



Yer radarı yöntemi ile gömülü boruların konum, büyüklük ve fiziksel özellikleri ile belirlenmesi

Determination of the location, size and physical characteristics of buried pipes by ground penetrating radar method

Büşra Bihter KURT, Selma KADIOĞLU, Esra Ezgi EKİNCİOĞLU

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, ANKARA

Geliş (received) : 30 Mayıs (May) 2008

Kabul (accepted) : 13 Ocak (January) 2009

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, yer radarı yöntemi ile gömülü boruların konum, büyüklük ve fiziksel özellik parametrelerinin belirlenebilirliğini, laboratuvar ve arazi çalışmaları ile ortaya koymaktır. Bu amaçla öncelikle üç ayrı model üzerinde laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yer radarı verileri, modeller üzerinde RAMAC CU II sistem ve 1.6 GHz merkez frekanslı kapalı anten kullanılarak toplanmıştır. İkinci aşamada Ankara'nın Altındağ ilçesi, Gültepe Mahallesi Babür Caddesi üzerinde 500 MHz merkez frekanslı kapalı anten kullanılarak arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Veriler işlendikten sonra boruların yönlerine dik ve paralel profillere ait radargramlar üzerinde yansımış/saçılmış elektromanyetik (EM) dalga alanları irdelenmiştir Böylece bilinen modeller ve ön bilginin bulunmadığı cadde üzerindeki boruların derinlikleri ile birlikte konumları, büyüklükleri ve fiziksel özellikleri (cinsleri) ortaya konulmuştur. Sonuçlara göre, işlenmiş radargramlar üzerindeki borulara ait yansımış/saçılmış dalga alanı konumları, boruların konumlarını ve derinliklerini tanımlamaktadır. Hiperbollerin tepe genişliği boruların büyüklüklerini belirlemektedir. Boruların cinsleri verici antenden alıcı antene yüzey boyunca doğrudan gelen EM dalga ile borulardan saçılmış EM dalga alanı polariteleri arasındaki farklar karşılaştırılarak bulunabilir. Cinsi belirleyen ikinci belirteç, demir borudan saçılmış dalga alanı genliklerinin, yansıma katsayılarından dolayı, plastik boruya ait saçılmış dalga alanı genliklerine göre çok daha yüksek olması ve bu nedenle demir boruya ait saçılma hiperbollerinin daha etkin görülmesidir.

Anahtar Kelimeler: Demir boru, EM dalga alanı, plastik boru, polarite, yer radarı.

ABSTRACT

The aim of this study is to prove that the parameters of location, size and the physical characteristic of buried pipes can be determined by a ground penetrating radar (GPR) method with laboratory and field applications. In the first place, laboratory tests on three different models were run, and the ground penetrating radar data was acquired on models using the RAMAC CU II system and a shielded antenna with a 1.6 GHz center frequency. Then, field studies were performed in Babür Street, Altındağ Town, Gültepe District in the province of Ankara, using shielded antenna with a 500 MHz center frequency. After data processing, the reflected/diffracted electromagnetic (EM) wave fields were analysed on the radargrams belonging to those profiles which were parallel and perpendicular to the direction of pipes. Thus, the locations, depth, size and physical properties (types) of the pipes were determined on the known models and on the street, including no previous knowledge. The results show that locations of the reflected/diffracted electromagnetic (EM) wave fields on the processed radargrams define the locations and depths of the pipes. The widths of the hyperbola apexes of the diffracted wave field coming from the pipes delineate the

size of the pipes. The type of pipes can be determined by comparing the polarity differences between the direct EM wave, which moves from transmitter to receiver along the ground, and the reflected/diffracted wave fields coming from the pipes. A second indicator of pipe type is that the diffracted wave amplitudes of iron pipes are bigger than the diffracted wave amplitudes of plastic pipes, because of the reflection coefficients, and therefore the diffracted hyperbolas of iron pipes are seen more clear.

Keywords: Iron pipe, EM wave field, plastic pipe, polarity, ground penetrating radar.

GİRİŞ

Yer radarı (GPR) yöntemi, jeofizikte yüzeye yakın araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı bir EM yöntemidir. Bir yer radarı sistemi, verici ve alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Verici anten bir kaç nanosaniyeli (ns) EM dalga üretir. Yer içinde ilerleyen dalgalar herhangi bir cisim veya süreksizlik ile karşılaştıklarında yansıma ve/veya saçılmaya uğrarlar. Aynı veya farklı zamanlarda yukarı doğru ilerleyen yansımış/saçılmış dalgalar yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımı ile zamanın fonksiyonu olarak kayıt edilirler. Buna “radar izi” veya yer radarında “EM dalga alanı” adı verilir ve zaman birimi nanosaniyedir. Veri toplama işlemi bir profil üzerinde veya amaca göre belirli aralıklarla paralel konuşlandırılmış profiller üzerinde belirli ölçüm aralıkları ile gerçekleştirilir. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek “radargram” adı verilen iki boyutlu (2B) radar kesitleri elde edilir (Annan, 2000; Daniels, 1989; Kadioğlu ve Kadioğlu, 2006).

Yer radarı yöntemi oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Başlıca yüzeye yakın stratigrafik istifin ortaya çıkarılmasında (Davis ve Annan, 1989), yüzeye yakın jeolojik birimlerin belirlenmesinde (Koralay vd., 2007), fay ve kırık gibi süreksizliklerin haritalanmasında (Grandjean ve Gaury, 1999; Green vd., 2003; Kadioğlu, 2008), karstik boşluklarının aranmasında (Kadioğlu vd., 2006), yeraltısuyu seviyesinin belirlenmesinde (Harrari, 1996; Dannowski ve Yaramancı, 1999; Aspiron ve Aigner, 1999), yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında (Changryol vd., 2000) kullanılmaktadır. Bununla birlikte, arkeolojik çalışmalarda tapınak, mezar, duvar, temel ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında (Sambuelli, vd., 1999; Daniels, 2000; Kadioğlu vd., 2008), metalik cisim arama

çalışmalarında, yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının belirlenmesinde (Kadioğlu ve Daniels, 2008), zemin ve tünel araştırmalarında karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlıklarının belirlenmesinde, galeri içinde bozunmuş bölge ve cevher aramalarında, galeri ilerleme yönü belirlemelerinde (Cardelli vd., 2003) ve yeraltındaki insan kalıntılarını aramada (Hammon III vd., 2000) kullanılmaktadır.

Tank ve borular, bu boruları enine kesen profillere ait radargramlar üzerinde saçılmış dalga alanı hiperbollerini ile tanınırlar (Powers ve Olhoeft, 1996; Porsani vd., 2008; Kadioğlu ve Daniels, 2008). Boruların konumları, x-y düzlemi üzerindeki yeri ve z derinlik değerleri ile verilir. Tank veya boruların büyüklükleri de, benzer şekilde, boru üst sınırından gelen saçılmış EM dalga alanı hiperbollerinin genişliğinden yararlanılarak bulunur (Zeng ve McMechan, 1997). Yine boruların plastik veya demir olma özellikleri EM dalga hızlarının çok farklı olmasından yararlanılarak belirlenebilir. Zeng ve McMechan (1997), gömülü tank ve boruların fiziksel özelliklerini belirleme amaçlı önemli bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmacılar, boruların büyüklük ve fiziksel özelliklerinin belirlenebilirliğini kuramsal modeller üzerinde EM dalga alanlarını sayısal olarak hesaplamışlar ve farklı sıvılar ile içi yarı dolu boruların dalga alanı ve polarite farklılıklarını radargramlar üzerinde göstermişlerdir. Ayrıca metal ve plastiklerin EM dalga hızlarını da vermişlerdir. Porsani ve Sauck (2007) ve Porsani vd. (2008) Sao Paulo Üniversitesi’nde bir test sahası oluşturmuşlar ve yaklaşık 0.5 m derinliğe içi boş, yaklaşık 0.5 m çapında ve 0.75 m boyunda plastik ve çelik su tankları (geniş su kabı) gömmüşler ve 200 MHz ve 400 MHz antenler kullanarak deney

yapmışlardır. Çalışma sonucunda radargramlar üzerinde plastik ve çelik tanklara ait EM dalga alanlarını karşılaştırarak genliklerindeki polarite farklılıklarını bulmuşlardır. Her iki çalışmanın ortak özelliği, boruların gömülü olduğu ortamın toprak ve model çalışmalarının büyük ölçekte olmasıdır.

