

3-BOYUTLU YERE NÜFUZ EDEN RADAR (YNR) C-TARAMA GÖRÜNTÜLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Caner ÖZDEMİR^{1*}

Şevket DEMİRCİ²

Enes YİĞİT³

^{1,2,3} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Mersin Üniversitesi, 33343, Çiftlikköy, Mersin

¹e-posta: cozdemir@mersin.edu.tr

²e-posta: sdemirci@mersin.edu.tr

³e-posta: enesyigit81@mersin.edu.tr

Anahtar sözcükler: Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), C-Tarama Görüntüleri, Radar Görüntüleme

ABSTRACT

C-Scan GPR images of various objects buried in an experimental sandbox were obtained. A stepped frequency continuous wave (SFCW) radar was used to acquire the frequency domain reflectivity of the subsurface and the 3D data were collected over a grid surface in both monostatic and bistatic configuration. From the 3D visualization of the data, both, 2D placement of objects at various depths and also 3D structure of the buried objects were easily and more visually extracted.

1. GİRİŞ

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), yer yüzeyinin veya daha genel bir ifade ile yüzey altındaki nesnelerin ve katmanların elektromanyetik teknikler kullanarak algılanmasını ve konumlandırılmasını sağlayan bir uzaktan algılama teknolojisidir. YNR, mayın ve patlamamış askeri mühimmat gibi çok sığ hedeflerin algılanmasından, buzulların derinlik çıkarımı gibi daha derin algılama problemlerine kadar çok geniş alanda yüzey altı algılama problemlerinde kullanılmaktadır [1-3].

YNR uygulamalarında, hedef yansıtıcıyı tam ve doğru olarak konumlandırmak ve arkaplandan ayırt etmek temel ve en önemli gereksinimlerdendir. Bir çok YNR uygulamalarında, veri bir doğru hat boyunca toplanır. Bu B-tarama verileri ile yüzey altı değişimlerinin hızlı incelenmesi elde edilebilir. Fakat kara mayınları gibi küçük gömülü nesnelerin algılanması gibi uygulamalarda, hedef, hat dışında olduğu durumlarda hedefi kaçırmaya riski vardır. Bu yüzden hedef konumlandırılması ve ayırt edilmesi tekniklerini iyileştirmede çok boyutlu görüntüleme, kritik rol oynamaktadır. Yüzey altı nesnelerin başarılı

bir şekilde tanımlanması ve şekillerinin çıkarılması için, verilerin bir yüzey boyunca uzamsal örnekleme noktalarındaki ölçümler ile toplanması gerekir. Bu nedenle yüzey altının üç-boyutlu görüntülerini veren ve verilerin iki-boyutlu bir alan üzerinde toplandığı C-tarama tekniği gittikçe önem kazanmaktadır. Ayrıca 3-B YNR verileri ile yüzey altının, derinlik-dilimi, yanıl-dilim ve genlik-yüzey gibi çeşitli açılardan görünümünü elde etmek mümkündür. Literatürde, mayın algılama, arkeoloji ve jeofizik gibi birçok alanlarda, yüzey altının 3-B görüntüleri ile incelenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [4-11].

Bu çalışmada, kurmuş olduğumuz deney düzeneği ile monostatik ve bistatik C-tarama deneyleri yaparak, kum havuzundaki çeşitli gömülü nesnelerin, 3-B YNR görüntüleri elde edilmesi amaçlanmıştır. 3-B C-tarama YNR görüntüleri elde edilmesi, aynı zamanda 2-B X-Z, X-Y ve Y-Z YNR görüntülerinin de kolaylıkla gösterilebilmesi olanağını sağlayarak, gömülü olan nesnelerin istenilen kesitte imajının elde edilmesi imkanını vermektedir.

2. YNR VERİ TOPLAMA VE GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİ

Bu çalışmada, 3-B YNR verilerini, frekans adımli sürekli dalga (SFCW) prensibi ile çalışan vektör network analizöründen C-taramalar sonucu elde ettiğimizden dolayı, SFCW tekniği ile A, B, ve C taramalar hakkında kısa bilgi verilecektir.

