

# Mayın Tespit Sistemlerinin Elektromanyetik Olarak Modellenmesi

Uğur OĞUZ<sup>1</sup> ve Levent GÜREL<sup>2</sup>

## Öz

Bu bildiriye yere nüfuz eden radar (ground penetrating radar: GPR) sistemlerinin modellenmesi ve benzetimlerine yer verilecektir. GPR problemlerinin ana bileşenleri olan ve gerçek hayatta iki problem arasında büyük değişim arzeden toprak, hava, verici ve alıcı antenlerle hedef cisimler muhtelif karakterlerle modellenecek ve bu modeller benzetimlerde kullanılacaktır.

## 1. Giriş

Yere nüfuz eden radar (ground penetrating radar: GPR) [1]-[3] toprak altına gizlenmiş hedeflerin tespiti için geliştirilmiş bir cihazdır. GPR'in çalışma prensibi verici anten(ler) vasıtasıyla yeryüzüne doğru gönderilen kısa elektromanyetik işaretlerin toprağın içerisindeki hedeften yansıma yapması ve bu yansımaların alıcısı vasıtasıyla kaydedilmesinden ibarettir. Ancak bu yansımanın tespiti yan faktörlerin de etkisiyle her zaman kolay olmamaktadır. Çünkü, toprağın nemliliği, heterojenliği ve hedef dışındaki cisimlerin varlığı gibi sayısız parametre algılanan yansımayı bozmakta veya örtmektedir. Tüm bu parametrelerin etkilerinin kum havuzlarında yapılan kontrollü deneylerle belirlenmesi neredeyse imkansızdır. Bu sebeple GPR problemlerinin bilgisayarda gerçekçi olarak modellenmeleri ve sayısal olarak çözümleri çok önemlidir. Bu bildiriye kullanılan sayısal yöntem olan *zaman uzayında sonlu farklama* (finite-difference time-domain: FDTD) [4]-[6], diğer yöntemler arasında GPR problemlerindeki başarısıyla sıvırlmış bir yöntemdir [7]-[15]. FDTD metodu, elektromanyetik problemlerinin zaman uzayındaki Maxwell denklemlerinin fark denklemlerine dönüştürülerek bilgisayar ortamında çözülmesi olarak özetlenebilir.

Üç botuyolu bir GPR probleminin dört ana bileşeni vardır. Bunlar Şekil.1(a)'da da gösterildiği üzere, toprak, hava, radar birimi ve hedef'tir. Toprak-hava arayüzü sabit bir z düzleminde ve radar ünitesi sabit bir yükseklikte veri toplamaktadır. Radar ünitesinin yer üstündeki konumu x ekseninde doğrusal olarak değiştirilerek bu ölçümler tekrarlandığında ve elde edilen yansıma sinyalleri yan yana konduğunda ortaya zaman ve konuma bağlı olarak iki boyutlu bir resim çıkar (Şekil.1(b)). Böylece, ölçüm yapılan yerin altında bulunan, dielektrik sabiti veya iletkenliği ortamdaki farklı olan bir nesneden kaynaklanan yansımalar bu iki boyutlu resmin içinde algılanabilir.

