

Kara Mayınlarını Tespit Eden Radarların Tasarımı ve Elektromanyetik Olarak Modellenmesi

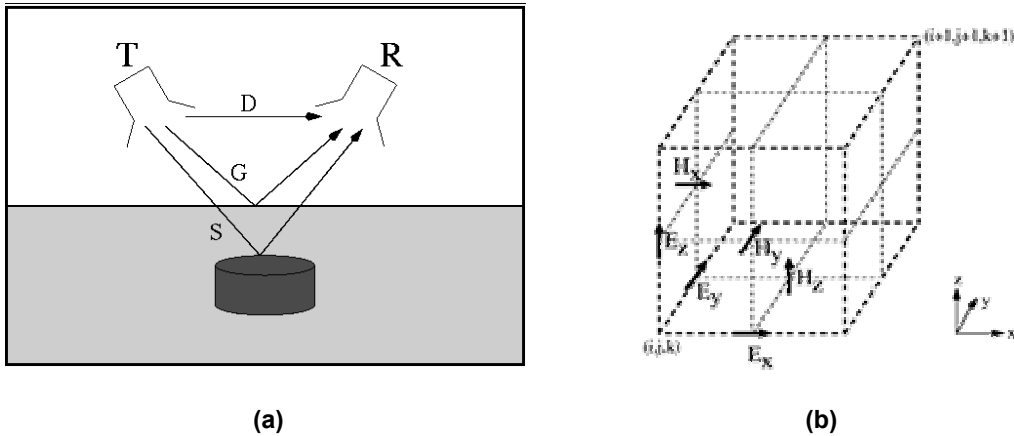
Levent GÜREL ve Uğur OĞUZ
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi, Ankara
lgurel@bilkent.edu.tr.

Öz

Bu bildiriye uzaktan algılama problemlerine bir örnek olarak yere nüfuz eden radar (ground penetrating radar: GPR) sistemlerinin modellenmesi ve benzetimlerine yer verilecektir. Her uzaktan algılama probleminde olduğu gibi GPR de verici ve alıcı antenlerin değişik konfigürasyonları kullanılarak modellenenebilir. Bu bildiriye 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

Uzaktan algılama problemlerinin ana fikri, Şekil.1(a)'da da gösterildiği üzere, bir vericinin hedefi ve etrafını aydınlatması ve bir alıcının da yansıyan sinyalleri toplayarak işlemesidir. Bu tür sistemlere tipik bir örnek olan yere nüfuz eden radar da (ground penetrating radar: GPR) [1]-[3] toprak altına gizlenmiş hedeflerden yansımaların tespiti için geliştirilmiş bir cihazdır. Ancak bu yansımaların tespiti yan faktörlerin de etkisiyle her zaman kolay olmamaktadır. Çünkü, toprağın 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], diğer yöntemler arasında GPR problemlerindeki başarısıyla sıvırılmış bir yöntemdir [5]-[10]. FDTD metodu, elektromanyetik problemlerinin zaman uzayındaki Maxwell denklemlerinin fark denklemlerine dönüştürülerek bilgisayar ortamında çözülmesi olarak özetlenebilir.



Şekil 1. Örnek bir GPR problemi ve Yee hücresi.

Üç boyutlu 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. Böylece, ölçüm yapılan yerin altında bulunan, dielektrik sabiti veya iletkenliği ortamdaki farklı olan bir nesneden kaynaklanan yansımalar bu iki boyutlu resmin içinde algılanabilir.