Frekans Adımlı Sürekli Dalga Radar (SFCW) :

SFCW daha iyi iletim verimliliği için yüksek enerji ve daha iyi menzil çözünürlüğü için geniş-band sağlayan bir çeşit sürekli dalga (CW) radarıdır. SFCW radarda,

* Bu çalışma, EEEAG-104E085 proje koduyla Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir. TÜBİTAK'a, laboratuvar imkânlarını sağlayan Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne ve deneylerde kullanılan kum malzemesini hibe eden Mersin Trakya Cam Sanayi A.Ş.'ne teşekkür ederiz.

iletilen dalga, Δf adımı ile ayrılmış bir dizi N frekansına sahiptir. Bu, her bir frekansdaki ölçüm verisinden menzil profili, aşağıdaki ters Fourier dönüşümü ile sentezlenebilir :

$$s(i) = \sum_{n=1}^N S(n) \exp[j2\pi ni/N] \quad (1)$$

Bu dalgaşekline dayanan menzil çözünürlüğü $\Delta R = c/(2N\Delta f)$ ve maksimum belirsiz olmayan menzil $R_{\max} = c/(2\Delta f)$ 'dir.

A, B ve C Taramalar :

YNR verileri tarama boyutuna göre A, B ve C taramalar olarak üç değişik şekilde tanımlanmıştır [2]. Şekil 1'de görülen uzay kesitinde tanımlı 3-B koordinat sisteminde, X-Y düzlemi yeryüzeyini, Z eksenini de yerin içine doğru olan yönü ifade etmektedir. A-tarama sinyali, anteni Şekil 1'deki gibi (x', y') gibi spesifik bir konum üzerine yerleştirdikten sonra sabit bir ölçüm yapılarak elde edilir. Toplanan 1-B A-tarama sinyali, sinyal genliği ile zaman gecikmesi eksenlerinde gösterilebilir ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir :

$$f_A(z) = f(x, y, z) \Big|_{x=x', y=y'} \quad (2)$$

B-tarama sinyali, yanal bir açıklık boyunca bir dizi A-tarama ölçümleri sonucu elde edilir. Toplanan sinyal, taranan açıklık ile zaman gecikmesi veya derinlik eksenini (Z) düzleminde, gerisaçılım şiddet değerleri olarak gösterilebilir. Bu yüzden, $y=y'$ 'de ölçülen B-tarama sinyali, 2-B sinyaldir ve matematiksel ifadesi şu şekildedir :

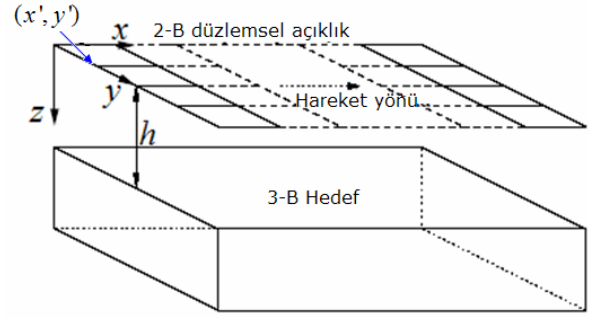
$$f_B(x, z) = f(x, y, z) \Big|_{y=y'} \quad (3)$$

C-tarama sinyali ise, X-Y düzleminde farklı y noktalarındaki, x açıklık doğrusu üzerindeki bir dizi sıralı B-taramalar sonucu elde edilir. Toplanan C-tarama sinyali, 3-B bir sinyaldir. 3-B koordinat sisteminde, X ve Y sırasıyla yatay ve dikey hedef konumlarını ve Z eksenini de hedefin derinliğini gösterir. 3-B C tarama sinyali şu şekilde gösterilir :

$$f_C(x, y, z) \quad (4)$$

Üç boyutlu bir verinin görüntülenmesi kolay olmadığından, C-tarama verisi genellikle, Z derinlik eksenindeki, ayrık spesifik konumlardaki, yatay X-Y dilimlerinin ardışık olarak gösterimi ile görüntülenebilir. Her bir dilim, B-taramanın dikey eksenine (Y) eşdeğer olan belirli bir derinlik seviyesine karşılık gelir. Şekil 1'de görüldüğü gibi belirli bir h yüksekliğinde 2-B düzlemsel açıklık boyunca tarama sonucu, 3-B frekans bölgesi gerisaçılım verisi (SFCW radar durumu için) toplanır.

