

YÜZEYALTI GÖRÜNTÜLEME SENARYOLARI İÇİN GELİŞTİRİLEN İKİ BOYUTLU (2B) FDTD TABANLI BİR SİMÜLASYON PROGRAMI

*Esin KARPAT**
*Levent SEVGİ***

Özet: İki boyutlu (2B) FDTD-tabanlı yüzeyaltı görüntüleme simülasyon programı tanıtılmaktadır. Yere Nüfuz Eden Radar (YNER) ismi verilen bu paket çeşitli yüzeyaltı senaryoları için yapay veri oluşturmak amacı ile kullanılabilir. Görsel ağırlıklı özelliklere sahip YNER simülasyon paketinden hem eğitim hem de araştırma amaçlı olarak yararlanılabilmektedir. Farklı verici/alıcı anten konfigürasyonları/konumları, işaret dalga şekilleri, tarama alternatifleri v.b. incelenebilmektedir. İşaret ve/veya görüntü işleme grupları farklı görüntüleme algoritmalarını YNER aracılığı ile oluşturulan saçılan veriler üzerinde test edebilir ve performans analizleri yapabilirler.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik saçılma, yüzeyaltı görüntüleme, yere nüfuz eden radar, tümör/mayın bulma mikrodalga görüntüleme, görüntü oluşturma, nesne belirleme, FDTD.

A Two Dimensional FDTD-Based Subsurface Imaging Simulation Tool

Abstract: A two-dimensional FDTD-based subsurface imaging virtual tool is introduced. The Ground Penetrating Radar (GPR) virtual tool can be used to generate synthetic scattering data for various subsurface scenarios. The virtual tool may be used for both educational and research purposes. Effects of different transmit/receive antenna configurations/locations, signal waveforms, scan alternatives, etc., may all be investigated. Signal and/or image processing groups can test different imaging algorithms on the scattering data generated via GrGPR and do performance analyses.

Key words: Electromagnetic scattering, subsurface imaging, ground penetrating radar (GPR), tumor/mine detection; microwave imaging; image reconstruction; object identification; FDTD.

1. GİRİŞ

“Görüntüleme ve Bulma”, yüzey altında gömülü olan mayınların, enkaz altında kalan canlıların, deri altındaki tümörlerin v.b. arama/bulma çalışmalarında önemli bir yeri olan iki anahtar kelimedir. Literatürde, kanserli hücrelerin yerinin tespiti konusunda (Fear ve diğ. (2002a,2002b,2003)), yeraltı mayınlarının bulunmasında (Li ve diğ. (2001,2005)), yüzeyaltında gömülü nesnelerin görüntülerinin oluşturulmasında (Karpata ve diğ. (2009)) farklı çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda atılacak en önemli adım gerçeğe yakın yer altı görüntülerinin oluşturulmasıdır. Algılayıcı ve bilgisayar teknolojileri, yer altı görüntülemeyi destekleyecek seviyelere ulaşmıştır. Ancak yüzeyaltında yer alan nesneyi tanımlamak, akıllı algılama ve tanımlama algoritmaları ile uyarlamalı gürültü ve zemin karmaşası arıtma yaklaşımları gerektiren, zor ve karmaşık bir konudur. Yüzeyaltı görüntülemenin temelinde yer alan bu alt başlıkların tümü, üzerinde geniş araştırmalar sürdürülen önemli konulardır. Daha iyi algoritmalar oluşturabilmek ve bunların testlerini gerçekleştirebilmek için olabildiğince gerçekçi senaryoların simülasyonları sonucu kaydedilen ya da yapay olarak üretilen veriler ile testlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle, Bursa.

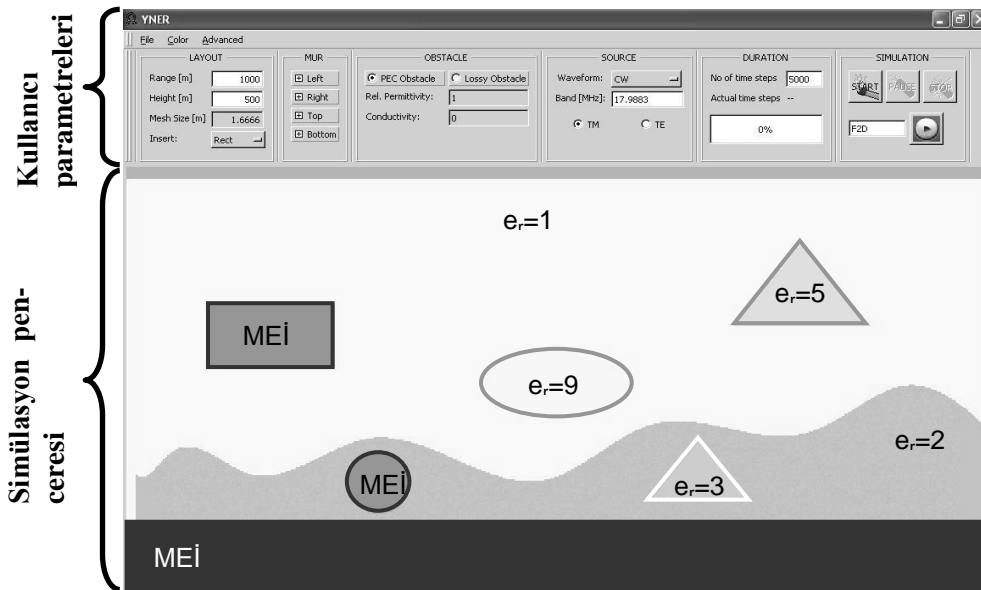
** Doğu Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Acıbadem, İstanbul.