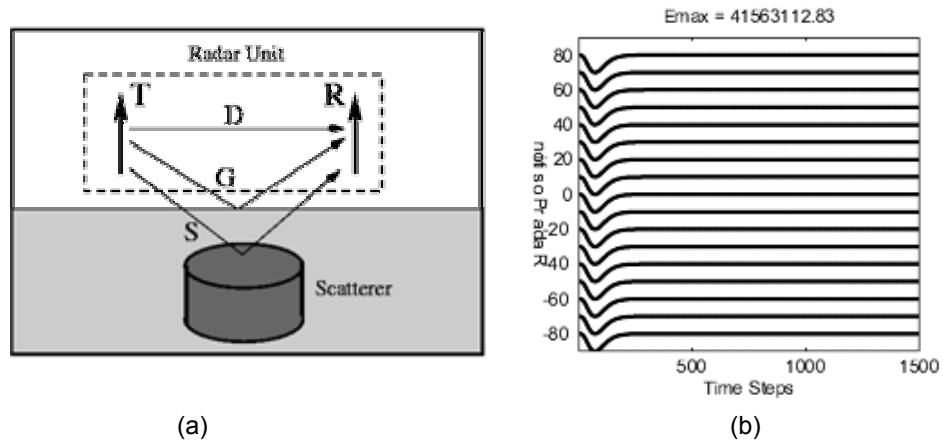
Radar ünitesi GPR problemlerinde yere yakın bir konumda olur ve aydınlanma bu yakın kaynaktan gerçekleşir. Kaynağın daha uzakta bulunduğu durumlarda ise aydınlanmayı düzlemsel dalgalar olarak modellemek gerekir. Uyduyla tarama da bu durumun geçerli olduğu bir problem çeşididir. FDTD metoduyla toprağın ve havanın (uzayın) modellendiği problemlerde düzlemsel dalga aydınlanmasını da uygulamak mümkündür.

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.1(b)'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 bildiride sunulan sonuçlarda dalga kaynağı olarak içinde sabit bir akım yoğunluğu taşıyan bir Yee kübü olarak modellenen basit bir dipol kullanılmıştır. Alıcı da verici antenlerden belirli bir uzaklıkta yansımaları kaydeden bir ünedir.

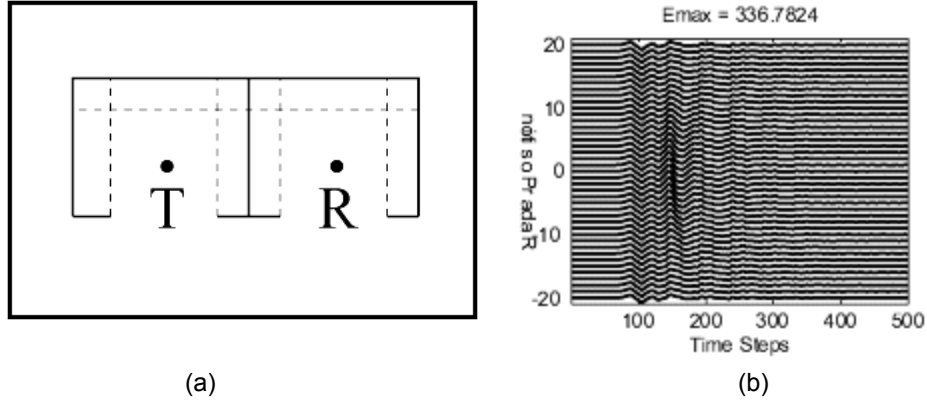
3. Benzetim Sonuçları

Bu bildiriye sunulacak ilk sonuçlar radar ünitesi'nin bir verici ve bir alıcı antenden oluştuğu konfigürasyonla elde edilmiştir (Şekil.2(a)). Bu modelde alıcı vericiden gelen direkt sinyale maruz kalmaktadır. Genliği direkt sinyalden çok daha düşük olan yansıma sinyallerini bu sinyalin içerisinde ayırmak zor olmaktadır [9]. Bu durum Şekil.2(b)'de gösterilmiştir.



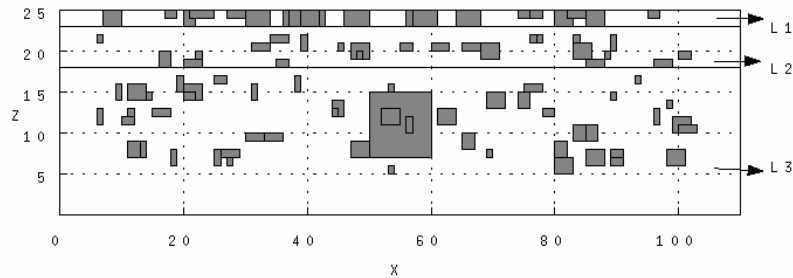
Şekil 2. Verici alıcı konfigürasyonu ve 25 cm derine gömülü iletken cismin benzetim sonuçları.

