



Dolgu alanlarda özdirenç ters-çözüm modellemesi ve eski bir atık dolgu alanına uygulanması

Resistivity inverse modelling in landfill sites and its application in an old waste landfill site

Mahmut G. DRAHOR^{1,2}, Meriç A. BERGE², T. Özgür KURTULMUŞ¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Sığ Jeofizik ve Arkeolojik Prospeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi (SAMER), Tınaztepe Yerleşkesi, 35160 Buca, İZMİR

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35160 Buca, İZMİR

Geliş (*received*) : 17 Ağustos (*August*) 2006

Kabul (*accepted*) : 20 Kasım (*November*) 2006

ÖZ

Dolgu alanlardan kaynaklanan sorunlar, çevresel araştırmalarda önemli bir etkidir. Özellikle kentlerin yakınlarında bulunan eski ve yeni çöplük sahaları büyük sorunlar üretebilir. Bu aşamada çöp sahası ve çevresindeki jeolojik özellikler oldukça önemlidir. Jeofizik araştırmalar, kirletilmiş alanlardaki değişik sorunları belirlemede yaygın olarak uygulanmaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi, bu tür alanlardaki değişik sorunların belirlenmesinde çok yararlı olup, yöntem atık ve dolgu alan araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, atık ve dolgu alanlarda elektrik özdirenç ters-çözüm yönteminin yararlılığını incelemek amacıyla, iki-boyutlu yapay ve arazi verileri kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmıştır. Yapay veriler, değişik dolgu ortamlarını benzeştirmek için üç farklı benzetim modeli kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplamalarda, özdirenç yönteminin dört temel dizilimi (Wenner, Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol) kullanılmıştır. Yapay benzetim çalışmaları, gömülü yapılar arasındaki özdirenç zıtlıkları çok yüksek ve yapılar yüzeye yakın konumda bulunuyorlarsa, derindeki dirençli ve/ya da iletken katmanların belirlenmesinin hemen hemen olanaksız olduğunu göstermiştir. Ayrıca benzetim çalışmaları, yapı boyutlarının da önemli olduğunu ve yapı boyutlarındaki azalmanın da yapıların saptanmasını azalttığını ortaya çıkarmıştır. Sonraki aşamada, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi alanında bulunan eski bir atık sahası üzerinde iki-boyutlu özdirenç çalışması yapılmıştır. Özdirenç verisi, üç ayrı hat üzerinden elde edilmiş ve iki-boyutlu özdirenç ters-çözüm yöntemi kullanılarak yorumlanmıştır. Özdirenç ters-çözüm çalışmaları, çöplükteki atıkların genelde 10 ile 15 m derinliğe değin uzandığını ve elektriksel değerlerindeki hızlı değişimlere göre alanın bu bölümünde farklı atık hücreleri ya da katmanlarının bulunduğunu göstermiştir. Böylece kullanılan yöntemin alan çalışmalarında da yararlı sonuçlar ürettiği belirtilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Dolgu alanlar, özdirenç, ters-çözüm modellemesi.

ABSTRACT

The problems originating from the landfill sites are an important factor in environmental research projects. Particularly, the important problems may arise from the old and new waste sites that are settled close to the cities, and the geological properties of the waste site and its environs are also of great importance. Geophysical surveys are commonly implemented in order to clarify a variety of problems in wasted sites. The electrical resistivity method is very useful to detect various problems in these sites, and is frequently used in waste and landfill site investigations. In this study, to examine the usefulness of the electrical resistivity inversion method in waste and landfill sites, modelling studies were carried out using synthetic and field 2-D resistivity data. The synthetic data were obtained using three different simulation models to simulate the various landfill environments, and the calculations were performed

M. G. Drahor

E-mail: goktug.drahor@deu.edu.tr

using the four basic configurations (Wenner, Schlumberger, dipole-dipole, pole-pole) of the resistivity method. Synthetic simulation studies showed that if the resistivity contrasts between the buried structures are very high and they are very close to the surface, the determination of resistive and/or conductive strata is almost impossible. In addition, these simulation studies revealed that the dimensions of structures are also important and reduction in the structure dimensions decreased their determination. In the subsequent stage, the 2-D resistivity study was carried out in an old waste site at the Tinaztepe Campus of Dokuz Eylül University. Resistivity data were obtained from three lines, and then interpreted using the 2-D resistivity inversion method. Resistivity inversion studies showed that the wastes in this landfill site are generally extended to depths of 10 and 15 m, and the different waste cells or strata in this part of the area should be found according to rapid changes in their electrical values. Thus, it would appear that the method used can produce useful results in field studies.

Key Words: Landfill sites, resistivity, inverse modeling.

GİRİŞ

Çevresel sorunlar, 20. yüzyılın başından bu yana gittikçe artan bir ivme ile günümüzde önemli ve mutlaka önlem alınması gerekli bir duruma ulaşmıştır. Bu sorunlar arasında en önemlilerinden biri de, türlü atıkların depolandığı dolgu alanlarıdır ve bu tür alanlar belirli bir amaç doğrultusunda doldurulan dolgular hariç (nükleer atık, inşaat malzemeleri, eski askeri atıklar vb.), genelde çöplük sorunları olarak ortaya çıkar. Çöplükler, değişik fiziksel ve kimyasal özelliklerde birbirinden oldukça farklı malzemelerin genelde düzensiz bir biçimde belirli bir sahaya doldurulduğu alanlardır. Özellikle günümüz dünyasında nüfusun çoğunluğunun kentlerde ya da kentlere yakın alanlarda yerleştiği düşünüldüğünde, bu alanların çevresinde yapılacak kentsel atık depolamasının son derece önemli bir sorun olduğu bir gerçektir. Bu tür alanlarda yapılan, ya da yapılacak rasgele çöp depolama işlemleri önemli çevresel sorunlara yol açar. Bu nedenle depolama yapılacak alanın yer seçimi son derece önemlidir ve özellikle ortamın jeolojik özelliklerinin çevresel sorunların oluşumunda önemli bir payı bulunmaktadır.

Atıklar, niteliği gereği, çok farklı özellik ve çeşitlilikteki toprak üzerine ya da içine depolanmış katı ya da sıvı kalıntılardan oluşur. Bu tür kalıntılar, organik ya da organik olmayan biçimde sınıflanabilir ve organik maddeler daha kısa bir süre içinde ayrışmaya uğrarlar. Atık alanı, yoğun organik içerikteki evsel atıklar dışında kağıt, plastik, tekstil, kimyasal ve petrol yan ürünü gibi yanabilen ya da cam, metal, küller gibi yanmayan birçok değişik malzemenin kompozit bir biçimde uygun bir alana depolanmasıyla oluşur. Organik ve organik olmayan malzemelerin bir arada de-

polanacağı yerler için uygun depolama alanlarının seçimi son derece önemlidir. Bu tür yerlere atık yapılmadan önce, atığın yapılacağı sahanın meteorolojik, topoğrafik, jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşır. Bu nedenle, böylesi karmaşık bir malzemenin depolanacağı alan son derece ayrıntılı bir incelemeye tabi tutulmalıdır. Bu incelemeler içinde atığın depolanacağı alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri oldukça ayrıntılı incelenmelidir. Öncelikle, atık yapılacak bir alanın içilebilir su kaynaklarından uzak tutulması gereklidir. Ayrıca belirli bir eğimdeki alanlarda taşkın ve erozyona bağlı olgular da iyi araştırılmalı ve özellikle alan içinde 100 yıllık geri dönüş sıklığındaki taşkın olgusu iyi incelenmelidir. Böylece bu tür sahalarda yeraltısuyu düzeyindeki iklimsel değişimlerden başlayarak, atık depolanacak alandaki uygun jeolojik birimin derinliği, karşılaşılan en sığ yeraltısuyu seviyesi gibi birçok özelliğinin birarada araştırılması gereklidir.

Katı atık depolanan bir alandaki zamansal geçmiş de son derece önemlidir ve atıkların yığıldığı alanlar zamansal geçmişlerine bağlı olarak güncelliğini yitirmiş eski sahalara, ya da eski olmasına karşın halen atık depolanan sahalara olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu tür alanlardaki çöp dolgularının değişik fiziksel özellikleri ile atıklardan çevreye sızan kirletici nitelikteki sızıntıların belirlenmesinde, son 30 yıldan bu yana jeofizik yöntemlerden gittikçe artan bir yoğunlukta yararlanılmaktadır. Bu nedenle, bu tür alanlarda yapılan araştırmalar günümüzde "çevre jeofiziği" olarak adlandırılmakta ve jeofiziğin içinde ayrı bir disiplin olarak varlığını sürdürmektedir. Bu alanda yapılan jeofizik araştırmalarda, atıkların çok farklı fiziksel özellikler taşımasından dolayı, jeofizik yöntemlerin hemen hemen tümü kullanıl-

makta ya da uygulanmaktadır (Hinze, 1990; Carpenter vd., 1991; Peters vd., 1994; Cardarelli ve Bernabini, 1996; Benson vd., 1997; Aristodemou ve Thomas-Betts, 2000; Karlık ve Kaya, 2001; Splajt vd., 2003). Özellikle bu tür alanlardaki atıkların elektriksel iletkenlik özelliklerinin son derece değişken olması nedeniyle, elektrik-elektromanyetik yöntemler böylesi sorunların belirlenmesinde büyük önem taşımakta ve uygulama yaygınlığı da her geçen gün gittikçe artmaktadır (Barker, 1990; Bernstone vd., 2000; Meju, 2000; Ahmed ve Sulaiman, 2001; Buselli ve Lu, 2001). Son 20 yılda tomografik tekniklerin gelişmesi, bu tekniklerin bu tür alanlarda yoğun olarak kullanılmasını sağlamıştır. Genelde elektrik özdirenç yöntemi daha yorumsal sonuçlar sunmaktadır ve tomografik anlamdaki uygulamalarla da yeraltında gömülü durumdaki değişik atık hücrelerinin yerleri ve derinlikleri kolayca belirlenebilmektedir (Barker, 1992; Dahlin, 1996; Bernstone ve Dahlin, 1999; Chambers vd., 2002; Ogilvy vd., 2002).