Antenin her bir konumu için, anten SFCW sinyalleri iletir ve frekans bölgesi gerisaçılım verisi alınır.



Şekil 1. Görüntüleme geometrisi

3. C-TARAMA YNR GÖRÜNTÜLEME SONUÇLARI

3.1 Deneysel Düzenliği

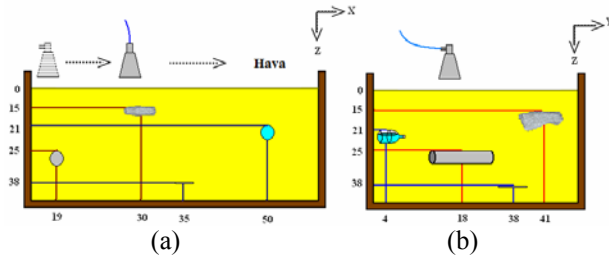
Şekil 2'de görüldüğü gibi kurulan deney düzeninde, vektör network analizörü (VNA) ile antene, ardışık olarak artan frekanslı bir dizi sinüs dalgaları iletilmiş ve gönderilen her bir sinüs dalgasının cevabı antenden geri ölçülerek kaydedilmiştir. Bu frekans spektrumu, gönderilen her bir frekansın cevabının fazı ve genliğini ifade edecek şekilde VNA'da kompleks bir vektör olarak kaydedilmiştir. Ölçülen bu kompleks S_{11} veya S_{12} saçılım parametreleri VNA'dan GPIB (General Purpose Interface Bus) veriyolu çıkışı ile bilgisayara aktarılmıştır. Kullandığımız VNA'nın modeli Agilent E5071B'dir ve 300KHz-8.5GHz frekans menziline RF sinyalleri üretebilmektedir. Anten çeşidi olarak, piramit dikdörtgensel boynuz tipi antenler (AHS Systems SAS-584) kullanılmıştır.



Şekil 2. C-tarama deney düzeni

3.2 Monostatik C-Tarama YNR Deneyleri

İlk olarak, geometrisi Şekil 3'de verilen C-tarama deneyi yapıldı. Bu deneyde değişik elektriksel özellikteki ve değişik şekildeki nesnelerin saçılma tepkilerini inceleyebilmek amacıyla, bir metal boru, içi su ile dolu bir plastik pet şişe, bir ambalaj köpüğü ve bir düz alüminyum plaka 3-B uzayda değişik konumlarda kum altına gömüldü. Deney geometrisinin X-Z düzlemindeki izdüşümü Şekil 3(a)'da, Y-Z düzlemindeki izdüşümü ise Şekil 3(b)'de görülmektedir.



Şekil 3. Monostatik C-tarama deney geometrisi (a) X-Z düzlemi izdüşümü (b) Y-Z düzlemi izdüşümü

