



METALİK MADEN ATIĞI TAŞIYAN GÖMÜLÜ BORU HATTININ  
ÖZDİRENÇ YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

(*INVESTIGATION OF BURIED METAL WASTE TAILING DISCHARGE  
PIPELINE BY RESISTIVITY METHOD*)

Derman DONDURUR\*, Coşkun SARI\*

ÖZET / ABSTRACT

Yeraltında, genellikle sığ derinliklerde gömülü atık taşıyan boruların araştırılması jeofizikte çevresel amaçlı çalışmalar kapsamındadır. Bu tür yapılar doğrusal hedefler olarak adlandırılır ve bunların jeofizik olarak araştırılmasında en çok elektrik özdirenç yöntemi ile yer radarı (GPR) ölçümleri kullanılır. Bu çalışmada, Çayeli-Rize bölgesindeki bir bakır madeninin atıklarını taşıyan boru hattı elektrik özdirenç yöntemi ile araştırılmıştır. Çayeli Bakır İşletmesinin (ÇBİ) atıkları, karışım tankında deniz suyu ile karıştırılarak bir boru hattıyla Karadeniz'e, 350 m derinlikteki oksijensiz ortama bırakılmaktadır. Tanktan çıkarak atık malzemeyi denize taşıyan boru hattının güzergah projesi ve uzanımı ise bilinmemektedir. Bu aşamada, Samsun'dan Gürcistan'a uzanan Karadeniz sahil yolu projesi kapsamında, söz konusu karışım tankının yanından geçen yeni bir köprü projesi nedeniyle, kazı yapmaksızın boru hattının güzergahının bulunması gündeme gelmiştir. Çalışma için uygun özdirenç elektrod diziliminin saptanması amacıyla, bir dizi analog modelleme çalışması yapılmıştır. Uygun dizilim olarak dipol-dipol seçilmiş ve birleşik sondaj-profil özdirenç ölçüm tekniği kullanılarak, dört ayrı profil üzerinde özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen görünür özdirenç kesitlerine 2 boyutlu en küçük kareler ters çözümü uygulanarak, yerinin özdirenç dağılımı ortaya çıkarılmış, boru hattının uzanımı ve olası derinliği bulunmuştur.

*Investigation of buried shallow metal tailing discharge pipes is the subject of environmental geophysics. Those structures described as linear targets offering some characteristic geological and physical properties with respect to the surrounding, can be explored by certain geophysical methods, such as electrical resistivity and ground probing radar. In the context of this study, an investigation was carried out in order to find metal tailing discharge pipeline by using electrical resistivity method. The metallic wastes of Çayeli Copper Corporation (ÇBİ) are diluted with sea water in the mixing-tank constructed at the coast and are sent to the water depths of 350 m below the anoxic layer in the Black Sea with a pipeline. The problem was to find out the route of this pipeline that will lie under a new bridge to be constructed on the extent of a coastal highway along the Black Sea from Samsun to Georgia. Since the exact location is not known for this pipeline, it was essential to find the pipeline with other means rather than digging or excavating because the pipeline was in actual use carrying metal tailings. In order to determine the suitable electrode configuration, an analogue modeling experiment was performed for different electrode configurations. The dipole-dipole configuration was chosen as suitable electrode array and combined sounding-profiling method was used on four resistivity profiles. Applying a two dimensional least squares inverse modeling on the data obtained, the resistivity distribution of the underground, the route and the possible burial depth of the metal waste-bearing pipeline were investigated.*

ANAHTAR KELİMELELER / KEYWORDS

Çevre jeofiziği, Elektrik özdirenç, Analog modelleme, Metalik atık borusu.  
*Env. geophysics, Electrical resistivity, Analogue modeling, Metallic waste tailing discharge pipeline*

## 1. GİRİŞ

Sığ yeraltı problemlerinin çözümü için, modern aletler, arama yöntemleri ve yeraltının 1, 2 ve 3 boyutlu görüntülenmesi (tomografi) zorunluluğu son yıllarda, gelişmiş birçok ülkenin gündeminde yer almakta, ayrıca gelişen teknoloji ve artan kentleşme ile birlikte gelen çevre ve kirlenme konusunda siyasi anlamda çalışmalar yapılmakta ve yasalar çıkarılmaktadır.

Yerin sığ derinliklerindeki mühendislik problemlerinin çözümünde, son yıllarda, yöntem, alet, veri toplama, verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması açısından önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu nedenle, yerin yüzeye yakın kısmıyla ilgilenen sığ ve çevresel amaçlı jeofizik, son yıllarda oldukça ilgi çekmekte, gelişen bilgisayar ve alet teknolojilerine paralel olarak birçok çevre problemine somut ve gerçekçi çözümler getirebilmektedir.

Genellikle çevresel çalışmalar için başvurulmuş kimyasal analize dayalı yöntemler, araziden alınan örneklerin laboratuvarında incelenmesini gerektirmekte ve zaman almaktadır. Ayrıca, alınan örnek, doğal koşullarından uzaklaştırılmış olduğundan, yapılan analizlere hata eklenebilmektedir. Dahası, birçok durumda, kimyasal analiz için araziden örnek almak mümkün olmayabilir. Çevre ve kirlenme konusunda yapılan çalışmalara jeofiziğin getirdiği boyut ise daha farklı olup, gözlem ve ölçümlerin hemen hemen tümü arazide yerinde yapılmakta ve daha hızlı uygulanabilmektedir. Özellikle kirliliğin varlığı, boyutları ve muhtemel yayılımı, jeofizik yöntemlerle saptanabilir. Bu nedenle, yeraltı suyu kirliliği, doğal ve yapay kaynaklı atıkların depolanması ve yayılımı gibi konularda, elektrik özdirenç, zaman ve frekans ortamı yapay uçuşma (IP), doğal gerilim (SP) ve zaman ortamı elektromanyetik yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır (Buselli vd., 1992; Cayhyna vd., 1992; Corwin, 1992; Ross vd., 1992).

Yeraltında, sığ derinliklerde gömülü atık taşıyan boruların araştırılması jeofizikte çevresel amaçlı çalışmalar kapsamındadır. Bu tür yapılar doğrusal hedefler olarak adlandırılır ve bunların araştırılmasında en çok elektrik özdirenç yöntemi ile yer radarı (GPR) ölçümleri kullanılır. Doğrusal hedefler olarak tanımlanan yapılar, büyük uzanımları, sığ derinlikleri (yüzeyin birkaç metre altında), yüksek özdirençli malzemeden yapılmış olmaları ve göreceli olarak küçük kesit yüzey alanı gibi bazı genel özellikleri ile tanımlanırlar (Guiging ve Yanzhong, 1992).

