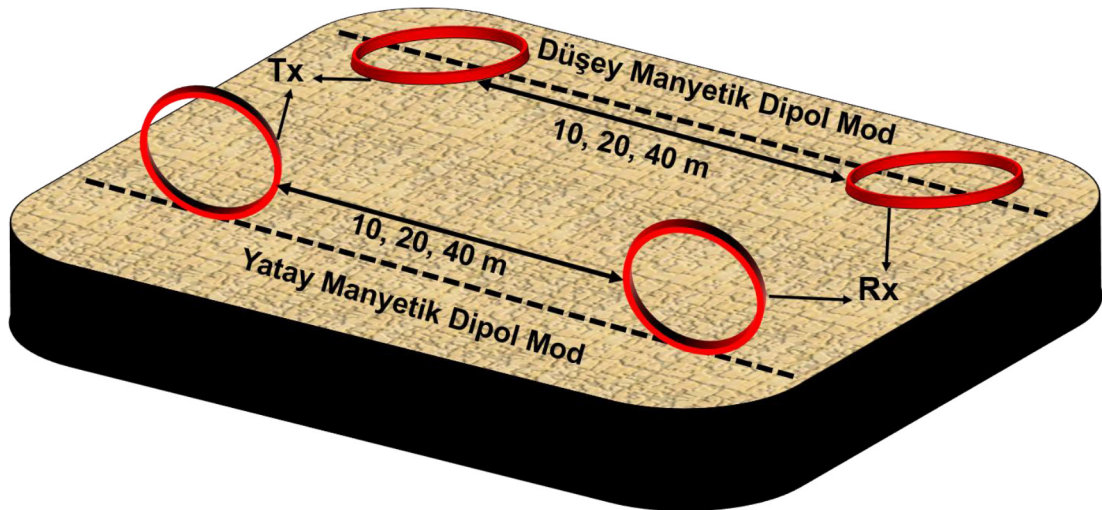
İlk olarak çalışma sahasında nispeten haritalamanın daha hızlı ve kolay olduğu aktif kaynaklı frekans ortamı elektromanyetik yöntem olan Slingram tekniği kullanılmıştır. Slingram tekniğinde verici halka yardımıyla sürekli bir elektromanyetik alan üretilir ve bu

alan birincil manyetik alanının oluşmasını sağlar. Yer içerisinde iletken bir yapı olduğu durumda birincil manyetik alan, ikincil bir manyetik alanı meydana getirir. Bu birincil ve ikincil manyetik alanlar alıcı bir halka yardımıyla kayıt edilir. İkincil manyetik alanın birincil manyetik alana oranından yer için elektrik

iletkenliği belirlenmektedir (McNeill, 1980). Yer içinin iletkenliğini önemli ölçüde tuzluluk etkilemektedir. Bununla birlikte yerin kil içeriği, nem içeriği, sıcaklık, gözeneklilik ve toplam çözülmüş madde miktarı gibi etkiler iletkenliği etkileyen diğer faktörlerdir. Slingram ölçümleri Geonics marka EM34-3 aleti ile toplanmıştır. Bu alet alıcı-verici halka ve bunlara bağlı kontrol birimlerinden oluşmaktadır. İletkenlik değerleri direk olarak alıcı kontrol birimden mS/m cinsinden okunabilmektedir. EM34-3 aletinde sabit 3 farklı alıcı-verici halka arası mesafe olup, bu mesafeler 10 m, 20 m ve 40 m'dir (Şekil 2). Halkalar arası uzaklıklar için frekans değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Alıcı-verici halkanın ölçüm alınan yüzeydeki konumuna göre düşey manyetik dipol (VDM) ve yatay manyetik dipol mod (HDM) olmak üzere iki farklı modda ölçüm alınabilmektedir (Şekil 2). Ölçümlerde araştırma derinliği alıcı-verici halkanın frekansına ve ölçüm moduna göre değişmektedir. Çizelge 1'de alıcı-verici halka mesafeleri ve ölçüm modları için araştırma derinlikleri görülmektedir (McNeill, 1980).

Slingram yönteminde alıcı verici halka aralığı 10 m ve ölçüm noktaları arası uzaklık 2 m seçilerek hem düşey manyetik hem de yatay manyetik dipol modda ölçümler toplanmıştır (Şekil 3). İlk 7 ölçümde her bir profil uzunluğu 44 m olup 161 noktada ölçüm alınmıştır. Ölçümler batıdan doğuya doğru olacak şekilde alınmış ve her bir profil aralığı 5 m'dir. Bu kısımda alınan ölçümlerde ilk profilin denize olan uzaklığı yaklaşık 45 m'dir. Bu alanda 7 profile ek olarak

yaklaşık kuzey-güney yönlü olmak üzere 4 profile daha ölçümler alınmıştır. Ölçüm noktaları arası 2 m olmak üzere toplamda 164 noktada veri toplanmıştır. Her bir profilin uzunluğu 80 m olup, profil aralıkları 9 m'dir. Her iki kısımda da alınan ölçümlerin sonuçları Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Ayrıca ilk 7 profil ve son 4 profil birleştirilerek çalışan ortama ait 2 boyutlu görünür iletkenlik haritaları elde edilmiştir (Şekil 6, 7). Şekil 6b ve 7b'de görünür iletkenlik değişimleri Şekil 6a ve 6b'ye göre daha geniş bir aralığa karşılık geldiği için, kesitler üzerindeki değişimleri daha iyi görebilmek açısından farklı renk skalaları kullanılmıştır. Halka aralığı 10 m için hem HDM hem de VDM modunda yapılan ölçümler Çizelge 1 göre değerlendirildiğinde, teorik olarak nüfuz edilebilen derinlik HDM modu için 7.5 m ve VDM modu için ise yaklaşık 15 m olarak öngörülmektedir. Ancak ortamın iletkenliğine göre nüfuz edilebilen derinlik değişebilmektedir. Şekil 4'te verilen ilk 7 profil için görünür iletkenlik değişimleri incelendiği zaman, bütün profillerde HDM modu için elde edilen değerlerde (25-48 mS/m arasında) çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Bununla birlikte, VDM modunda elde edilen görünür iletkenlik değerlerinde ise, özellikle 1, 5, 6 ve 7. profillerde önemli değişimler görülmektedir. 2, 3, 4. ve 5, 6, 7. profillerin ise belirli alanlarında hem HDM hem de VDM modunda elde edilen değerler nispeten birbirine yakın olup derinlikle iletkenlikte fazla bir değişim meydana gelmemektedir. Ancak, elde edilen verilerde dikkat çekici iki değişim mevcuttur: (1) 1. profilde HDM modunda elde edilen iletkenlik değerleri sabit bir