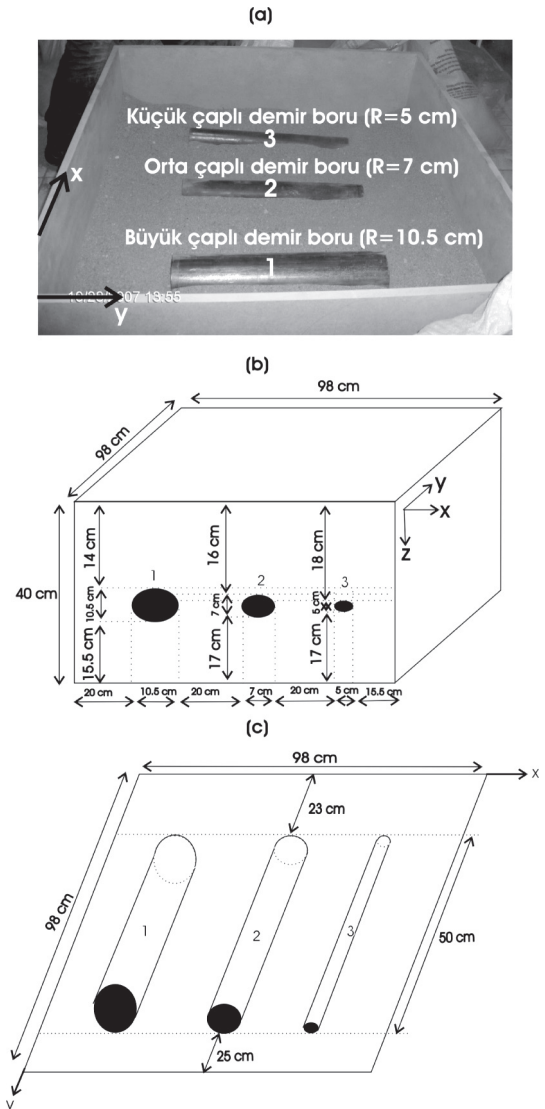
Bu çalışma, laboratuvar ve arazi çalışması olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde üç ayrı model ile test çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışması ile konumları ve büyüklükleri bilinmeyen gömülü boruların radargramlar üzerinde konumlarının, büyüklüklerinin, bunun yanında metalik veya plastik olarak cinsinin belirlenebilirliği de araştırılmıştır. Boru ve tank belirleme çalışmalarında büyük çaplı borular ve bunlara uygun düşük frekanslı antenler kullanılmıştır. Ayrıca boru anomalisi tanımlamaları (Zeng ve McMechan, 1997; Porsani ve Sauck, 2007; Porsani vd., 2008) genellikle ilgili boruyu enine kesen profillere ait radargramlar üzerinde yapılmıştır. Böylece saçılmış dalga alanı hiperbolleri irdelenmiştir. Ancak boru hattı boyuncada sürekli derinlik değişimlerinin özellikle arazi koşullarında irdelenmesi gerekmektedir. Çalışmanın diğer çalışmalardan farklılığı, laboratuvar uygulamalarında çok küçük çaplı borular ve çok yüksek frekanslı 1.6 GHz (1600 MHz) kapalı anten kullanılmasıdır. Ayrıca arazi çalışmalarında gömülü boruların konumları, büyüklükleri ve boruların cinsi hakkında yazarların herhangi ön bilgileri olmadan bir cadde boyunca gömülü boruların varlığı, cinsi, büyüklüğü, konum ve derinlik değişimleri belirlenmiştir.

LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Farklı büyüklükte ve cinsteki boruların ayırt edilmesi için, borulardan kaynaklanan anomalilerin farklılıklarının radargramlar üzerinde ayrıntılı olarak irdelenmesi gerekmektedir. Gömülü boruların konumlarını, cinslerini ve büyüklüklerini ortaya koymak amacıyla oluşturulan modellerde üç farklı büyüklükte plastik ve demir borular, 98x98 cm² iç alana ve 40 cm iç derinliğe sahip ahşap kasa ve ortam malzemesi olarak kuru kum kullanılmıştır. Büyüklük ve fiziksel özellik farklılıklarını ortaya koymak amacıyla üç farklı model oluşturulmuştur.

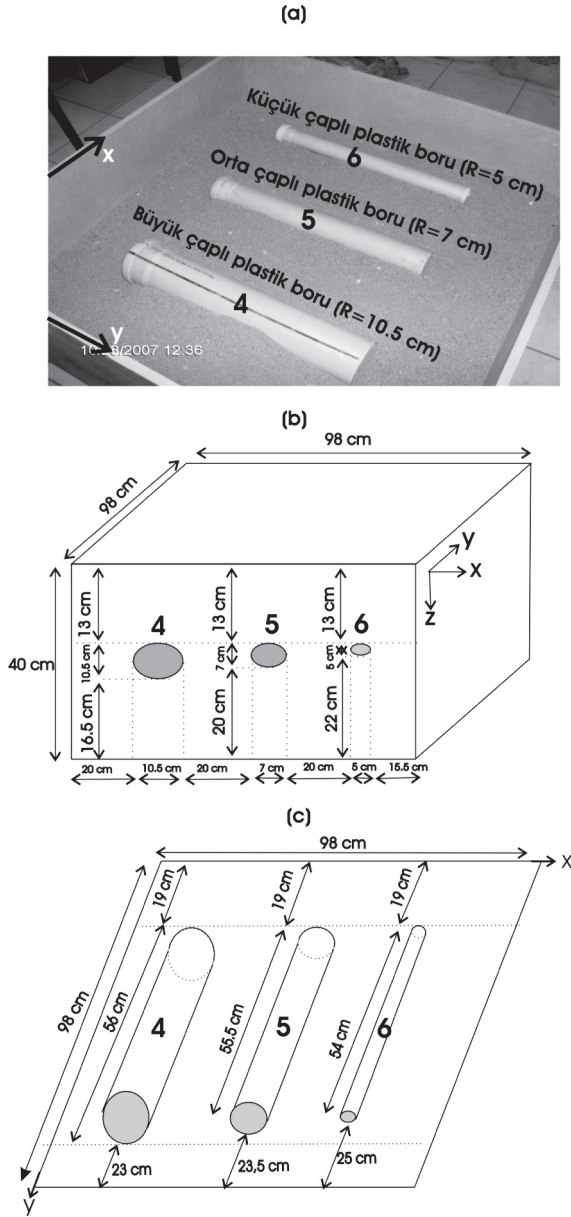
Modeller

Aynı özellikteki boruların konum ve büyüklük farklılıklarını ortaya koymak amacıyla plastik ve demir olmak üzere üç farklı çapta borular aynı boyda kesilmiş ve kasa içine belli bir konum ve derinlikte gömülmüşlerdir. Şekil 1 ve 2 sırasıyla,



Şekil 1. Model 1: (a) Farklı çaptaki demir boruların kasa içindeki yarı gömülü görüntüleri, demir boruların kasa içinde (b) x-z konumları, (c) x-y konumları, (R:boru çapı).