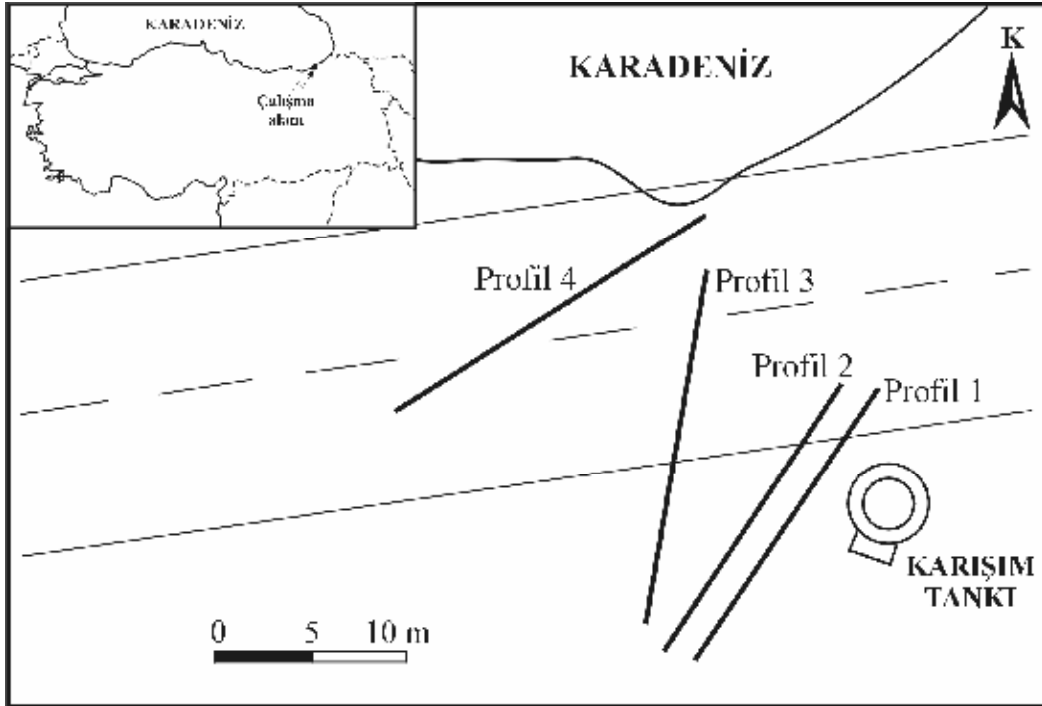
Atık taşıyan doğrusal yapılar, sızıntı ve kirlilik etkisine karşı genelde fiziksel olarak yalıtılmış olup, çevre ile iletimleri kesilmiştir. Ayrıca bunlar, içlerinde iletken metalik maden atığı taşısalar bile, elektriksel olarak yüksek direnç gösteren plastik materyalden imal edilmişler ve/veya beton malzeme ile kaplanmışlardır. Özdirenç yöntemi uygulanırken, bu yüksek özdirençli malzemenin etkisi doğrusal hedefin tepkisi olarak ölçülür.

Bu çalışmada, Çayeli Bakır İşletmeleri (ÇBİ) tarafından işletilen bir bakır madeninin atıklarını taşıyan boru hattı elektrik özdirenç yöntemi ile araştırılmıştır. Karadeniz sahilinden yaklaşık 2 km içerde bulunan maden işletmesinin atık borusu, bir boru hattıyla önce işletmeden sahilde bulunan karışım tankına taşınmakta, bu tankta deniz suyu ile karıştırılarak başka bir boru hattıyla Karadeniz'e, 350 m derinlikteki oksijensiz ortama bırakılmaktadır. Bu aşamada, Samsun'dan Gürcistan'a uzanan Karadeniz sahil yolu projesi kapsamında, söz konusu karışım tankının yanından geçen yeni bir köprü yapılması gündeme gelmiştir. Ancak halen kullanımda olan atık borusunun yeri bilinmediğinden, bu boru hattına hasar verilmeden köprünün inşa edileceği yer konusunda karar vermek mümkün olmamaktadır. Boru hattının elektrik özdirenç yöntemiyle araştırılmasında, yerinin hem yatay ve hem de düşey yöndeki özdirenç dağılımını görebilmek amacıyla, birleşik sondaj-profil tekniği kullanılmış ve uygun elektrod dizilimine karar verebilmek amacıyla arazi çalışmasından önce bir dizi analog modelleme çalışması yapılmıştır. Elde edilen görünür özdirenç kesitlerinden, en küçük kareler

ters çözümü kullanılarak yerinin gerçek özdirenç kesiti elde edilmiştir. Ters çözüm çalışmalarının tümünde 3 iterasyon yapılmıştır (Loke, 1998).

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Rize'nin 20 km doğusunda, Çayeli'nde ve Karadeniz sahili üzerindedir (Şekil 1). Alanın yaklaşık 25 m doğusundan denize bir dere akmaktadır. Bu nedenle, çalışma alanı tamamen bu derenin taşımış olduğu ve özdirenci 40-80  $\Omega$ m arasında değişen gevşek alüvyon dolgu malzemesi ile kaplıdır. Alan topoğrafik olarak düz olmakla birlikte, çapları 5-30 cm arasında değişen ve yüksek özdirence sahip magmatik kayaç blokları ile kaplıdır. Bu bloklar, alüvyon malzemenin özdirencini yer yer 200  $\Omega$ m' ye kadar yükseltmektedir. Özdirenç ölçümlerine başlanmadan önce, profiller boyunca 0.5 m derinliğe kadar, çalışma alanı bu kayaç bloklarından temizlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve konum haritası

Boru hattının üzerinden geçmesi planlanan köprünün güzergahı ince çizgilerle, özdirenç ölçümlerinin yapıldığı profiller kalın çizgilerle gösterilmiştir.

1. ve 2. ölçü profilleri sırasıyla 19.5 ve 20.5 m, 3. ve 4. ölçü profilleri ise 21.5 m uzunluğundadır.

Ölçümler, profiller üzerinde GB-KD doğrultusunda yapılmıştır.

## 3. ANALOG ÖZDİRENÇ MODELLEME ÇALIŞMALARI

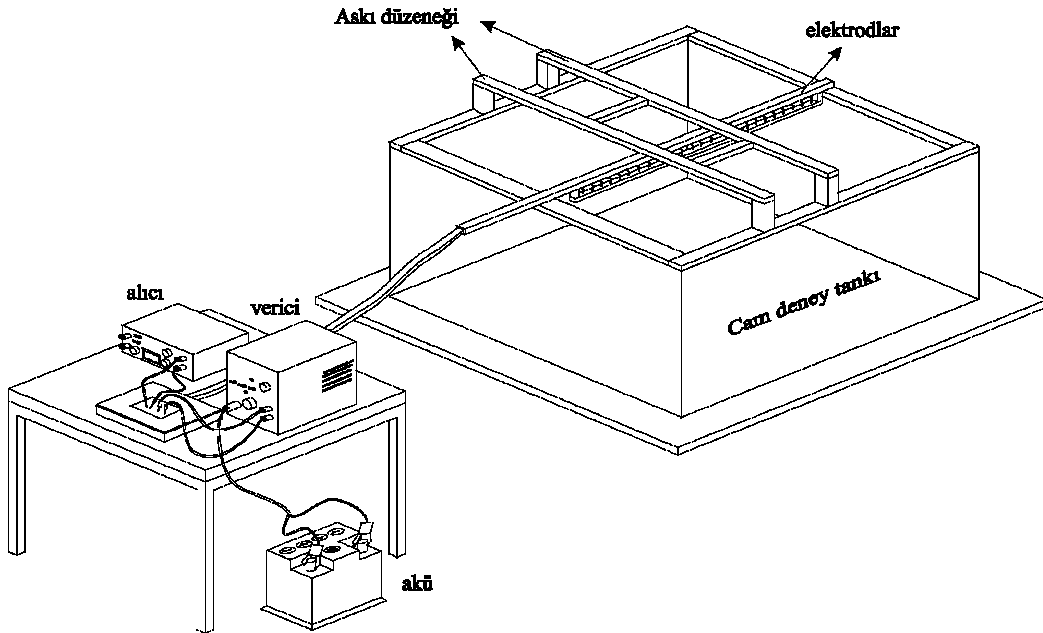
Elektrik özdirenç yönteminde analog modelleme çalışmaları, yorumlamaya temel temin etmek ve elektrod sistemlerinin üstünlüklerini karşılaştırmak amacıyla düzenli olarak yapılagelmiştir. Analog özdirenç ve IP modellemelerinde sadece boyutları (elektrod açıklığı, derinlik ve model boyutları) indirgemek yeterli olmaktadır. Genellikle, ölçümlerden önce modeldeki elektrod açıklığı birim alınarak, tüm boyutlar bu büyüklüğe göre birimlendirilmekte yada normalize edilmektedir. Modelleme ekipmanı olarak literatürdeki