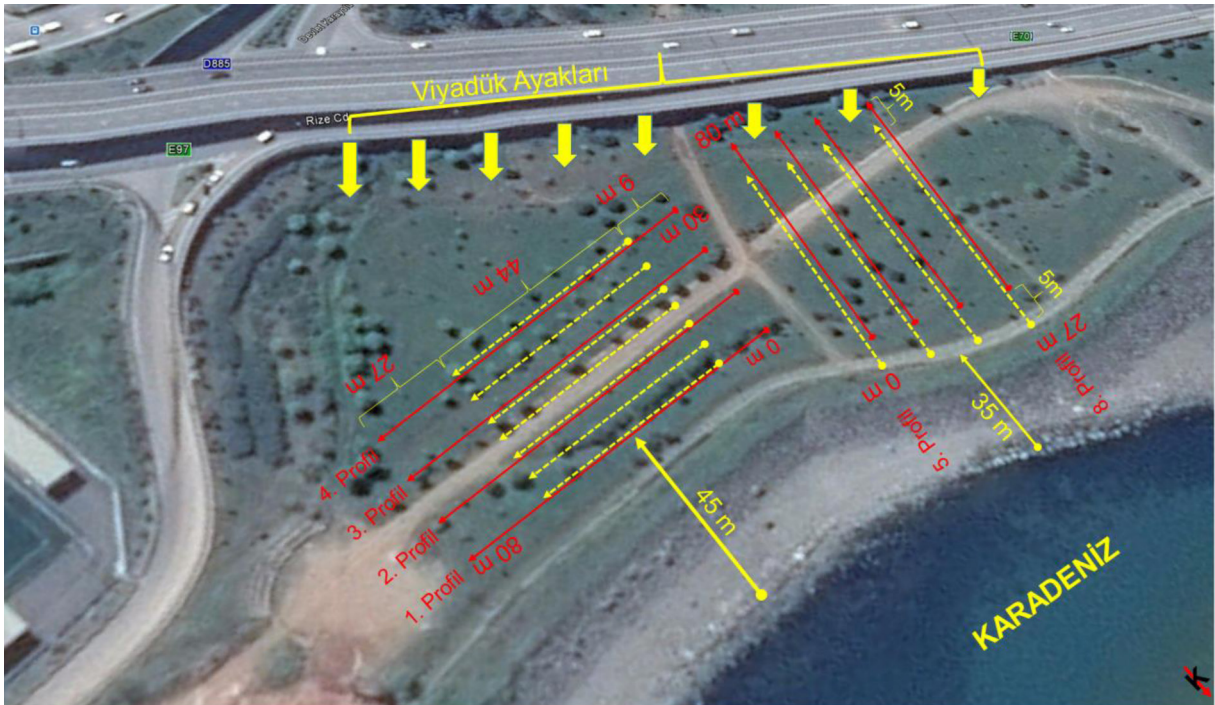
Şekil 2. Slingram ölçüm düzeneğinin şematik bir görünümü. Rx ve Tx sırasıyla alıcı-verici halka.

Figure 2. A schematic view of the Slingram measurement setup. Tx and Rx transmitter-receiver loop respectively.

Çizelge 1. Alıcı-verici halka mesafesi için frekans değerleri ve araştırma derinlikleri (McNeill, 1980).

Table 1. Frequency values and penetration depths for transmitter-receiver loop distances (McNeill, 1980).

Alıcı-verici halka mesafesi (m)	Frekans (kHz)	Araştırma Derinliği	
		Yatay Dipol Mod	Düsey Dipol Mod
10	6.4	7.5	15
20	1.6	15	30
40	0.4	30	60