Bu çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi'nin Tınaztepe Yerleşkesi'nde bulunan ve Buca Belediyesi'ne ait eski bir çöplük alanında yapılan elektrik özdirenç ters-çözüm çalışması sunulmaktadır. Bu çalışma, çöplük alanlarında karşılaşılabilecek atık hücrelerini belirleme amacını taşıdığından, ilk aşamada bunları tanımlayabilecek üç ayrı yapay model oluşturulmuş ve modellere uygulanan ters-çözüm yardımıyla bu tür ortamların elektrik özdirenç yöntemiyle belirlenebilirlikleri irdelenmiştir. İkinci aşamada, aynı sahada üç ayrı hattan elde edilen iki-boyutlu elektrik özdirenç verileri ters-çözüm yöntemiyle değerlendirilmiş ve alandaki çöp dolgularının belirlenebilirlikleri araştırılmıştır.

ÇÖP DEPOLAMA ALANLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE JEOFİZİKSEL YAKLAŞIM

Kentsel çöp depolama alanlarındaki atıkların bileşenleri, zamana ve buldukları konumlara göre önemli farklılıklar sunar. Doldurma sonrası başlayan mekanik ayrışma iklimsel koşullara bağlı etkilerle (kar, yağmur vb) birlikte ayrışma sürecini hızlandırarak, çöplük alanının oturmasında etkili bir durumdur. Çoğunlukla oturmalar nedeniyle ortaya çıkan çatlak ve yarılmalar, iklimsel koşullarında etkisiyle erozyon oluşumuna neden olur. Çöplük alanlarındaki ayrışma fizi-

kokimyasal ve biyolojik süreçlerin sonucunda ortaya çıkar. Böylece ortamda oksidasyon ve hidrasyon süreciyle başlayan ayrışma, biyolojik süreçle de hızlanarak, atık maddelerin çözünmesine ve böylece ortamda sızıntının ve bir gaz kuşağının oluşumuna neden olur. Bu süreç içinde yoğun oksijen içeren yüzeye yakın katmanlarda aerobik koşulların etkisiyle bir ayrışma sürerken, derindeki oksijence zayıf katmanlarda anaerobik bir ayrışma olgusu ortaya çıkar. Bu durum, ortamda farklı fiziksel katmanların oluşmasına neden olmaktadır. Böylece ortamda, gözenekliliğin de etkisiyle, bir sızıntı göçü başlar ve bu göç bir anyon-kasyon değişimiyle birlikte alt katmanlarda jeokimyasal bir ayrışma sürecinin gelişmesine neden olur (Meju, 2000).

Çöplük alanlarının genel bileşenleri ülkeler bazında düşünüldüğünde önemli farklılıklar sunmaktadır. Bu konuda araştırma yapan Meju (2000), altı ayrı ülkedeki kent çöplüklerinin malzeme içeriklerini inceleyerek aralarında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 1). Bunların içinde besin ve bahçe atıkları gibi organik içeriği yüksek malzemelere rastlanma yüzdesi New York (ABD), Osaka (Japonya) ve Zagreb (Hırvatistan) çöplüklerinde yaklaşık olarak %20 iken, Maruelo (İspanya), Ankara (Türkiye) ve Pekin (Çin) çöplüklerinde bu oran %50'ler civarındadır. Çizelge 1'de kağıt atıkların oranı New York çöplüğünde %59 iken, bu oran Pekin'de %5'dir. Metal ve cam oranı New York ve Osaka'da diğer çöplüklerden daha yüksektir. Bu çizelgedeki en ilginç iki ayrı olgu ise, %32.4 ile Ankara çöplüğündeki kül miktarı ve %28.2 ile Zagreb çöplüğünde karşılaşılan inşaat molozu yüzdesidir. Bu durum, çöplüklerin açıkça ülkelerin ekonomik ve toplumsal süreçleri ile doğrudan bir ilişkisi olduğunu ortaya koymaktadır (Meju, 2000). Ayrıca çöp depolama alanları; buldukları jeolojik yapı ve toprak koşullarına, boyutlarına, kapatılma şekli ve tarihlerine göre de değişik potansiyel özelliklere sahiptirler. Böylece aynı fiziksel özelliklerdeki atıklar, farklı alanlar ve fiziksel koşullar altında değişik potansiyel tepkiler gösterebilirler.

Çöplük alanlarının son derece farklı bileşenlerinin olması, alanda kullanılacak jeofizik yöntemlerin başarısını da doğrudan etkiler. Örneğin yoğun metal ve kül atıklarının olduğu sahalarda manyetik yöntem yorumlanabilir sonuçlar üretilebilirken, sızıntının olduğu durumlarda elektrik-

Çizelge 1. Dünya üzerinde altı ayrı çöp depolama alanından elde edilen malzemelerin (ağırlık yüzdesine göre) bileşenleri (Meju, 2000'den alınmıştır).

Table 1. The compositions (percentage by weight) of the materials obtained from six different waste landfill sites in the world (after Meju, 2000).

Malzemeler	New York (ABD)	Osaka (Japonya)	Zagrep (Hırvatistan)	Meruelo (İspanya)	Ankara (Türkiye)	Pekin (Çin)
Besin ve bahçe organik atıkları	19.3	17.7	23.3	52.0	50.8	45
Kağıt, gazete	58.8	37.1	20.5	21.9	8.9	5
Metal	7.6	5.5	2.4	3.2	1.2	1
Cam	8.6	12.3	7.3	4.1	1.4	1
Ağaç	2.5	2.5	1.1	2.4	-	-
Tekstil ürünleri	0.8	4.0	3.8	-	1.4	-
Kauçuk, deri	0.8	0.3	2.6	-	-	1
Plastik	0.8	15.2	10.8	8.3	2.1	1
Kül	-	-	-	1.4	32.4	-
İnşaat molozu	-	-	28.2	-	1.8	-
Diğer atıklar	-	-	-	6.7	-	46

elektromanyetik yöntemler daha uygun sonuçlar üretebilecektir. Yukarıda belirtilen çöplük yüzde-leri de göz önüne alındığında, genelde elektrik özdirenç yönteminin bu tür alanların belirlenmesinde etkili sonuçlar vereceği burada belirtilmelidir. Özellikle jeolojik ortam, kayalık ve toprak türü, bu ortamlardaki iyon derişimi ve doygunluk derecesi, gözeneklilik, tuzluluk, tane boyu ve gözenekler arasındaki sıvı sıcaklığına bağlı olarak değişim gösteren özdirenç yöntemi, çöplük araştırmalarında genelde birincil yöntemdir. Belirtilen bu değişiklikler ortamdaki elektrik özdirenç değişimini denetleyen ana etkenlerdir ve böylece özdirenç yöntemiyle ortamın su içeriği ve su göçü belirlenebilmekte, ayrıca ortama sızan kirletici akışkan zamansal boyutta incelenebilmektedir. Örneğin; ağır metal içeren bir sızıntı göçü olduğunda, kirlenme oranına bağlı olarak, ortamdaki özdirenç değişimi önemli farklar gösterecektir. Bu nedenle bu tür sızıntı göçleri ve etkisi, sızıntı öncesi ve sonrasında yapılacak düzenli özdirenç ölçümleri yoluyla belirlenebilmekte ve böylece ortamın zamana bağlı olarak gösterdiği özdirenç değişimleri saptanabilmektedir.

DOLGU ALANLAR İÇİN TASARIMLANMIŞ ÜÇ FARKLI YAPAY BENZETİM MODELİ VE ÖZDİRENÇ TERS-ÇÖZÜMÜ

Özdirenç çalışmalarında ters-çözüm, aranan yeraltı özelliklerinin belirlenmesi ve etkili yorum

yapılabilmesi açısından önemli bir değerlendirme yöntemidir. Ters-çözüm uygulamaları başlangıçta bir-boyutlu yapıların belirlenmesine yönelik olarak Düşey Elektrik Sondaj (DES) uygulamalarında yaygın bir biçimde kullanılmıştır. 1990'lı yıllarda ise, yöntemin iki- ve üç- boyutlu uygulamaları ile ilgili gerekli kuramsal çalışmalar yapılmış ve izleyen süreçte de yöntemlerin uygulamadaki etkinliği hızla artmaya başlamıştır. İki- ve üç-boyutlu çalışmalar özellikle arkeoloji, mühendislik, çevre, hidrojeoloji ve sığ amaçlı diğer tüm uygulamalarda etkili ve başarılı bir biçimde kullanılmaktadır (Drahor vd., 2005). Özdirenç çalışmaları sırasında araziden elde edilen değer görünür özdirenç olduğundan, ortamdaki özdirenç zıtlığı, dizilim geometrisi ve derinlik gibi parametrelerin bu değer belirlenmesinde büyük bir etkisi olup, bu durum doğrudan ortamın elektriksel yeraltı modelinin doğru halini yansıtmaz. Başka bir deyişle, ilişkili parametrelere bağlı olarak ortaya çıkan görünür değişimi yansıtır (Drahor vd., 2004). Bu nedenle, hedeflenen doğru yeraltı modeline ancak yapılacak uygun ters-çözüm çalışmaları ile ulaşmak olasıdır.