hemen hemen tüm çalışmalarda, içi su veya tuzlu su çözeltisi ile dolu modelleme tankları kullanılmıştır. Alet olarak ise, doğrudan arazide kullanılan aletler kullanılabileceği gibi, bir ayarlı direnç kutusu yardımıyla, doğrudan şehir elektrik şebekesi de akım kaynağı olarak kullanılabilir.

Elektrik özdirenç analog model çalışmaları, ilk olarak Apparao vd. tarafından uygulanmıştır (Apparao vd., 1968). Apparao vd., yaptıkları bu çalışmada, Wenner ve yüzey laterolog dizilimlerini kullanarak, değişik materyallerin, derinlik ve eğim değişimine verdiği özdirenç tepkiyi ortaya koymuşlardır (Apparao vd., 1968). Bu çalışmanın devamı olarak yine Apparao ve Roy, Wenner, yüzey laterolog, unipol ve iki elektrod dizilimleri ile, dayk türü iletken ve yalıtkan yapıların tepkilerini araştırmış ve bu dizilimlerin birbirlerine olan üstünlüklerini tartışmışlardır (Apparao ve Roy, 1970). Ayrıca Singh vd., 1971'de, iletken ve yalıtkan levha türü yapılar üzerinde analog modelleme çalışması yapmışlardır (Singh vd., 1971). 1977'de Apparao, Wenner ve iki elektrod dizilimlerini kullanarak dayk türü yapılar üzerinde uzanım dik (in-line) ve uzanım paralel (broad-side) ölçümler yapmıştır (Apparao, 1977). Son olarak Apparao vd., yalıtkan hedefler üzerinde çeşitli dizilimlerin akım nüfuz derinliklerini analog olarak çalışmışlardır (Apparao vd., 1997).

Görüldüğü üzere, özdirenç analog modelleme çalışmaları, genellikle iletken/yalıtkan dayk türü yapıların modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlardan farklı olarak, Spiegel vd., 10x10x130 cm. boyutlarında içi boş bir hedef kullanarak, tünel şeklindeki gömülü yapıları modellemişlerdir (Spiegel vd., 1980).

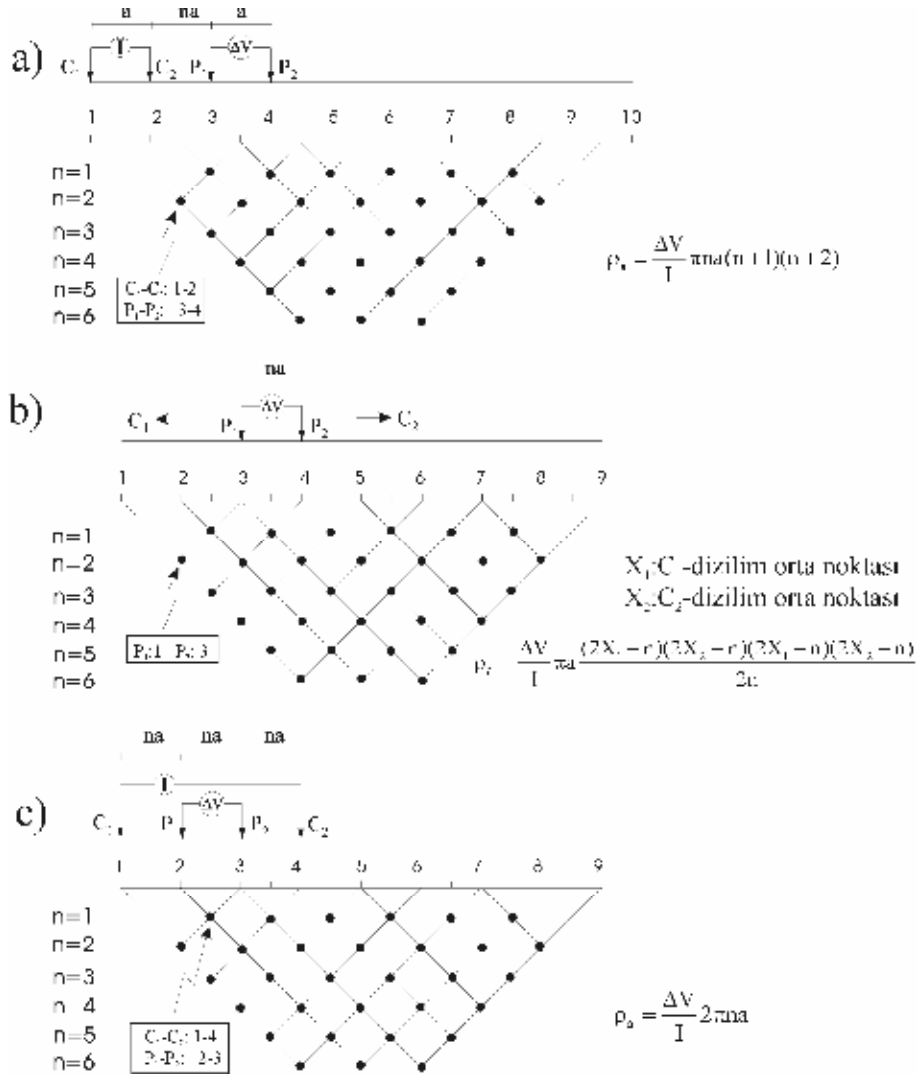
Bu çalışmada da, arazide kullanılacak uygun elektrod dizilimine karar verebilmek için bir analog modelleme çalışması yapılmıştır. Bu modelleme çalışması için kullanılan analog deney tankı Şekil 2'de görülmektedir. 90x87x50 cm boyutlarındaki modelleme tankı camdan imal edilmiş olup, içerisine özdirenç yaklaşık 30  $\Omega$ m olan su doldurularak özdirenç ve frekans ortamı IP modelleme çalışmaları yapılabilmektedir. Tepkisi modellenecek iletken ve/veya yalıtkan hedef, askı düzeneği yardımıyla tanka yerleştirilir ve elektrod çubuğu, modelin üzerinde istenilen bir profile konumlandırılarak istenilen elektrod dizilimi ile ölçümler alınır. Elektrod çubuğu üzerinde, 2 mm çapında alüminyum çubuklardan yapılmış 33 elektrod bulunmakta olup, aralarındaki mesafe sabit ve 1 inç'tir.