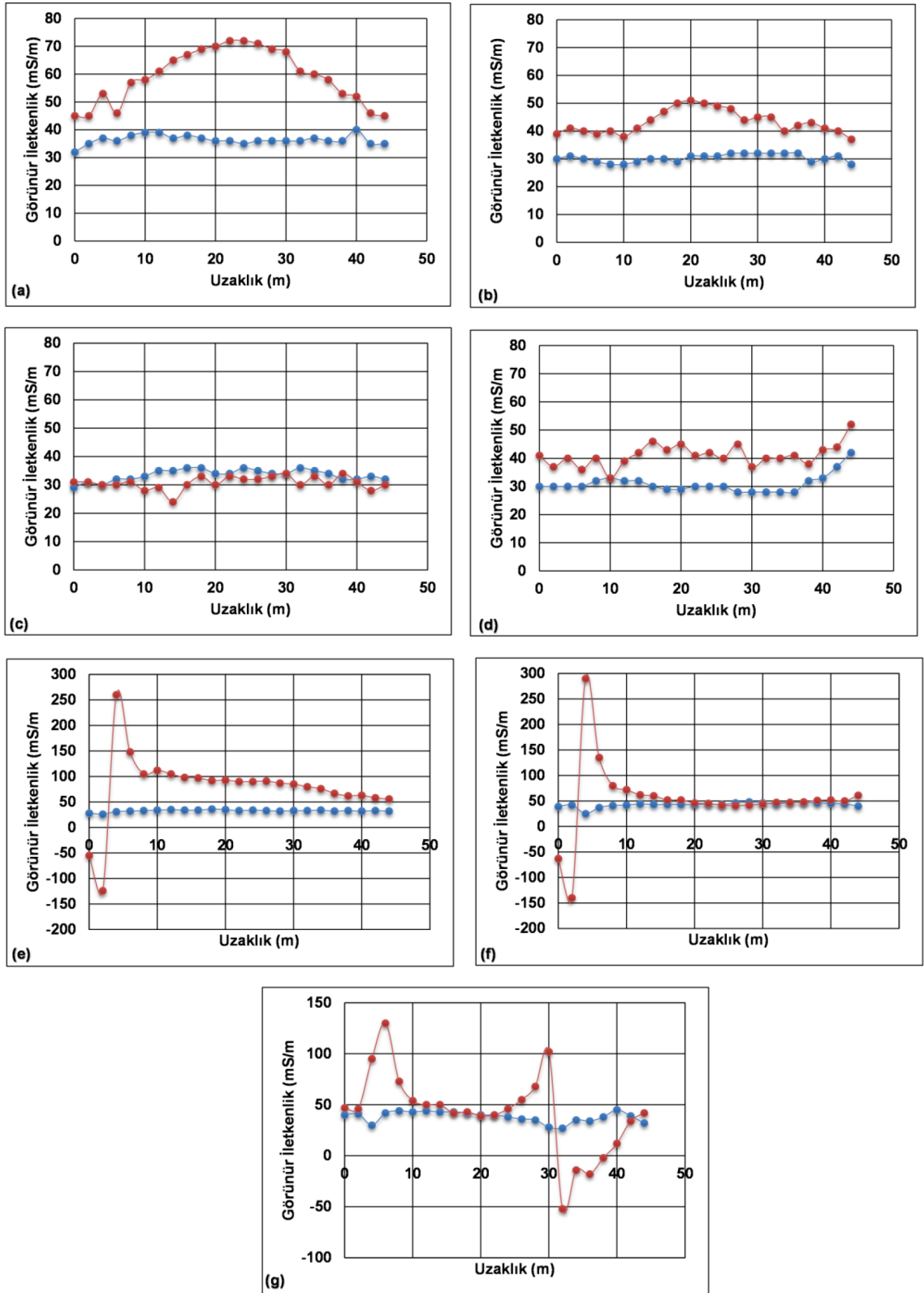


Şekil 3. Slingram ve elektrik özdirenç ölçüm profillerin konumları. Sarı kesikli çizgiler Slingram ölçüm hatlarını, kırmızı kesikli çizgiler ise elektrik özdirenç hatlarını göstermektedir.

Figure 3. The locations of the Slingram and electrical resistivity measurement profiles. Yellow dotted lines show Slingram measurement, and red solid lines show electrical resistivity profiles.

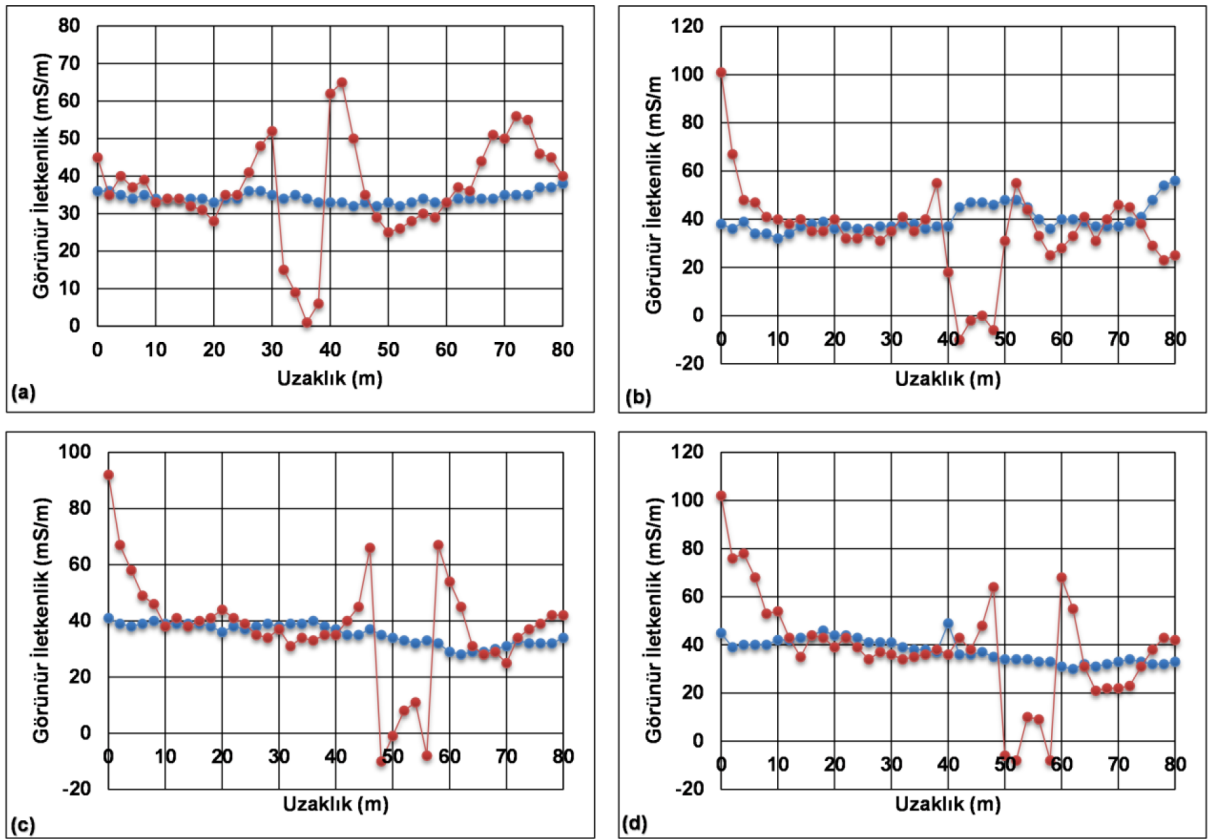
değişim göstermekte ve ortalama 30-40 mS/m arasında değişmektedir. Buna karşılık, VDM modunda elde edilen iletkenlik değerleri özellikle yatayda 10-40 m'ler arasında ciddi bir yükselim göstermektedir. Bu durum da, derine doğru iletkenliğin arttığını ve bunun sebebinin ise tuzlu su girişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. (2) ikinci dikkat çekici durum ise 5, 6, ve 7. profillerde gözlenen negatif ve pozitif yönde meydana gelen ani iletkenlik değişimidir. Bu son üç profilde negatif iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Yalnızca VDM modunda okunan bu negatif iletkenlik

değerleri EM34-3 aletinin değeri okuma aralığından kaynaklanan bir durum olup, yerinin iletkenlik değerleri 700 mS/m değerini aştığı zaman, aletin okuduğu görünür iletkenlik değerleri sıfıra doğru gitmekte ve bu değer büyüdükçe iletkenlik değerleri negatif olarak okunmaktadır (Geonics, 2009). Slingram çalışmalarında negatif iletkenlik ve bu şekildeki ani değişimlerin genelde yer altındaki metalik bir iletken den veya bir süreksizlik zonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (McNeill, 1980; Hayles, 2004; Tsikudo, 2009; Selepeng, 2016). Şekil 5'te ikinci kısımda elde



