

Enerji Öznitelikleri Kullanarak Yer Altı Radarı Simülasyon Verilerinden Gömülü Cisimlerin Tespiti

Mesut Doğan, Tolunay Aydın, Ahmet Anıl Dursun, Sinem Gümüş*, Yunus Emre Koç, Gönül Turhan-Sayan
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
mesut.dogan@metu.edu.tr, anil.dursun@metu.edu.tr, tolunay.aydin@metu.edu.tr, ynse.koc@gmail.com,
gtsayan@metu.edu.tr

*Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
sinemgumuss@outlook.com

Özet: Askeri ve sivil birçok uygulamada gömülü cisimlerin tespit ve teşhisi önemli bir araştırma konusudur. Gerçek zamanlı hızlı bir karar süreci, yüksek tespit oranları ve düşük yanlış alarm oranları bu problemin en başta gelen gereksinimleridir. Hem iletken hem de yalıtkan cisimleri tespit edebilmekte yararlı olan Yer Altı Radarı (GPR: Ground Penetrating Radar) ile ölçülen elektromanyetik sinyallerden (A-scan/A-Tarama sinyallerinden), hava-toprak yüzeyinden yansıyan kuvvetli sinyal bileşenlerinin ayıklanması çok önemlidir. Bu bildiride, enerji özniteliklerinin kullanıldığı, özgün, basit ve hızlı bir ön işleme yöntemi ile yüzey yansımaları temizlenirken, varsa toprağa gömülü bir cismin tespitinin de eş zamanlı olarak yapılabildiği gösterilmektedir.

Abstract: Detection and classification of buried objects is a challenging research topic for many civilian and military applications. A fast real-time decision process, high detection rates and low false alarm rates are the main requirements of this problem. It is crucial to eliminate strong surface reflections from the electromagnetic A-scan signals measured by a Ground Penetrating Radar (GPR), which is successful in detecting both conducting and dielectric objects. It is demonstrated in this paper that using a novel, simple and fast preprocessing method, which is based on energy based features, it is possible to eliminate surface reflections and to detect the buried objects at one simultaneous step.

1. Giriş

Gömülü nesnelerin tespit ve teşhisi askeri ve sivil birçok uygulama için önemli bir araştırma alanıdır. Yer Altı Radarı (GPR) hem iletken hem de yalıtkan cisimleri algılamakta başarılı olan, etkili bir sensördür. Bu çalışmada, zamanda sonlu farklar metodunun (finite-difference time-domain: FDTD) kullanıldığı bir simülasyon (benzetim ve modelleme programı) ile üretilmiş olan GPR A-tarama (A-scan) verilerinden elde edilen birikimli enerji eğrilerinin ön işleme ve hedef tespitinde öznitelik olarak kullanımı [1-2] gösterilmektedir.

Ham GPR A-tarama verilerinden hava-toprak sınır yüzey yansımalarının hassasiyetle ayıklanması, GPR ön işleme sürecinin en kritik aşamalarından biridir. Çünkü hava-toprak yüzeyinden yansıyan sinyaller, toprak içinde gömülü olan hedeften yansıyan elektromanyetik sinyallere kıyasla çok daha güçlüdür. Yüzey yansıma sinyallerinin doğru bir şekilde ayıklanamaması hedef tespit işleminde hata ve yanlış alarm oranlarını artırır. Birikimli enerji eğrilerindeki hızlı yükselişler ve plato bölgelerine geçişler, yüzey yansıma sinyallerinin etkili olduğu zaman dilimlerinin otomatik olarak belirlenebilmesine olanak sağlar. Hedefin boyutlarına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak, hedefin gömülü olduğu yere karşılık gelen zaman bölgelerinde A-tarama sinyallerinin anlık gücünde hızlı yükselişler olur ve bu yükselişlerin ön işlemede kullanılan birikimli enerji eğrilerine yansımaları hedef tespitini de eş zamanlı olarak mümkün kılar. Ayrıca, A-tarama verilerine karşılık gelen anlık güç sinyallerinin kullanımı, gömülü bir hedefin varlığı durumunda, A-tarama verilerinde gözlenen kontrastları ve buna bağlı olarak hedef tespitindeki hassasiyeti artırır.