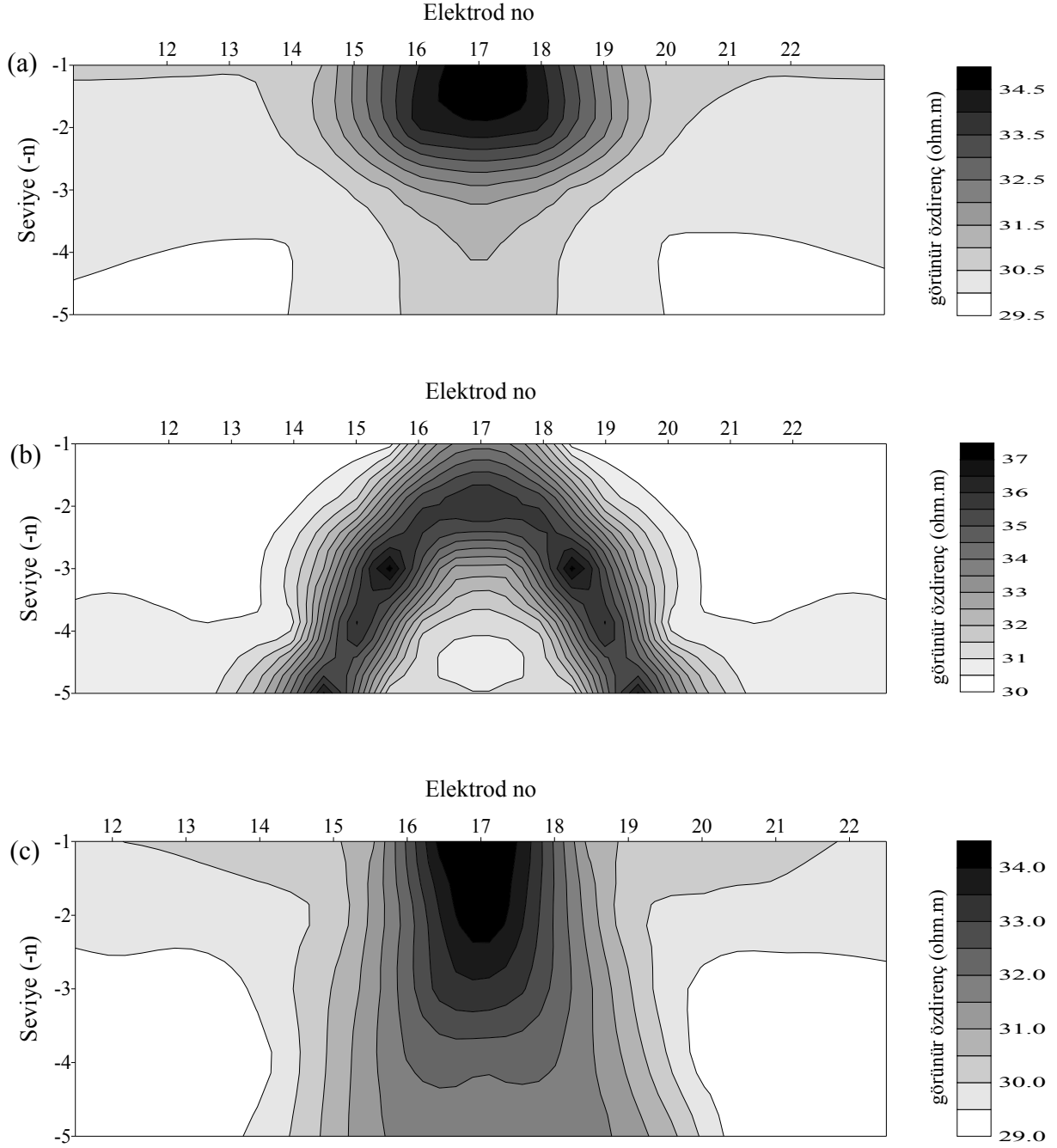
Şekil 2. Özdirenç analog modelleme çalışmasında kullanılan modelleme tankı

Analog modellemeler için de arazide kullanılan özdirenç aleti kullanılmış ve 0.25 Hz düşük frekanslı alternatif akım ile ölçümler alınmıştır. İçerisinde iletken metalik maden atıkları taşıyan, yüksek özdirençli plastik malzemeden imal edilmiş atık borusunu modellemek için, 20 cm uzunluğunda ve 0.7 cm çapında yüksek iletkenliğe sahip alüminyum bir çubuk, yüksek özdirençli plastik materyal ile kaplanmış ve model olarak kullanılmıştır.

Modellemelerde, atık borusu gibi hedeflerin araştırılmasındaki yeteneklerini karşılaştırmak üzere Wenner, dipol-dipol ve gradyent dizilimleri kullanılmıştır. Modellemede kullanılan bu dizilimler, görünür özdirenç ( $\rho_a$ ) bağıntıları ve özdirençlerin hesaplandığı veri noktaları Şekil 3'te verilmiştir. Modellemelerin tümünde derinlik seviyesi katsayısı  $n=5$  'e kadar alınmıştır. Gradyent diziliminde akım elektrodları olarak ilk ve son (1. ve 33.) elektrodlar kullanılmıştır. Dipol-dipol dizilimi için hesaplanan görünür özdirenç ( $\rho_a$ ) değeri, akım ve potansiyel elektrod çiftlerinin orta noktasından çizilen  $45^\circ$ 'lik doğruların kesişim noktasına atanmıştır. Gradyent ve Wenner dizilimi için ise, her iki potansiyel elektrodunun orta noktasına atama yapılmıştır. Elde edilen görünür özdirenç kesitleri, Wenner, dipol-dipol ve gradyent dizilimleri için Şekil 4'te verilmiştir. Tüm analog kesitlerde model hedef, 17. elektrodun altında ve 1 inç derinliktedir.



Şekil 3. (a) Dipol dipol, (b) Gradyent ve (c) Wenner dizilimleri için, birleşik sondaj-profil yönteminin şematik gösterimi ve görünür özdirenç bağıntıları ( $C_1$ - $C_2$  akım,  $P_1$ - $P_2$  potansiyel elektrod çiftini göstermektedir)



Şekil 4. (a) Wenner, (b) Dipol dipol ve (c) Gradyent dizilimleri için, birleşik sondaj-profil yöntemi analog modellemesinden elde edilen görünür öz direnç kesitleri