Gerçek senaryolar üzerinden veri toplanması, çok pahalı, zaman alan ve bazen tehlikeli olabileğinden, sayısal modellerin oluşturulması ve bu modeller üzerinden veri toplanması oldukça ilgi çekicidir ve elektromanyetikte önemli bir yere sahiptir. Günümüzde, pahalı ve zaman alan deneysel çalışmalar yerine karmaşık elektromanyetik problemlerin sayısal olarak modellenmesi tercih edilmektedir. EM’te birçok güçlü zaman ve frekans düzlemi metotları yer almaktadır. Bunların içinde en tanınmış olanı zaman düzleminde sonlu farklar (Finite Difference Time Domain) metodudur (Yee, 1966). FDTD, anlaması ve uygulaması kolay bir metottur ve yüzeYaltı görüntüleme yaygın olarak kullanılmaktadır (Bourgeois ve diğ., 1998; Gürel ve Oğuz., 2000; Teixeira ve diğ., 1998;). Görsel sonuçların da elde edilmesi ile FDTD yalnızca araştırma değil öğretim amacı ile de kullanılan güçlü bir araç haline gelmiştir. Kullanımı kolay tasarım adımlarının avantajları ve önemi göz önünde bulundurularak, FDTD tabanlı simülasyon programları mühendislik toplumunun kullanımına sunulmuştur (Çakır ve diğ., 2006a, 2006b, 2008a, 2008b; Sevgi, 2006, Sevgi ve Uluişik, 2006).

Bu çalışmada, yeni bir, iki boyutlu (2B), FDTD tabanlı yüzeYaltı görüntüleme simülasyon programı (YNER) tanıtılmaktadır. Program sayesinde ekran üzerinden rastgele fare hareketleri ile ortamlar (yüzeY) ve nesnelere modellenmektedir. Farklı anten konfigürasyonları gerçekleştirilebilmekte ve paralel yada seri olarak aktif edilebilmelerine imkan sağlamaktadır. Kullanıcı kolay arayüzü sayesinde bu çalışmalara yeni başlayan öğrenci yada araştırmacılar tarafından rahatlıkla kullanılabilir özellikte bir programdır. Ayrıca, yüzeYaltı problemlerinin yanı sıra, EM’te yer alan farklı düz saçılma problemleri için yapay veri oluşturulmasında da kullanılabilir.

2. FDTD TABANLI YÜZEYALTI GÖRÜNTÜLEME SİMÜLASYON PROGRAMI

Şekil 1’de YNER programının ön paneli (ana menüsü) görülmektedir. Panelde yatayda iki kısma ayrılmıştır: üst bloklar kullanıcı tarafından girilen veriler için ayrılmış, alt kısımda yer alan simülasyon penceresi ise EM senaryolarını oluşturmak için kullanılmaktadır. İlk olarak, 2B FDTD hesap uzayı LAYOUT bloğunda yükseklik ve uzaklık boyutları girilerek belirlenir. Simülasyon penceresinin varsayılan boyutları sırasıyla 1000m × 500m olarak belirlenmiştir, 600 × 300 ayrık hücreden oluşmaktadır (FDTD simülasyon penceresinin varsayılan elektriksel özellikleri serbest uzay olarak yani $\epsilon_r=1$, $\sigma=0$ şeklinde seçilmiştir).

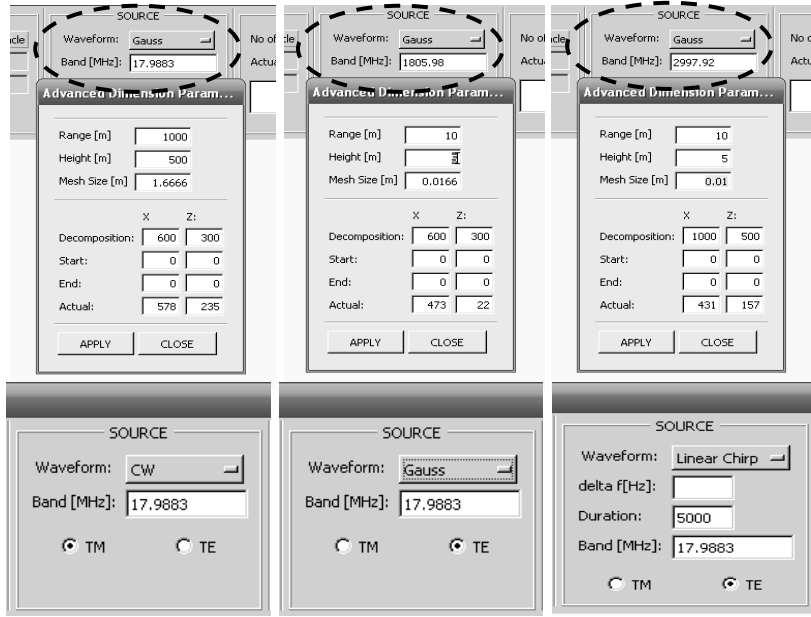


Şekil 1:

YNER simülasyon programının ön yüzü ve tipik bir senaryo.

Uzayın boyutları ve ayrık hücrelerin sayısı *Advanced* menüsünden değiştirilebilmektedir. İşaret bant genişliği Caurant kararlılık kriterinden otomatik olarak hesaplanmaktadır (Şekil 2). Antenlerin polarizasyonu (yani. kaynak) da belirlenebilmektedir. Kaynak olarak üç tip tanımlanmıştır: *sürekli dalga (continuous wave-CW)*, *Gauss darbesi veya Doğrusal FM*. Kullanıcı, doğrusal FM seçimi için frekans değişimini ve darbe süresini belirlemelidir.

