

# YAPAY AÇIKLIKLI RADAR MANTIĞINI KULLANAN BİR YER ALTI RADAR GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI

Caner Özdemir  
Mersin Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Çiftlikköy, 33343 Mersin  
[cozdemir@mersin.edu.tr](mailto:cozdemir@mersin.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada; yapay açıklıklı radar (YAR) kavramını kullanan, yeni bir yer altı görüntüleme algoritması tanıtılmaktadır. Yer altı bölgesinin üç boyutlu (3-B) görüntüsü, çoklu-frekans, çoklu-uzaysal saçılma verisinin üç boyutlu ters Fourier dönüşümü ile elde edilebileceği gösterilmektedir. Sunulan algoritma, hem deneysel hem de simülasyon verileriyle test edilmiştir. Elde edilen 3-B yer altı görüntüleri, sunulan algoritmanın etkinliğini göstermektedir.

## 1. Giriş

Yere nüfus eden radar (YNR) tekniklerini kullanarak, yeraltına gömülü olan nesnelerin bulunması veya yer altı ortam farklılıklarının tespiti, araştırmacılar tarafından yaklaşık son 20 yıl içinde önemli bir araştırma konusu haline gelmiş olup, mayın aramadan, arkeolojiye kadar bir çok uygulama için bu teknikler uygulanmıştır [1-3]. Şu ana kadar geliştirilen YNR görüntüleme algoritmalarında, iyi derinlik çözünürlükleri kolayca elde edilebilirken, iyi bir çapraz-menziel (cross-range) çözünürlüğü elde etmenin zor olduğu görülmüştür. Bu sonuç Hough Dönüşüm tekniğinden, Ters-Yayılım algoritmasına kadar herhangi bir YNR görüntüleme tekniğine bakıldığında görülecektir [4-5]. Çapraz menzildeki çözünürlük yoksanlığına ek olarak, uygulanan metotlar genel olarak iteratif nümerik analiz tekniklerini uygulamakta olup, görüntünün oluşması fazla zaman almakta ve önemli hafıza ihtiyaçları gerektirmektedir. Biz bu çalışmada, Yapay Açıklıklı Radar (YAR) yaklaşımını kullanan, hızlı, iyi menzil/çapraz menzil çözünürlükleri sağlayabilen pratik ve etkili bir yöntem sunuyoruz.

## 2. Yer altı radar (YNR) görüntüleme algoritması

Daha önceki çalışmalarımızda geliştirmiş olduğumuz ve anten platform etkileşimini başarılı olarak görüntüleyen "Antenna SAR (ASAR)" ve "Antenna Coupling SAR (ACSAR)" algoritmalarını [6-7], bu çalışmada yer altı görüntüleme problemine uyguluyoruz. Metodumuza göre, alıcı ve verici antenlerini yüzeye dik olarak yeraltına doğru tutarak, bir "Network Analyzer" ve bilgisayar yardımı ile yeraltından gelen geri-saçılma verisini topluyoruz (Şek.1). Eğer radar görüntüleme sıkça kullanılan dar-band genişliği ve küçük aralık yaklaşımlarını kullanırsak, yer altından saçılan elektrik alan aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E_s(k, x', z') = A_i \cdot e^{-jk(R_{1i}+R_{2i})} \cdot e^{-jk_c \sin \alpha_i \cdot x'} \cdot e^{-jk_c \sin \alpha_i \sin \beta_i \cdot z'} \quad (1)$$

Burada;  $A_i$ , saçılan alan şiddetini;  $R_{1i}$ , verici antenden saçıcıya uzaklığı;  $R_{2i}$ , saçıcıdan alıcı antene uzaklığı ve  $k_c$ , orta frekans için dalga numarasını belirtmektedir. Algoritmamız, 2-boyutlu uzaysal ızgara üzerinde, frekansı değiştirerek, 3-boyutlu frekans-mekan verisini elde etmektedir. Aşağıda gösterildiği üzere, bu verinin 3-boyutlu ters Fourier Dönüşümü alınarak, veri ACSAR algoritmasında olduğu gibi uzaklık-açı uzayına taşınmaktadır:

$$\begin{aligned} YNR(R, U, V) &= IFT_3 \{ E_s(k, x', z') \} \\ &= A \cdot IFT \left\{ e^{-jk(R_{1i}+R_{2i})} \right\} \cdot IFT \left\{ e^{-jk_c \sin \alpha_i \cdot x'} \right\} \cdot IFT \left\{ e^{-jk_c \sin \alpha_i \sin \beta_i \cdot z'} \right\} \\ &= A \cdot \delta(R - (R_{1i} + R_{2i})) \cdot \delta(U - k_c \sin \alpha_i) \cdot \delta(V - k_c \sin \alpha_i \sin \beta_i) \\ &= A \cdot \delta(R - R_i) \cdot \delta(U - U_i) \cdot \delta(V - V_i) \end{aligned} \quad (2)$$