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 [7],[9] kullanmaktır. Şekil.3(a)'da bu amaçla tasarlanmış bir kalkan ünitesinin resmi görülmektedir. Şekil.3(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 sinyalle mayın sinyalinin genlikleri birbirlerine yakın olmakta ve mayın sinyali çok kolaylıkla tespit edilebilir hale gelmektedir.

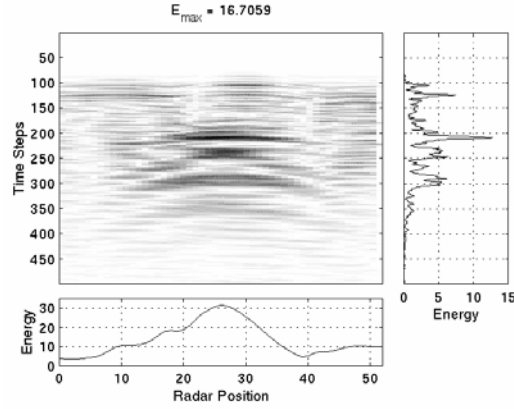


Şekil 3. Kalkanlı GPR modeli ve 2.5 cm derine gömülü iletken cismin benzetim sonuçları.

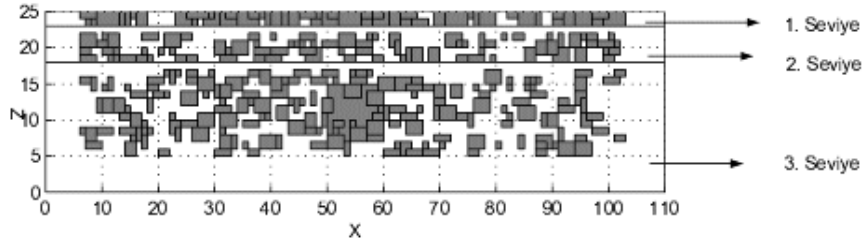
GPR benzetimlerinin daha gerçekçi olabilmesi ve kullanıcıya daha çok şey öğretebilmesi için homojen olmayan (heterojen) toprak modellerini [10] incelemek gerekir. Bir örneği de Şekil.4'te görülen heterojen toprak modellerinin en önemli özelliği yüzeyinde bulunan çok sayıda çukurdur. Toprak yüzeyinden 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'in 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.5'te, Şekil.4'teki toprak modelinin içerisine plastik bir mayın yerleştirilerek elde edilmiş veriden elde edilmiş işlenmiş veriler sunulmuştur. Bu verilerde toprağın heterojenliğinin mayının tespitine engel olmadığı görülmüştür. Ancak toprağın heterojenliğinin değiştirilmesi sonuçları da değiştirecektir.



Şekil 4. Üç katmandan oluşan birinci heterojen toprak modeli.

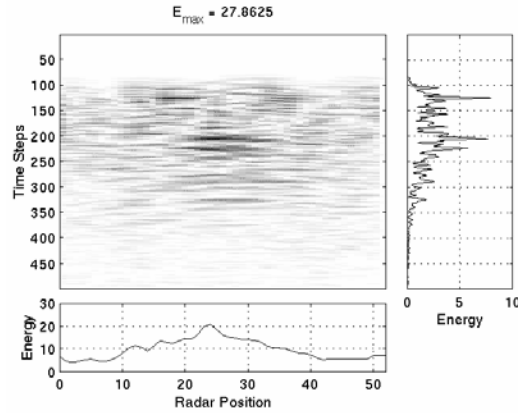


Şekil 5. Birinci heterojen toprak modeliyle elde edilmiş plastik mayın benzetimi sonuçları.



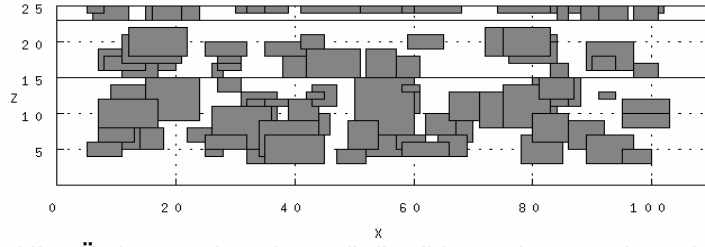
Şekil 6. Üç katmandan oluşan ikinci heterojen toprak modeli.