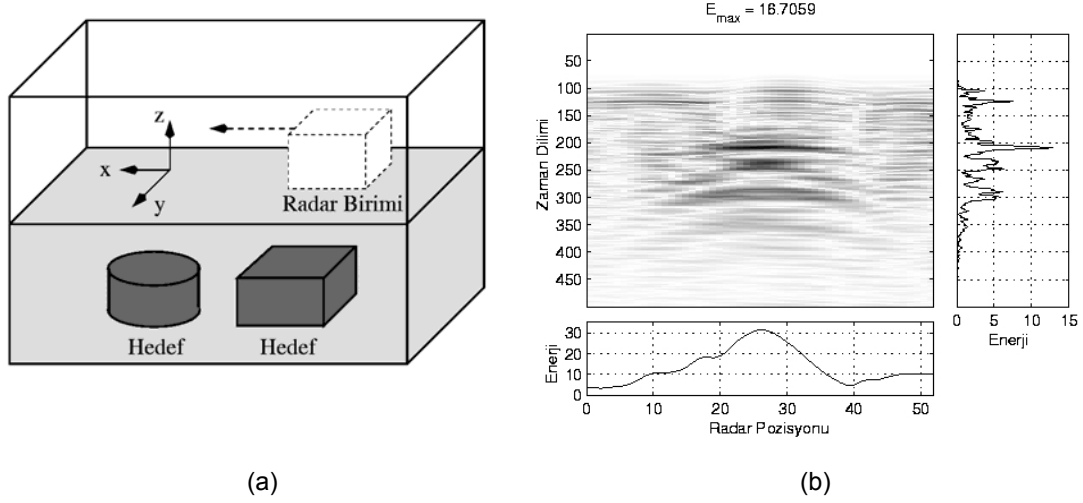
## 2. FDTD Yöntemiyle Modelleme

FDTD metodunda problemin içerdiği üç boyutlu geometri, dalga boyundan çok daha küçük boydaki küplere bölünür. Geometrinin ve çalışma frekansının büyüklüğüne bağlı olarak, binlerce veya milyonlarca küçük küp üzerinde çözüm yapmak gerekebilir. Literatürde Yee hücresi olarak adlandırılan bu özdeş küplerden biri Şekil.2'de gösterilmiştir. Manyetik ve elektrik alanların x, y ve z bileşenleri bu küplerin farklı noktalarında, ardışık zaman adımlarında hesaplanırlar. Zaman ve konum örnekleme aralıkları küçük ve aynı zamanda Courant kararlılık bağıntısı olarak bilinen bağıntıyı sağlayacak şekilde seçilmelidir. Aksi takdirde metod doğru sonuç vermeyecektir. Bu bildiriye sunulan sonuçlarda dalga kaynağı olarak içinde sabit bir akım yoğunluğu taşıyan bir Yee

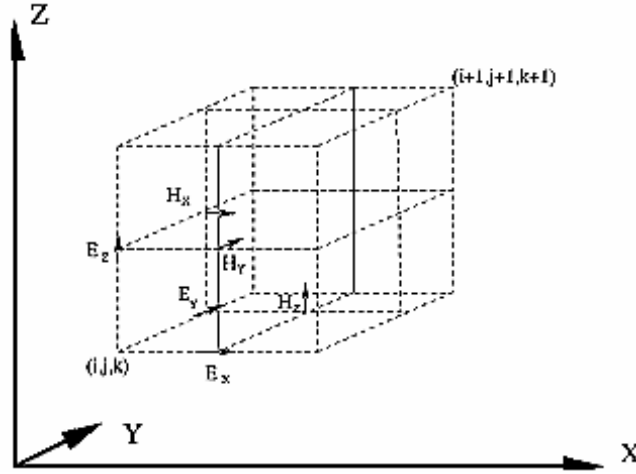
<sup>1</sup> 1973 yılında Ankara'da doğmuş olan Yük.Müh. Uğur Oğuz, Bilkent Üniversitesi'nin Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Proje Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

<sup>2</sup> 1964 yılında İzmir'de doğmuş olan Doç. Dr. Levent Gürel, Bilkent Üniversitesi'nin Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

kübü olarak modellenen basit bir dipol kullanılmıştır. Alıcı da verici antenlerden belirli bir uzaklıkta yansımaları kaydeden bir ünedir.



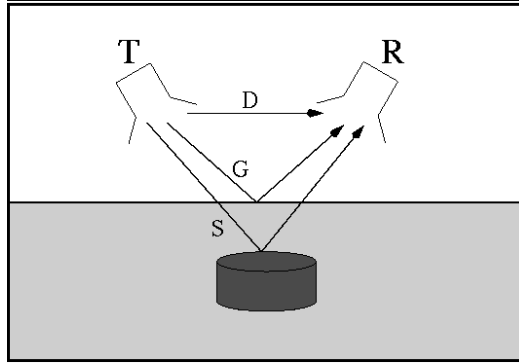
Şekil.1: Örnek bir GPR problemi ve örnek bir GPR verisi.



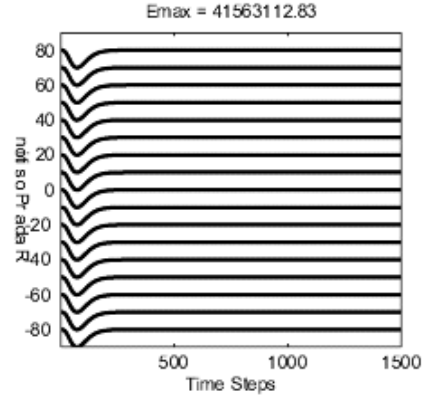
Şekil.2: Yee hücresi.