Yukarıda elde edilen üç boyutlu birim darbe fonksiyonu, açıkça görüleceği üzere istenilen görüntü uzayında değildir. Uzaklık-açı uzayında bulunan üç boyutlu veri, aşağıdaki koordinat dönüşümleri yapılarak, asıl istenilen (x, y, z) uzayına taşınabilir:

$$x = \frac{x_o^2 + R - 2x_o R \sqrt{1+t}}{2(x_o - R \sqrt{1+t})}; y = \frac{(x_o - x) \cos \beta}{\tan \beta}; z = (x_o - x) \tan \beta \quad (3)$$

Burada  $t = \tan^2 \beta + \frac{\sec^2 \beta}{\tan^2 \alpha}$  olarak verilmektedir. Dolayısıyla, bu şekilde en son 3-B YNR görüntüsü görüntü uzayında elde edilecektir.

### 3. Deneysel ve sayısal sonuçlar

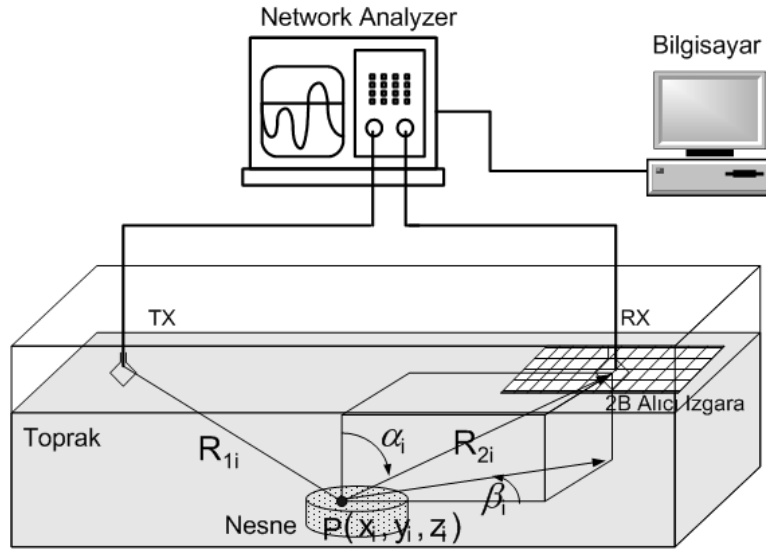
Algoritmamızı uygulamak üzere, içi tamamen kum ( $\epsilon_r = 2.26$ ) ile doldurulmuş bir havuz içine, 50 cm derinliğe boyutları 46cmx30cmx2mm olan iletken bir bakır plaka gömüldü. Alıcı ve verici antenler olarak C-bandında çalışan dikdörtgenel dalga-kılavuz tipi antenler kullanıldı. 'HP8753C Network Analyzer'dan toplanan  $S_{21}$  verisi bir bilgisayara kaydedildi. Algoritmamızı uyguladıktan sonra, kum altının elde edilen 3-B görüntüsü Şek.2'de verilmiştir. Görüldüğü üzere algoritmamız, gömülü olan metal plakayı çok hızlı bir şekilde, doğru olarak ve iyi menzil/çapraz-menziel çözünürlükleriyle başarılı bir şekilde görüntüleyebilmektedir. Algoritmanın kontrolü için, yapılan deneyin simülasyonu; bir fiziksel optik (PO) benzetim koduyla test edildi. Bahsi geçen bu kod, yüksek frekanslarda, iyi metallere saçılmayı tahmin edebilen ve "Shooting and Bouncing Ray (SBR)" tekniğini kullanan bir yazılımdır. Deney düzeneğinin saçılma simülasyonu, bu kodu sayesinde yapıldı. Daha sonra YNR görüntüleme algoritmamız elde edilen sayısal veriye uygulanarak Şek.3'de gösterilen, kum altının 3-B görüntüsü elde edildi. Eğer; Şek.2 ve Şek.3 karşılaştırılacak olursa, aralarındaki benzerliğin çok yüksek düzeyde olduğu açık olarak görülecektir.