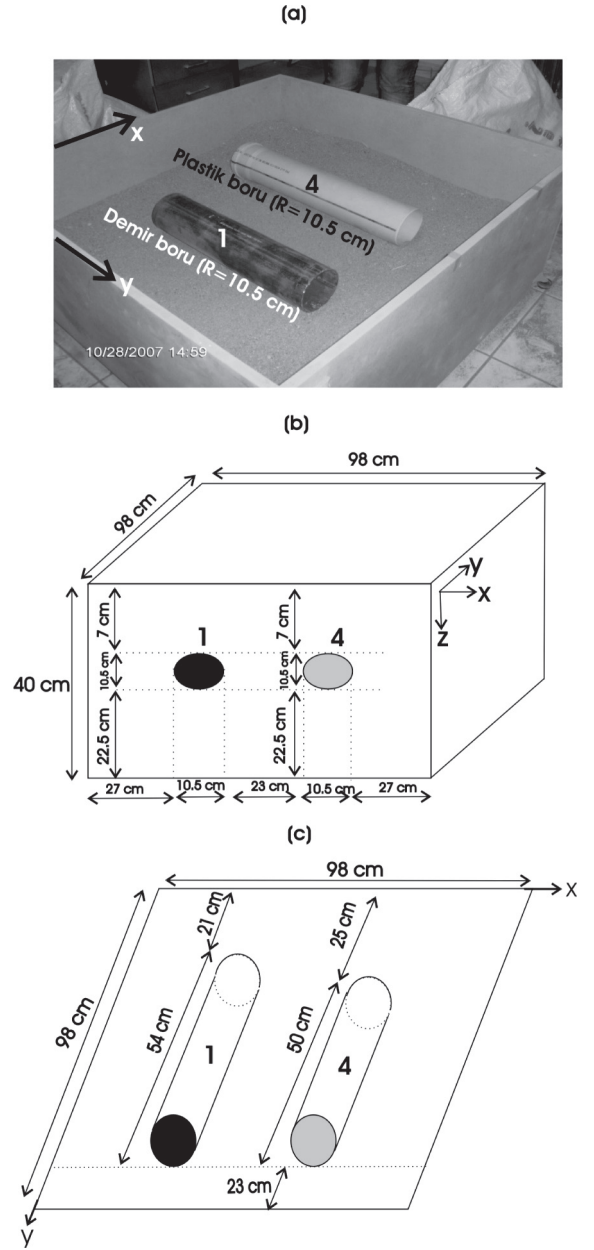
Figure 1. Model 1: (a) The views of half buried iron pipes in different diameters, (b) x-z locations, (c) x-y locations, in the test box (R: diameter of iron pipes).



Şekil 2. Model 2: (a) Farklı çaptaki plastik boruların kasa içindeki yarı gömülü görüntüleri, plastik boruların kasa içinde (b) x-z konumları, (c) x-y konumları, (R:boru çapı).

Figure 2. Model 2: (a) The views of half buried plastic pipes in different diameters, (b) x-z locations, (c) x-y locations in the test box (R: plastic pipes of diameter).

model 1 ve model 2 olarak tanımlanan plastik ve demir boruları gömme düzeneğini kasa içindeki x-y ve z konumlarını ayrıntılı olarak göstermektedir. Plastik ve demir boruların büyüklükleri sırasıyla 10.5, 7 ve 5 cm çapında olup, demir boruların boyları 50 cm, plastik



Şekil 3. Model 3: (a) Aynı çaptaki demir ve plastik boruların kasa içindeki yarı gömülü görüntüleri, demir-plastik boruların kasa içinde (b) x-z konumları, (c) x-y konumları, (R:boru çapı).

Figure 3. Model 3: (a) The views of half buried iron pipes and plastic pipes in the same diameters, (b) x-z locations, (c) x-y locations in the test box (R: pipes of diameter).

borularınki ise 54 cm'dir. Borular kasa içine büyük çaplıdan küçük çaplı demir boruya doğru yerleştirilmiş ve buna göre numaralandırılmıştır (bkz. Şekil 1ve 2). Deneylerde x-ekseni gömülü borulara dik y-ekseni ise gömülü borulara paralel ve z-ekseni de kasanın derinlik eksen

olarak seçilmiştir. Model 1 (bkz. Şekil 1)'de demir boruların çok küçük derinlik farklılıklarının da belirlenebilirliğini ortaya koymak amacıyla üç farklı çaptaki demir borular kasanın üst seviyesine göre 2 cm farklarla 14, 16 ve 18 cm derinliklere yerleştirilmişlerdir (bkz. Şekil 1b). Model 2' de ise, üç farklı çaptaki plastik boruların derinlikleri 13 cm'dir (bkz. Şekil 2b).

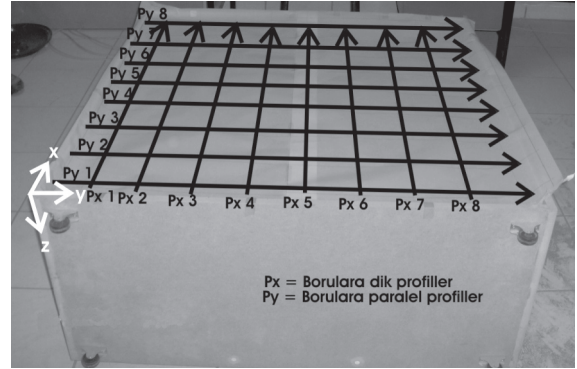
Aynı çapta, ancak farklı türdeki iki borunun gösterdiği anomali farklılıklarının ayrıntılı olarak gösterilmesi amacıyla model 3 oluşturulmuştur (Şekil 3). Model 3 için model 1 ve model 2'de kullanılan büyük çaplı demir ve plastik borular kasa içinde 7 cm derinliğe gömülmüşlerdir. Boruların çapları eşit ve 10.5 cm, demir borunun boyu 54 cm, plastik borunun boyu ise 50 cm'dir. Şekil 3, model 3 için plastik ve demir boruların kasa içindeki x-y ve z konumlarını ayrıntılı olarak göstermektedir. Model 1 ve 2'deki gibi demir boru 1, plastik boru 4 olarak numaralandırılmıştır.

Veri Toplama

Boruların oluşturduğu anomali farklılıklarının araştırılması için hem boruları enine kesen, hem de boruların doğrultusu boyunca (borulara paralel) profiller oluşturulmuştur. Profil doğrultularının doğru yerleştirilmesi ön koşul olduğu için, gömülü borulara paralel ve dik olmak üzere 11 cm aralıklarla x ve y yönünde sekiz profil aydınlatıcı kağıdına işaretlenmiştir (Şekil 4). Profil yönleri ve aralıkları, işaretlenen aydınlatıcı kağıdı her bir model için kasanın üzerine yerleştirildikten sonra tüm profiller üzerinde RAMAC CUII radar sistemi ve bu sisteme uyumlu, duyarlılığı 0.005-0.01 m ve alıcı-verici antenler arası uzaklığı 0.05 m olan 1.6 GHz merkez frekanslı kapalı anten kullanılarak veriler toplanmıştır. Tüm profillerde ölçüm aralığı 0.0044 m olup, kayıt süresi 9 ns ve zaman örnekleme aralığı 0.054 ns olarak alınmıştır. Profil boyları kasa uzunluğundan daha kısadır. Bunun nedeni kasa içine yerleştirilen antenin boyundan kaynaklanan kayıptır.

Veri İşlem

Toplanan verilerin işlenmesinde Reflex-Win V.3.5 yazılımı kullanılmıştır. Uygulanan veri-işlem aşamaları sırasıyla; sıfır zamanının düzenlenmesi,



Şekil 4. Profiller ve yönlerinin deney kasesi üzerindeki gösterimi.