### 3. Benzetim Sonuçları

Bu bildiriye sunulacak ilk sonuçlar radar ünitesi'nin bir verici ve bir alıcı antenden oluştuğu konfigürasyonla elde edilmiştir (Şekil.3(a)). Bu modelde alıcı vericiden gelen direkt sinyale maruz kalmaktadır. Genliği direkt sinyalden çok daha düşük olan mayın sinyallerini bu sinyalin içerisinde ayırmak zor olmaktadır [9]. Bu durum Şekil.3(b)'de gösterilmiştir. Bu şekilde toprağın 25 cm altında gömülü dielektrik bir cismin üzerinden geçen bir radar ünitesinin elde ettiği ölçümler verilmiştir. Ancak vericiden alıcıya doğrudan giden sinyalin büyüklüğü ve uzunluğu nedeniyle bu sinyaller içerisinde mayın sinyali hiçbir şekilde belli olmamaktadır.



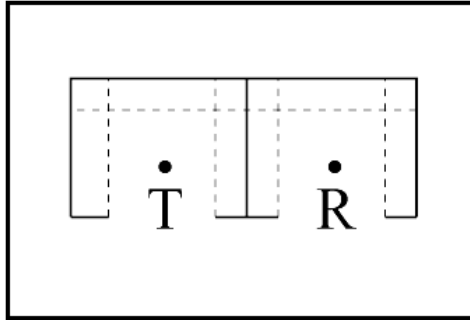
(a)



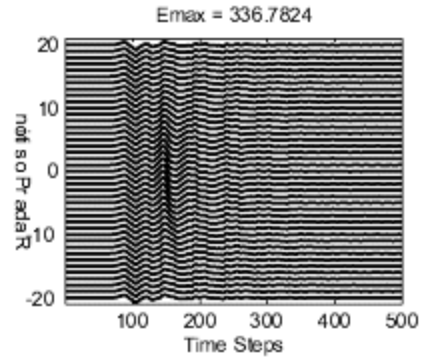
(b)

**Şekil.3:** Verici alıcı konfigürasyonu ve 25 cm derine gömülü iletken cismin benzetim sonuçları.

Direkt sinyalin çok güçlü olması alıcıyı kör etmekte ve bu nedenle mayın tespitini zorlaştırmaktadır. Sadece mayın sinyalini büyütebilmek pratik olarak mümkün olmadığından, direkt sinyali mümkün olduğunca küçültmek gerekmektedir. Bunun için uygulanabilecek yöntemlerden biri alıcıyla vericinin birbirlerini doğrudan görmesini engelleyen kalkanlar [10],[11] kullanmaktır. Şekil.4(a)'da bu amaçla tasarlanmış bir kalkan ünitesinin resmi görülmektedir. Şekil.4(b)'de ise bu kalkan modelinin 500 MHz merkez frekansında 2.5 cm derinlikteki iletken bir kutunun üzerinde hareket ederken elde edilen benzetim sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki kalkan modeliyle direkt sinyal ile mayın sinyalinin genlikleri birbirlerine yakın olmakta ve mayın sinyali çok kolaylıkla tespit edilebilir hale gelmektedir.



(a)



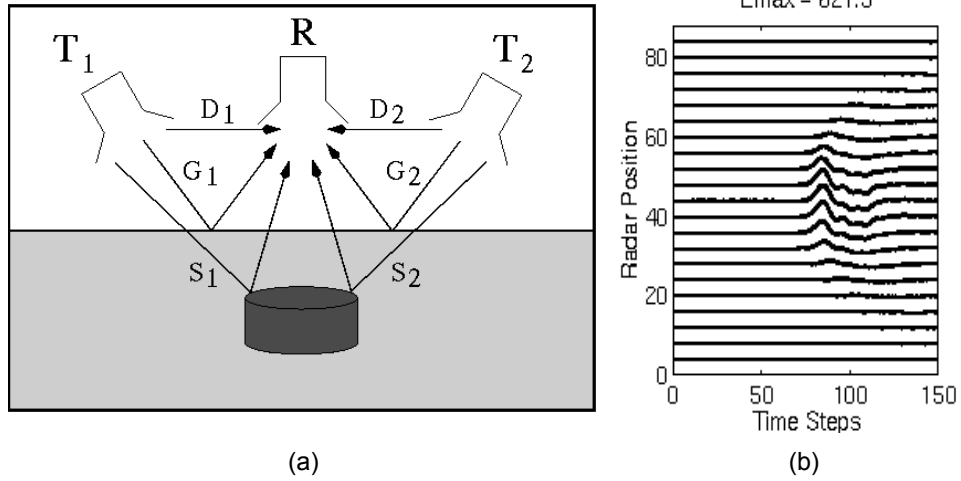
(b)