Ters-çözüm yönteminin dolgu/çöplük alanlarındaki uygulamaları 1990'lı yılların başından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır (Barker, 1990, 1992; Carpenter vd., 1991; Bernstone vd., 2000; Chambers vd., 2002; Grellier vd., 2005). Öncelikle iki-boyutlu ortamların tanımlanmasına yönelik

çalışmalarla başlayan özdirenç ters-çözüm uygulamaları, ilerleyen süreçte üç-boyutlu ortamların tanımlanmasına yönelmişse de, uygulama zorlukları ve veri toplama sırasında karşılaşılan zamansal sorunlar, iki-boyutlu uygulamaların daha yaygın kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, çöp alanlarında ortaya çıkan sızıntı sorunu ve özellikle bu sızıntıların içeriğindeki kirleticilerin izlenmesi ile ilişkili zamana bağlı özdirenç ters-çözüm uygulamaları da son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Herhangi bir dolgu alanında özdirenç çalışması yapılmadan önce, ilgilenilen sorunla ilgili yapay model çalışmalarının büyük önemi vardır. Böylece yapılacak bu çalışmalar; soruna yanıt getirebilecek uygun dizilim türü, elektrot aralığı ve en fazla elektrot açılım değerleri gibi birçok değiştirgenin belirlenmesine olanak sağlar. Modelleme çalışmalarının ilk aşamasında soruna uygun yapay bir benzetim modeli oluşturulur. Bu çalışmada da yöntemin dolgu alanlar üzerindeki belirlenebilirliğini sınamak amacıyla üç farklı yapay benzetim modeli oluşturulmuştur. Bunlar sırasıyla, bir anakayanın kazılmış ya da aşınmış bölümüne yapay olarak yapılan birbirinden oldukça farklı özdirenç değerlerindeki dolguları tanımlayan temel bir dolgu modeli; yatay tabakalar biçiminde yüksek ve düşük özdirençli katmanlardan oluşan yatay tabakalanmalı dolgu modeli ve son olarak da çöplük alanlarında yaygın bir uygulama olan hücre biçimli dolgu modelidir. Hücre tipi dolgu modeli, yüksek ve düşük özdirençli karmaşık bir ortam biçiminde tanımlanmıştır. İkinci aşamada; benzetim modellerinin dört temel özdirenç dizilimine göre (Wenner, Schlumberger, dipol-dipol ve pol-pol) oluşturacağı düz çözüm modelleri, sonlu farklar algoritması yoluyla (Dey ve Morrison, 1979) iki-boyutlu olarak Res2dmod (Geotomo Software, 2001) yazılımı kullanılarak hesaplanmış (Loke, 1999) ve böylece yapay benzetim modelleri için görünür özdirenç değerleri ve yapma kesitleri elde edilmiştir. Son aşamada ise, elde edilen iki-boyutlu görünür özdirenç değerleri, robust yöntem (Loke vd., 2003) kullanılarak ve Res2dinv yazılımı (Geotomo Software, 2003) yardımıyla yapılan iki-boyutlu ters-çözüm hesaplamalarında girdi olarak kullanılmış ve ters-çözüm sonucunda olası doğru yeraltı modeli elde edilmeye çalışılmıştır.

Dolgu Modeli

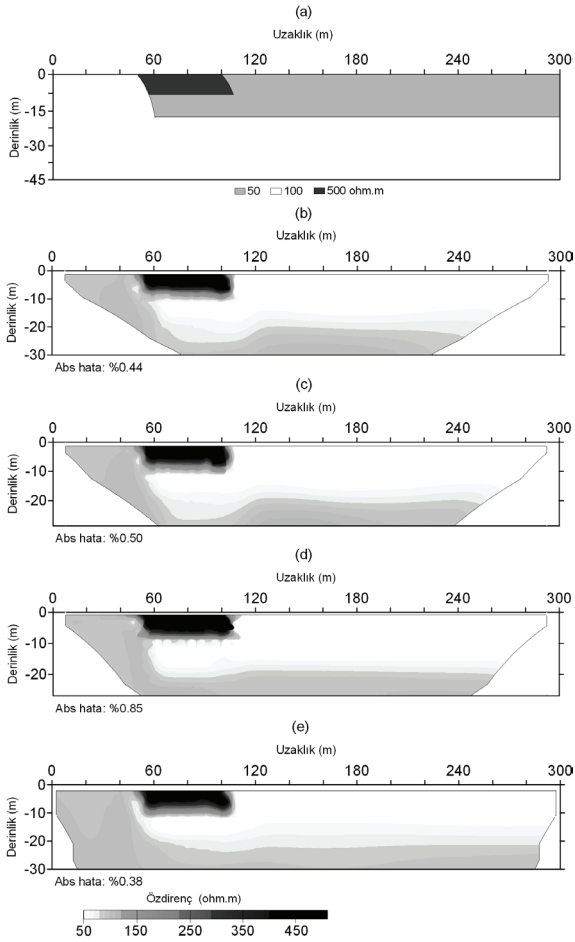
Bu model, jeolojik bir ortam içine atılmış iki farklı dolgu türünden oluşturulmuştur. Modelin jeolojik bölümü bir anakayadan oluşmaktadır ve başlangıçta yüzeyde olan anakaya dik bir düşüşten sonra yataylanmakta ve model sonuna kadar devam etmektedir. Böylece yüzeyde görülen anakaya modelin 48. metresinden sonra keskin bir eğimle 17.5 m'ye değin ulaşmakta ve sonra yatay konumunu almaktadır. Burada killi kireçtaşları ve kil içeriği yüksek kayaların olduğu düşünülmüş, özdirenç değeri 100 ohm-m olarak tanımlanmıştır. Anakayanın üzerine özdirenci daha düşük (50 ohm-m) bir birim gelmektedir. Diğer bir birim ise, modelin 48. ile 100. metreleri arasında 5 m kalınlığında ve diğer ortamlara göre oldukça yüksek özdirençli bir ortam (500 ohm-m) olarak tanımlanmıştır. Böylece anakaya modeli ile ilişkili birbirinden oldukça farklı iki ayrı dolgu tabakası oluşturulmuştur. Model, modellemede kullanılacak tüm dizilimlerin oluşturulan ortamları tanımlayabileceği biçimde tasarlanmış ve böylece model uzunluğu 300 m ve model kalınlığı da 45 m olacak biçimde belirlenmiştir (Şekil 1a). Modelin oluşturacağı elektrik özdirenç yanıtları, iki-boyutlu sonlu farklar algoritması kullanılarak, Res2dmod adlı bir yazılım yardımıyla dört temel özdirenç dizilimi için (Wenner, Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol) düz-çözüm işlemi ile elde edilmiştir. Daha sonra görünür özdirenç verileri ters-çözüm işlemine girdi olarak verilmiş ve böylece ters-çözüm işlemi başarılmıştır. Bu aşamada Res2dinv yazılımı yardımıyla robust algoritma için özdirenç model kesitleri elde edilmiştir. Ters-çözüm işlemiyle beş yineleme sonucunda elde edilen model kesitler, kullanılan dizilimlere göre Şekil 1b-e'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi, tüm dizilimlerin yanıtları birbirine oldukça yakındır ve verilen model yapıyı açıkça tanımlamaktadır. Yüzeye gömülen yüksek özdirençli yapı, tüm dizilim yanıtlarında boyutlar ve doğru özdirenç değerleri açısından gerçeğe oldukça yakındır. Bu yapı için en uygun sonuç Wenner diziliminde elde edilmiştir (Şekil 1b). Düşük özdirençli yapı ve onun anakaya ile olan sınırı, tüm dizilim sonuçlarında belirgin olarak ortaya çıkmıştır, ancak dipol-dipol ve pol-pol yöntemlerinin (özellikle dipol-dipol) yapı sınırlarını daha iyi belirleyebildikleri üretilen kesitlerden açıkça görülmektedir (Şekil 1d ve 1e). Anakayanın dik biçimde eğimli olan bölümü de yine tüm kesit-

lerde belirgin olarak ortaya çıkmıştır (bkz. Şekil 1b-e). Kesitlerdeki mutlak hata yüzdeleri oldukça düşüktür ve sonuç olarak model değiştirgenleri benzetim modeli ile oldukça uyumlu bir biçimde elde edilmiştir.

Yatay Tabakalanmalı Dolgu Modeli

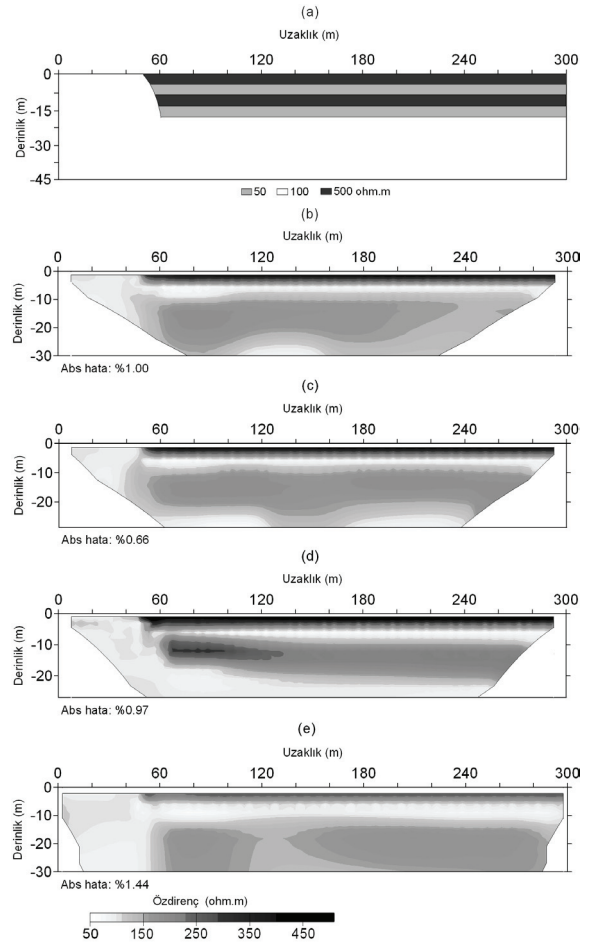
Yatay tabakalanmalı dolgu modeli, benzer jeolojik yapı içinde elektriksel açıdan birbirlerinden oldukça farklı dört ayrı dolgu katmanının birbirini izleyecek biçimde yatay konumda bulduklarını gösteren bir modeldir (Şekil 2a). Bu tür dolgu alanlarla uygulamada sıklıkla karşılaşmaktadır.