Daha sonra, boynuz tipi anten yardımıyla kum yüzeyinin 15cm üzerinde toplam 15 tane yan yana B-taraması yapılarak, C-tarama verileri toplandı. Her bir B-taramasında; X-ekseni boyunca 60 cm yapay açıklıkta toplam 30 adet uzaysal noktada 2-B geri saçılma verisi S_{11} ; 4.8 – 8.5 GHz frekanslarında toplam 201 nokta için kaydedildi. C-taraması işlemini gerçekleştirebilmek için yukarıdaki B-taraması Y-ekseninde 4cm aralıklarla toplam 15 kez kaydırılarak 3-B uzay-uzay-frekans geri-saçılma verisi toplandı. Deney sonunda $30 \times 15 \times 201$ boyutunda YNR matrisi elde edildi. Söz konusu matrisin frekans boyutunda bir boyutlu (1-B) ters Fourier dönüşümü (IFT) alınarak, 3-B C-tarama YNR görüntüsünü elde edildi. Sinyal işleme sırasında, X ve Y eksenlerinde 4 kere sıfır-ekleme (zero-padding) yapılarak çözünürlük artırıldı. Elde edilen YNR görüntüsü üç boyutlu olduğundan, Şekil 4’de değişik derinliklerdeki 2-B X-Y düzlemi YNR kesitleri sunulmuştur.

3.3 Bistatik C-Tarama YNR Deneyleri

Daha sonra, aynı deneysel düzenek ile, alıcı ve verici antenler olarak iki özdeş dikdörtgenel boynuz tipi anten kullanarak, bistatik modda S_{12} ölçüm verileri alındı. Şekil 5’de değişik derinliklerdeki 2-B X-Y düzlemi YNR kesitleri sunulmuştur.