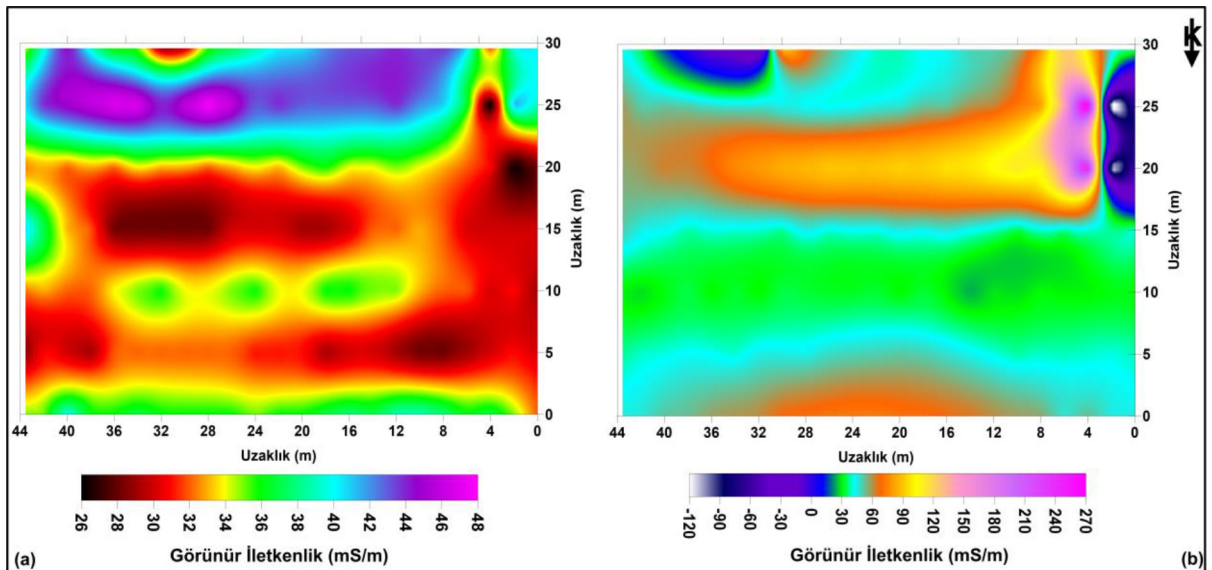
Şekil 4. Görünür iletkenlik değerlerinin değişimi. Kırmızı noktalar VDM modunda, mavi noktalar ise HDM modunda alınan ölçümleri göstermektedir. a, b, c, d, e, f, g sırasıyla 1-7. profiller.

Figure 4. Apparent Conductivity values. The red and blue dots show the measurements taken in VDM and HDM mode respectively. The letters a, b, c, d, e, f, g indicate respectively from 1. to 7. profiles.



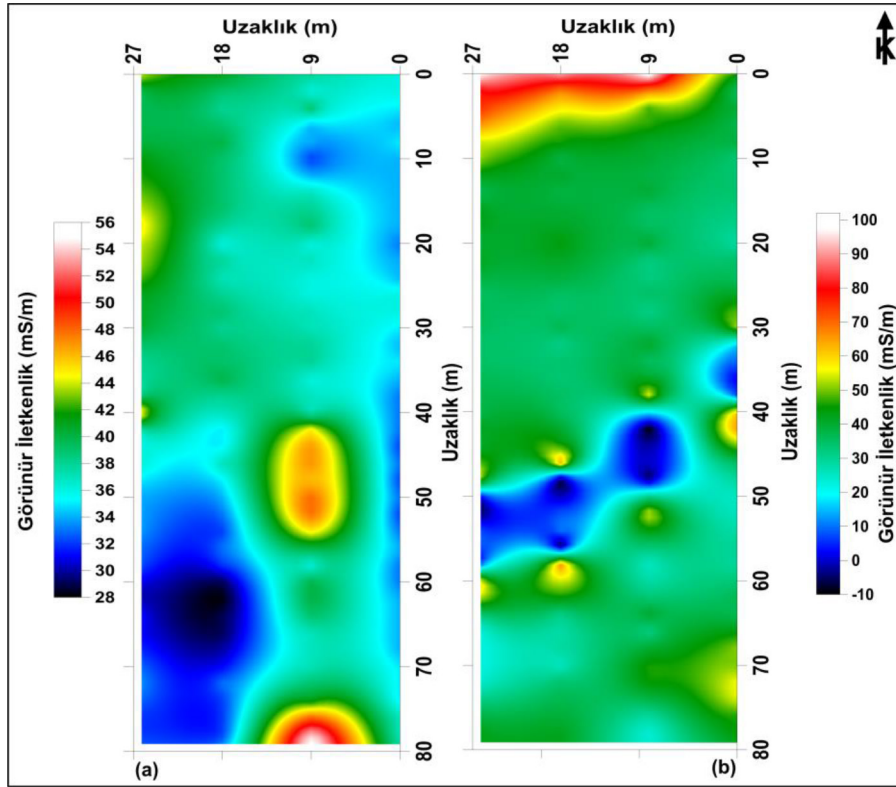
Şekil 5. Görünür iletkenlik değerlerinin değişimi. Kırmızı noktalar VDM modunda, mavi noktalar ise HDM modunda alınan ölçümleri göstermektedir. a, b, c, d sırasıyla 8-11. profiller.

Figure 5. Variations of apparent conductivity values. The red and blue dots show the measurements taken in VDM and HDM mode respectively. The letters a, b, c, d respectively from 8. to 11. profiles.



Şekil 6. 1-7. profiller için 2B görünür iletkenlik kesitleri. a) HDM modu, b) VDM modu.

Figure 6. 2D apparent conductivity sections for 1-7. profiles. a) HDM mode, b) VDM mode.



Şekil 7. 8-11. profiller için 2B görünür iletkenlik kesitleri. a) HDM modu, b) VDM modu.