**Şekil.4:** Kalkanlı GPR modeli ve 2.5 cm derine gömülü iletken cismin benzetim sonuçları.

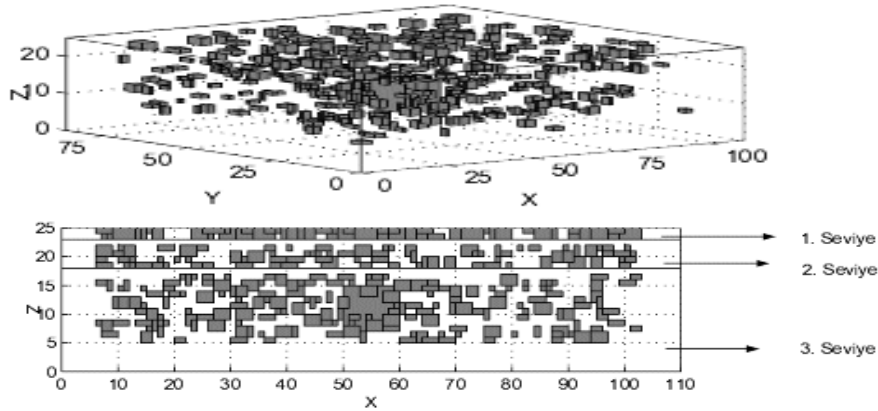
Bir verici ve bir alıcıdan oluşan radar ünitesine alternatif olarak iki verici ve bir alıcıdan oluşan bir üniteyle [12]-[14] (Şekil.5(a)) alıcıda gözlemlenen direk sinyalden kurtulunabilir. Anılan iki verici toprağa paralel olarak aynı yüksekliğe yerleştirilip ters faz açılarıyla beslenirse tam ortalarından geçen düzlemde simetriye dolayısı sıfır genliğinde elektriksel alan oluşmaktadır. Ancak, toprağın altına gömülmüş olan hedef cisimler bu simetriyi bozabilirler. Simetri düzleminin tam üzerinde olmayan bir cisimden iki vericinin sinyalleri farklı genliklerde yansıtacak, bu da vericilerin tam ortasına yerleştirilmiş olan alıcının cisimden yansıyan sinyalleri algılamasını sağlayacaktır. Bu duruma bir örnek olarak Şekil.5(b)'deki benzetimler verilmiştir. Bu şekilde, GPR modelinin yerin

5.25 cm altındaki iletken bir prizma üzerinden geçerken algıladığı sinyaller görülmektedir. Bu sinyallerin içerisinde vericilerden alıcıya direk veya topraktan yansıtılarak ulaşan bir sinyalin var olmadığı bellidir.

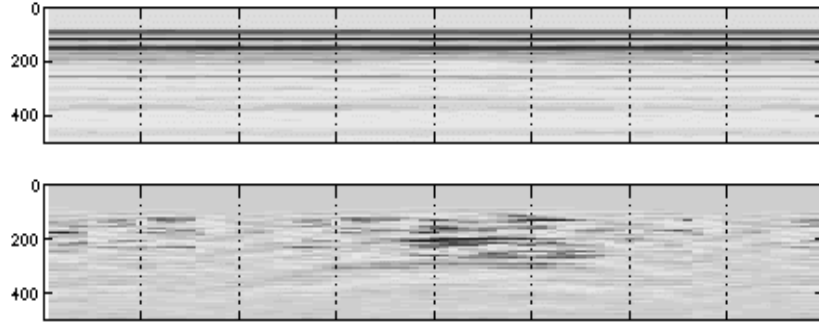
GPR benzetimlerinin daha gerçekçi olabilmesi ve kullanıcıya daha çok şey öğretebilmesi için homojen olmayan (heterojen) toprak modellerini [15] incelemek gerekir. Bir örneği de Şekil.6'da görülen heterojen toprak modellerinin en önemli özelliği yüzeyinde bulunan çok sayıda çukurdur. Toprak yüzeyinden yansıyan sinyalin düzenliliğini bozması sebebiyle yüzeydeki çukurlar, GPR bilgisi üzerinde toprağın altında konuşlanmış aynı boyutlardaki küçük cisimlerden daha fazla etki sahibidirler. Toprakta bulunan tüm küçük cisimlerin etkileri birleştiğinde GPR'ın elde ettiği ham veri içerisinde mayını tespit etmek zor görünebilir. Ancak, mayınsız olduğu bilinen bölgede kaydedilmiş sinyaller toprağın *ortalama* heterojenliği hakkında bir fikir verebilmektedir. Dolayısıyla, önceden elde edilmiş böyle bir bilginin GPR verisinden çıkartılması mayın sinyallerinin görülebilmesini sağlar. Şekil.7'de, Şekil.6'daki toprak modelinin içerisine plastik bir mayın yerleştirilerek elde edilmiş ham veri ve bu ham veriden elde edilmiş işlenmiş veriler alt alta sunulmuştur. Üstteki şekilde mayına ilişkin herhangi bir tahmin yürütmek mümkün değilken, mayınsız toprak bilgisinin de kullanıldığı basit algoritma mayın sinyallerini açıkça gösteren aşağıdaki şeklin üretilmesini sağlamıştır.