4. SONUÇ

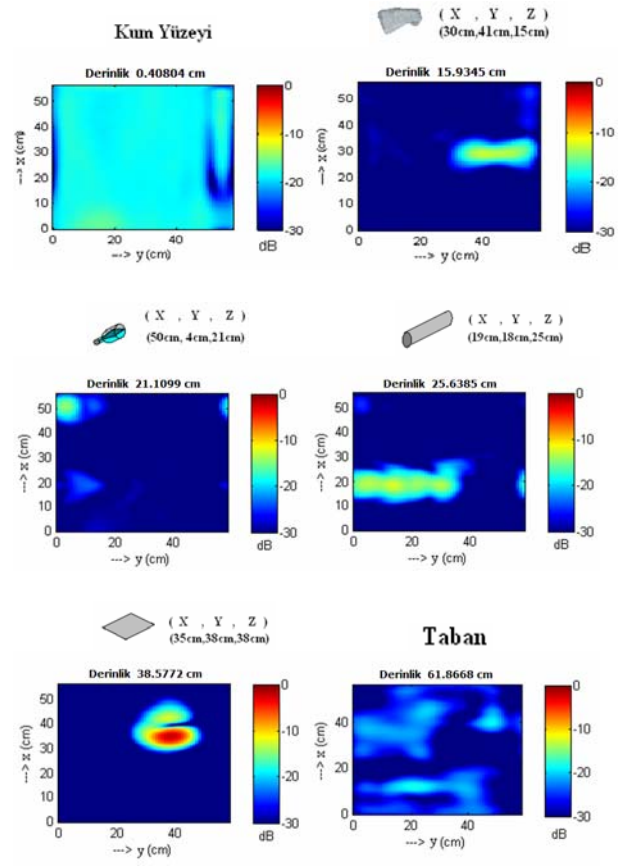
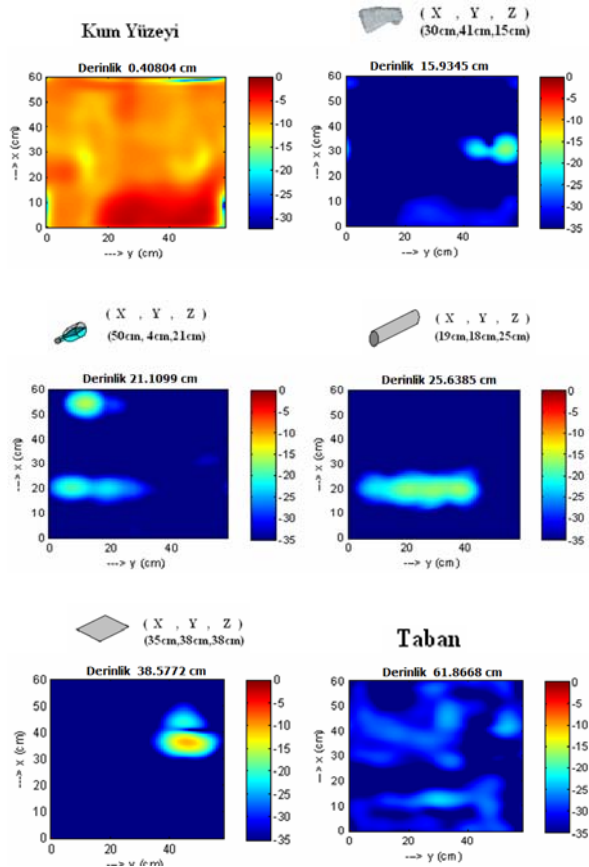
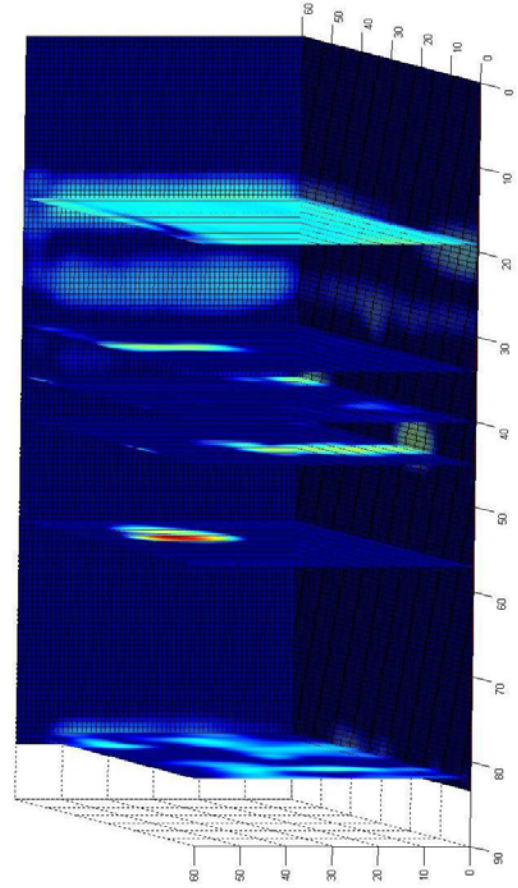
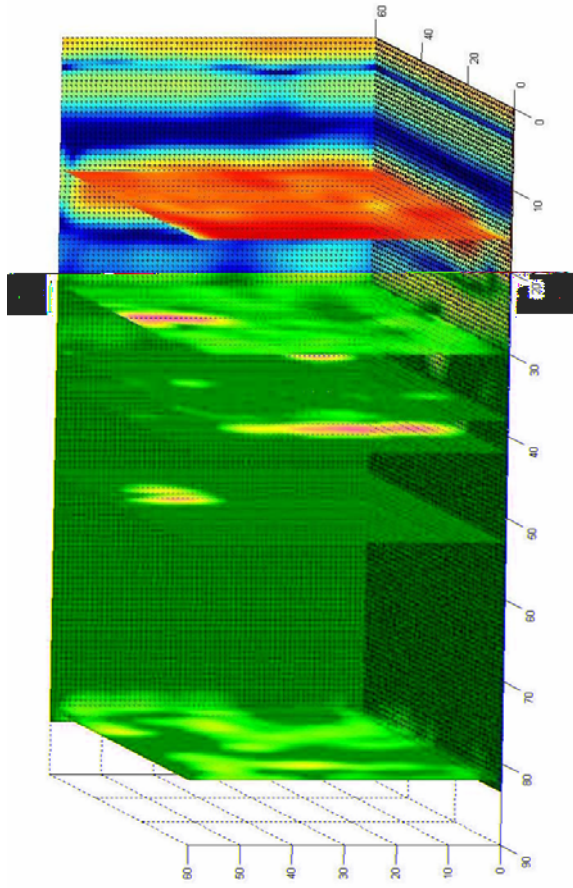
Bu çalışmada, laboratuvar ortamında kurduğumuz deneysel düzenek ile kum havuzunda gömülü çeşitli nesnelerin, 3B YNR görüntüleri başarı ile elde edilmiştir. Elde ettiğimiz ölçüm verileri ile, kum yüzeyinin hemen üstünde taranan alanı ifade eden x-y yüzeyinin farklı derinliklerdeki 2B kesitleri ve bu kesitlerin ardışık olarak sıralanması ile oluşan 3B görüntüleri çıkarılmıştır. Bu sayede, değişik uzamsal konumlarda gömülü nesnelerin farklı kesitlerde görünümünü çıkarılmış ve nesnelerin fiziki şekilleri (yapıları) daha iyi görüntülenebilmiştir. Monostatik ölçüm verilerininin 3B görüntülerinden görüleceği üzere kum yüzeyinden kaynaklanan güçlü geri yansımadan dolayı, gömülü nesnelerin gerisaçılım şiddeti, bistatik ölçüm görüntülerine göre daha zayıf olmaktadır. Bu da bistatik ölçümün yüzey altına daha güçlü sinyal göndermesi yönünden daha iyi olduğu anlamına gelmektedir.