FDTD uzayının üst, alt, sağ ve soldan sonlandırılması için MUR bloğu kullanılmaktadır. Sonlandırma serbest uzay ya da tam yansıtıcı olarak seçilebilmektedir. OBSTACLE bloğu 2B FDTD uzayına yerleştirilebilecek nesnelere belirlemek için kullanılır. Farklı EM parametrelerine ve geometrik şekillere sahip nesnelere düzgün ya da engebeli yüzeylerin altına ya da serbest uzaya yerleştirilebilir. Farklı malzemeler için farklı renkler kullanılmaktadır: mükemmel elektriksel iletken (MEİ) için siyah, farklı dielektrikler için sarının açıktan koyuya değişen tonlarından yararlanılmaktadır.



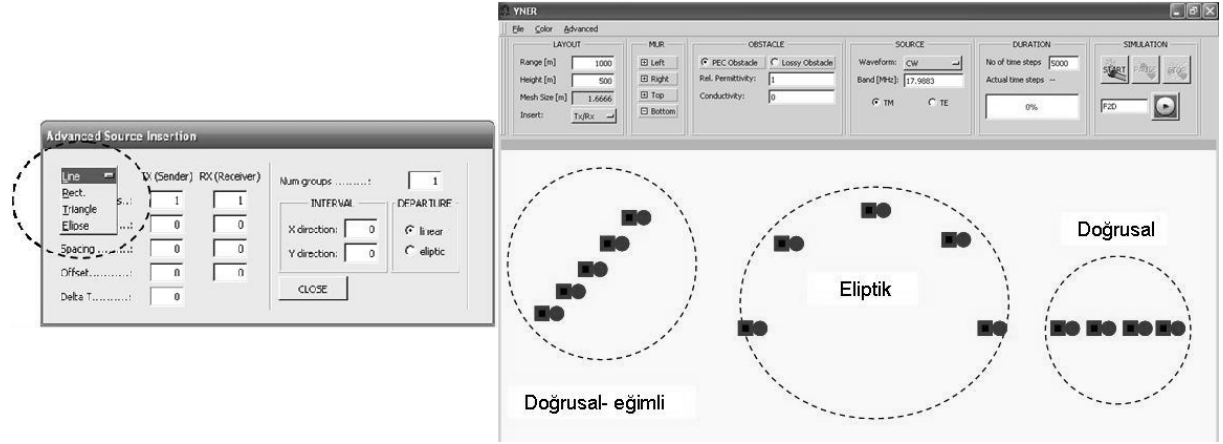
Şekil 2:
Boyutların seçimi ve kaynak bant genişliği.

FDTD simülasyon penceresi üzerinde bilgisayarın faresi yardımı ile birkaç nokta belirlenerek bir yüzey şekli otomatik olarak oluşturulabilir. YNER kübik spline algoritması kullanılarak FDTD uzayında işaretlenen noktaları birleştirecek en uygun eğriyi oluşturur. Eğri ve alt (üst) sınır arasındaki alan farenin sol (sağ) tuşuna tıklayarak doldurulabilir.

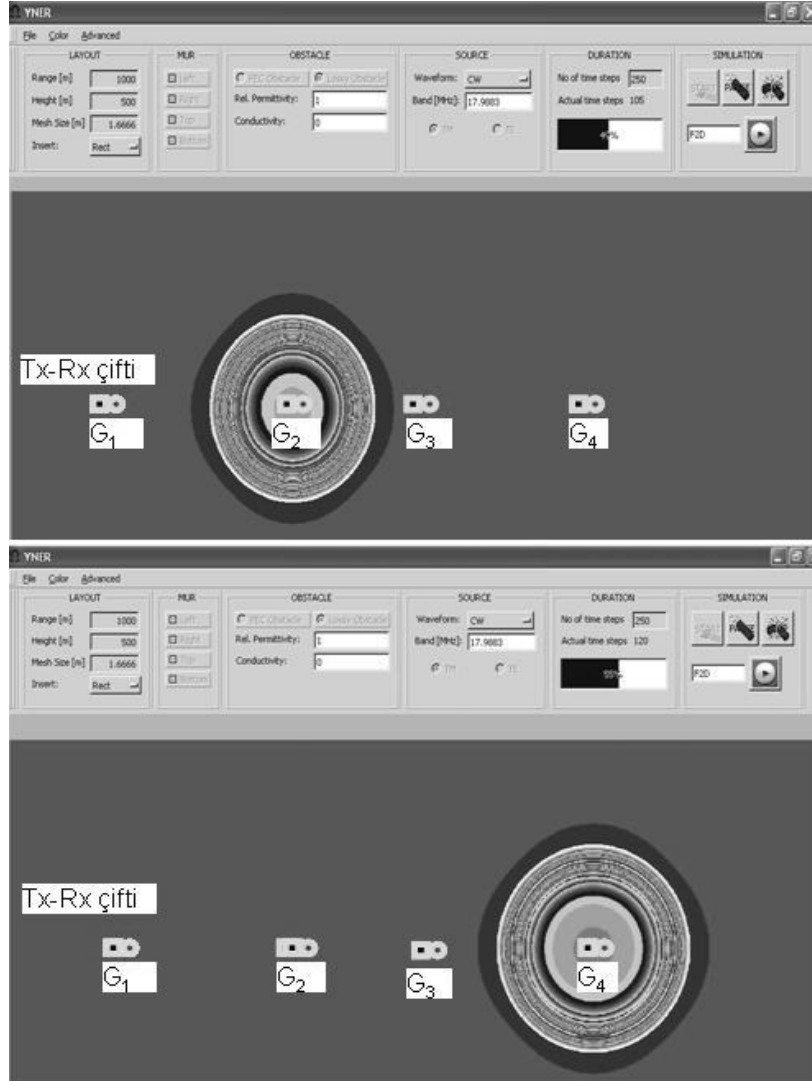
Çok sayıda verici ve alıcı antenler (yani kaynak ve gözlem noktaları) *Advanced Source* penceresi kullanılarak çift olarak yerleştirilebilir (Şekil 3). Verici antenler gruplar halinde aktif edilebilir; her grubun elemanları *Yapay Açıklıklı Radar (YAR)* prensibinde olduğu gibi ardı ardına aktif olabilirler (Şekil 4). Ayrıca, farklı tarama şekilleri dikdörtgen, üçgen ve elips seçenekleri kullanılarak uygulanabilir (Karpas, 2009). Bu penceredeki diğer parametreler vericiler arasındaki uzaklık (Spacing) veya verici alıcı arasındaki uzaklık (Offset) ve her çiftin aktivasyonları arasındaki zaman farkı (Delta_T) dir.