Özellikle inşaat ve benzeri malzemelerin dolgularının yapıldığı alanlarda, değişik dönemlerde birbiri üzerine yığılmış farklı özellikte ve genelde yatay bir tabakalanma sunan bu tür dolgular gözlenmektedir. Ayrıca eski çöplük sahalarında da bu tür dolgularla karşılaşmaktadır. Model, belirtilen ortamı temsil edebilecek biçimde oluşturulmaya çalışılmıştır. Modeldeki anakaya, değiştirgenler açısından önceki modelle aynıdır. Yatay katmanlı dolgu malzemelerinin özdirenç ve kalınlık değiştirgenleri sıralanırsa, ilk katman oldukça yüksek özdirençli (500 ohm-m) ve 3 m kalınlığındadır. Bunu 5 m kalınlıkta 50 ohm-m'lik düşük özdirençli bir katman izlemektedir. Diğer



Şekil 1. Temel bir dolgu modelinin (a) dört farklı dizilim için iki-boyutlu ters-çözüm sonuçları: (b) Wenner, (c) Schlumberger, (d) dipol-dipol, (e) pol-pol (Yineleme 5).

Figure 1. Results of 2-D inversion for four different configurations of a basic landfill model (a): (b) Wenner, (c) Schlumberger, (d) dipole-dipole, (e) pole-pole (Iteration 5).



Şekil 2. Yatay tabakalanmalı bir dolgu modelinin (a) dört farklı dizilim için iki-boyutlu ters-çözüm sonuçları: (b) Wenner, (c) Schlumberger, (d) dipol-dipol, (e) pol-pol (Yineleme 5).

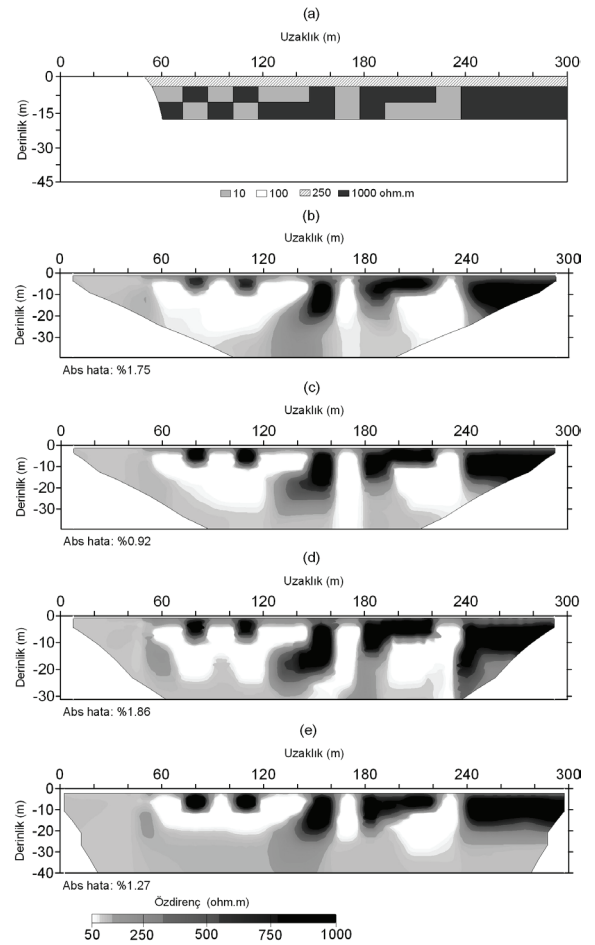
Figure 2. Results of 2-D inversion for four different configurations of a horizontal layering landfill model (a): (b) Wenner, (c) Schlumberger, (d) dipole-dipole, (e) pole-pole (Iteration 5).

iki katman, 5 m kalınlığında ve özdirenç açısından ilk iki katmanla aynı özellikte aralanmalı bir yapı sunmaktadır (Şekil 2a). Öncelikle benzetim modelinin düz-çözüm yardımıyla görünür özdirenç verileri hesaplanmıştır. Daha sonra, benzer algoritma ile dört temel dizilime göre yapılan özdirenç ters-çözüm sonuçlarıyla elde edilen model kesitler Şekil 2b-e'de verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, dizilimlerin model kesitlerinde, özellikle derin yapılar için, önemli farklılıklar görülmektedir. Yüksek ve düşük özdirençli ilk iki katman tüm dizilim sonuçlarında açıkça tanımlanabilmektedir. Ancak, bu katmanların altında aralanmalı biçimde uzanan katmanları belirlemek olası değildir. Bu olgu, yani yüksek özdirenç zıtlıkları bulunan ortamların art arda sıralanması, yöntemin önemli elverişsizliğinden biridir. İlk iki katmanın derinlik ve özdirenç değerleri Wenner, Schlumberger ve dipol-dipol dizilimlerinde model yapı ile oldukça uyumlu biçimde elde edilmiştir (Şekil 2b-d). Ancak, pol-pol diziliminde ilk katmanın özdirenç benzetim modelindeki özdirenç değerinden daha düşük çıkmıştır (Şekil 2e). Anakayanın dolgu yüzeylerle olan sınırı ise, en iyi dipol-dipol diziliminde elde edilmiştir. Böylece dipol-dipol diziliminin bu tür ortamları tanımlamada diğerlerine göre daha iyi bir dizilim olabileceği düşünülmektedir (Şekil 2d). Mutlak yüzde hatalar, bu modelde de tüm dizilimler için küçük çıkmıştır.

Hücre Biçimli Dolgu Modeli

Günümüzde modern çöplüklerin doldurulması genelde hücreler biçiminde yapılmaktadır. Bu hücreler değişik özelliklerdeki atık maddelerle doldurulmakta ve iş makineleri yardımıyla sıkıştırılmaktadır. Böylece atık hücreleri uğradıkları sıkıştırma işleminden sonra, sahada daha fazla yer kazanılmasını sağlamaktadır. Ancak, bu sıkıştırma işlemi sırasında maddeler arasındaki boşluk miktarı azaldığından, sıkışmaya bağlı olarak fiziksel özelliklerde de bazı değişiklikler olacaktır. Bu tür hücreleme yoluyla yapılan doldurmalarda genelde her bir hücreye farklı atıklar atılarak sıkıştırma yapıldığından, özellikle elektrik özdirenç açısından ortamda iletkenlik değerlerinin hızla değişebileceği düşünülmelidir. Tasarlanan hücre modelinde de jeolojik ortam aynıdır (Şekil 3). Dolgu malzemesinin en üstünde bulunan yatay uzanımlı, yüksek özdirençli ve 3 m kalınlığındaki katman ortamı yalıtılmak

için bir örtü olarak düşünülmüştür. Bu katmanın altında değişik boyutlarda ve 10 ile 1000 ohm-m özdirenç değerli katmanlar arasında yüksek özdirenç zıtlığının bulunduğu ortamlar tasarlanmıştır. Buradaki hücrelerin kalınlıkları 7.5 ile 15 m arasında, genişlikleri ise gelişigüzel biçimdedir (Şekil 3a). Benzetim modelinin düz-çözüm yoluyla hesaplanan görünür özdirenç değerleri, ters-çözüm işlemiyle dört temel dizilime göre değerlendirildikten sonra, elde edilen özdirenç model kesitler Şekil 3b-e'de verilmektedir. Şekillerden de görülebildiği gibi, tüm dizilimler böylesi bir ortamı tanımlamada başarılı sonuçlar vermiştir. Özellikle yüzeye yakın yüksek ve düşük



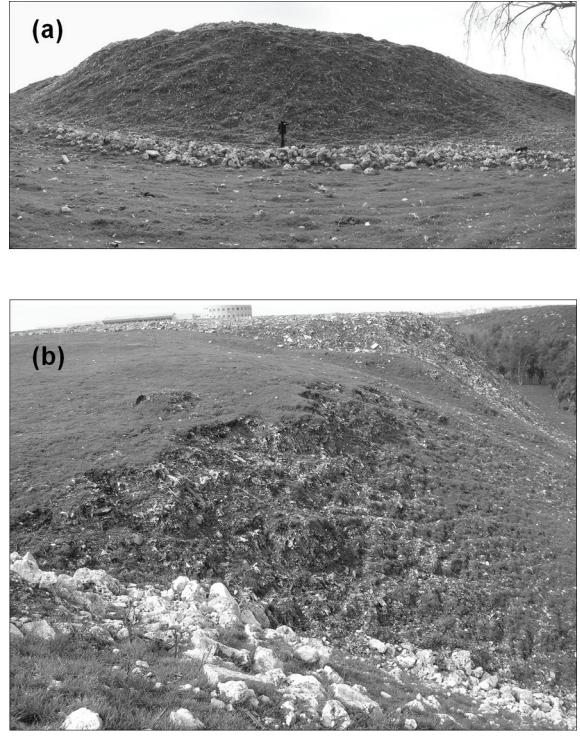
Şekil 3. Hücre biçimli bir dolgu modelinin (a) dört farklı dizilim için iki-boyutlu ters-çözüm sonuçları: (b) Wenner, (c) Schlumberger, (d) dipole-dipole, (e) pole-pole (Yineleme 5).

Figure 3. Results of 2-D inversion for four different configurations of a cell form landfill model (a): (b) Wenner, (c) Schlumberger, (d) dipole-dipole, (e) pole-pole (Iteration 5).