Şekil.4'te görülen toprak modelinin heterojenlik yoğunluğu dört katına çıkarılarak Şekil.6'daki toprak modeli elde edilmiştir. Bu yeni toprak modeliyle elde edilecek benzetim sonuçları toprağın heterojenlik yoğunluğunun mayının tespit edilebilirliği üzerindeki etkisini gösterecektir. Adı geçen benzetim sonuçları Şekil.7'de verilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, heterojenlik yoğunluğunun artırılması mayın tespitini zorlaştırmış, ancak tespiti tam olarak önlememiştir.

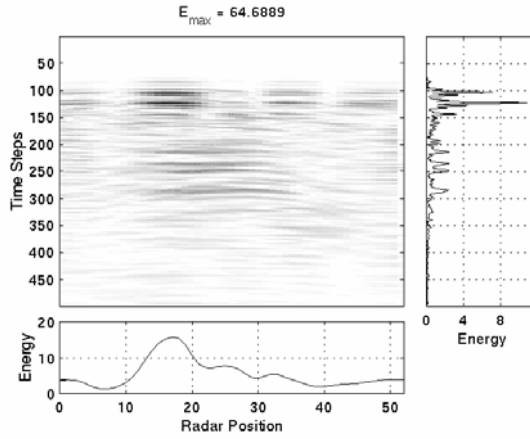


Şekil 7. İkinci heterojen toprak modeliyle elde edilmiş plastik mayın benzetimi sonuçları.

Şekil.4'teki heterojenliklerin boyutlarının değiştirilmesiyle Şekil.8'deki heterojen toprak modeli elde edilmiştir. Bu toprak modelinin benzetim sonuçlarının Şekil.7'yle karşılaştırılması heterojenliğin yoğunluğunun mu boyutunun mu daha önemli olduğunu ve hangi parametrenin daha çok göz önüne alınması gerektiğini belli edecektir. Bu toprak modelinin Şekil.9'da verilen benzetim sonuçları herhangi bir tespiti yapılamadığını göstermektedir. Dolayısıyla, heterojenliklerin sayısının artırılması değil, ama boyutlarının büyütülmesi tespiti iyice zorlaştırmaktadır.



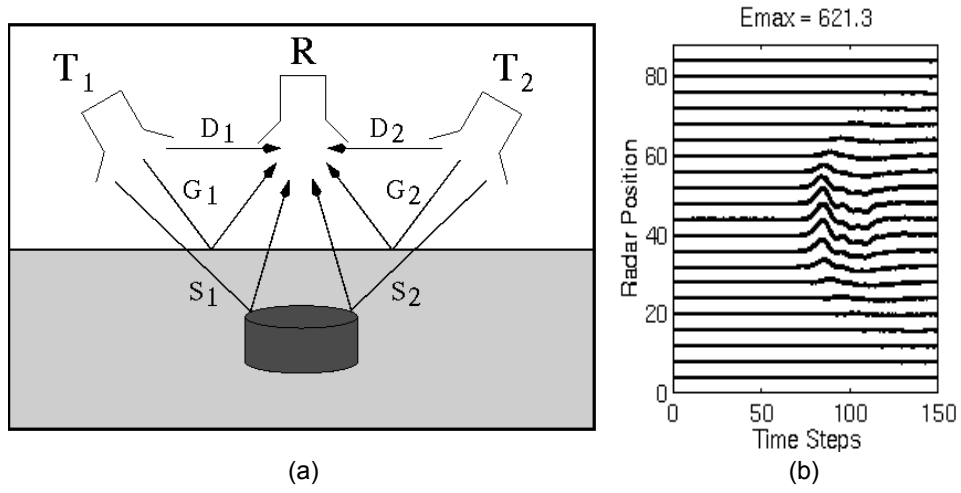
Şekil 8. Üç katmandan oluşan üçüncü heterojen toprak modeli.



Şekil 9. Üçüncü heterojen toprak modeliyle elde edilmiş plastik mayın benzetimi sonuçları.