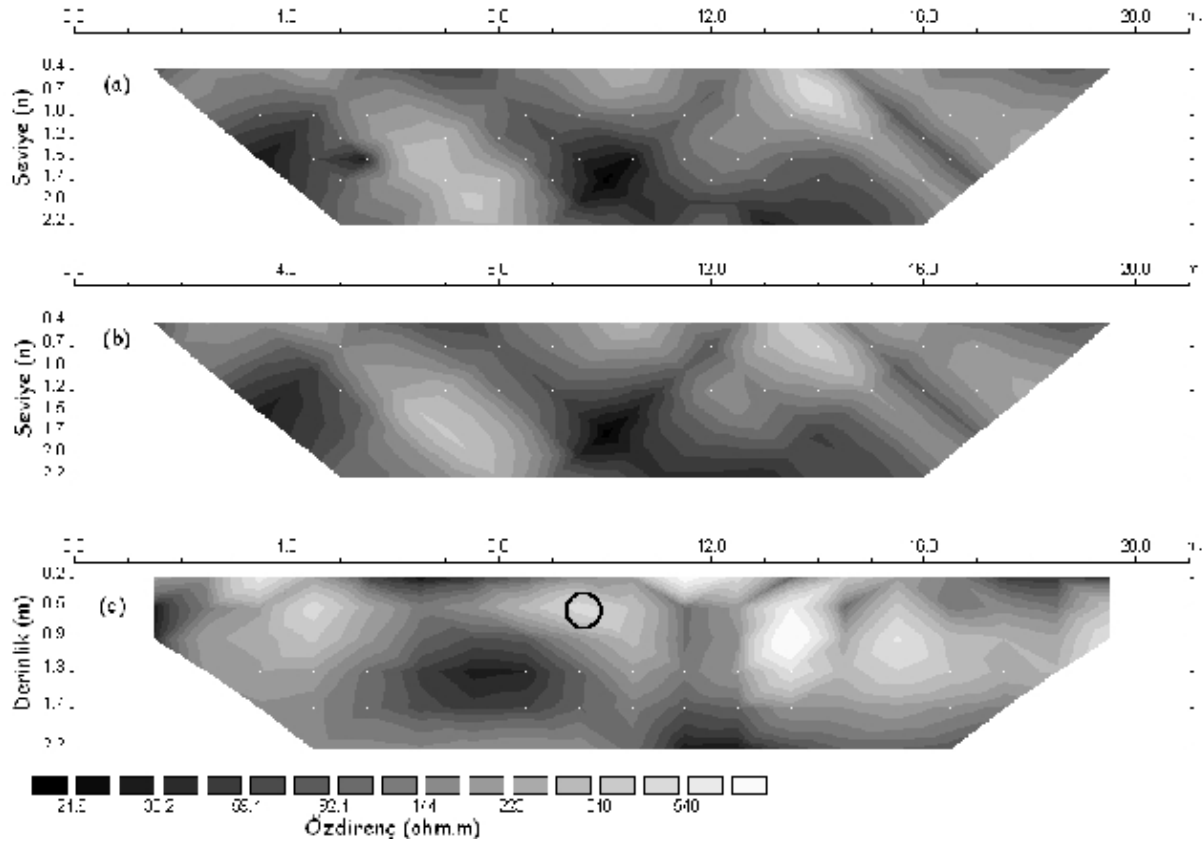
Wenner dizilimi için,  $n$  katsayısı arttıkça dizilimin tüm genişliği de arttığından, büyük  $n$  değerleri için kesit her iki taraftan daralmaktadır. Anomali, modelin kesitine oranla oldukça geniş ve yarı dairesel biçimlidir. Dipol-dipol dizilimi ile elde edilen kesit anomalisi, bu dizilimin küçük düşey kesitli hedeflere verdiği klasik  $\Lambda$  şekilli tepki olup, katsayı  $n$  arttıkça  $\Lambda$  şekilli anomalinin kolları arasındaki uzaklık da artmaktadır. Gradyent dizilimi ile elde edilen kesitlerde, anomali diğer dizilimlere oranla daha dar görünmektedir. Ayrıca anomalinin derinlere doğru uzadığı görülmektedir. Bunun nedeni muhtemelen akım elektrodlarının uzak bir mesafede bulunmasıdır (Dondurur, 1998).

Modelleme sonuçlarına göre, en yüksek genlikli ve yorumlanması göreceli olarak kolay  $\Delta$  şekilli bir anomali verdiği için, arazi çalışmasında dipol-dipol diziliminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte, modelleme sonuçlarının homojen ve izotrop ortamlar için geçerli olduğu ve araziden elde edilecek anomalilerde farklılıklar olabileceği unutulmamalıdır.

#### 4. ARAZİ ve MODELLEME ÇALIŞMALARI

Atık taşıyan boru hattının, karışım tankının batı kısmında uzandığı bilinmektedir ve bu nedenle çalışma, bu bölgedeki 28x30 m'lik alanda yapılmıştır. Bu alanda, KD-GB yönlü 4 görünür öz direnç profili üzerinde ölçümler yapılmış olup, 1. ve 2. ölçü profilleri sırasıyla 19.5 ve 20.5 m, 3. ve 4. ölçü profilleri ise 21.5 m uzunluğundadır. Ölçümler, profiller üzerinde GB-KD doğrultusunda yapılmıştır. Yaklaşık 50 cm çapındaki ve derinliğine oranla düşey kesiti oldukça küçük olan boru hattının anomalisini yakalayabilmek için, elektrod ve istasyon ara mesafeleri 1 m alınarak yüksek ayrırlılığa sahip görünür öz direnç kesitleri elde edilmiştir. Doğru akım yerine 0.25 Hz düşük frekanslı alternatif akım kullanılarak, aynı çelik elektrodların hem akım ve hem de potansiyel elektrodları olarak kullanılması mümkün olmuş ve ayrıca doğal gerilim (SP) etkisi giderilmiştir.

Profil 1 için elde edilen dipol-dipol görünür öz direnç kesitleri, ters çözüm sonuçları ile birlikte Şekil 5'te verilmiştir. Ölçülen (Şekil 5a) ve hesaplanan (Şekil 5b) görünür öz direnç kesitleri birbiri ile oldukça uyumludur. Ters çözüm sonucunda elde edilen yer altı öz direnç dağılımında (Şekil 5c),  $x=9.5$  m civarında ve  $z=0.7$  m derinlikteki kapanım, atık su borusunun olası düşey kesiti olarak yorumlanmıştır. Kesitin derin kısımlarında deniz suyunun girişim etkisi oldukça düşük öz direnç değerleri (25-50  $\Omega$ m) ile karşımıza çıkmaktadır.