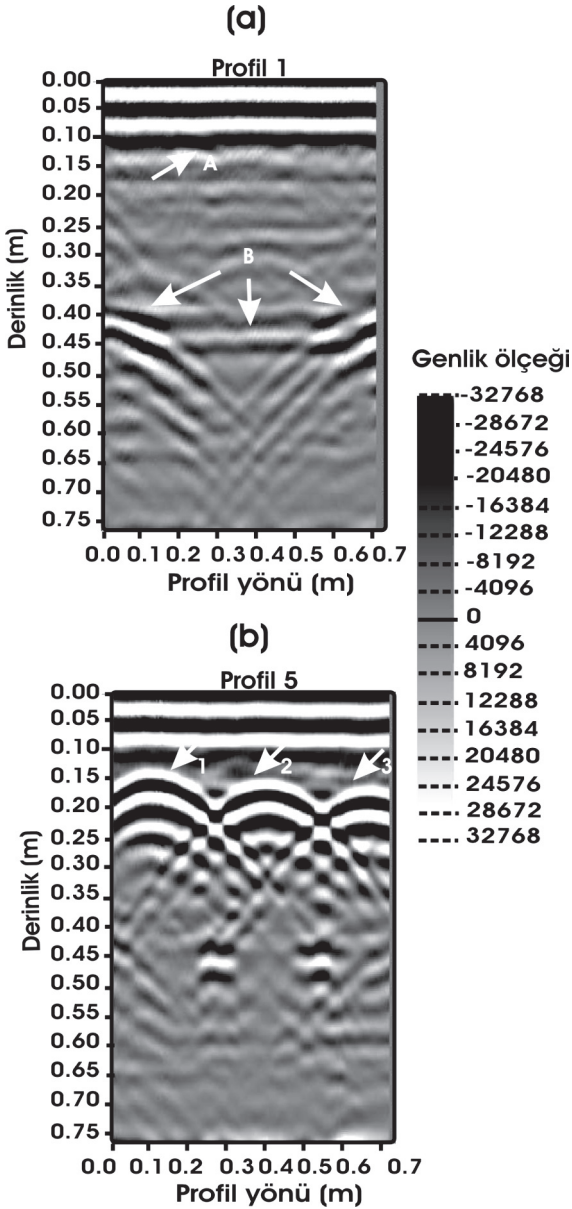
Figure 4. Profiles and their directions on the test box.

çok alçak frekansları gidermek amacıyla dewow adı verilen süzgeçleme ve veriye uygun band aralığı seçilerek Butterworth band geçişli süzgeçleme, doğrusal genlik kazanç işlemi ve hız analizi uygulanmıştır. Hız analizi sonucu kuru kumun EM dalga hızı 0.2 m/ns olarak bulunmuştur. EM dalga hızı radargramlar üzerindeki gerçek bir hiperbol anomalisi ile matematiksel olarak hız belirli bir hiperbolle çakıştırılarak elde edilmiştir. Radargramlara ait hız ve zaman bilgisi kullanılarak basit " $\text{derinlik} = \text{hız} \times \text{zaman} / 2$ " yaklaşımı ile belirlenen derinlik bilgisi model ile karşılaştırılmış ve hız bilgisi doğrulanmıştır. Bu hız, toprak hızının ortalama 0.08-0.11 arasında değiştiği düşünüldüğünde, oldukça yüksek bir hızdır. Hızın yüksek çıkmasının nedeni, kumun kuru olması ve kum tanecikleri arasındaki boşluğun normal bir seviyeye göre çok fazla olmasıdır.

İşlenmiş profil verilerine ait radargramlarda (2B radar kesitlerinde); yatay eksen profil yönü üzerindeki uzaklık değerlerini, düşey eksen ise geliş-gidiş zamanı değerlerini ve/veya derinlik değerlerini gösterir (Şekil 5 - 9). Paralel sıralı radargramlar arka arkaya dizilerek oluşturulmuş üç boyutlu (3B) görüntüde x-doğrultusu profil yönünü, y-doğrultusu profil artış yönünü ve z-doğrultusu kayıt zamanı değerini veya derinlik değerini gösterir (bkz. Şekil 6).

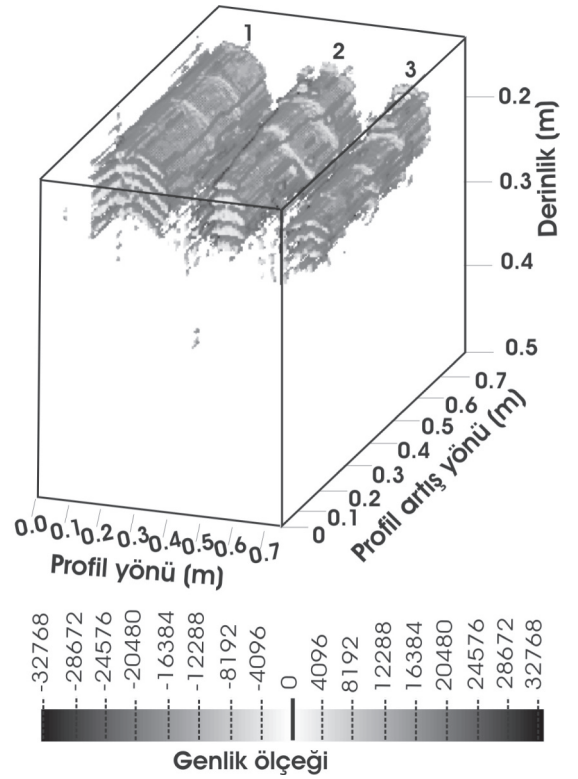
ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları, Ankara'nın Altındağ ilçesi, Gültepe Mahallesi, Babür Caddesi üzerinde

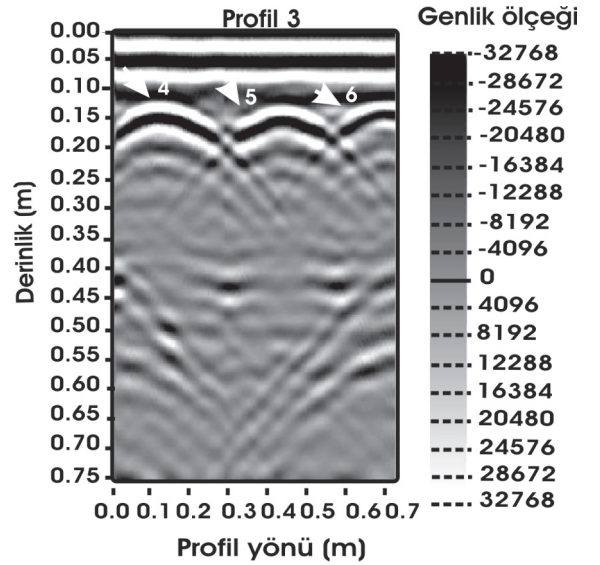


Şekil 5. Model 1'deki x yönlü radargramlar (2B radar kesitleri): (a) profil 1 (Px 1), (b) profil 5 (Px 5).
Figure 5. The radargrams (2D radar sections) on x direction in model 1: (a) profile 1 (Px 1), (b) profile 5 (Px 5).

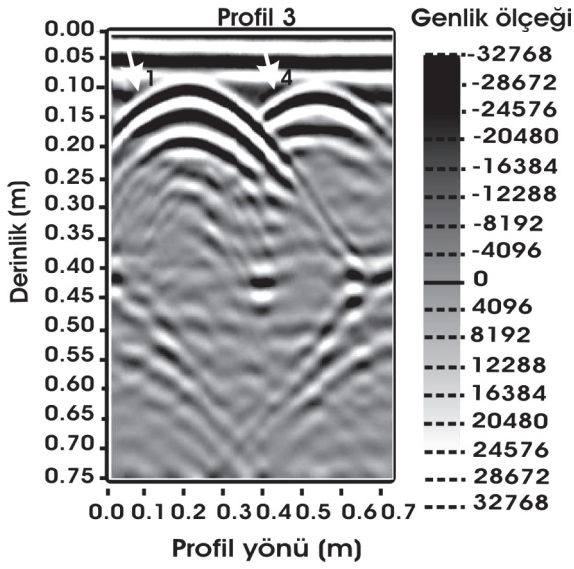
gerçekleştirilmiştir (Şekil 10). Burada cadde boyunca gömülü boru olduğu ASKİ tarafından belirtilmiş ancak cadde üzerindeki konumu ve derinliği verilmemiştir. Çalışmada öncelikli amaç; cadde boyunca bir veya birden fazla borunun varlığını, konumunu, büyüklüğünü ve cinsini tanımlayabilmektir. Kent içindeki boruların içinin su ile dolu ve nem oranı yüksek toprak içinde gömülü olması, arazi testinin dikkat edilmesi



Şekil 6. Model 1'in x yönlü radargramlarını kullanarak üç boyutlu (3B) saydam görüntülenmesi.
Figure 6. Transparent three dimensional (3D) visualization using the radargrams on x direction of the model 1.