özdirençli hücreler açık bir biçimde görülmektedirler. Aynı zamanda hesaplanan ile benzetim modelinde verilen gerçek özdirenç değerleri de birbirine çok yakındır. Yüzeyde yatay uzanan ve yüksek özdirençli katman en iyi dipol-dipol diziliminde görülmektedir (Şekil 3d). Anakayanın dolgu yapılar ile yaptığı sınır ise, pol-pol diziliminde belirgin olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 3e). Yüzeye yakın düşük ve yüksek özdirençli küçük hücreler tüm dizilimlerde açıkça belirlenebilirken, derindeki yüksek özdirençli hücreler hiçbir dizilimde belirlenememiştir. Ancak, yapı boyutunun büyümesiyle birlikte bunların belirlenebilirliğinde de önemli bir artışın olduğu kesitlerde görülmektedir (Şekil 3b-e). Böylece büyük hücresel yapı içeren çöplük alanlarında, burada kullanılan tüm dizilimlerin bu tür yapıların saptanmasında başarılı olduğu yapılan modelleme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. Yapılan üç ayrı benzetim model çalışması; elektrik özdirenç yönteminin dolgu alanlarda yapı boyutlarını, gömülü derinlikleri ve özdirenç değerlerini belirlemede, bazı elverişsizliklere karşın, oldukça başarılı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

UYGULAMA ALANI VE JEOLJİSİ

Araştırma alanı, İzmir'in Buca ilçesinin doğusunda bulunan ve Dokuz Eylül Üniversitesi'nin Tınaztepe Yerleşkesi içindeki eskiden Buca ilçesinin atıklarının atıldığı eski ve kapalı bir çöplük sahasıdır. Atıkların atılış tarihleri ve atık özellikleri hakkında yeterli ve kesin bilgiler olmamasına karşın, 1980 ile 1989 yılları arasında bu alanın çöp depolama amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. Alanda yaklaşık 15 yıldan bu yana üniversite yerleşkesindeki binalardan ortaya çıkan moloz atığı dışında, çöplük amaçlı atık atılmamaktadır. Alan; doğu-batı yönünde yaklaşık 300-350 m ve kuzey-güney yönünde de 150 m genişliğindedir. Günümüzde çöplüğün üzerinin önemli bir bölümü doğal yolla kapanarak, ot özelliğinde bitki örtüsü oluşmuştur. Alanın kuzeyinde oldukça kalın bir atık dolgusu ve ortaya çıkan erozyon açıkça görülmektedir (Şekil 4a ve 4b). Atıklar genelde evsel atık niteliğindedir. Bu nedenle yüzeyde metal, cam, tekstil ürünleri, kauçuk, deri, plastik, kül, inşaat molozu ve benzeri atıklar oldukça yaygın gözlenmektedir. Alanın 1980'li yıllarda kapatılmış olması nedeniyle, yüzeydeki organik atıklar ayrışmaya uğramış durumdadır ve bu nedenle yüzeyde herhangi bir organik atık gözlen-



Şekil 4. Çalışma alanının kuzeyinden iki ayrı görünüş: (a) çöp dolgusunun yüksekliği, (b) çöp dolgusundaki aşınma.

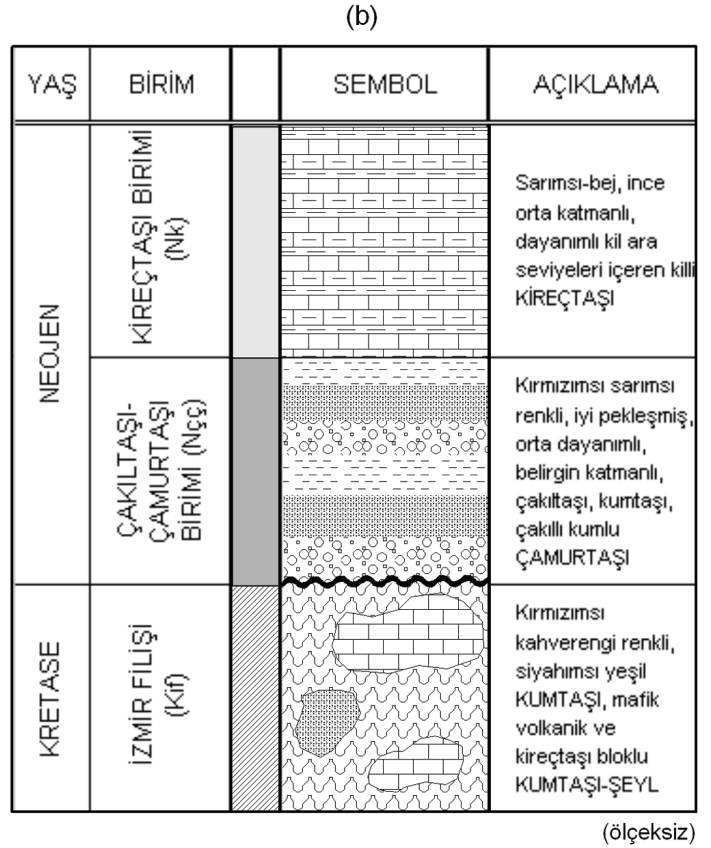
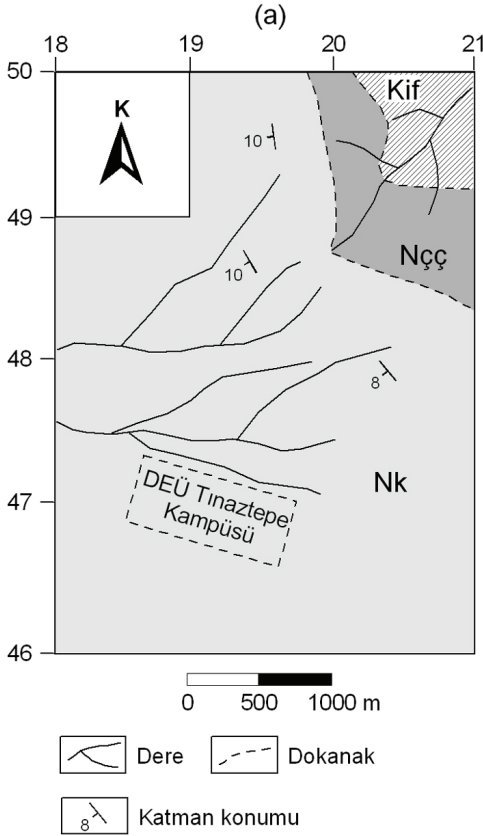
Figure 4. Two different views from the northern part of study area: (a) height of the landfill, (b) the erosion in the landfill.

memektedir. Çöplük alanının yüzeyindeki örtü ve oluşan küçük yarıklar incelendiğinde, Meju (2000)'nin çizelgesinde (bkz. Çizelge 1) verdiği Ankara çöplüğü malzemeleri ile büyük bir benzerlik görülmektedir. Özellikle alanda yoğun bir kül dolgusu bulunmaktadır. Alanın güneyi, doğusu ve batısı düzlük biçimindedir. Kuzeyinde ise, küçük boyutlu ama derin yarıklar ve çatlaklar gözükmekte ve kış aylarında bu yarıklar boyunca güneyden kuzeye doğru önemli bir su akışı gözlenmektedir. Çok önemli bir düzeyde olmamasına karşın, alandaki topoğrafik eğim güneyden kuzeye doğru hafif bir biçimde azalmaktadır. Çöplüğün kuzey ucunda ise, yaklaşık 15-20 m yüksekliğinde bir düşüş söz konusu olup, burada çöplükteki dolguların konumu açıkça izlenebilmektedir. Alanın güneyinde yüzeyde Neojen'e ait kireçtaşları bulunmaktadır. Bu birim, bol kırıklı ve çatlaklı bir yapıdadır ve bu özelliğiyle de aslında çöp depolama için pek uygun değildir.

Alan ve çevresi incelendiğinde, genel olarak iki ayrı jeolojik birimin varlığı görülmektedir. Bunlar-

dan biri, araştırma alanının genelde kuzey ve kuzeydoğusunda yüzlek veren Kretase yaşlı İzmir filişidir. Filiş açısıl bir uyumsuzlukla Neojen'e ait birimler tarafından örtülmektedir (Şekil 5a). İnceleme alanında temelde kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan İzmir filiş, karmaşık bir tektonizmanın etkisinde kalarak, makaslanma yüzeyleri boyunca bol kırıklı bir yapı kazanmıştır. Çalışma alanı yakınlarında gözlenen kırmızımsı ve kahverengili ayrışmış kumtaşları bol çatlaklıdır. Çatlaklarda genelde ikincil kalsit dolgular görülmektedir (Erdoğan, 1990). Şekil 5b'deki genelleştirilmiş kolon kesite bakıldığında; filiş üzerinde açısıl bir uyumsuzlukla yerleşmiş olan Neojen'e ait birimler, alttan üste doğru çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşılarından oluşmaktadır. Çakıltaşı birimi; gri kireçtaşı, kuvarsit, çört ve kumtaşı çakıl-larından oluşur. Taneleri kötü ve orta düzeyde bir boylanma gösterir. Çamurtaşları ise, kirli sarı ayrışma ve yeşilimsi taze yüzey renklerindedir.

Çakıltaşları ile kumtaşları arasında bir ardalanmanın olduğu görülmektedir. Bu birimin üzerinde bulunan ve çalışma alanında yaygın olarak görülen kireçtaşı birimi, kil içeriklerine bağlı olarak değişik özellikler sunar ve kilitaşı ara seviyeleri ile birlikte bulunmaktadır. Kireçtaşları; sarı, kahve ve bej ayrışma renklerindedir ve özellikle çalışma alanının batısında katmanlanma özellikleri açıkça görülmektedir. İçlerinde erime boşlukları vardır ve bunlar kısmen kalsit dolgu ile dolmuş durumdadır. Beyaz-bej killi kireçtaşlarında ise, katmanlanma tam anlamıyla belirgin değildir. Kireçtaşları içinde ara seviyeler biçiminde gözlenen kilitaşı ise, açık yeşil, kahverengi ve sarı ayrışma renklerinde olup, dayanımı düşük bir kayaç birimidir (bkz. Şekil 5a ve b). Özellikle üniversite yerleşke sahası içinde bu birimde tabakalanma belirgin olarak görülmektedir (Ünver, 1997).