Kullanıcı simülasyonun süresini zaman adımlarının sayısı olarak belirler. Kontrol düğmeleri (*Start*, *Pause* ve *Stop*) simülasyonları başlatır, dondurur ve durdurur. Senaryo oluşturulduktan sonra simülasyon belirli bir zaman adımı sayısı kadar çalıştırılır. Zaman adımı sayısı saçılan alanların tamamı kaybolduğunu gözleyebilecek kadar yeterli olmalıdır. Zaman düzlemi videoları YNER ile kaydedilebilmektedir. Kaydedilen veriler ileride kullanılacak görüntü işleme algoritmalarında kullanılmak üzere saklanabilmektedir. Son olarak, kulla-

nıcı tarafından tanımlanan herhangi bir senaryo ileriki zamanlarda yapılacak analizler için saklanabilmekte ve yeniden yüklenebilmektedir.

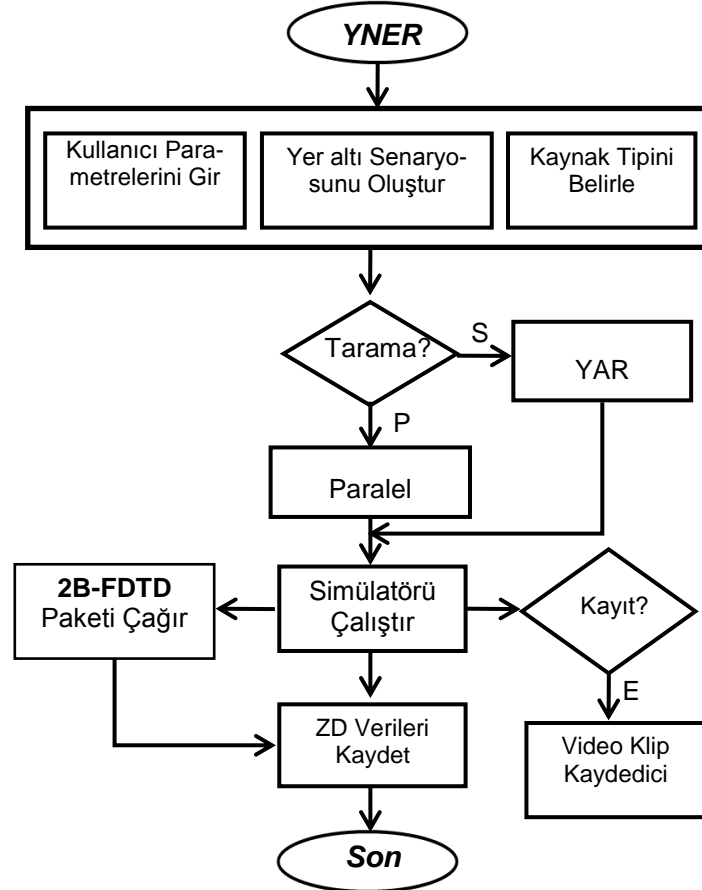


Şekil 3:
Advanced Source girişi ve farklı verici/alıcı çift konumları.



Şekil 4:
Sıralı ve yapay açıklık tipi tarama.

YNER'in yapısı ve yürütülen işlemlerin aşamaları Şekil 5'de verilmektedir. Akış şemasından da görüldüğü gibi, ilk kısım parametre seçimi, senaryo oluşturma ve verici/alıcı özellikleri için ayrılmıştır. Daha sonra tarama şekli paralel (P) ya da seri (S) olarak seçilir. Seri tarama şekli YAR uygulaması için tercih edilmektedir. Tarama şeklinin seçiminden sonra simülasyon çalıştırılır. YNER, zaman düzlemi saçılma simülasyonları ve saçılan verinin kaydedilmesi için 2B-FDTD programına bağlanır. Eğer seçili ise, zaman düzlemi simülasyonları için bir video dosyası da oluşturulur.