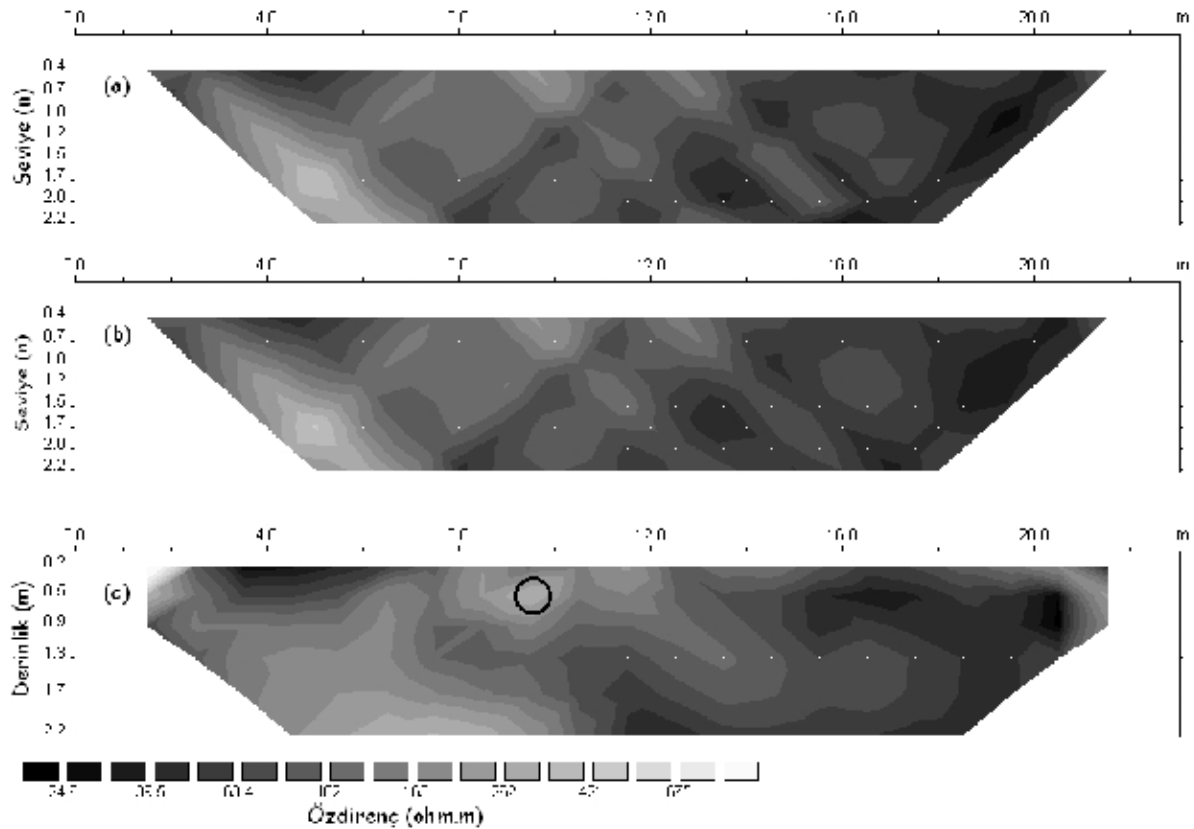


Şekil 5. Profil 1 için (a) ölçülen, (b) hesaplanan görünür öz direnç kesiti ve (c) ters çözüm sonucu elde edilen öz direnç derinlik kesiti (Atık borusunun olası kesiti daire ile işaretlenmiştir)

Şekil 6'da Profil 2 için elde edilen ölçülen, hesaplanan ve yer altı özdirenç derinlik kesitleri verilmiştir. Yüksek özdirençli atık borusunun anomalisi olarak yorumlanabilecek belirgin kapanım yine  $x=9.5$  m civarında ve  $z=0.65$  m derinlikte gözlenmekte olup, borunun olası kesiti daire ile işaretlenmiştir (Şekil 6c).

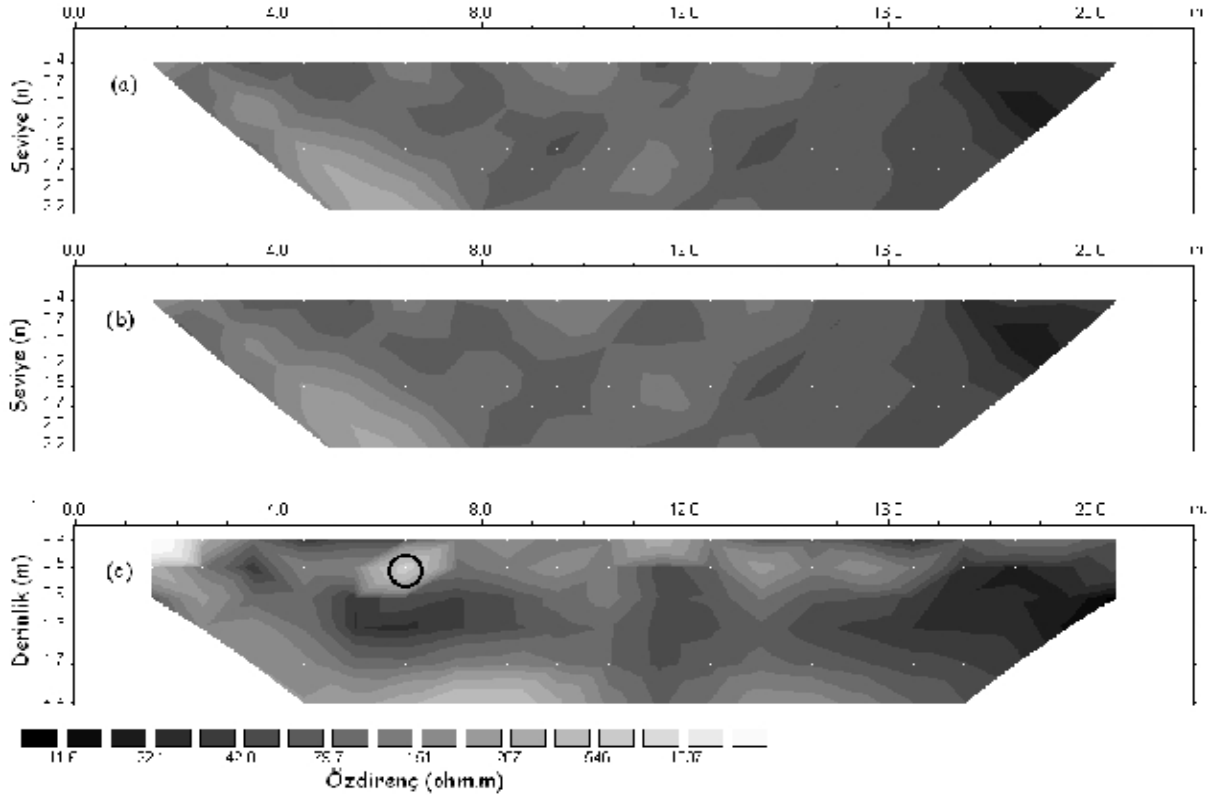
Profil 3'ten elde edilen görünür özdirenç kesitleri ve ters çözüm sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Bu kesit üzerinde boru hattının anomalisi oldukça belirgindir ve boru hattı  $x=6.5$  m'den geçmekte ve  $z=0.7$  m derinlikte uzanmaktadır (Şekil 7c). Profil 3 üzerindeki boru hattının anomalisi, çevre birimlerin anomalilerini kesmekte ve oldukça yüksek özdirençli belirgin bir yerel kapanım meydana getirmektedir. Bu profil üzerinde  $x=11-16$  m arasında yüzeye yakın bölgelerde gözlenen yüksek özdirençli küçük kapanımların, yüzeysel çeşitliliklere neden olan mağmatik kayaç bloklarından ileri geldiği düşünülmektedir. Ayrıca  $x=17$  m'den sonra gözlenen düşük özdirençli zon, kesitin denize yakın olan bu kısmına olan deniz suyu girişimi olarak yorumlanmıştır.