Şekil 5. Çalışma alanı ve çevresinin (a) yalınlaştırılmış jeoloji haritası ve (b) genelleştirilmiş kolon kesiti (Ünver, 1997'den alınmıştır).

Figure 5. (a) Simplified geological map and (b) generalized stratigraphic section of study area and its vicinity (after Ünver, 1997).

Alanın hidrojeolojik yapısına ilişkin yeterli veri bulunmamaktadır. Su arama amaçlı olarak 1997 yılında yapılan sondaj çalışmalarının raporunda alanın kuzeyindeki derenin ortalama olarak 0.2 ile 0.3 l/s düzeylerinde düşük bir debiye sahip olduğu ve bu suların kaynağının da Neojen kireçtaşlarının çatlaklarından gelen yağmursuları ve çakıltası-çamurtaşı ile şeyl dokanağı olduğundan söz edilmektedir. Raporda belirtildiği gibi gelişmiş karstik boşluklu birimin altında bulunan geçirimsiz kil katmanı, bu kaynakların oluşumuna neden olabilir (Ünver, 1997). Ayrıca, yerleşke alanı ve çevresinde herhangi bir keson kuyuya rastlanılmamıştır. Belirtilen bu olgular, alan ve çevresinde önemli bir akiferin bulunma olasılığının düşük olduğunu göstermektedir. Oluşturulan çöplük alanında bulunan kireçtaşları bu tür atık alanlar için, niteliği gereği, iyi bir jeolojik temel özelliği sunmasa da, alan ve çevresindeki su akışlarının zayıf olması ve kireçtaşının altında kil katmanının bulunması nedeniyle, çöplük ve çevresi hakkında herhangi bir yeraltısuyu kirlenmesinden söz edilmesi mevcut verilere göre zordur. Ancak daha ayrıntılı yorum yapabilmek için alanda hidrojeolojik çalışmalara gereksinim olduğu ortaya çıkmaktadır.

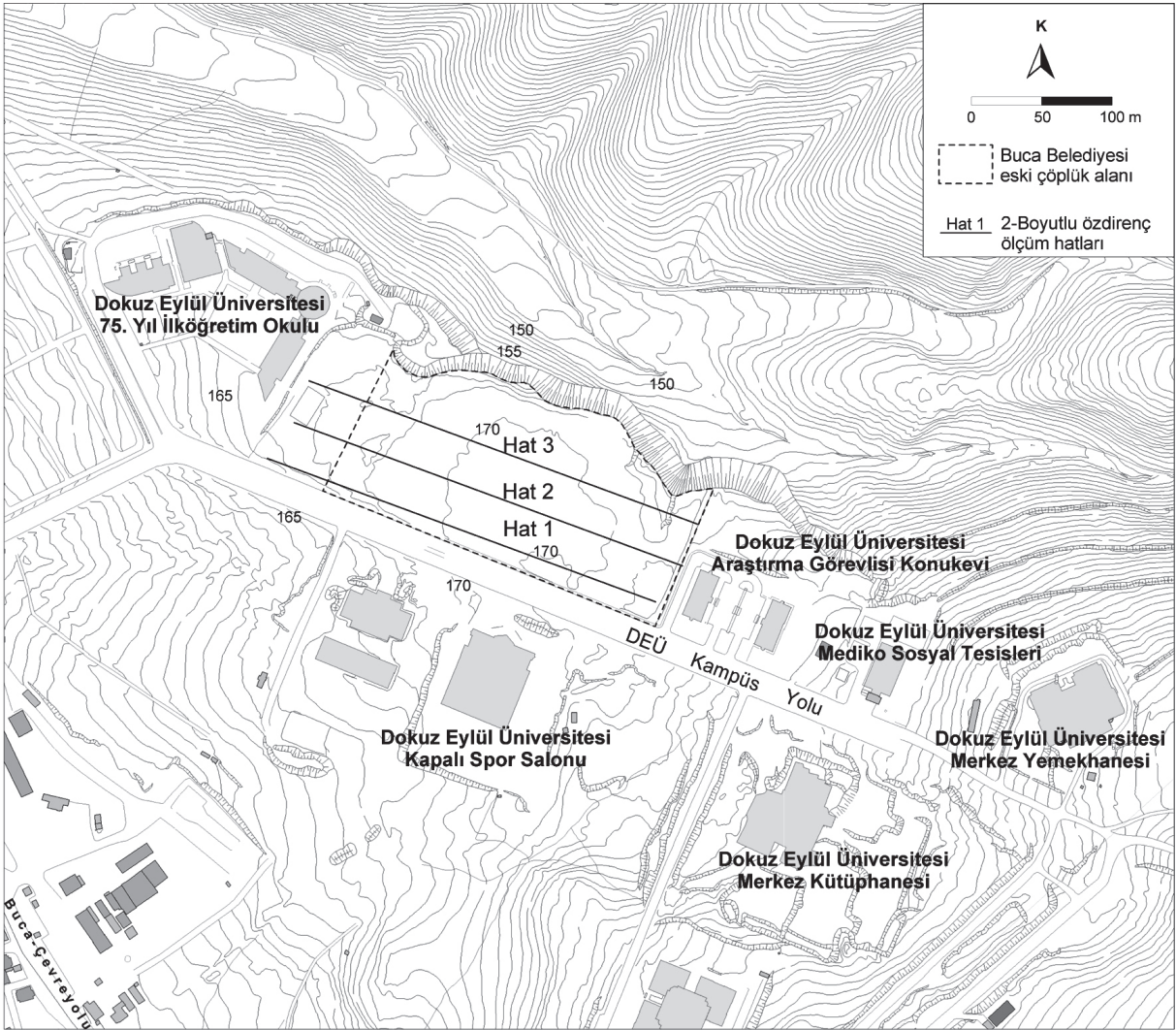
ÖZDİRENÇ VERİSİNİN TOPLANMASI VE YORUMLANMASI

İnceleme alanındaki çöplük dolguları üzerinde elektrik öz direnç çalışmaları 2006 yılı Nisan ve Mayıs ayları arasında yapılmıştır. Alandaki genel uzanımlar, atıkların konumları ve yüzeyde gözlenen anakayanın derine doğru nasıl bir değişim gösterdiğini ortaya çıkarabilmek amacıyla, veriler iki-boyutlu öz direnç ters-çözümüne olanak sağlayacak biçimde üç ayrı hat üzerinden toplanmıştır. Hatların uzunluğu yaklaşık olarak 300 m ve doğrultuları GD-KB yönündedir (Şekil 6). Veriler sinyal ortalama dizgeli bir öz direnç aleti (METZ SAS 503) ve 60 kanallı bir çoklu kablo kullanılarak elde edilmiştir. Ölçümler sırasında çoklu elektrotlar arası uzaklık 5 m'de tutulmuş ve veriler 12 ayrı inceleme derinliğinde Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılarak toplanmıştır.

Elde edilen verilerden Res2dinv yazılımı yardımıyla robust ters-çözüm algoritması kullanılarak hesaplamaları yapılmıştır. Şekillerde her bir hat için gözlenen ve hesaplanan görünür öz direnç değerleri ile ters-çözüm sonucunda elde edilen

model kesit tek bir şekilde gösterilmeye çalışılmıştır. Alanın güneybatısında bulunan hat 1'in uzunluğu 285 m'dir ve 12 ayrı seviyede toplanan verinin etki derinliği kavramına göre çizilmiş yapma kesiti Şekil 7a'da verilmiştir. Görünür öz direnç yapma kesitinden görüleceği gibi, bu hatta düşük öz dirençli bölümler hattın kuzeybatısında bulunan 75. Yıl İlköğretim Okulu tarafındadır. Hattın ortasında, 110 ile 170 metreler arasında yüksek öz dirençli bir yapının varlığı görülmektedir. Alanın güneydoğusuna doğru gidildikçe, hemen hemen tekdüze bir görünür öz direnç değişimi izlenmektedir. Elde edilen bu veri üzerinde yapılan robust ters-çözüm değerlendirmesinde altı yineleme sonucunda hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve model kesit sırasıyla Şekil 7b ve 7c'de verilmiştir. Gözlenen ve hesaplanan görünür öz dirençler arasında %1.95 gibi oldukça düşük değerli bir mutlak hata bulunmaktadır. Bu değerlendirme sonucunda elde edilen model kesitte düşük öz dirençli yapıların alanın kuzeybatısında yaklaşık 25 m derine değin uzandığı görülmektedir. Ayrıca, diğer düşük öz dirençli zon, alanın ortasında 100 ile 200 m'ler arasında ve yaklaşık 30 m derinlikten itibaren ortaya çıkmaktadır. Yüksek öz dirençli zonun yüzeyde mostrası bulunan kireçtaşı birimi olduğu sanılmaktadır. Kesitten de görüldüğü gibi, bu birim alanın kuzeybatısında aniden sonlanmasına karşın, alanın diğer bölümlerinde yaklaşık 30 ile 35 m derinliğe değin devam etmektedir. Ancak, kesitte hattın güneydoğusunda bu birim içinde bazı keskin değişimler bulunmaktadır. Bunların anakayanın boşluklarını ve eski yüzeyini dolduran çöp atıklarından kaynaklanabileceği de düşünülmüştür. Anakayanın hemen altında bulunan oldukça düşük öz dirençli katman ise, killi bir katman ya da genelleştirilmiş kolon kesitte (bkz. Şekil 5b) görülen çamurtaşı içerikli birim olabilir. Alanın kuzeybatısındaki çok düşük öz dirençli birimin ise, suya doygun ya da suyu tutabilen çöplük atıkları olabileceği düşünülmektedir (Şekil 7c).