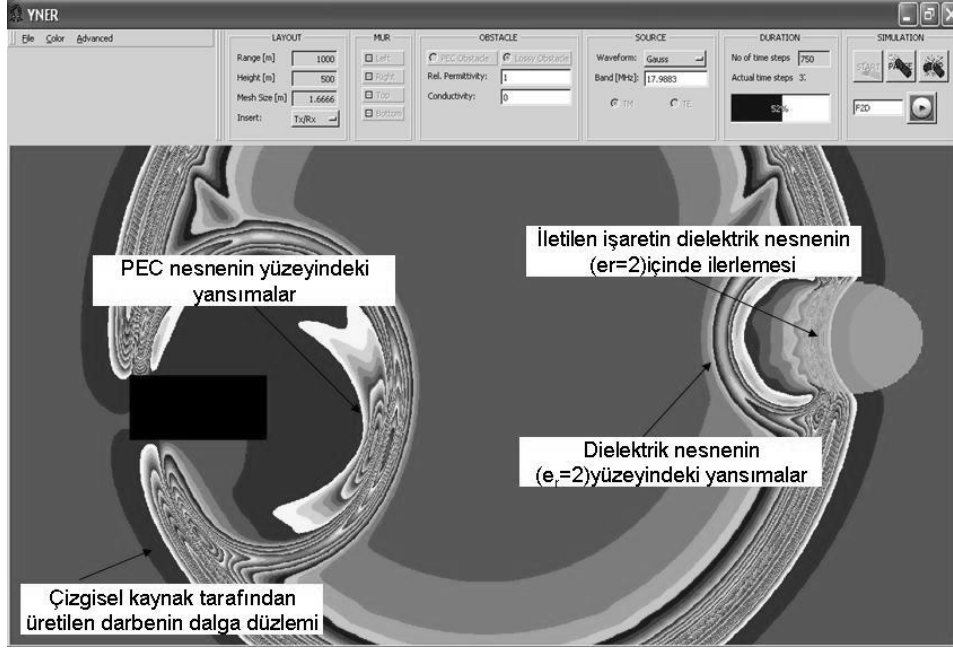
Şekil 5:

YNER'in temel blokları ve simülasyonun akış şeması.

Şekil 6. ve 7'de iki tipik senaryo ve zaman düzlemi simülasyonlarından alınan anlık görüntüleri yer almaktadır. Şekil 6, serbest uzayda bulunan iki nesneden oluşmaktadır. Nesnelere biri dikdörtgen metal diğeri ise dielektrik elipstir. Bir çizgisel darbe kaynağı ortada bir noktaya yerleştirilmiştir. Silindirik dalga düzlemleri ve nesnelere yansımalar açıkça görülmektedir. Şekil 7'de tipik bir yüzeyaltı senaryosu yer almaktadır. Düzgün olmayan bir yüzey şekli ve altında gömülü eliptik bir metal nesne görülmektedir. Çizgisel darbe kaynağı kullanılmaktadır. Alınan bu anlık görüntü, dalga düzlemlerinin yüzey ve nesne ile olan kesişimlerinde meydana gelen dalga bileşenlerini ve ardarda yansımalarını göstermektedir.

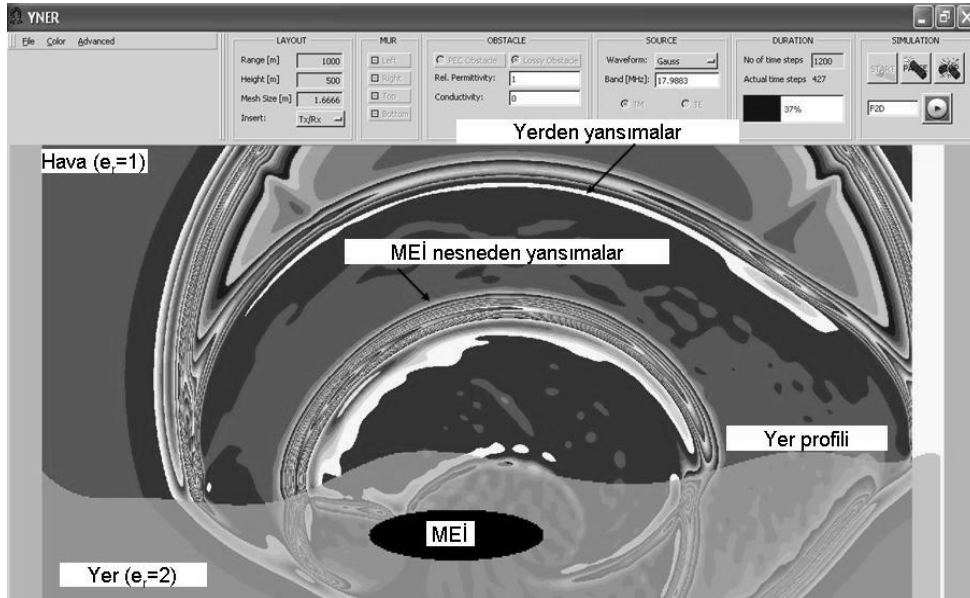
YNER'in en etkili özelliklerinden biri zemin karmaşasını modelleyebilmesidir. Bu özelliğini gösteren örnek Şekil 8'de yer almaktadır. Kayıpsız bir yer düz bir sınır ile havadan ayrılmaktadır. Çizgisel darbe kaynaktan yayılan dalgalar ve dalgaların yer ile kesişimleri gösterilmektedir. Üst sol ve sağda, sırası ile homojen ve inhomojen yerler bulunmaktadır. Yer inhomojenliği, her hücreye kullanıcı tarafından belirlenen sınırlar arasında değişen rastgele ve keyfi dielektrik geçirgenlik (ϵ_r) değeri atanarak sağlanır. Altta yer alan 2B şekilde, yerin üs-

tünde bir gözlem noktasında kaydedilen işaretin zamanla değişimi görülmektedir. Yer sınırından gelen güçlü darbe yansıması ve yer karmaşasından kaynaklanan yansımalar şekilde açık olarak gözlenmektedir.