Profil 4'ün özdirenç kesiti ve ters çözüm sonuçları ise Şekil 8'de verilmiştir. Bu profilin ters çözüm kesitinde, yüksek özdirençli bir mağmatik kayaç kütesinden ileri geldiği düşünülen geniş bir bozucu etki nedeniyle, boru hattının olası uzanımını gözlemek oldukça zordur (Şekil 8c). Ancak, diğer profiller üzerinden elde edilen anomalilere göre, boru hattı yaklaşık  $z=0.7$  m derinlikte uzanmakta olup, bu profil üzerinde  $x=9.4$  m civarındaki yüksek özdirençli ve yüzeye yakın (yaklaşık  $z=0.8$  m derinlikte) anomali, hedef anomali olarak yorumlanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan özdirenç kesitlerinde, bu mesafelerde gözlenen yüksek özdirençli kapanım da bu yorumu desteklemektedir (sırasıyla Şekil 8a ve 8b). Denize en yakın profil olan Profil 4'te, deniz suyu etkisi nedeniyle, yer altı özdirenç değerleri göreceli olarak daha düşüktür.

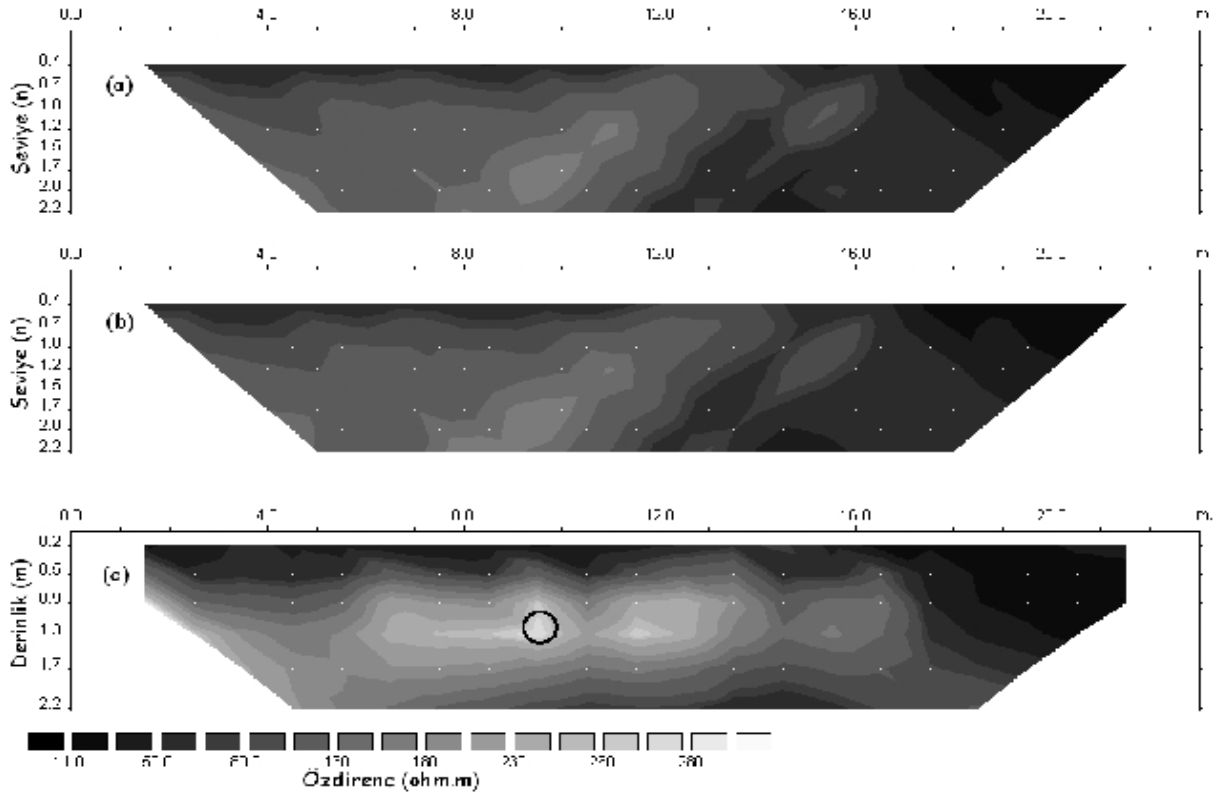


Şekil 6. Profil 2 için (a) ölçülen, (b) hesaplanan görünür özdirenç kesiti ve (c) ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç derinlik kesiti (Atık borusunun olası kesiti daire ile işaretlenmiştir)



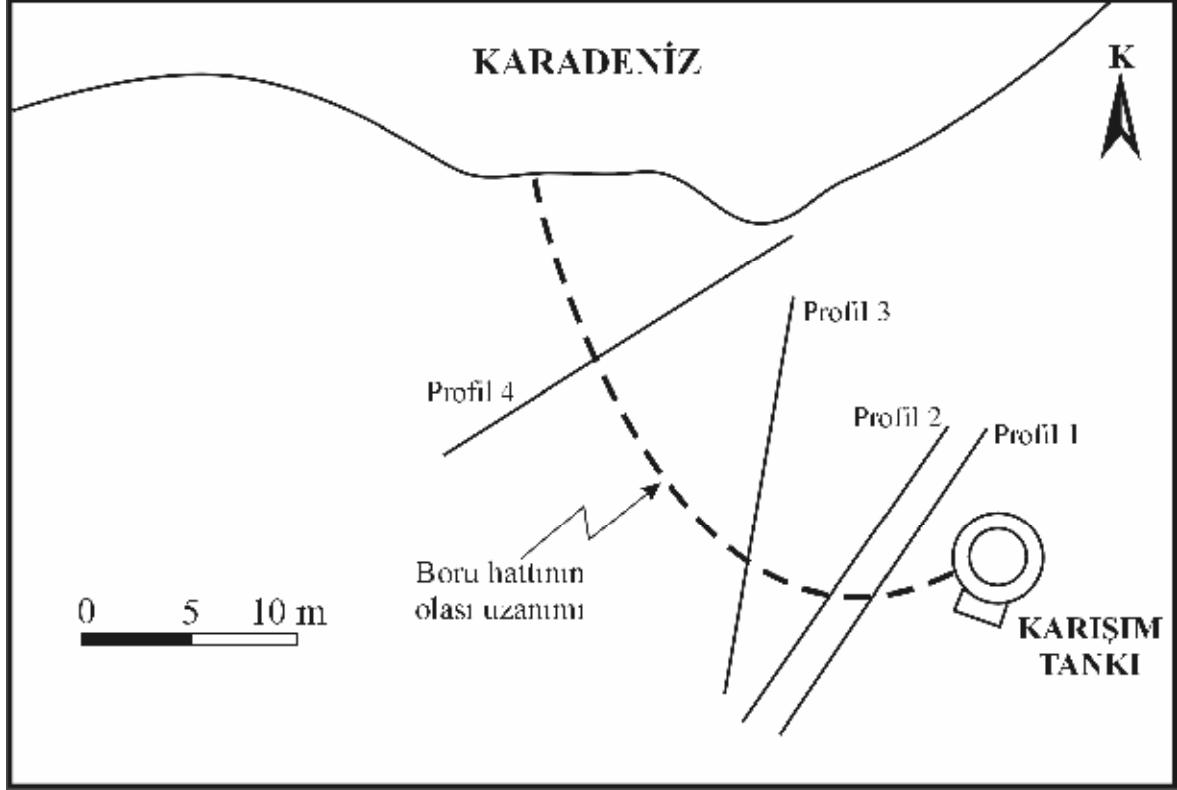


Şekil 7. Profil 3 için (a) ölçülen, (b) hesaplanan görünür öz direnç kesiti ve (c) ters çözüm sonucu elde edilen öz direnç derinlik kesiti (Atık borusunun olası kesiti daire ile işaretlenmiştir)