C-tarama YNR görüntülerinin veri toplanması zaman gerektiren bir işlem olduğundan dolayı, teknolojiye X-

Y tarama düzlemindeki X eksen hareketi genellikle dizi antenler kullanılarak elimine edilir. Bizim çalışmamızda dizi antenlerimiz olmadığından dolayı yüzey üzerinde her noktada ölçüm yaparak, yüzey altının hacimsel olarak görüntüleri elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Daniels D. J., Gunton D. J. ve Scott H. F., Introduction to subsurface radar, IEE PROC., Vol 135, pp 278-320, 1988.
- [2] Daniels D. J., Surface-Penetrating Radar, London: IEE Press, 1996.
- [3] Peters L. Jr., Daniels D. J. ve Young J. D. Ground penetrating radar as a subsurface environmental sensing tool, PROC. IEEE, Vol 82, No 12, pp 1802-1822, 1994.s
- [4] Özdemir C., Lim S., Ling H., A synthetic-aperture algorithm for ground-penetrating radar imaging, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol 42, Issue 5, pp 412-414, 2004.
- [5] Özdemir C., Ling H., An experimental investigation of buried-object imaging in a homogeneous medium using synthetic-aperture radar concepts, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol 48, Issue 6, pp 1209-1214, 2006.
- [6] Zanzi L., Lualdi M., Braun H.M., Borisch W., Trilzsch G., An ultra high frequency radar sensor for humanitarian demining tested on different scenarios in 3D imaging mode, PROCEEDINGS OF THE NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND PENETRATING RADAR (GPR 2002), California, USA, 4758-251.
- [7] Conyers L.B., ve Goodman D., Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists, ALTAMIRA PRESS, DENVER, CO, USA, pp 232, 1997.
- [8] Leckebusch J., Two- and three-dimensional ground-penetrating radar surveys across amedieval choir: a case study in archaeology. ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION, 7: 189–200, 2000.
- [9] Jol H.M., Smith D.G. ve Meyers R.A., ThreeDimensional GPR Imaging of a Fan-Foreset Delta:An Example from Brigham City, Utah, U.S.A, PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND PENETRATING RADAR, Sendai, Japan, 30 September - 3 October 1996, pp 33-37, 1996.
- [10] Gibson B., Larner K. ve Levin S., Efficient 3-D migration in two steps, GEOPHYSICAL PROSPECTING, 31, pp 1-33, 1983.
- [11] Johansson E.M., Mast J.E., Three-dimensional ground penetrating radar imaging using synthetic aperture time-domain focusing, SPIE, Vol 2275, pp 205-214, 1994.



Şekil 4. Monostatik ölçümün değişik derinliklerdeki 2-B X-Y düzlemi YNR kesitleri

Şekil 5. Bistatik ölçümün değişik derinliklerdeki 2-B X-Y düzlemi YNR kesitleri