Şekil.5: İki vericili GPR modeli ve 2.5 cm derine gömülü iletken cismin benzetim sonuçları.



Şekil.6: Üç katmandan oluşan heterojen toprak modeli.



**Şekil.7:** Heterojen toprak modeliyle elde edilmiş plastik mayın benzetimi sonuçları.

#### 4. Sonuçlar

Bu bildiriye, Bilkent Üniversitesi'nde yapılan GPR simülasyonlarıyla ilgili çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. GPR sistemlerinin benzetimi için FDTD (Finite-Difference Time-Domain: zaman bölgesinde sonlu farklama) yöntemi seçilmiştir. Plastik ve iletken hedefler içeren problemlerin benzetimleri üç değişik GPR modeli kullanılarak yapılmıştır. Bu modeller bir verici ve bir alıcı antenden oluşan basit GPR modelinin yanısıra, yine bir verici ve bir alıcıdan oluşan, fakat aynı zamanda iki anteni ayıran bir kalkan modeli ihtiva eden ve iki verici ve bir alıcıdan oluşan modeller geliştirilmiş ve faydaları örnekler üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca heterojen ve çukurlu toprak modelleri oluşturularak plastik mayın benzetimleri yapılmış ve sonuçları sunulmuştur.

#### Kaynakça

- [1] D. J. Daniels, *Surface-Penetrating Radar*. London: IEE, 1996.
- [2] *Second International Conference on the Detection of Abandoned Land Mines*. IEE, Edinburgh, UK, Oct. 1998.
- [3] *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets III Proceedings*, A. C. Dubey, J. F. Harvey, J. T. Broach (Eds.), SPIE, Orlando, Florida, April 1998.
- [4] K.S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 14, no. 4, pp. 302-307, 1966.
- [5] A. Taflove, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*. Boston, MA: Artech House, 1995.
- [6] K. S. Kunz and R. J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.
- [7] L. Gürel and U. Oğuz, "GPR'in (Ground Penetrating Radar) Elektromanyetik Olarak Modellenmesi ve Senaryo Simülasyonları," *Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, Haziran 1997.
- [8] U. Oğuz and L. Gürel, "Subsurface-scattering calculations via the 3D FDTD method employing PML ABC for layered media," *1997 IEEE AP-S International Symposium and URSI Radio Science Meeting*, Montreal, Canada, July 1997.

- [9] U. Oğuz and L. Gürel, "On the extraction of the scattering from the buried target in ground-penetrating-radar problems," Research Report, Bilkent University, Aug. 2000.
- [10] L. Gürel and U. Oğuz, "Employing PML Absorbers in the Design and Simulation of Ground Penetrating Radars," *1999 IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Orlando, Florida, USA, July 1999.
- [11] L. Gürel and U. Oğuz, "Design and modeling of ground-penetrating-radar antennas with shields and simulated absorbers," submitted to *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, June 2000.
- [12] L. Gürel and U. Oğuz, "Three-dimensional modeling of a ground-penetrating radar," *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 38, no. 4, pp. 1513-1521, July 2000.
- [13] P. Luneau and G. Y. Delisle, "Underground target probing using FDTD," *IEEE Int. Symp. Antennas Propagat.*, vol. 46, no. 10, pp. 1664-1667, Oct. 1998.
- [14] L. Gürel and U. Oğuz, "Transmitter-receiver-transmitter configurations of the ground penetrating radar," submitted to *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, May 2000.
- [15] U. Oğuz and L. Gürel, "Simulations of ground-penetrating radars over lossy and heterogeneous grounds," submitted to *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, June 2000.