Şekil 8. Profil 4 için (a) ölçülen, (b) hesaplanan görünür öz direnç kesiti ve (c) ters çözüm sonucu elde edilen öz direnç derinlik kesiti (Atık borusunun olası kesiti daire ile işaretlenmiştir)

Ters çözüm sonucu elde edilen yer altı öz direnç kesitlerine göre, boru hattı, Profil 1 ve Profil 2'de  $x=9.5$  m, Profil 3'te  $x=6.5$  m ve Profil 4'te  $x=9.4$  m mesafelerinden geçmektedir. Bu veriler ışığında, boru hattının karışım tankından denize kadar olası uzanımı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Metal atık taşıyan boru hattının, dipol-dipol görünür öz direnç kesitlerinin ters çözümünden elde edilen olası uzanımı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, metalik maden atığı taşıyan boru hattının uzanımı, elektrik öz direnç yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Arazi çalışmasından önce, içinde iletken maden atığı taşıyan yüksek öz dirence sahip dairesel düşey kesitli hedefin, klasik öz direnç anomalisinin şeklini ve genliğini görmek amacıyla, bir dizi analog tank modelleme çalışması yapılmış ve hangi dizilimin kullanılacağına karar verilmiştir. Analog modellemelere göre, Wenner dizilimi için anomali, modelin kesitine oranla oldukça geniş ve yarı dairesel biçimlidir. Dipol-dipol dizilimi ile elde edilen kesit, bu dizilimin lokal hedeflere verdiği klasik  $\Lambda$  şekilli tepki olup, katsayı  $n$  arttıkça  $\Lambda$  şekilli anomalinin kolları arasındaki uzaklık da artmaktadır. Gradyent dizilimi ile elde edilen kesitlerde, anomali diğer dizilimlere oranla daha dar olup, derinlere doğru uzanmaktadır. Modelleme yapılan dizilimlerde, en yüksek genlikli anomali dipol-dipol dizilimi ile elde edilmiştir.

Arazide elde edilen kesitlerde, atık taşıyan boru hattının anomalisi oldukça belirgindir. Derinliğine oranla kesiti oldukça küçük olan boru hattı, elektrod ara mesafesi 1 m alınarak, yaklaşık  $n=6$  seviyesinde yakalanabilmiştir. Uygulanan en küçük kareler ters çözümü ile yeraltının iki boyutlu öz direnç dağılımı ortaya konulmuştur. Ters çözüm sonucu, boru hattının uzanımı her bir profil için sırasıyla  $x=9.5$  m,  $9.5$  m,  $6.5$  m ve  $9.4$  m olarak bulunmuştur.

Ters çözüm öz direnç kesitinden elde edilen derinlik bilgisinden, boru hattının uzanım derinliğinin yaklaşık 0.7 m olduğu görülmektedir. Gerekli durumlarda, hedefin konumu belirlendikten sonra, düşey elektrik sondaj (VES) verileri yardımıyla da hedefin derinliğinin saptanması yoluna gidilebilir.

Çalışma alanındaki alüvyon malzemenin hesaplanan öz direnci, yüksek öz dirençli magmatik kayaç blokları nedeniyle 40-600  $\Omega$ m arasında değerler almaktadır. Bu kayaç bloklarının etkisi, hemen hemen tüm kesitlerde, yüksek öz dirençli küçük kapanımlar şeklinde kendini göstermektedir. Deniz suyunun girişim etkisi, özellikle denize daha yakın olan profiller üzerinde (Profil 3'ün kuzey kısımları ve Profil 4'ün tamamı) kendini göstererek, öz direnç değerlerinde anormal düşüşlere neden olmuştur.

Elektrik öz direnç birleşik sondaj-profil tekniği, sığ derinliklerde gömülü ve oldukça küçük kesit alanlı hedeflerin ortaya çıkarılmasında başarıyla uygulanmıştır. Bu tür yapıların aranmasında, dipol-dipol dizilimi, oldukça yüksek genlikli ve yorumu göreceli olarak kolay anomaliler vermiştir. Ancak, öz direnç yöntemi ile bu tür hedeflerin aranmasında, yüksek ayrırlılığa sahip kesitler elde edilebilmesi için, elektrod açıklığı ve istasyon aralığının mümkün olduğunca küçük seçilmesine dikkat edilmelidir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın projelendirilmesini sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölüm eski başkanı Doç.Dr.Kenan GELİŞLİ'ye, veri toplama aşamasındaki katkılarından dolayı Yrd.Doç.Dr.Hakan KARSLI ve Yrd.Doç.Dr.Ali AYDIN'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Apparao A. (1977): "Model Tank Experiments on Resolution of Resistivity Anomalies Obtained Over Buried Conducting Dykes-Inline and Broadside Profiling", Geophysical Prospecting, V.2, pp. 835-847.
- Apparao A., Roy A. (1970): "Resistivity Model Experiments 2", Geoexploration, V.9, pp. 195-205.
- Apparao A., Sastry R.S., Sarma V.S. (1997): "Depth of Detection of Buried Resistive Targets with Some Electrode Arrays in Electrical Prospecting", Geophysical Prospecting, V. 45, pp. 365-375.
- Apparao A., Roy A., Mallick K. (1968): "Resistivity Model Experiments", Geoexploration, V.7, pp. 45-54.
- Buselli G., Barker C., Davis G.B., Salama R.B. (1992): "Detection of Groundwater Contamination Near Waste Disposal Sites with TDEM and Electrical Methods", Geotechnical and Environmental Geophysics, V. 2, pp. 27-39.
- Cayhyna F., Mazac O., Venhodova D. (1992): "Determination of the Extend of Cyanide Contamination by Surface Electrical Methods", Geotechnical and Environmental Geophysics, V. 2, pp. 97-100.
- Corwin R.F. (1992): "The Self Potential Method for Environmental and Engineering Applications", Geotechnical and Environmental Geophysics, V.1, pp. 127-146.
- Dondurur D. (1998): "Gömülü Metal Boru ve Kablo Türü İletkenlerin Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Ortaya Çıkarılması (Analog Modelleme Çalışmaları)", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Guiging Z., Yanzhong L. (1992): "The Application of IP and Resistivity Methods to Detect Underground Metal Pipes and Cables", *Geotechnical and Environmental Geophysics*, V. 3, pp. 239-248.
- Loke M.H. (1998): "RES2DINV, Rapid 2D Resistivity and IP Inversion Using the Least-Squares Method", User Manual: Austin Tex., Advanced Geosciences, Inc., 66 p.
- Ross H.P., Mackelprong C.E., Wright P.M. (1992): "Dipole-dipole Electrical Resistivity Surveys at Waste Disposal Sites in Northern Utah", *Geotechnical and Environmental Geophysics*, V. 2, pp. 145-152.
- Singh J., Jha B.P., Gupta R.P. (1971): "Model Tank Experiments for Resistivity Measurements on Non-Conducting and Conducting Sheets", *Pure and Applied Geophysics*, V. 85, pp. 90-106.
- Spiegel R.J., Sturdivant V.R., Owen T.E. (1980): "Modeling Resistivity Anomalies from Localized Voids under Irregular Terrain", *Geophysics*, V. 45, pp. 749-760.