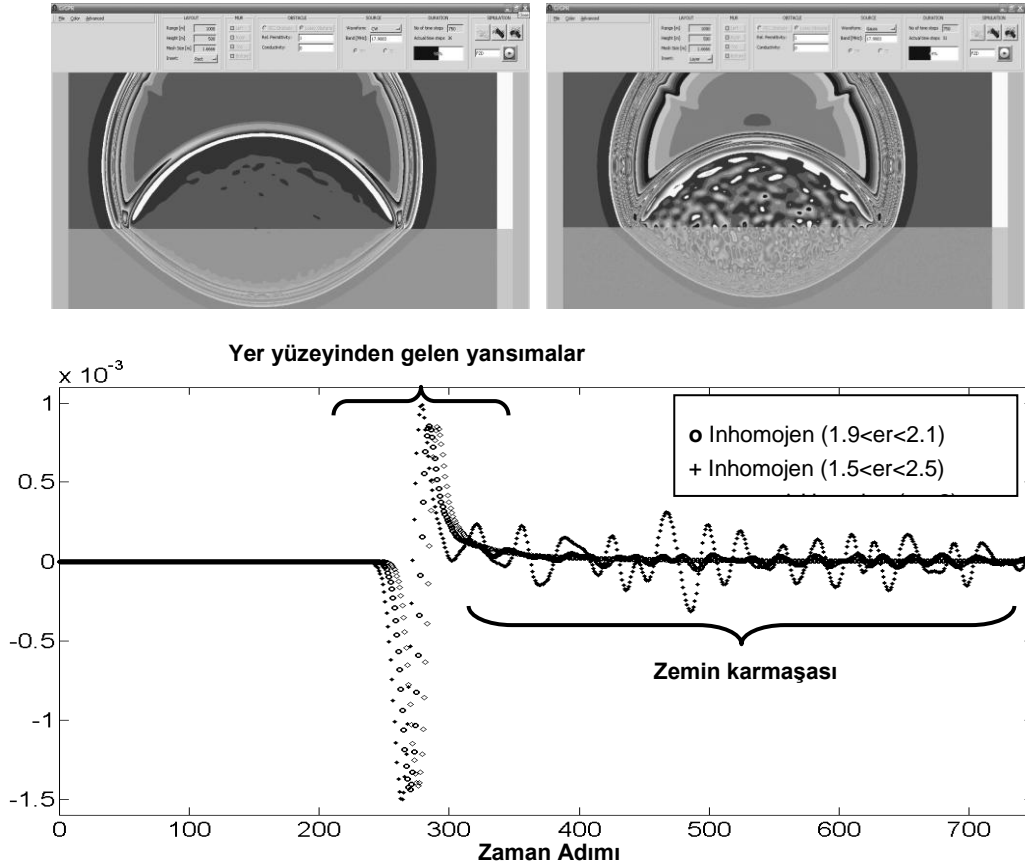
Şekil 6:

Serbest uzayda iki nesnenin bulunduğu senaryo için YNER simülasyonu sırasında alınan bir görüntü



Şekil 7:

YNER simülasyonu sırasında alınan bir görüntü : Homojen yer altında gömülü MEI nesne



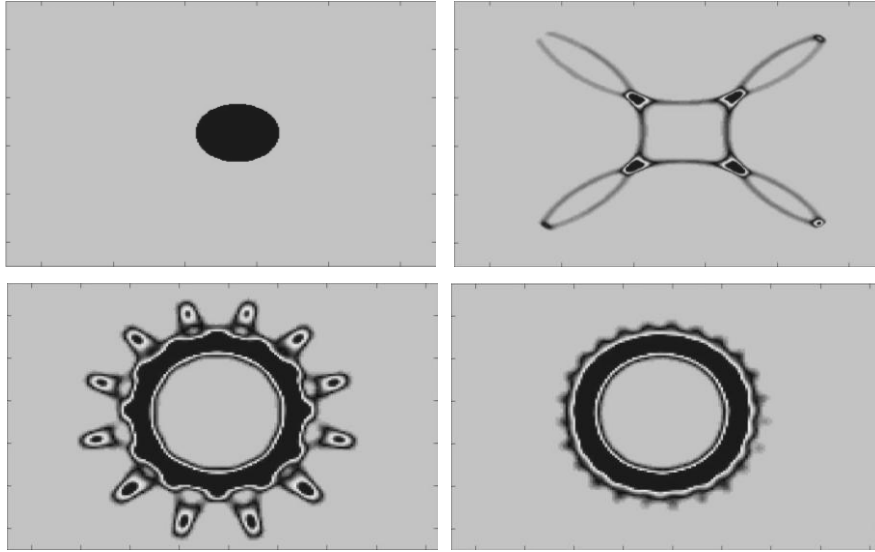
Şekil 8:

Homojen (üst-sol) ve inhomojen (üst-sağ) yer için alınan YNER simülasyonu görüntüleri, bu durumlar için kaydedilen zaman düzlemi verilerinin işaret genlikleri (alt).

3. KARAKTERİSTİK ÖRNEKLER ve YÜZEYALTI GÖRÜNTÜLEME

Bu kısımda, YNER'in etkinliğini göstermek için birkaç görüntüleme örneği yer almaktadır (Karpas, 2009). 2B xz simülasyon uzayının boyutları 1000 m × 500 m olarak belirlenmiş ve 700 × 350 hücreye bölünmüştür. 20MHz bant genişliğine sahip bir Gauss darbe işareti kullanılmaktadır. İlk olarak, serbest uzayda saçılan dalgaların kaydedilmesi ile oluşturulan verilerden yararlanılarak silindirik MEİ nesnenin görüntüsünün oluşturulması ele alınmıştır (Şekil 9). İncelenen nesnenin etrafına yerleştirilen verici/alıcı anten çiftinin sayısı 24'tür ve her biri YAR tarama prensibinde olduğu gibi sıra ile aktive olmaktadır. Aşağıda gösterileceği gibi verici/alıcı antenlerin sayısı ve konumu oluşturulan görüntüyü doğrudan etkilemektedir.