Şekil 7. Model 2'deki x yönlü profil 3'e ait (Px 3) radargram.
Figure 7. The radargram of profile 3 on x direction of the model 2.



Şekil 8. Model 3'teki x yönlü profil 3'e ait (Px 3) radargram.

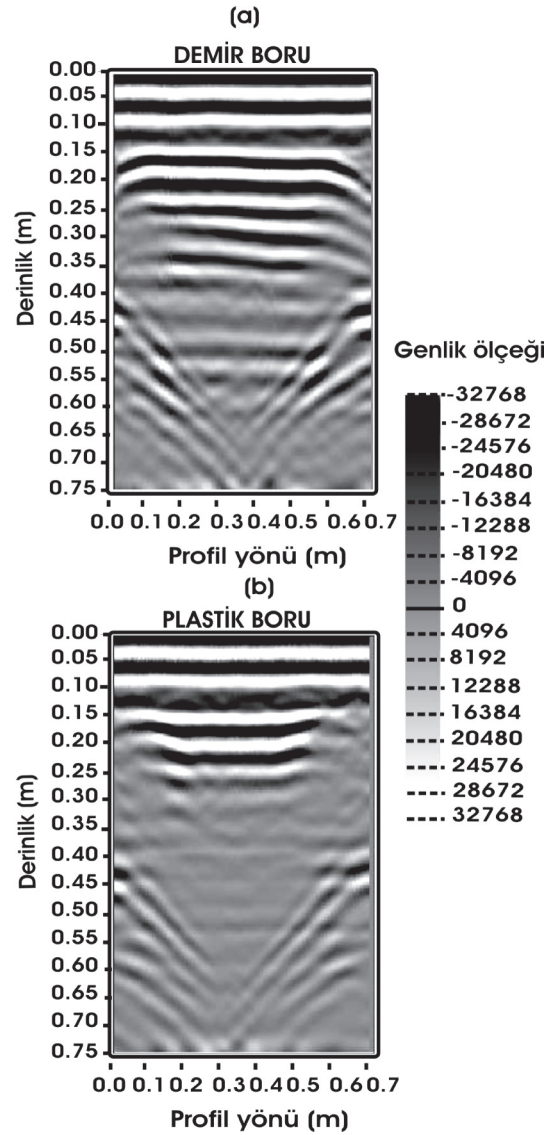
Figure 8. The radargram of profile 3 on x direction of the model 3.

gereken koşullardır. Çalışmaları gerçekleştirmek için cadde üzerinde yaklaşık 100 m'lik bir bölüm seçilmiştir. Cadde yaklaşık 11 m genişliktedir. Buna göre veri toplama işlemi cadde boyunca, sağ tarafından başlayarak sola doğru 1 m aralıklarla 100m boyunda 12 profil, 16 maralıklarla caddeyi enine kesen 7 profil üzerinde RAMAC CUII yer radarı sistemi ve bu sisteme uyumlu 500 MHz merkez frekanslı kapalı anten kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 11, profillerin cadde üzerindeki konumlarını göstermektedir. Veriler test modellerine uygulanan veri-işlem aşamaları ile aynı sıralamada işlenmiştir. Hız analizi sonucu ortamın yani toprağın EM dalga hızı 0.1 m/ns olarak bulunmuştur. Boru anomalilerini gösteren cadde boyunca uzanan ve caddeyi enine kesen profillere ait bazı radargramlar Şekil 12 ve 13'de gösterilmiştir.

ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Laboratuvar Çalışmalarının Değerlendirilmesi

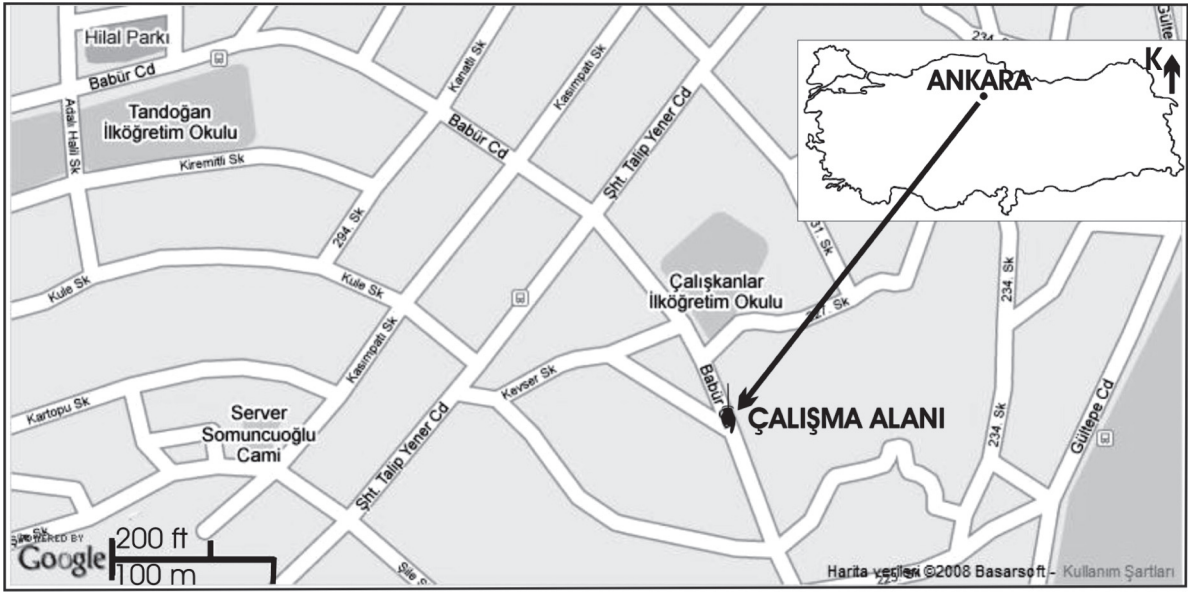
Çalışmalar sonucunda elde edilen radargramlar üzerinde konum, büyüklük ve cinslerinin değerlendirmesinde üç modele ait sonuçlar birlikte kullanılmıştır (bkz. Şekil 5-9). Şekil 5,



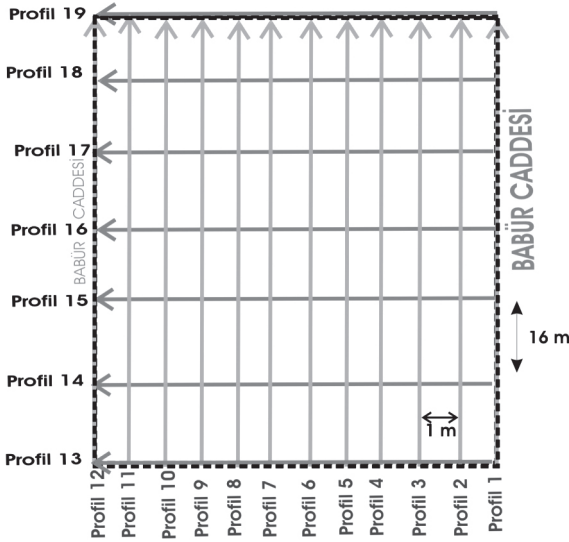
Şekil 9. Model 3'teki y yönlü radargramlar: (a) demir boruya paralel Profil 2 (Py 2), (b) plastik boru üzerinden geçen profil 6 (Py 6).