Figure 7. 2D apparent conductivity sections for 8-11. profiles. a) HDM mode, b) VDM mode.

edilen 8-11. profiller için görünür iletkenlik değerleri (28-50 mS/m arasında) incelendiğinde ise HDM modunda elde edilen değer ilk 7 profilde de elde edilen değerlerle benzerlik göstermekte olup çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Ancak VDM modunda elde edilen değerlerde 8. profil hariç 9, 10 ve 11. profillerin özellikle ilk kısımlarında yani denize yakın olan alanlarda yüksek iletkenlik değerleri gözlenmiş olup, bu değerler denizden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu alanda dikkat çeken diğer bir olay ise; 8, 9, 10 ve 11. profillerin tamamında gözlenen, yatayda 30 m'lerden başlayıp batıya doğru yaklaşık 60 m'lere kadar uzanan iletkenlik değerlerindeki ani azalım ve yükselimidir. Bu kısımda da diğer ölçümlerdeki gibi VDM modunda negatif iletkenlik değerleri okunmuştur. Bu negatif iletkenlik ve görünür iletkenlik eğrisinde meydana gelen bu ani azalım ve yükselime metalik bir nesnenin sebep olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5'te yatayda 30-60 m'ler arasında gözlenen bu tür değişim ve gözlenen negatif iletkenlikler yeraltında ki metalik bir nesnenin varlığından kaynaklanabilir. Şekil 6a ve b'de ilk 7 profil için HDM ve VDM mod kullanılarak elde edilen görünür iletkenlik değerlerinin

birleştirilmesinden oluşturulan 2B kesitlerde, çalışılan alanın görünür iletkenlik dağılımı elde edilmiştir. Özellikle VDM modunda yüksek iletkenlikle alanların değişimi açıkça gözlenmekte ve tuzlu su girişi ve süreksizlik ya da metalik bir nesne varlığının olabileceği alanlar belirgindir. Şekil 7'de ise ilk 7 profille aynı şekilde elde edilmiş olan son 4 profilin (8-11) görünür iletkenlik kesitleri incelendiğinde ise HDM modunda elde edilen kesitte (Şekil 7a) genel olarak düzgün bir değişim gözlenmekle birlikte, yerel olarak bazı alanlarda nispeten daha yüksek iletkenlik değişimleri gözlenmiş olup, çalışma alanının düzensiz bir dolgu sahası olduğu düşünüldüğünde, bu nispeten yüksek iletkenlik gözlenen alanların atık iletken bir malzemeden veya kil içeriği daha yüksek bir alandan kaynaklanmış olabileceği varsayılmaktadır. Şekil 7b'de VDM modunda elde edilen kesitte tuzlu su girişimin olduğu alan (70-100 mS/m olan kısımlar) belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Ayrıca bu kesitte dikkat çeken diğer bir önemli olay ise, alanın doğu tarafından güney batıya doğru (düşey uzaklıkta 30-60 m'ler ve yatay uzaklıkta ise kesitin hemen hemen tamamı) belirgin bir şekilde izlenebilen, negatif iletkenlik değerleri

gösteren bir alanın mevcut olmasıdır. Burada şekilden de görüldüğü gibi iletkenlik değerleri önce negatif yönde daha sonra ise pozitif yönde pik vermektedir. İki pik noktası arası uzaklık alıcı verici halka arası uzaklık ile de uyumludur. Bu ani pik değişimin olduğu kısım metalik bir nesnenin varlığını işaret etmektedir.

Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi, temel olarak yeraltına bir çift akım elektrotu ile gönderilen doğru akımdan kaynaklanan elektriksel potansiyelin yeryüzünde diğer bir çift potansiyel elektrotu ile ölçülmesine dayanmaktadır. Elektriksel potansiyelin dağılımı, yerin özdirenç değişimine bağlı olmaktadır (Telford vd., 1990). Elektrik özdirenç yöntemi bir çok alanda uzun yıllardan beri araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Karlık ve Kaya, 2000; Kaya vd., 2007; Yogeshwar vd., 2012; Orlando, 2013; Kaya vd., 2015; Elmas, 2017). ERT yönteminde, çok kanallı doğru akım verisinden yerin 2B özdirenç dağılımı ortaya çıkarılmaktadır. 2B elektrik özdirenç çalışmaları ile jeolojik yapıların yanal ve düşey yöndeki değişimleri belirlenebilmektedir. ERT yöntemi ile araştırılan yer altı yapısı yüksek çözünürlükte görüntülenebilmektedir.