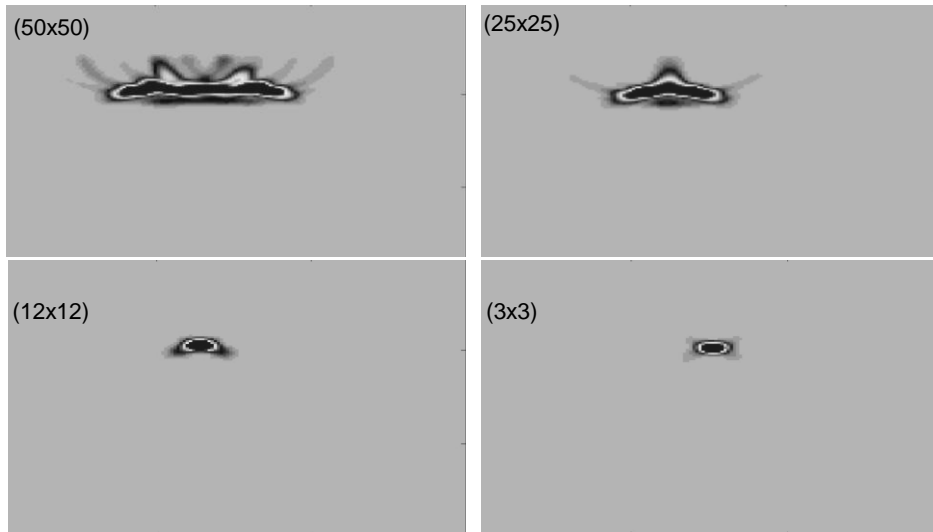
Üst solda yer alan ilk çizim nesneyi göstermektedir. Üst sağdaki ikinci ve alt soldaki üçüncü çizimler 4 ve 12 anten çifti kullanılarak elde edilen görüntülere aittir. (Karpas ve diğ., 2009). Ortam tamamen homojen olduğuna göre, gözlenen karmaşalar hayalet görüntülerden kaynaklanmaktadır. Uygun sayıda anten çifti kullanılmaması yapay karmaşa etkilerinin oluşmasına neden olur. Sağ alttaki görüntü 24 anten kullanılarak elde edilmiştir. Anten çiftlerinin sayısı 4 ten 24' e çıkarıldığında daha iyi bir yüzeyaltı görüntü elde etmek mümkündür.



Şekil 9:
Diresel MEİ nesnenin oluşturulması

Şekil 10’da yer alan ikinci örnek, incelenen nesnenin boyutunun test edilmesidir. Burada, YNER homojen yer altında gömülü dört farklı boyuttaki (50x50,25x25,12x12,3x3) MEİ dikdörtgenlere ait saçılan verilerin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Hücre boyutları her şeklin sol üst köşesinde belirtilmektedir. Saçılmaya ait veriler, Karpat ve diğ.,(2009)’da sunulan algoritma tarafından kullanılarak yer altı görüntüleri oluşturulmaktadır. Algoritma ilk olarak yüzey sınırından gelen kuvvetli yansımaları ortadan kaldırmakta, daha sonra her hücre için, hücre ve verici/alıcı anten çiftleri arasındaki zaman gecikmesi hesaplanarak hücre hücre görüntü oluşturulmaktadır. Gözlenebildiği gibi, çok küçük nesnelere bile yer altı görüntüleme sırasında algılanabilmektedir.

Son örnek, homojen ve inhomojen ($1.5 < \epsilon_r < 2.5$) yer altında gömülü farklı boyutlardaki dielektrik elips nesnenin ($\epsilon_r=2$) görüntülenmesine aittir. Sonuçlar Şekil 11’de sol üst ve sağ üstte iki farklı boyuttaki (sırasıyla 20x10 ve 80x30 hücre boyutunda) nesnenin homojen (sol) ve inhomojen (sağ) yüzey altına gömülü olduğu duruma ait senaryo yer almaktadır. Alt sırada ise bu senaryoların simülasyonu sonucunda elde edilen görüntüler bulunmaktadır.

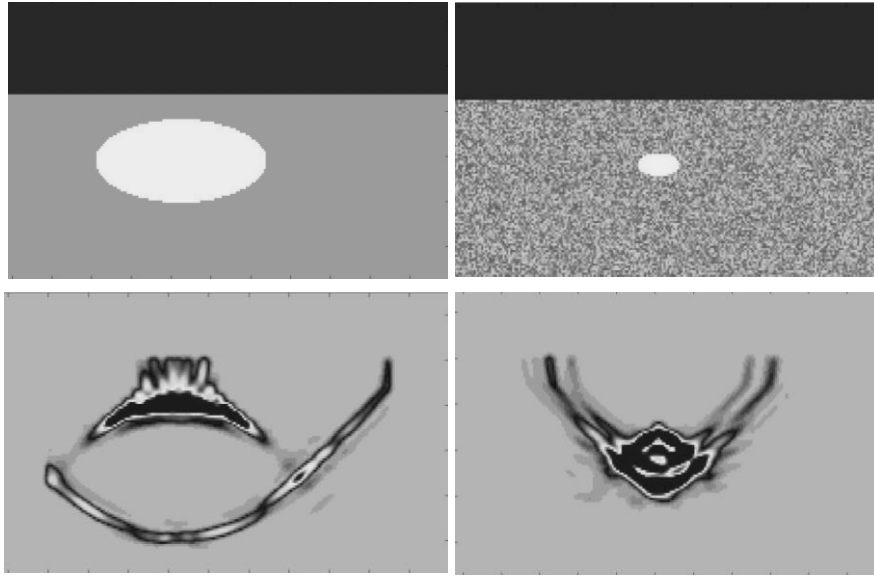


Şekil 10:
Farklı boyutlardaki dikdörtgen MEİ nesnenin oluşturulması.