Bu hattan yaklaşık olarak 40 m kuzeydoğuda bulunan hat 2'den yine 12 ayrı ölçüm seviyesinde elde edilen görünür öz direnç verilerinden oluşturulan yapma kesit Şekil 8a'da verilmiştir. Yapma kesitten de açıkça görüldüğü gibi, hattın kuzeybatısında yaklaşık 80 m uzaklığa değin uzanan yüksek öz direnç değerleri elde edilmektedir. Daha sonra öz direnç değerleri, yüksek ve

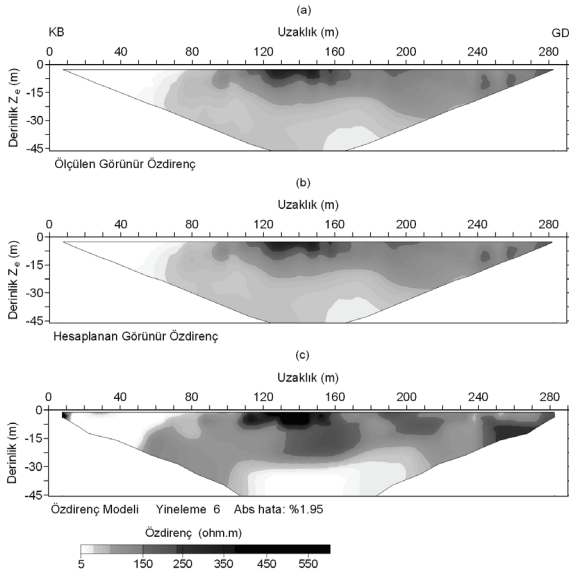


Şekil 6. Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nin durum planı ve eski atık sahası (Özdirenç hatları kroki üzerinde gösterilmiştir: Hat 1, Hat 2 ve Hat 3).

Figure 6. The scheme of Tınaztepe Campus of Dokuz Eylül University and old landfill site (The electrical resistivity lines are shown on this scheme: Line 1, Line 2 and Line 3).

düşük olmak üzere, birbirini izleyecek biçimde devam etmektedirler. Bu hat üzerindeki verilerin özdirenç ters-çözüm hesaplamasından geçirilmesinden sonra 6. yinelemeye göre elde edilen hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti Şekil 8b'de ve özdirenç ters-çözümüne göre elde edilen model kesit ise Şekil 8c'de verilmiştir. Bu kesitin elde edilmesi sırasındaki hesaplamalar sonucunda ulaşılan mutlak hata ise, %8.48 gibi düşük bir değerde kalmıştır. Model kesit incelendiğinde, burada daha önce yapay modellemede kullanılan hücresel model sonucuna benzer bir sonucun elde edildiği görülmektedir. Diğer bir

deyişle, belirli hücre boyutlarında düşük ve yüksek özdirençli yapı gruplarının bulunduğu anlaşılmaktadır. Özellikle yüksek özdirençli hücreler yaklaşık olarak 15 ile 20 m derinliğine değin uzanmaktadır. Bu sonuç, atık alanının kuzeyinde görülen atık dolgusunun kalınlığı ile oldukça uyumludur. Yüksek ve düşük özdirençli atık boyutları farklıdır ve bu durum atıkların değişik dönemlerde yapıldığının bir göstergesi olabilir. Aynı zamanda özdirenç model kesitinde görülen özdirenç farklılıkları da, çöplük alanının bu bölümüne farklı özdirenç özelliklerindeki atıkların atılmış olabileceğini düşündürmektedir. Alanın

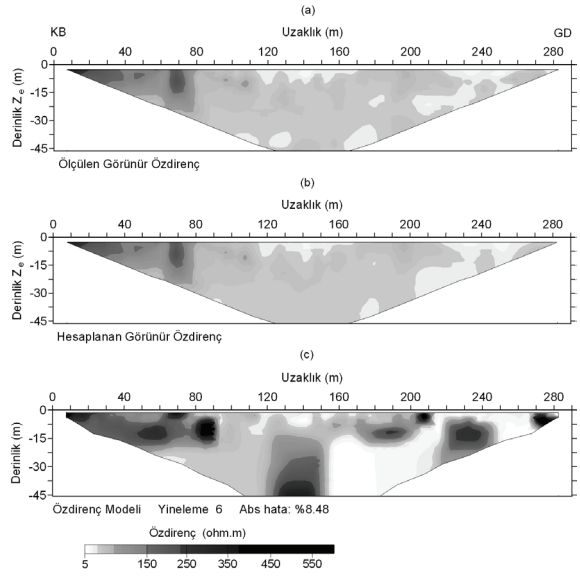


Şekil 7. Hat 1'in (a) ölçülen ve (b) hesaplanan yapma kesitleri ile (c) ters-çözüm sonucu elde edilen modeli.

Figure 7. (a) Measured and (b) calculated pseudo-sections of line 1, and (c) model sections obtained after inversion process.

hemen hemen ortasında bulunan ve yaklaşık olarak 25 m derinlikten sonra görülen ani öz direnç değişiminin de olası bir dokanak sınırını gösterdiği düşünülmektedir.

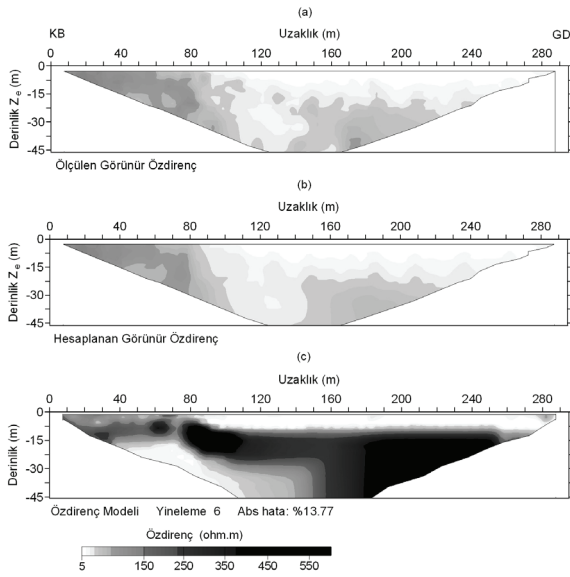
Üçüncü hat ise, ikinci hattın yaklaşık 40 m kuzeydoğusunda olacak biçimde seçilmiştir. Bu hatta da 12 ayrı ölçüm düzeyinde toplanan görünür öz direnç verisinin elde edilen yapma kesiti Şekil 9a'da sunulmuştur. Yapma kesitten de görüldüğü gibi, alanın kuzeybatısında yaklaşık 90 m'ye değin yüksek öz dirençli bir katmanın varlığı gözükmemektedir. Bu noktadan başlayarak hattın sonuna değin oldukça düşük öz dirençli bir katmanın etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu katmanın altında görünür öz direnç değerleri göreceli olarak yükselmektedir. Hat verisine uygulanan ters-çözüm işleminin 6. yineleme sonucunda verdiği hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ise, Şekil 9b'de verilmiştir. Gözlenen ve hesaplanan veriler arasındaki mutlak hata ise %13.77 gibi yine düşük bir değerdir. Yapılan ters-çözüm hesaplaması sonucunda elde edilen ve bu hatla ilişkin model kesitin verildiği Şekil 9c'den de görülebildiği gibi, alanın kuzeybatısında 80. metreye değin yüzeyden başlayarak 17-18 m derine kadar uzanan yüksek öz dirençli ve yatay özellikli bir yapının etkisi görülmektedir. Hattın 80. met-



Şekil 8. Hat 2'nin (a) ölçülen ve (b) hesaplanan yapma kesitleri ile (c) ters-çözüm sonucu elde edilen modeli.

Figure 8. (a) Measured and (b) calculated pseudo-sections of line 2, and (c) model sections obtained after inversion process.

resinden sonra güneydoğuya doğru uzanan ve yaklaşık 10 m kalınlığında çok düşük öz dirençli bir katman izlenmektedir. Bu durum yatay katmanlı yapay model ile büyük bir uyum içindedir ve bu katmanın düşük öz dirençli özellikteki atıklardan oluştuğu sanılmaktadır. Yorumlamada yüzeyden başlayan ve düşük öz direnç sunan ve çöp dolgusu olduğu sanılan katmanın hemen altındaki yüksek öz dirençli ortamın ya anakayadan kaynaklanabileceği, ya da yüksek öz dirençli başka bir çöp katmanının etkisinden oluşabileceği de göz ardı edilmemelidir. Ayrıca hattın ortasında görülen öz direnç değerlerindeki ani değişimin de, bulunduğu derinlikten dolayı çöplük olgusundan çok, önceki hatta da görüldüğü gibi, bir dokanakla açıklanabileceği düşünülmektedir. Değişimin yeri bir önceki hattaki gibi yine yaklaşık 160 m civarındadır ve şekilden de görüldüğü gibi buradaki ortamın öz direnç değerlerinde oldukça hızlı bir değişim izlenmektedir. Ancak her iki hatta da yüksek ve düşük öz dirençli ortamlar birbiriyle ters bir konumda bulunmaktadır (Şekil 8c ve 9c). Eğer böyle bir olgu olmasaydı, burada bir faylanma olasılığından söz etmek daha kolay olabilirdi. Ancak ortaya çıkan bu öz direnç terslenmesi, böylesi bir durumun jeolojik yapıların kendi içindeki katmansal değişimlerden kaynaklandığı düşüncesini ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 9. Hat 3'ün (a) ölçülen ve (b) hesaplanan yapma kesitleri ile (c) ters-çözüm sonucu elde edilen modeli.