Bir verici ve bir alıcıdan oluşan radar ünitesine alternatif olarak iki verici ve bir alıcıdan oluşan bir üniteyle [1], [8] (Şekil.10(a)) alıcıda gözlemlenen direk sinyalden kurtulunabilir. Anılan iki verici toprağa paralel olarak aynı yüksekliğe yerleştirilip ters faz açılarıyla beslenirse tam ortalarından geçen düzlemde simetriden dolayı 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 yansıyacak, bu da vericilerin tam ortasına yerleştirilmiş olan alıcının cisimden yansıyan sinyalleri algılamasını sağlayacaktır. Bu duruma bir örnek olarak Şekil.10(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 yansıyarak ulaşan bir sinyalin var olmadığı bellidir.

Yine verici-alıcı-verici (VAV veya TRT) konfigürasyonunda tasarlanmış olan bir GPR ünitesinin kullanımı sırasında oluşan saçılım sinyalleri Şekil 11'de gösterilmiştir. Alıcı ve verici antenler yere paralel olarak yerleştirilmiştir. Hedef, yerin 5 cm. altında bir iletken diskidir. Alıcı, hedefin merkezinden 4 cm. yana kayık olacak şekilde yerleştirilmiştir. Alıcı ve vericiler arasındaki uzaklık 6 cm. olarak seçilmiştir. Şekil 11'de zamana bağlı olarak, $80\Delta t$ 'den $250\Delta t$ 'ye kadar on farklı durum gösterilmiştir. Şekil 11'de çizilen oklar sadece hedeften saçılan sinyallerin güç vektörlerini temsil etmektedir. Alıcının (R) üstüne düşen vektörlerin bir kısmı GPR tarafından kaydedilmektedir.