IV. SONUÇ

Yer altı görüntüleme ve tümör/mayın algılama amacı ile saçılan veriyi yapay olarak üretebilecek çok yönlü bir FDTD-tabanlı simülasyon aracı-YNER- geliştirilmiştir. YNER ile elde edilen yapay veriler işaret işleme algoritmasına uygulanarak yüzeyaltında gömülü nesnelerin görüntüleri oluşturulmuş, elde edilen görüntülerden yapay verilerin doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

YNER ile herhangi bir EM yer altı senaryosu sayısal olarak oluşturulabilir ve işaret ve görüntü işleme algoritmalarının testlerinde, farklı anten konfigürasyonlarında kullanılabilir. Paket, en azından yer altı görüntüleme algoritmalarının başlangıç testlerinde pahalı ve zaman alan deneysel düzeneklerin belirli bir noktaya kadar yerine geçebilecek seviyededir.



Şekil 11:

Homojen (sol) ve inhomojen (sağ) yer altında gömülü dielektrik elips nesnenin oluşturulması.

KAYNAKLAR

1. Bourgeois, J. M. ve Smith, G. S. (1998) A Complete Electromagnetic Simulation of the Separated-Aperture Sensor for Detecting Buried Land Mines, *IEEE Trans. Antennas Propagation*, 46, 1419–1426.
2. Çakır, G., Sevgi, L. ve Çakır, M. (2006a) A Multipurpose FDTD-Based Two Dimensional Electromagnetic Virtual Tool, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 48(4), 142 – 151.
3. Çakır, G., Çakır, M. ve Sevgi, L. (2006b) A Novel Virtual FDTD-based Microstrip Circuit Design and Analysis Tool, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 48(6), 161 – 173.
4. Çakır, G., Çakır, M. ve Sevgi, L. (2008a) Radar Cross section (RCS) Modeling and Simulation: Part II – A Novel FDTD-Based RCS Prediction Virtual Tool, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 50(2), 81 – 94.
5. Çakır, M., Çakır, G. ve Sevgi, L. (2008b), A Two-dimensional FDTD-based Virtual Metamaterial - Wave Interaction Visualization Tool, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 50(3), 166 – 175.
6. Fear, E. C., Hagness, S. C., Meaney P. M., Okoniewski, M. ve Stuchly, M. A. (2002) Enhancing Breast Tumor Detection with Near Field Imaging, *IEEE Magazine*, 48 – 56.
7. Fear, E.C., Li, X., Hagness, S. C. ve Stuchly, M. A. (2002) Confocal Microwave Imaging for Breast Cancer Detection: Localization of Tumors in Three Dimensions, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49(8).

8. Fear, E.C., Meaney, P. M. ve Stuchly, M. A. (2003) Microwaves for breast cancer detection?, *IEEE Potentials*, 12 – 18.
9. Gürel, L. ve Oğuz, U. (2000) Three-dimensional FDTD Modeling of a Ground Penetrating Radar, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(4), 1513-1521.
10. Karpat, E., Çakır, M. ve Sevgi, L. (2009) Subsurface Imaging, FDTD-Based Simulations and Alternative Scan/Processing Approaches, *Microwave and Optical Technology Letters*, 51(4), 1070-1075.
11. Li, X. ve Hagness, S. C. (2001) A Confocal Microwave Imaging for Breast Cancer Detection, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 11(3), 130 – 132.
12. Li, X., Bond, E. J., Van Veen, B. D. ve Hagness, S. (2005) An Overview of UWB Microwave Imaging via Space-Time Beamforming for Early-Stage Breast Cancer Detection, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 47(1), 19-34.
13. Sevgi, L. (2006) Virtual Tools & Labs in Electrical Engineering Education, *ELEKTRİK, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 14(1), 113 – 127.
14. Sevgi, L. ve Uluşık, Ç. (2006) A MATLAB-Based Transmission-Line Virtual Tool: Finite-Difference Time-Domain Reflectometer, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 48(1), 141 – 145.
15. Teixeira, F. L., Weng, W. C., Straka, M., Oristaglio, M. L. ve Wang T. (1998) Finite-Difference Time-Domain Simulation of Ground Penetrating Radar on Dispersive, Inhomogeneous, and Conductive Soils, *IEEE Trans. on Geo-Science and Remote Sensing*, 36(6), 1928 – 1937.
16. Y. Wang, X. Li, Y. Sun, J. Li, P. Stoica, “Adaptive Imaging for Forward-Looking Ground Penetrating Radar,” *IEEE Trans. Aerospace And Electronic Systems*, vol. 41, no. 3, Jul 2005, pp.922 – 936.
17. Williams, T. C., Fear, E. C. ve Westwick, D. T. (2006) Tissue Sensing Adaptive Radar for Breast Cancer Detection-Investigations of an Improved Skin-Sensing Method, *IEEE Trans. MTT*, 54(4), 1308 – 1314.
18. Xu, X., Miller, E. L., Rappaport, C. M. ve Sower, G. D. (2002) Statistical method to detect subsurface objects using array ground-penetrating radar data, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 40(4), 963 – 976.
19. Yee, K. S. (1966) Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell’s Equations in Isotropic Media, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14(5), 302 – 307.