Figure. 9. (a) Measured and (b) calculated pseudo-sections of line 3, and (c) model sections obtained after inversion process.

SONUÇLAR

Dolgu ve özellikle çöplük türü atık alanların genel karakteristiklerinin belirlenmesinde elektrik özdirenç ters-çözüm yönteminin yararlılığının ortaya konulması amacıyla yapılan bu çalışma, yapay benzetim modellemesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde bulunan eski bir çöplükten elde edilen verinin modellenmesi olmak üzere iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Yapay benzetim modellemesinde tasarlanan üç ayrı modelde de elektrik özdirenç ters çözümyle gerçek modele çok yakın sonuçlar elde edilmiş ve uygulanan dört ayrı dizilim (Wenner, Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol) için yöntemin yararlılığı ortaya konulmuştur. Özellikle yapı boyutları, şekil ve derinlik gibi değiştirenlerin elde edilmesinde, bazı elverişsizliklerin dışında, yöntemin çok başarılı olduğu saptanmıştır. Eğer yeraltında gömülü yapılar arasındaki özdirenç zıtlıkları çok yüksek ve bu tür yapılar yüzeye yakın konumda bulunuyorlar ise, özellikle derindeki dirençli ve iletken katmanların belirlenmesinin hemen hemen olanaksız olduğu ortaya çıkmıştır. Burada yapı boyutları da önemli olup, yapı boyutlarının küçülmesi, belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Ancak küçük boyutlu yapılar yüzeye çok yakın bir ko-

numda gömülü durumda bulunuyorlarsa, yapı belirlenebilirliğinin yüksek olduğu yapılan benzetim çalışmalarında ortaya çıkmıştır.

Tınaztepe Yerleşkesi'ndeki eski çöplük alanında üç ayrı hat üzerinde yapılan iki-boyutlu elektrik özdirenç ters-çözüm araştırma sonuçları da yapay benzetim model çalışmalarının sonuçlarıyla uyumludur. Her bir hattın model kesitleri birbirinden oldukça farklıdır ve bu durum değişik dolgu özelliklerinin olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma alanının güneybatısında bulunan hat 1'in ortalarında alanın anakayasası olan kireçtaşları mostra vermiştir ve bu yapının uzanımı model kesitte açıkça izlenmiştir. Hattın kuzeybatısında düşük özdirençli bölümün atık etkisinden kaynaklandığı ve burada özdirenç düşürücü özellikte atıklar bulunduğu düşünülmektedir. Ayrıca hattın güneydoğusunda atık hücrelerine benzer farklı özdirenç zıtlıklarında ortamların olduğu da saptanmıştır. İkinci hatta, özellikle atık hücrelerinin konumunu açıkça gösteren bir model kesit elde edilmiştir. Buradaki sonuç, yapay model çalışmalarındaki hücre modelinin ürettiği sonuç ile oldukça uyumludur. Ters-çözüm sonucuna göre, burada değişik boyut ve derinliklerde gömülü ve özdirenç zıtlığı açısından da birbirlerinden çok farklı çöp hücrelerinin olduğu sanılmaktadır. Üçüncü hat ise, diğer iki hattan tümüyle farklı özellikler sunmuştur. Bu hattın ters-çözüm kesitinde kuzeybatıda yüksek özdirençli hücreler görülürken, hattın 80. metresinden sonuna değin oldukça düşük özdirençli bir yatay katmanlanmanın olduğu bulunmuştur. Bunun elektriksel özellikler açısından birbirine yakın malzemelerden oluşan bir çöp katmanı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, hat 2 ve 3'ün model kesitlerinde yaklaşık 20 m derinliğinde ve hemen hemen hattın tam ortasında ani bir özdirenç değişimi saptanmıştır. Bu değişimin ise, anakayadaki bir ortam farklılığından oluştuğu sanılmaktadır. Ancak bu yapı hakkındaki daha aydınlatıcı bilgiler yapılacak ayrıntılı jeofizik çalışmalarla elde edilebilir.

Dolgu alanların elektrik ters-çözüm yöntemiyle tanımlanabilirliğinin sınanması amacıyla yapılan bu çalışma, yöntemin bu tür ortamların belirlenmesi ve yorumlanmasında oldukça yararlı olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, önceden yapılacak yapay benzetim model çalışmalarının, gerçek arazi verisinin yorumunu güçlendirmede büyük önemi olduğu da bu çalışmada ortaya çıkmıştır. Elde edilen veriler üzerinde yapılan ters-

çözüm çalışmaları, Tınaztepe Yerleşkesindeki eski çöplük alanında genelde 10 ile 15 m derinliklere değin gömülü durumda ve birbirinden farklı elektriksel özellikler sunan atık hücreleri ve katmanlarının bulunduğunu ve yöntemin gerçek alan çalışmalarında da oldukça yararlı sonuçlar ürettiğini ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak, elektrik özdirenç ters-çözüm yönteminin bu tür alanlar üzerinde oldukça betimleyici sonuçlar ürettiği ve kullanımının bu tür alanların fiziksel bazı özellikleri ile çöp dolgularının boyut, derinlik ve kalınlıklarının belirlenmesinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, A. M., and Suleiman, W. N., 2001. Evaluation of groundwater and soil pollution in a landfill area using electrical resistivity imaging survey. *Environmental Management*, 28, 655-663.
- Aristodemou, E., and Thomas-Betts, A., 2000. DC resistivity and induced polarisation investigations at a waste disposal site and its environments. *Journal of Applied Geophysics*, 44, 275-302.
- Barker, R. D., 1990. Improving the quality of resistivity sounding data in landfill studies. In: S. H. Ward (ed.), *Geotechnical and Environmental Geophysics*, Vol. 2: Environmental and Groundwater, Tulsa, Society of Exploration Geophysicists, 245-251.
- Barker, R. D., 1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break*, 10 (2), 53-62.
- Benson, A. K., Pyne, K. L., and Stubben, M. A., 1997. Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods-a case study. *Geophysics*, 62, 80-86.
- Bernstone, C., and Dahlin, T., 1999. Assessment of two automated electrical resistivity data acquisition systems for landfill location surveys: Two case studies. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 4, 113-121.
- Bernstone, C., Dahlin, T., Ohlsson, T., and Hogland, W., 2000. DC-resistivity mapping of internal landfill structures: Two pre-excavation surveys. *Environmental Geology*, 39 (3-4), 360-371.
- Buselli, G., and Lu, K., 2001. Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods. *Journal of Applied Geophysics*, 48, 11-23.
- Cardarelli, E., and Bernabini, M., 1996. Two case studies of the determination of parameters of urban waste dumps. *Journal of Applied Geophysics*, 36, 167-174.
- Carpenter, P. J., Calkin, S. F., and Kaufman, R. S., 1991. Assessing a fractured landfill cover using electrical resistivity and seismic refraction techniques. *Geophysics*, 56, 1896-1904.
- Chambers, J. E., Ogilvy, R. D., Kuras, O., Cripps, J. C., and Meldrum, P. I., 2002. 3D electrical imaging of known targets at a controlled environmental test site. *Environmental Geology*, 41, 690-704.
- Dahlin, T., 1996. 2D resistivity surveying for groundwater and environmental applications, *First Break*, 14, 275-284.
- Dey, A., and Morrison, H. F., 1979. Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106-136.
- Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, Ö. T., 2004. Dört farklı elektrot dizilimine göre bazı üç-boyutlu sığ yeraltı yapılarının görünür özdirenç modellenmesi. *Yerbilimleri*, 30, 115-128.
- Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, Ö. T., 2005. Bazı sığ yeraltı yapılarının özdirenç ters-çözümü. *Yerbilimleri*, 26 (2), 1-14.
- Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *TPJD Bülteni*, 2, 1-20.
- Geotomo Software, 2001. RES2DMOD software, ver. 3.01. <http://www.geoelectrical.com>, 15 November 2005.
- Geotomo Software, 2003. RES2DINV software, ver. 3.4. <http://www.geoelectrical.com>, 15 November 2005.
- Grellier, S., Bouyé, J. M., Guérin, R., Robain, H., and Skhiri, N., 2005. Electrical resistivity tomography (ERT) applied to moisture measurements in bioreactor: Principles, in-situ measurements and results. *International Workshop Hydro-Physico-Mechanics of Landfills LIRIGM*, March, 21-22 2005, Grenoble 1 University, France.
- Hinze, W. J., 1990. The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In: *Geotechnical and Environmental Geophysics*, Vol. 1. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, pp. 75-126.

- Karlık, G., and Kaya, M. A., 2001. Investigation of groundwater contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste-disposal site: A case study from Isparta, Turkey. *Environmental Geology*, 40, 725-731.
- Loke, M. H., 1999. Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite-difference and finite-element methods. *Software User Manual of Res2dmod*.
- Loke, M. H., Acworth, I., and Dahlin, T., 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2-D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34, 182-187.
- Meju, M. A., 2000. Geoelectrical investigation of old/abandoned, covered landfill sites in urban areas: model development with a genetic diagnosis approach. *Journal of Applied Geophysics*, 44, 115-150.
- Ogilvy, R., Meldrum, P., Chambers, J., and Williams, G., 2002. The use of 3D electrical resistivity tomography to characterise waste and leachate distribution within a closed landfill, Thriplow, UK. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 7, 11-18.
- Peters, L., Daniels, J. J., and Young, J. D., 1994. Ground-penetrating radar as a subsurface environmental sensing tool. In: *Proceedings The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., (IEEE) 82*, pp. 1802-1822.
- Splajt, T., Ferrier, G., and Frostick, L. E., 2003. Application of ground penetrating radar in mapping and monitoring landfill sites. *Environmental Geology*, 44, 963-967.
- Ünver, H., 1997. DEÜ Kaynaklar Kampüsü su etüdü raporu (yayımlanmamış).