Figure 9. The radargrams on y direction in model 3: (a) profile 2 (Py 2) parallel to the iron pipe, (b) profile 6 (Py 6) parallel to the plastic pipe.

model 1'e ait x doğrultusunda ilk ve 5. profil üzerinde toplanmış verilere ait radargramları göstermektedir. Genel olarak boruların üzerinden geçmeyen bir profile ait radargram örneği Şekil 5a'da sunulmuştur. Bu radargram üzerinde tanımlanan yüzeydeki verici antenden çıkan çok yüksek frekanslı EM kaynak alanının yüzey boyunca homojen kuru kum içerisinde ilerleyerek alıcı antene ulaşan doğrudan gelen EM dalga alanı

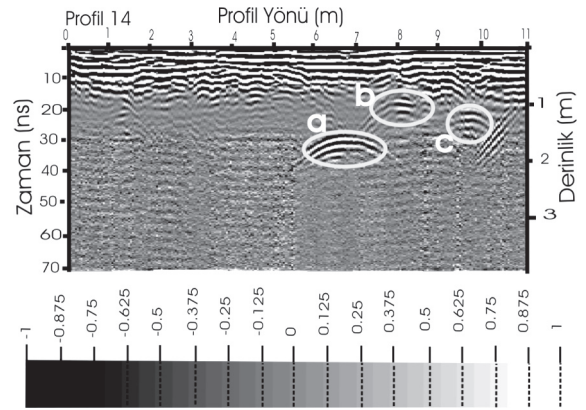


Şekil 10. Çalışma alanı yer bulduru haritası (<http://earth.google.com>).
Figure 10. Location map of the study area (<http://earth.google.com>).



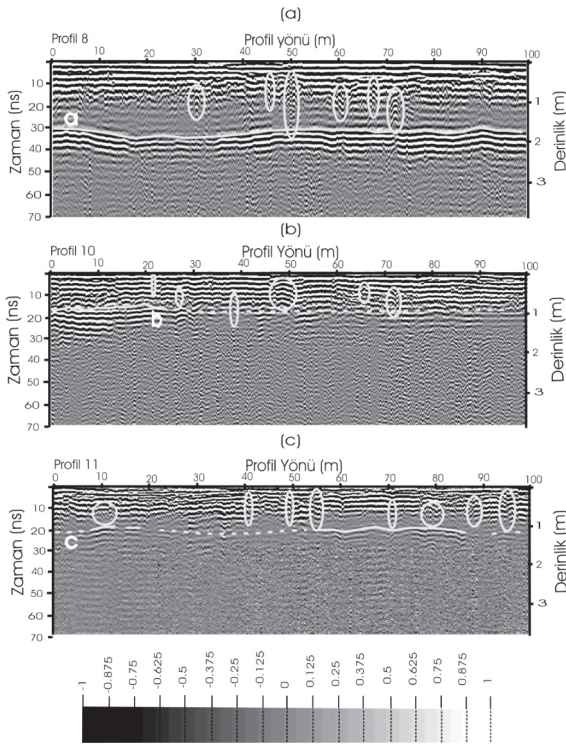
Şekil 11. Çalışma alanındaki profillerin konum planı.
Figure 11. Location plan of the profiles in study area.

A ile kuru kum içerisinde ilerleyerek kasa yan ve alt sınırlarına çarparak geri saçılan dalga alanları B ile gösterilmiştir (bkz. Şekil 5a). A ve B dalga alanları tüm modellerdeki profillerde görülmekte olup borulardan kaynaklanan saçılmış dalga alanları ile ilgisi yoktur.



Şekil 12. Profil 14'e ait radargram üzerinde belirlenmiş cadde boyunca uzanan borular.
Figure 12. Pipes along the street determined on the radargram of the profile 14.

Laboratuvar çalışmalarında modeller ve ilgili radargramlar üzerinde boruların konum karşılaştırmaları sonucundaki doğruluk modelin en iyi şekilde kasa içinde uygulanması ile mümkün olabilmektedir. Herhangi bir borunun konumu en doğru olarak o boruya ait saçılma hiperbolunun tepe noktasının koordinatlarının



Şekil 13. Cadde boyunca olan profillere ait radar-gramlar: (a) profil 8, (b) profil 9 and (c) profil 10 (elipsoidal çizgi caddenin enine olan boruları, düz çizgi cadde boyunca olan boruları ve kesikli çizgi bu boruların komşu radargram üzerinde görülen bölümlerini tanımlamaktadır).

Figure 13. Radargrams of the profiles along the street: (a) profile 8, (b) profile 9 and (c) profile 10 (elliptical lines indicate the pipes perpendicular to the street, straight lines define the pipes along the street and dashed lines represent some part of these pipes seen on the neighbor radargrams).

belirlenmesi ile bulunabilir. Hiperbol tepe noktalarının koordinatlarını en doğru olarak boruları dik kesen x doğrultusundaki bir profile ait radargram üzerinde belirlemek mümkündür. Ancak, veri toplama sırasında antenin boyunun yarısı kadar kasa üzerindeki profilin başından ve diğer yarısı kadar da sonundan olmak üzere, veride bir kayıp söz konusu olmuştur. Anten boyu 25 cm'dir. Bu nedenle boruların radargramları üzerindeki konumları ile kasa içindeki konumları arasında baştan itibaren 12.5 cm kadar bir kayma vardır (bkz. Şekil 5-9). Derinlik olarak herhangi

bir kayma söz konusu değildir. Modeller ve radargramlar karşılaştırıldığında, aynı derinlikler elde edilebilmektedir. Özellikle çok küçük 2 cm derinlik farkı ile gömülen model 1'deki demir boruların derinlik farklılıkları ilgili radargram üzerinde net olarak görülebilmektedir (bkz. Şekil 5b).

Model 1 için boruları enine kesen x yönlü profil 5 (Px 5) ait radargram, model 2 ve 3 için boruları enine kesen x yönlü profil 3 (Px 3)'e ait radargramlar üzerindeki (bkz. Şekil 5 ve 7) saçılmış dalga alanı hiperbollerinden yararlanarak boruların büyüklükleri irdelenmiştir. Yine model 3'de demir boru üzerinden geçen, y yönündeki profil 2 (Py 2)'ye ait radargram ve plastik boru üzerinden geçen y yönündeki profil 6 (Py 6)'ya ait radargram üzerinde boruların boy farklılığı görüntülenmiştir (bkz. Şekil 9). Büyüklük farkının ortaya konulmasında, kenar borulara ait saçılmış dalga alanı hiperbollerinin tam olarak görüntülenmesinde kasanın yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle saçılma hiperbolünün simetrik olduğu dikkate alınarak değerlendirilmelidir (bkz. Şekil 5 ve 7). Büyüklükleri karşılaştırılırken borulara ait saçılma hiperbollerinin üst tepe genişliği dikkate alınmalıdır. 5 ve 7 cm çaplı borulardaki büyüklük farkı çok net gözlenememekle birlikte, 7 ve 10.5 cm çaplı boruların hiperbol genişliklerindeki fark net olarak gözlenebilmektedir (bkz. Şekil 5b ve 7). Şekil 6, sadece hiperbolün en yüksek saçılmış dalga alanı genliklerinin, diğer bir deyişle sadece hiperbol tepe genişliğinin görüntülenmesi ile elde edilen üç boyutlu (3B) bir görüntüdür. Bu görüntüde boru büyüklüklerinin farkı çok daha net ortaya çıkmaktadır.

Boruların cinslerini belirlemek için kullanılan etkin yöntem genlik büyüklüğü ve polaritelerinin araştırılmasıdır. Bir nesneden yansımış ve/veya saçılmış dalganın genlik değişiminde ilk gözlenen genlik pozitif ise polaritesi pozitif, ilk gözlenen genlik negatif ise polaritesi negatiftir. Polarite değişimini gözlemlemek için öncelikle Şekil 5a'da A ile tanımlanan doğrudan gelen dalga alanının polaritesi belirlenir. Bu ilk adımda doğrudan gelen dalga alanının sıfır zamanındaki genlik bilgisinin rengi, genlik-renk ölçeğinde pozitif ise polaritesi pozitif, negatif ise negatif polaritede olduğu anlamındadır. Buna göre,

laboratuvar çalışmalarına ait radargramlarda doğrudan gelen dalga alanı polaritesi negatiftir. İkinci adımda gömülü nesneden yansımış ve/veya saçılmış dalga alanı hiperbolünün polaritesi, genlik bilgisinin ilk rengi yine genlik-renk ölçeğinden karşılaştırılarak bulunur. Doğrudan gelen dalganın polaritesi ile nesneden yansımış/saçılmış dalga alanı hiperbolünün polaritesi aynı ise polaritede bir değişme olmamıştır, farklı ise polarite değişmiş demektir. Polaritenin aynı veya farklı olmasının nedenini ve genlik bilgisini, en basit şekilde, borudan yansımış/saçılmış dalganın yansımaya katsayısı açıklamaktadır. Yansımaya katsayısı boruya dik gelen bir dalga için