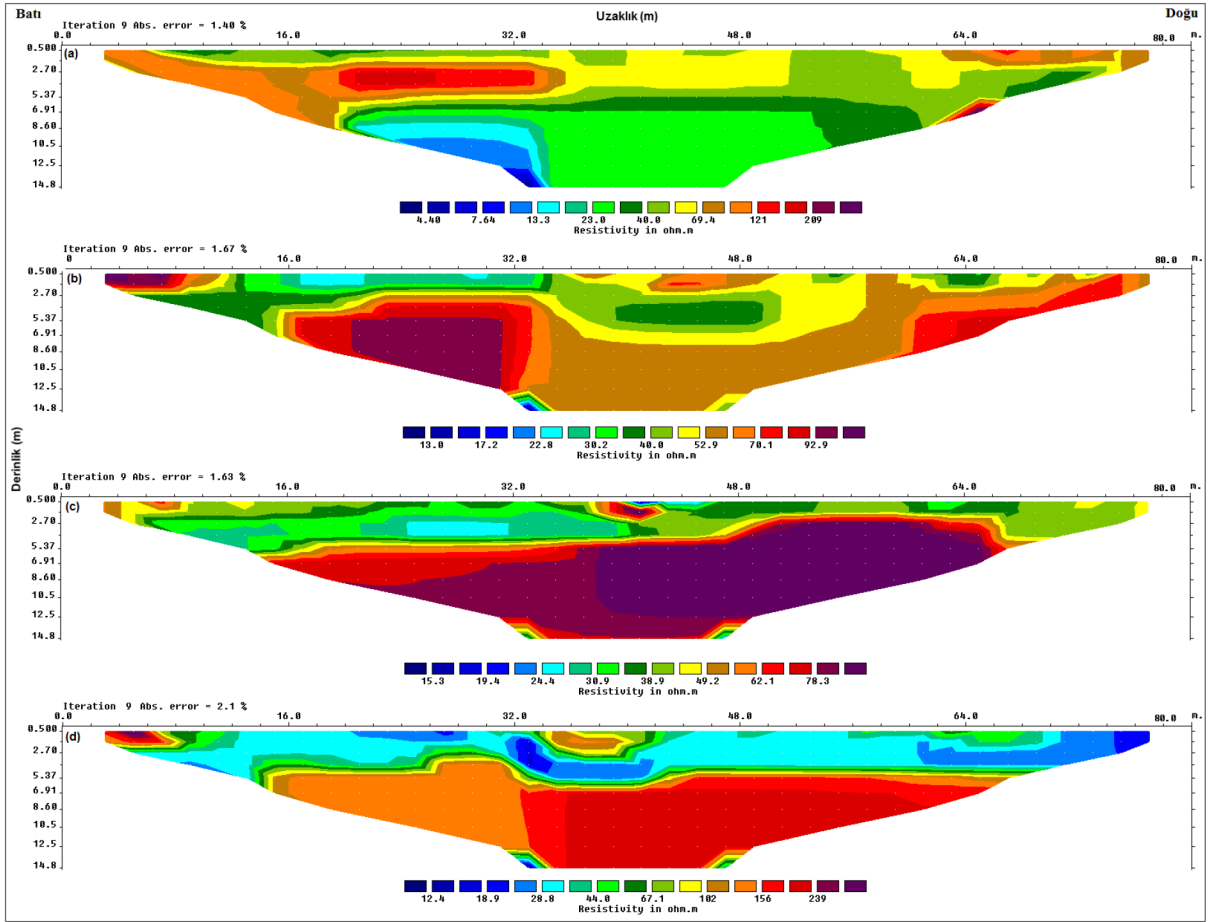
Bu çalışma sahasında ERT yöntemi ile iki alanda birbirine paralel 4 profilde olmak üzere toplamda 8 profil olacak şekilde Wenner dizilimi kullanılarak ölçümler alınmıştır (Şekil 3). ERT ölçümlerinde 41 elektrot kullanılmış ve elektrot aralıkları 2 m seçilerek toplamda 80 m'lik bir alan taranmıştır. İlk 4 profilde (1-4) profil aralıkları 10 m ve ikinci dört profilde (5-8) ise profil aralıkları 9 m olarak seçilmiştir. ERT ile Slingram ölçüm profilleri aynı hatlar üzerindedir. Çalışmada görünür özdirenç verileri ABEM Terrameter LS cihazı ile toplanmış ve Res2Dinv programı (Loke, 2010) ile değerlendirilmiştir. Çalışma sahasına ait 2B özdirenç kesitleri Şekil 8-9' da sunulmuştur. Slingram yöntemi ile elde edilen görünür iletkenlik kesitlerinde olduğu gibi özdirenç kesitlerinde de küçük değişimleri daha iyi görüntüleyebilmek için farklı renk skalaları kullanılmıştır. Şekil 8 incelendiğinde maksimum etki edilebilen derinlik yaklaşık olarak 15 m'dir. İlk dört profilde (1-4) özdirenç değişimi genel olarak 10-250 Ohm-m arasında değişim göstermekle birlikte yalnızca birinci profilde yaklaşık 13 m'lerden sonra özdirenç değerlerinin sınırlı bir alanda da olsa 4 Ohm-m'lerin altına düştüğü gözlenmiştir. Genel olarak 5 Ohm-m'lerden daha düşük özdirenç değerleri kısmen de olsa tuzlu su varlığını işaret etmektedir. İlk 4 profilde yaklaşık

5-5.5 m'lerde nispeten düzgün bir ara yüzey varlığından bahsetmek mümkündür. İkinci 4 profilin (5-8) yer aldığı Şekil 9' da ise yeraltının özdirenç dağılımı 1-700 Ohm-m'ler arasında oldukça geniş bir dağılım göstermekle birlikte, yalnızca 8. profilde elde edilen özdirenç kesitinde bu geniş dağılım görülmektedir. 5, 6, ve 7. profillerde ise özdirenç değişim aralığı daha sınırlıdır. 5, 6 ve 7 profillerde yaklaşık 13 m'lerden itibaren çok sınırlı bir alanda düşük özdirenç değerleri (5-15 Ohm-m) mevcut olsa da, bu değerlerin tuzlu su varlığını gösterdiği düşünülmektedir. 5-15 Ohm-m'lik özdirenç değişimleri daha çok tatlı suya doygun killi ortamlara karşılık gelmektedir. İlk 4 profilde olduğu gibi son dört profilde de yaklaşık 5 -5.5 m'ler civarında bir ara yüzey varlığından bahsedilebilir. Burada dikkat çekici durum ise, diğer profillerde gözlenmeyip 8. profilde gözlenen çok düşük ve nispeten çok yüksek özdirenç değerlerinin varlığıdır. Bu düşük ve yüksek özdirençlere yeraltında mevcut bir metalik kanalın varlığının (alandan geçtiği düşünülen atık su borusu gibi) sebep olabileceği düşünülmektedir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Slingram ve ERT yöntemleri kullanılarak çalışılan alana ait görünür iletkenlik ve özdirenç dağılımları ortaya konulmuştur. Görünür iletkenlik ve özdirenç kesitlerinden tuzlu su girişimin olup olmadığı, tuzlu su girişimi olduysa ne kadarlık bir alanı etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır.

Doğu-batı yönlü alınan görünür iletkenlik ölçümlerine göre yalnızca birinci profilin VDM ölçümlerinde yaklaşık 10-35 m'lerde iletkenlik değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Benzer şekilde alınan elektrik özdirenç kesitlerinde de yine yalnızca birinci profilde çok düşük özdirenç (<4 Ohm-m) değerleri ölçülmüştür. Her iki yöntemden elde edilen bu sonuçlar birbirlerini desteklemekte ve bu alanda kısmi bir tuzlu su girişimi olduğunu işaret etmektedir. Çalışma alanında güneye doğru gidildikçe iletkenlik değerleri düşerken, özdirenç değerlerinin yükselmeye başlaması, güneye doğru herhangi bir tuzlu su girişiminin olmadığı şeklinde değerlendirilmiştir. Doğu-batı yönlü alınan görünür iletkenlik ölçümlerinin 5, 6 ve 7. profillerinde negatif ve pozitif yönde çok yüksek iletkenlik değerleri ölçülse de, bu alanda elde edilen elektrik ölçümlerinde düşük özdirenç değişimi gözlenmediğinden dolayı burada yüksek iletkenlik varlığının tuzlu su girişimi ile değil de, yanal yönde bir süreksizlik varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Kuzey-güney yönlü alınan görünür