### 4. Sonuçlar

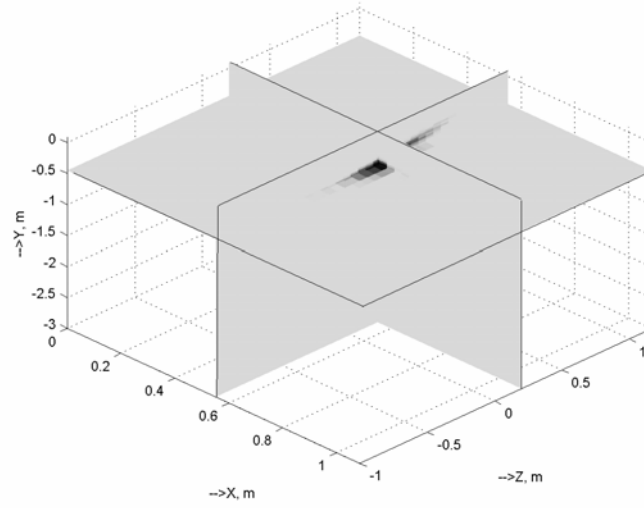
Bu çalışmada, YAR kavramını kullanan, çok hızlı ve etkin bir YNR görüntüleme tekniği sunduk ve 3-B YNR görüntüsünün, 3-B çoklu frekans, çoklu-mekan verisi ile Fourier ilişkisi içinde olduğunu gösterdik. Söz konusu tekniğimiz, herhangi bir iterasyon metodunu kullanmadan; doğrudan hızlı Fourier dönüşümünü (FFT) uyguladığından dolayı oldukça hızlıdır. Ayrıca, elde edilen YNR görüntüleri hem menziel, hem de çapraz-menziel uzayında iyi çözünürlük değerleri sağlamaktadır. Algoritmamızın test edilmesi için kurulan deney düzeneğinden elde edilen deneysel YNR görüntüsü, bir PO simülasyonu sayesinde elde edilen YNR görüntüsüyle karşılaştırıldı. Bu görüntülerin birbiriyle yüksek korelasyonda olmaları, algoritmamızın etkinliğini göstermektedir.

### Kaynaklar

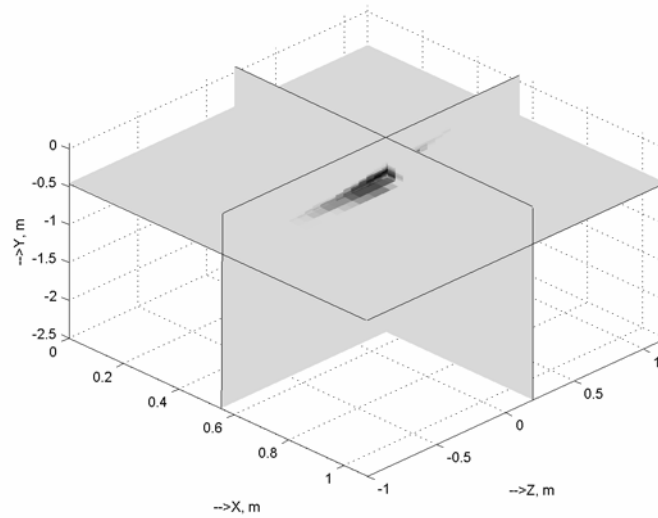
- [1]. Montoya T. P. ve Smith G. S., "Land mine detection using a ground-penetrating radar based on resistively loaded vee dipoles," IEEE Trans. Antennas Propagat., 47(21), s. 1795-1806, 1999.
- [2]. Jenwatanavet J. ve Johnson J. T., "An analytical model for studies of soil modification effects on ground penetrating radar," IEEE Trans. Antennas Propagat., 49(6), s. 923-933, 2001.
- [3]. Daniels, D.J., Surface-Penetrating Radar, IEE Press, Londra, İngiltere, 1996.
- [4]. Capineri L., Grande P. ve Temple J.A.G., Advanced Image-Processing Technique for Real-Time Interpretation of Ground-Penetrating Radar Images, Int. J. Imaging Syst Tech., 9, s. 51-59, 1998, .
- [5]. Morrow I.L., ve Van Genderen P.A., 2-D Polarimetric Backpropagation Algorithm for Ground-Penetrating Radar Applications, Microwave Opt Tech. Lett., 28,s. 1-4, 2001.
- [6] Ozdemir C., Bhalla R., Trintinalia L.C. ve Ling H., "ASAR - antenna synthetic aperture radar imaging," IEEE Trans. on Antennas and Propagat., 46(12), s. 1845-1852, 1998.
- [7] Ozdemir C. ve Ling H., "ACSAR - antenna coupling synthetic aperture radar (ACSAR) imaging algorithm," J. Electromag. Waves App., 13(3), s. 285-306,1999.



Şekil 1. 3-B YNR görüntülemesi için deney düzeneği.



Şekil 2. Gömülü metal plaka için elde edilen 3-B YNR görüntüsü (ölçüm)



Şekil 3. Gömülü metal plaka için elde edilen 3-B YNR görüntüsü (Simülasyon)