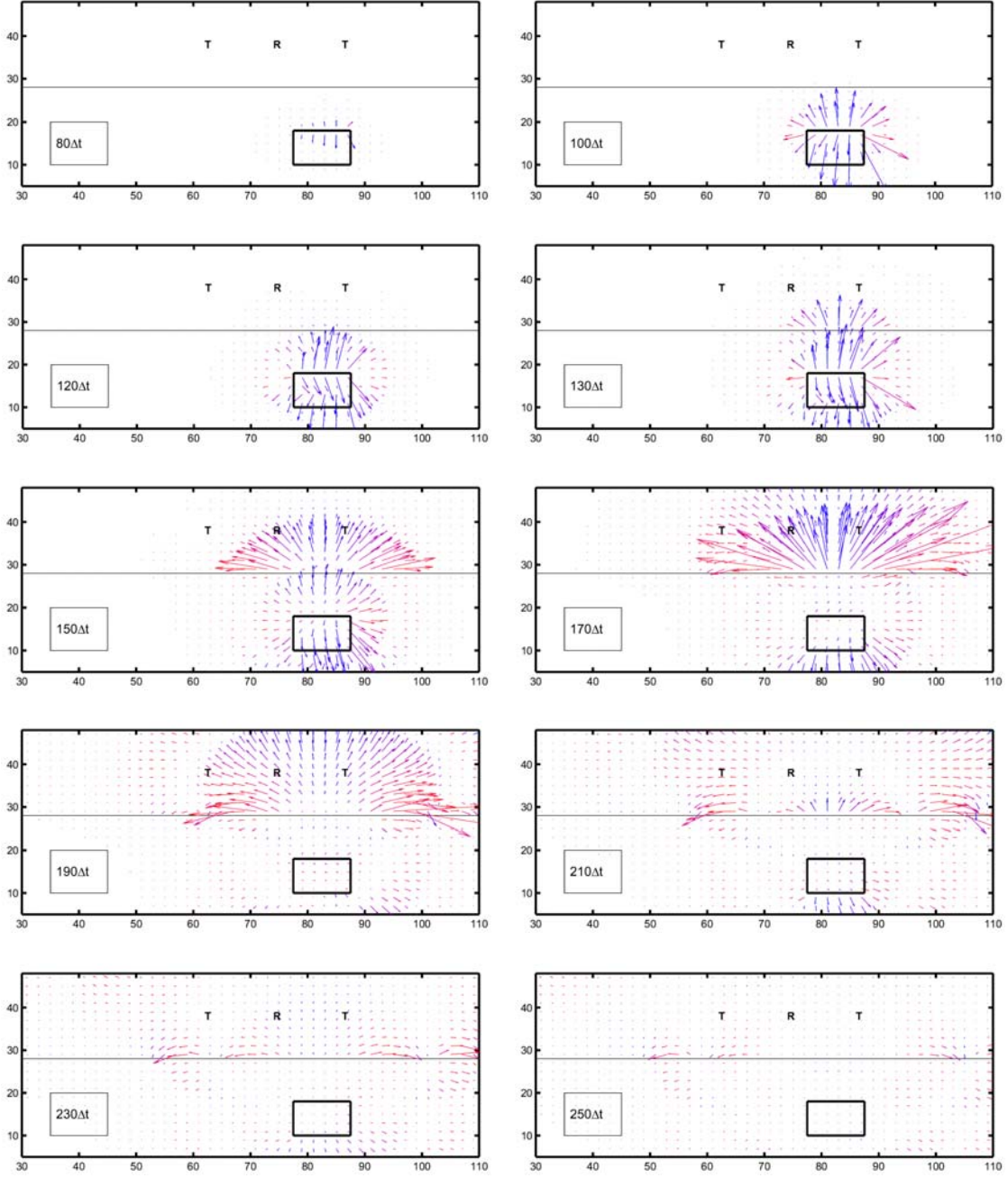


Şekil 10. İki vericili GPR modeli ve 2.5 cm derine gömülü iletken cismin benzetim sonuçları.

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 hedeflerin benzetimleri için iki değişik GPR modeli kullanılarak yapılmıştır. Bu modellerden 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.

GPR problemlerinde toprak heterojenliğinin yer alması, uzaydan uydularla tarama ve tespit uygulamalarında da son derece önemlidir. GPR problemlerinde hedef mayın, heterojenlikler de küçük taşlar, bitki kökleri ve hava boşluklarıysa, uydudan tarama uygulamalarında da hedef belki bir tank, etrafta gürültü sinyali yaratacak diğer etkenler de ağaçlar, kayalar veya insanlar olabilir. Bu yüzden, bu iki uygulama, yaşanan problemler ve çözüm yolları açısından büyük paralellik gösterir. GPR problemlerinde toprak heterojenliğinin etkilerinin anlaşılabilmesi, uydularla tarama uygulamalarında da öğrenilmesi gereken sonuçlar verecektir.



Şekil 11. Verici-alıcı-verici şeklinde kullanılan GPR ünitesinin yarattığı mayından saçılım sinyallerinin güç vektörleri zamana bağlı olarak gösterilmiştir.

Kaynakça

- [1] L. Gürel and U. Oğuz, "The Effects of the Antenna Separation and Polarization on the Simulation Results of Transmitter-Receiver-Transmitter-Configured Ground-Penetrating Radars," 28 March 2001 <<http://www.cem.bilkent.edu.tr/gpr/>> (Apr. 17, 2001).
- [2] D. J. Daniels, *Surface-Penetrating Radar*. London: IEE, 1996.
- [3] *Second International Conference on the Detection of Abandoned Land Mines*. IEE, Edinburgh, UK, Oct. 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] L. Gürel and U. Oğuz, "GPR'ın (Ground Penetrating Radar) Elektromanyetik Olarak Modellenmesi ve Senaryo Simülasyonları," *Savunma Sanayiiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, Haziran 1997.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] L. Gürel and U. Oğuz, "Three-dimensional FDTD modeling of a ground-penetrating radar," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 38, no. 4, pp. 1513-1521, July 2000.
- [9] L. Gürel and U. Oğuz, "Modeling of ground-penetrating-radar antennas with shields and simulated absorbers," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, accepted, Dec. 2000.
- [10] U. Oğuz and L. Gürel, "Simulations of ground-penetrating radars over lossy and heterogeneous grounds," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, accepted, Nov. 2000.
- [11] U. Oğuz ve L. Gürel, "Mayın tespit sistemlerinin elektromanyetik olarak modellenmesi," *Savunma Sanayii Sempozyumu-2000*, s. 433-438, Ankara, Kasım 2000.