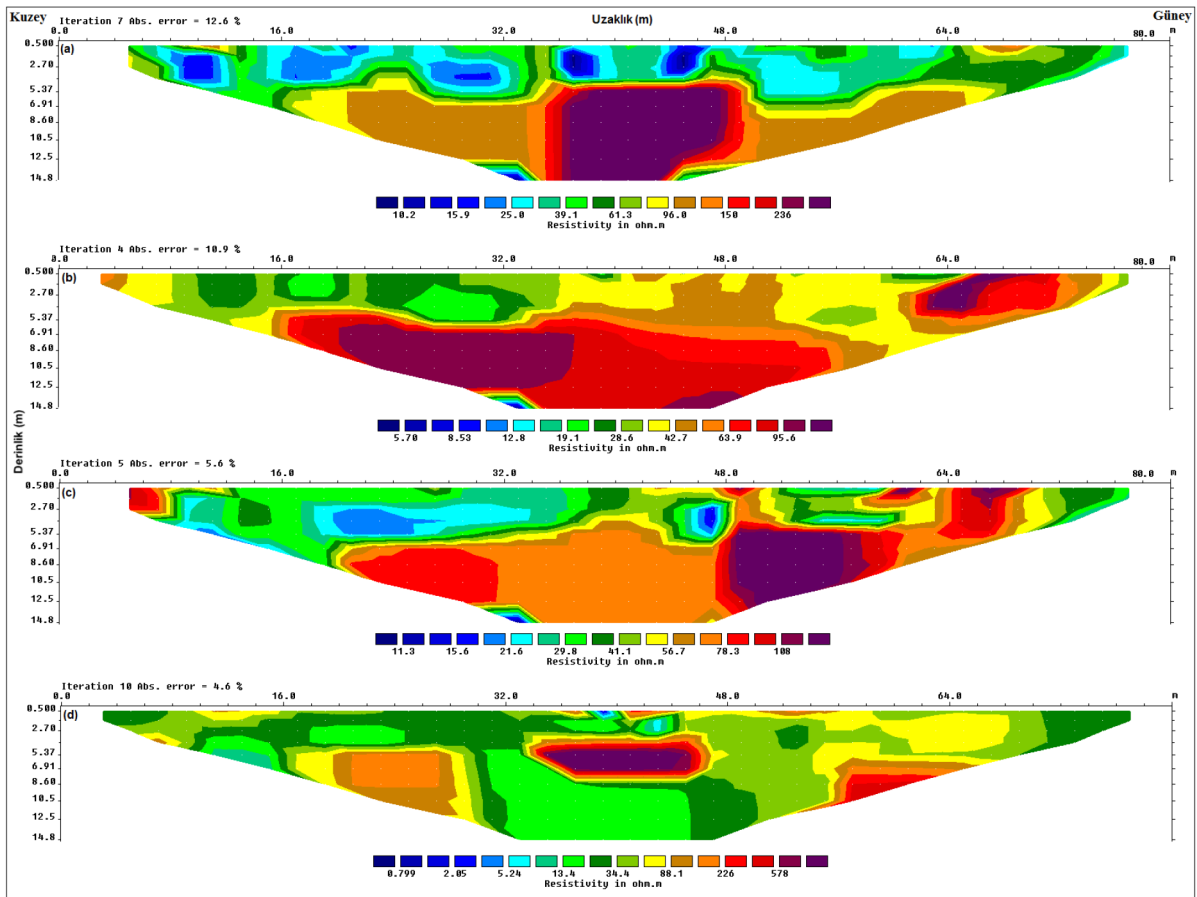


Şekil 8. 2B ERT kesitleri. a, b, c, d sırasıyla 1-4. profilleri göstermektedir.

Figure 8. 2D ERT sections. The letters a, b, c, d indicate respectively from 1. to 4. profiles.

iletkenlik ölçümlerinde ise 8, 9 ve 11. profillerin ilk 10 m'leri ile 8. profilde 30-40 m, 9. profilde 40-50 m ve 10 ile 11. profillerde ise 50-60. m'ler hariç diğer alanlarda hem HDM hem de VDM modunda benzer bir değişim gözlenmiştir. Her iki modda benzer değişim olması derine doğru iletkenliğin çok değişmediğinin bir göstergesidir. Bununla birlikte 9, 10 ve 11. profillerin ilk 10 m'lerinde yüksek iletkenlik değerlerinin olması, bu kısmın denize en yakın alan olduğu düşünülmüşse, bu yüksek iletkenliğin tuzlu su etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. Bu alanda alınan öz direnç değerlerinde tuzlu su etkisi görülmemektedir. Bunun sebebi de Şekil 3'te de görülebileceği gibi görünür iletkenlik ölçümleri ile elektrik öz direnç ölçümlerinin başlangıç noktalarının aynı olmayıp, görünür iletkenlik ölçümlerinin hat başlangıçlarının denize daha yakın olmasıdır. Kuzey-güney yönlü elektrik ölçümlerinde özellikle 8. profilde çok düşük öz direnç değerleri gözlenirse de bunlar çok yerel olup, görünür

iletkenlik kesitleri ile de desteklenmediği için bu düşük değerlerin tuzlu sudan kaynaklanmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Kuzey-güney yönlü görünür iletkenlik kesitlerinde (8, 9, 10, 11. profil) dikkat çeken diğer önemli bir detay ise, 30-60 m'ler arasında meydana gelen ani iletkenlik azalımı ve artışıdır. Slingram yöntemi ile elde edilen verilerdeki bu tür bir değişim yer içindeki metalik bir nesnenin varlığını işaret etmektedir. 8-11. profillerin birleştirilmesinden elde edilen 2B görünür iletkenlik kesitinde (Şekil 7) metalik nesnenin konumu ve yönelimi belirgin bir şekilde izlenebilmektedir. Bu kısımda alınan elektrik öz direnç kesitlerinde ise, özellikle 8. profilde yatayda 32-46 m'ler ve düşeyde ise 5.5-8.5 m derinliklerinde olan ve göreceli olarak çok yüksek öz direnç gösteren bir yapının varlığı mevcuttur. Bu yapının görünür iletkenlik kesitlerinde de olduğu düşünülen metalik içi boş bir kanalizasyon olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 9. 2B ERT kesitleri. a, b, c, d sırasıyla 5-8. profilleri göstermektedir.

Figure 9. 2D ERT sections. The letters a, b, c, d indicate respectively from 5. to 8. profiles.