$$R = \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (1)$$

bağlantısı ile tanımlanır (Annan, 2000). Burada V_1 ve ϵ_1 sırasıyla; borunun içinde bulunduğu ortamın (testlerdeki kuru kumun) EM dalga hızını ve dielektrik katsayısını, V_2 ve ϵ_2 ise sırasıyla; boruların EM dalga hızını ve dielektrik katsayısını temsil etmektedir. Gelen dalga boruya çarptığı zaman genliğinin yansımaya katsayısı ile çarpımı sonucu elde edilen genlik değeri kadar yansiyarak ve/veya saçılarak geri döner ve tüm alıcı noktalarındaki varış zamanlarına göre kaydedilirler. Bu dalgalar yansımış/saçılmış EM dalga alanı olarak tanımlanırlar. Yansımaya katsayısı hızlara göre değerlendirildiğinde, boruya ait EM dalga hızı ortamın EM dalga hızından büyükse yansımaya katsayısı pozitif olmaktadır. Bu durum, yansıyan-saçılan dalganın polaritesini değiştirmeyeceği, doğrudan gelen dalganın polaritesi ile aynı olacağı anlamına gelmektedir. Tersi durumda (V_1/V_2 olması durumunda) yansımaya katsayısı negatif olmaktadır. Bu durumda yansıyan-saçılan dalga alanının polaritesi ile doğrudan gelen dalganın polaritesi değişmektedir.

Yansımış/saçılmış dalga alanlarının genlik büyüklüğü ve polarite durumu borunun cinsini belirlemede etkin olmaktadır. Literatürde demirin EM dalga hızı 0.017 m/ns ve plastiğin EM dalga hızı 0.16 m/ns olarak verilmiştir (Zeng ve

McMechan, 1997). Buna göre normal koşullarda demir borudan saçılmış dalga alanları negatif polariteli ve çok yüksek genlikli, plastik borudan saçılmış dalga alanları pozitif polariteli ve düşük genlikli olmaktadır. Ayrıca yüksek genlikten dolayı içi boş geniş çaplı demir boru (tank) içinde tekrarlı saçılmış dalga alanı hiperbollerini (çınlamalar) görülebilmektedir (Porsani vd., 2008). Laboratuvar testleri sonucunda kuru kumun EM dalga hızı 0.2 m/ns, olarak bulunmuş ve derinlik bilgisi ile de doğrulanmıştır. Bu hız ile demir borulardan saçılmış dalga alanı hiperbollerinin polaritelerinin doğrudan gelen dalga alanı polaritesinden farklı olduğu Şekil 5b, 8 ve 9a'da açık olarak gözlenmektedir. Ayrıca yansımaya katsayısının yüksek olması nedeniyle saçılma hiperbollerini derinliğe göre çok etkin bir alanda görülmektedir (bkz. Şekil 5b ve 8). Genlik değerinin çok yüksek olması nedeniyle geniş boru içinde bir tekrarlı saçılmış dalga alanının varlığı Şekil 8 ve 9a'da açıktır. Yine kuru kumun hızı dikkate alınarak, plastik borulardan saçılmış dalga alanı hiperbollerinin polariteleri normal durumların dışında değişmiştir. Bu durum, laboratuvar çalışmalarından çıkartılacak en önemli sonuçlardan biridir. Genellikle ortamların EM dalga hızı plastik borunun EM dalga hızı 0.16 m/ns'den küçüktür. Granit gibi sert bir kayacın bile EM dalga hızı 0.13-0.15 m/ns arasında değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle plastik için polarite değişimi beklenmez iken, test çalışmalarında değişmiştir. Bu sonuç, ortamın EM dalga hızı belirlenmeksizin doğrudan polariteye bakarak yorum yapılamayacağını göstermektedir. Kuru kum ile plastik borunun EM dalga hızları birbirine yakın oldukları için, yansımaya katsayısı değeri demir boruya ait yansımaya katsayısı değerine göre daha düşük çıkmaktadır. Bu nedenle plastik boruya ait saçılmış dalga alanı hiperbollerini aynı çaplı demir boruya ait saçılmış dalga alanı hiperbollerine göre daha hızlı sönümlenmektedir (bkz. Şekil 5b, 7 ve 8). Ayrıca boru içi tekrarlar (çınlamalar) plastik boruya ait saçılma hiperbollerinde görülmemektedir (bkz. Şekil 7 ve 8). Bununla birlikte, içi sıvı dolu demir borularda çınlamanın görülemediği göz ardı edilmemelidir (Zeng ve McMechan, 1997).

Arazi Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Arazi koşullarında anomali genişliğini etkileyen faktör sayısı çok fazladır. Bu nedenle, öncelikle borunun derinliğinin ve cadde üzerindeki konumunun ortaya konulması daha önemlidir. Cadde boyunca uzanan boruların varlığı, laboratuvar testlerinde uygulandığı gibi, boruyu dik kesen yani caddenin eni boyunca uzanan profillere ait radargramlar üzerindeki saçılmış dalga alanı hiperbollerini ile belirlenebilir. Bunun yanı sıra, cadde boyunca boruların konumları ve derinlik değişimleri cadde yönündeki belirli aralıklarla konuşlandırılmış profillere ait radargramlar üzerinde kontrol edilebilir (bkz. Şekil 11) Bu çalışmada caddeyi enine kesen profillere (bkz. Şekil 11, profil 13-19) ait radargramlar incelendiğinde genel olarak gözlenen cadde yönünde üç borunun varlığıdır. Şekil 12’de caddeyi enine kesen profillerden profil 14’e ait radargram üzerinde bu borular “a, b ve c” olarak tanımlanmışlardır. Şekil 12’deki radargram üzerinde de görüldüğü gibi, borulardan saçılmış dalga alanı hiperbollerinin tepe genişliğine göre en büyük boru “a” ile tanımlanan borudur. Diğer enine profillere ait radargramlar da dikkate alındığında, büyüklükler sırasıyla “b” ve “c”dir. Burada boruların yüzey konumları cadde üzerinde, ilgili enine profilin koordinatlarına göre hiperbollerine ait tepe noktalarının profil üzerindeki yerlerinin belirlenmesi ile bulunabilir. Ancak boruların konum ve derinlik değişimlerini tam olarak belirleyebilmek için cadde boyunca 1 m aralıklarla sağdan sola doğru sıralanan profillere (bkz. Şekil 11, profil 1-12) ait radargramların da incelenmesi gerekmektedir. Şekil 13’de “a, b, c” borularının cadde boyunca doğrultu ve derinliklerinin gözlenebildiği profil 8, 10 ve 11’e ait radargramlar görülmektedir. Şekil 13’de borulara ait yansıma dalga alanlarının tam olarak görüldüğü bölümler düz çizgi ile gösterilmiştir. Bu profiller üzerinde borulardan gelen yansımış dalga alanlarının doğrultularının açıkça gözlenemediği, daha çok komşu profillerde gözlenen bölümleri ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 13’deki radargramlar üzerinde caddeyi enine kesen belirgin küçük çaplı borular elips içinde gösterilmiştir. Buna göre, profil 8’e ait radargram üzerinde “a” borusunun