Sonuç olarak görünür iletkenlik ve ERT kesitleri birlikte değerlendirildiğinde tuzlu su girişiminin sadece denize en yakın alanlarda görüldüğü, güneye doğru bir yayılımın olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çalışma alanının topografyası ve güneyden gelen Değirmendere ve Değirmendere'nin denize getirdiği malzemelerin oldukça kalın bir alüvyon yatağı oluşturduğu dikkate alınır, bu alanda tuzlu suyunun hidrojeolojik açıdan da güney yönünde ilerlemesi pek mümkün gözükmemektedir. Doğu Karadeniz bölgesindeki yeraltı suyu taşıyan akifer niteliğindeki malzemeler çoğunlukla dere yataklarında dar vadilere sıkışmış alüvyonlardır. Yeraltı suyu hareketinin kontrolü çoğunlukla yüzey akışı tarafından kontrol edildiği için, bu tür dar alüvyonların denizle birleştiği alanlarda tuzlu su girişiminin alüvyon içine doğru kamanması beklenmez. Ayrıca, deniz suyunun güney yönde karaya doğru girişim yapmasına neden olabilecek, çalışma alanının ve çevresinde tatlı su çekmek amacıyla açılmış bir kuyu bulunmaması da deniz

su girişiminin olmamasına etki edecek faktörlerden biridir. Hem jeofizik verilerden hem de hidrojeolojik açıdan çalışmada alanında en azından 15 m derinliklere kadar tuzlu su girişiminin geniş bir alanı etkilemediği ve ayrıca denize yakın bir alandan geçen sahil yolu üzerinde mevcut olan viyadüğün ayaklarına bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak yine de bu alanda yapılacak bir proje kapsamında birkaç noktada sondaj veya hendek açmak suretiyle toplanacak toprak ve su örneklerinin analizi ile elde edilen Jeofizik verilerin desteklenmesi çalışmanın katkısını daha somut olarak ortaya koyacaktır.

Bununla birlikte tuzlu su girişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma kapsamına ek olarak, Slingram yöntemi ile çalışma alanında mevcut olan bir kanalizasyon veya atık su borusu gibi metalik bir nesnenin varlığının da başarıyla haritalandığı görülmüştür.

KATKI BELİRTME

Yazar, arazi verilerinin toplanmasında yardımcı olan Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden Askerhan Burak ŞAHİN, Uğur ÇINAR, Hasan TURAN ve İhsan KUL'a; makalenin değerlendirme sürecinde gösterdikleri ilgi nedeniyle Yerbilimleri Dergisi Editörlüğüne; makalenin kalitesinin artırılmasında yapıcı eleştirilerde bulunan Prof.Dr. Çoşkun SARI ve Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA'ya teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Ardali, A., Gurer, A., and Tezkan, B., 2015. Geoelectrical and geoelectromagnetic imaging in Durusu Basin, Istanbul. 8th Congress of the Balkan Geophysical Society, Chania, Greece.
- Ardali, A., Gurer, A. and Tezkan, B. 2016. Geoelectrical mapping of seawater intrusion in Durusu basin, Istanbul. 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Near Surface Geoscience, Barcelona, Spain.
- Baykan, İ., 2011. Trabzon ili kırmızı killerin jeoteknik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Chachadi, A.G., and Ferreira, J.P.L., 2005. Assessing aquifer vulnerability to sea-water intrusion using GALDIT method: Part 2- GALDIT indicators description. The 4th Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water resources, Portugal.
- Chitea, F., Georgescu, P., and Ioane, D., 2015. Geophysical detection of marine intrusions in Black Sea. 6th Congress of Balkan Geophysical Society - Budapest, Hungary.
- Elmas, A., 2017. Gravite ve Elektrik Yöntemlerle Jeotermal Yapı Araştırması. International Conference on Research in Education and Science (ICRES), May 18-21, Kuşadası, Aydın. Proceeding Book, 700-703.
- Geonics, 2009. EM34-3 & 34-3XL Operating Instructions (For model with two digital meters).
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara, Türkiye.
- Hayles, J., 2004. EM-31 & EM-34 Surveys near Spring Hill. Report. Hayles Geoscience Surveys Ltd.
- Himi, M., Stitou, J., Rivero, L., Salhi, A., Tapias, J.C., and Casas, A., 2010. Geophysical surveys for delineating salt water intrusion and fresh water resources in the Oued Laou coastal aquifer. Near Surface - 16th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Abstracts volume, Switzerland.
- Kaya, M.A., Özürlan, G. and Şengül, E., 2007. Delineation of soil and groundwater contamination using geophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey, Environ Monit Assess, 135:441-446.
- Kaya, M. A., Özürlan, G. and Balkaya, Ç., 2015. Geoelectrical investigation of seawater intrusion in the coastal urban area of Çanakkale, NW Turkey, Environ Earth Sci, 73:1151-1160.
- Karlık, G., and Kaya, M.A., 2000. Investigation of groundwater contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste-disposal site: a case study from Isparta, Turkey, Environmental Geology 40 (6).
- Khalil, M.A., Abbas, A.M., Santos, F.M., Masoud, U., and Salah, H., 2012. Application of VES and TDEM techniques to investigate sea water intrusion in Sidi Abdel Rahman area, northwestern coast of Egypt. Arab J Geosci, DOI 10.1007/s12517-012-0564-z.
- Loke, M.H., 2010. RES2DINV software. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, <http://www.geotomosoft.com>.
- McNeill, J. P., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurements at low induction numbers: Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada, Technical Note, p. 1-15.
- Nenna, V., Herckenrath, D., Knight, R., Odlum, N., and McPhee, D., 2013. Application and evaluation of electromagnetic methods for imaging saltwater intrusion in coastal aquifers: Seaside Groundwater Basin, California. Geophysics, 78, B77-B88.
- Nguyen, F., Kemna, A., Antonsson, A., Engesgaard, P., Kuras, O., Ogilvy, R., Gisbert, J., Jorreto, S., and Pulido-Bosch, A., 2009. Characterization of seawater intrusion using 2D electrical imaging. Near Surface Geophysics, 7, 377-390.
- Orlando, L., 2013. GPR to Constrain ERT Data Inversion in Cavity Searching: Theoretical and

Practical Applications in Archeology. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 35–47.

- Selepeng, A.T., 2016. Three Dimensional Numerical Modeling of Loop-Loop Electromagnetic Data at Low Induction Numbers, Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, Japan, PhD Thesis.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Tsikudo, B.K., 2009. Geophysical Investigation for Groundwater in the Gushiegu-Karaga and Zabzugu-Tatale Districts of the Northern Region of Ghana Using the Electromagnetic Method. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, MSc Thesis.
- Yogeshwar, P., Tezkan, B., Israil, M., and Candansayar M.E., 2012. Groundwater contamination in the Roorkee area, India: 2D joint inversion of radiomagnetotelluric and direct current resistivity data. *Journal of Applied Geophysics* 76, 127–135.