doğrultusu tam olarak görülebilmektedir. Bu da “a” ile profil 8’in konumlarının çakıştığını göstermektedir. Bu boru yaklaşık 1.5- 1.7 m derinlikte olmakla birlikte, profil üzerinde 20 ile 35 m arasında, derinliği 2 m’ye kadar inmektedir. Bu boru, ayrıca profil 7 ve kısmen profil 9 üzerinde de gözlenmektedir. Enine ve boyuna profillere ait radargramlar irdelendiğinde “a” borusunun çapı yaklaşık 1.5 m olarak belirlenmiştir. Diğer “b” ve “c” boruları ise, boyuna profiller üzerinde “a” gibi tam bir doğrultu sunmamaktadırlar (bkz. Şekil 13). Bu boruların belirli bir bölümü bir profil üzerinde, diğer bölümleri komşu profil üzerinde görülmektedir. Bunlardan “b” borusunun doğrultusunun profil 9 ve 10 arasında, “c” borusunun ise caddenin sol kaldırımına yakın profil 11 ve 12 arasında değiştiği gözlenmektedir. Bunlardan profil 10 ve 11’e ait radargramlar Şekil 13’de sunulmuştur. Bu da “b” ve “c” borularının “a” borusu gibi düzgün bir hattı takip etmediğini göstermektedir. Şekil 12 ve 13’e göre “b” borusunun yaklaşık 0.9 -1 m derinlikte ve çapının da 0.35- 0.40 m, “c” borusunun da yaklaşık 1.10-1.20 m derinlikte, çapının da yaklaşık 0.30 m olduğu belirlenmiştir. Bu boruların polaritelerinin değişmediği gözlenmiştir. Buna göre tüm boruların plastik malzemeden üretildiği düşünülmektedir. Elipsoidal çizgi ile işaretlenen boruların, cadde üzerindeki binalar ile “a, b ve c” boruları arasındaki bağlantıları sağlayan ve caddeyi enine kesen, küçük çaplı borular olduğu düşünülmektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, laboratuvar da boruların cinsi, büyüklükleri ve konumları belli olan modeller üzerinde toplanan profil verilerine ait radargramlar irdelenmiş ve boruların bu parametrelerinin belirlenebilirliği ortaya konulmuştur. Model çalışmaları yer radarı yönteminin çok yüksek frekanslı anten kullanılarak bina içindeki herhangi bir boru hattının araştırılabilineceğini göstermektedir. Arazi çalışmaları; konumu, doğrultusu, büyüklüğü ve cinsi bilinmeyen boruların varlığının ve ilgili değerlerinin belirlenebilirliğini göstermiştir. Bu çalışmalar; boruların konumunun profiller üzerinde çok açıkça ve büyüklüğünün borulara ait saçılmış dalga hiperbollerinin tepe genişliği ile

belirlenebildiğini, cinsinin ise doğrudan gelen dalga alanının polaritesi ile saçılmış dalga alanı hiperbollerinin polaritelerinin karşılaştırılarak belirlenebildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca demir boruya ait saçılmış dalga alanı genliklerinin plastik borudan kaynaklanan saçılmış dalga alanı genliklerinden çok büyük oldukları anlaşılmıştır. Polarite değişiminde ve genliklerin büyüklüklerinde ortam ve borulara ait EM dalga alanı hızlarının ve buna bağlı olarak yansıma katsayılarının etkin olduğu ortaya konulmuştur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada kullanılan, RAMAC CUII radar sistemi DPT 2003-K-120-190-4-6 nolu projesi ve 1.6 GHz kapalı anten Ankara Üniversitesi BAP 2005-07-45-030 projesi desteği ile satın alınmıştır. Model çalışmaları Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Kayaç Fiziği Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve tüm veriler Yer Bilimleri Veri İşlem Laboratuvarındaki (YEBVİL) bilgisayar donanımı ile işlenmiştir. Çalışmayı gerçekleştirenlerden ilk yazar B.B.Kurt, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı tarafından yurt içi yüksek lisans burs programı ile desteklenmektedir. Yazarlar; çalışmanın gerçekleşmesinde Ankara Üniversitesi, TÜBİTAK ve Devlet Planlama Teşkilatı'na sonsuz teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

Annan, A.P., 2000. Ground penetrating radar workshop notes. Sensors and Software Inc., Canada.

Aspiron, U., and Aigner, T., 1999. Towards realistic aquifer models: Three dimensional georadar surveys of Quaternary gravel deltas (Singen Basin, SW Germany). *Sedimentary Geology*, 129, 281-297.

Cardelli, E., Marrone, C., and Orlando, L., 2003. Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods. *Journal of Applied Geophysics*, 52, 93-102.

Changryol, K., Daniels, J. J., Guy, E., Radzevicius, S. J., and Holt, J., 2000. Residual hydrocarbons in a water-saturated medium: A detection strategy using ground penetrating radar. *Environmental Geosciences*, 7, 4, 169-176.

Daniels, J.J., 1989. Fundamentals of ground penetrating radar. Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems (SAGEEP'89), Proceedings of the Environmental and Engineering Geophysical Society, Englewood, Colorado, pp.62-142.

Daniels, J.J., 2000. Ground penetrating radar for imaging archeological objects in the subsurface. Proceedings of the New Millennium International Forum on Consideration of Cultural Property, Kongju, Korea, pp.247-265.

Dannowski, G., and Yaramancı, U., 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 4, 71-85.

Davis, J.L., and Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.

Grandjean, G., and Gourry, J.C., 1999. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece). *Journal of Applied Geophysics*, 36, 19-30.

Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., and Baldwin, J., 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit. *Tectonophysics*, 368, 7-23.

Harrari, Z., 1996. Ground penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *Journal of Applied Geophysics*, 36, 43-52.

- Hammon III, W. S., McMechan, G. A., and Zeng, X., 2000. Forensic GPR: finite-difference simulations of responses from buried human remains. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 171-186.
- Kadioğlu, S., 2008. Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D GPR visualization. *Journal of Applied Geophysics*, 64(3), 109-114.
- Kadioğlu, S. ve Kadioğlu, Y. K., 2006. Yer radarı yöntemi ile bir mermer sahasındaki kırıkların, sağlam ve bozuk alanların belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1-2), 127-135.
- Kadioğlu, S., and Daniels, J. J., 2008. 3D visualization of integrated ground penetrating radar data and EM-61 data to determine buried objects and their characteristics. *Journal of Geophysics and Engineering*, 5, 448-456.
- Kadioğlu, S., Uluggerli, E.U., and Daniels, J.J., 2006. 3D visualization to map cavities by GPR method: Dalaman Akkopru dam reservoir area, Muğla, Southwest Turkey. *Proceedings of the 11 th International Conference on Ground Penetrating Radar, Columbus- Ohio, USA, CD paper No.156_dnj.*
- Kadioğlu, S., Kadioğlu, Y.K., and Akyol, A.A., 2008. Geoarcheological research of the mid-Age Ilyasbey Complex buildings with ground penetrating radar in Miletus, Aydın, Western Anotolia, Turkey. *Donald Harrington Symposium on the Geology of the Aegean, 28-30 April 2008, University of Texas at Austin, Jackson School of Geosciences, USA, B C Burchfiel 2008 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2, published online.*
- Koralay, T., Kadioğlu, S., and Kadioğlu, Y. K., 2007. A New Approximation in determination of zonation boundaries of ignimbrite by ground penetrating radar: Kayseri, Central Anotolia, Turkey. *Environmental Geology*, 52(7), 1387-1397.
- Porsani, J.L., and Sauck, W.A., 2007. GPR profiles over multiple steel tanks: artifact removal through effective data processing. *Geophysics*, 72(6), J77-J83.
- Porsani, J.L., Santos, V.R.N., Rodrigues, S.I., and Almeida, E.R., 2008. GPR characterization of plastic and steel drums burried in the test site at University of sao Paulo: Applications to environmental studies. *Proceedings of the 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, Birmingham, UK, CD paper, Oral 25..*
- Powers, H.M., and Olhoeft, G.R., 1996. Modelling the GPR response of leaking buried pipes. *Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems (SAGEEP'96), Proceedings of the Environmental and Engineering Geophysical Society, Expanded Abstracts, pp.525-534.*
- Sambuelli, L., Socco, L.V., and Brecciaroli, L., 1999. Acquisition and processing of electric, magnetic and GPR data on a Roman site (Victimulae, Salussola, Biella). *Journal Applied Geophysics*, 41, 189-204.
- Sandmeier, K.J., 2004. Scientific Software, REFLEXW ver.3.5. program for processing and interpretation of reflection and transmission data.
- Zeng, X., and McMechan, G.A., 1997. GPR characterization of buried tanks and pipes, *Geophysics*, 62(3), 797-806.