Bu bildiride, önce homojen bir toprak içerisinde aynı derinliğe gömülmüş farklı boyutlardaki mükemmel iletken (PEC: perfect electric conductor) silindirlere ait GPR benzetim verileri üretilerek, enerji özniteliklerine dayalı ön

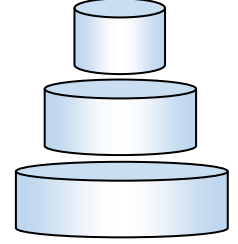
işleme ve hedef tespiti gerçekleştirilmiş, daha sonra PEC küre geometrisine sahip bir hedef kullanarak gömülüm derinliğinin benzetim sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

2. Hedef Tespit Problemlerinin ve Enerji Tabanlı Özneliklerin Tanımlanması

Bu çalışmada incelenen örnek problemlerde, mükemmel iletken (PEC) silindirik ve küresel hedefler kullanılmış, bu hedeflerden yansıyan/saçılan elektromanyetik sinyaller FDTD yöntemine dayalı bir benzetim programı ile üretilmiştir. İncelenen ilk benzetim probleminde aynı derinliğe gömülen, farklı yarıçaplarda 3 tane silindir şekilli PEC hedef kullanılmış, gömülü hedeflere ait geometrik parametreler ve ölçekli bir gösterim tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Silindir şeklindeki PEC hedeflere ait geometrik parametreler

| Silindirik Hedef Parametreleri | |
|--------------------------------|----------------|
| Yarıçap (cm) | Yükseklik (cm) |
| 3 | 5 |
| 5 | 5 |
| 7 | 5 |



Tasarlanan benzetim probleminde GPR anten yüzeyleri toprağın 5cm üzerinde konumlandırılmış olup, hedeflerin üst yüzeyleri toprak yüzeyinin 10cm altında kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Modelleme için seçilen toprak türdeş (homojen) olup bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r=3$ ve bağıl manyetik geçirgenlik sabiti $\mu_r=1$ olarak seçilmiştir.

Sunulan ikinci benzetim probleminde ise, tablo 2'de verildiği gibi, 5.5 cm yarıçaplı bir PEC küre, $\epsilon_r=3$ ve $\mu_r=2$ parametrelerine sahip kayıplı toprak içerisinde farklı derinliklere gömülmüştür.

Tablo 2. Küre şeklindeki PEC hedeflere ait yarıçap ve gömülme derinliği bilgileri

| Geometri | |
|--------------|---------------|
| Yarıçap (cm) | Derinlik (cm) |
| 5.5 | 10 |
| 5.5 | 20 |
| 5.5 | 30 |

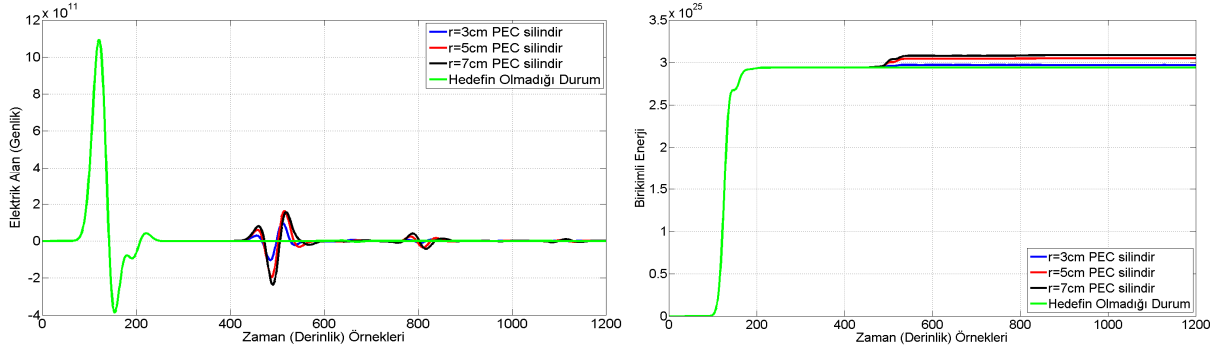
Gömülü bir hedeften yansıyan/saçılan (ölçülen ya da benzetim yolu ile hesaplanan) bir A-taramalı (A-scan) GPR sinyalinin toplam enerjisi (\bar{E}), anlık güç sinyali $|x(t)|^2$ kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{E} = \int_0^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (1)$$

$x(t)$ sinyalinin birikimli enerji eğrisi ise zamanın bir fonksiyonu olup, verilen bir "t" zamanına kadar biriken sinyal enerjisinin hesaplanmasını gerektirir [1-2]. Bu çalışmada, gömülü hedeflerin doğru tespiti ve bunun için çok önemli bir işlem olan yüzey yansımalarının hassas biçimde ayıklanması için özgün bir yaklaşım olan birikimli enerji eğrileri kullanılacaktır.

3. Benzetim Sonuçları

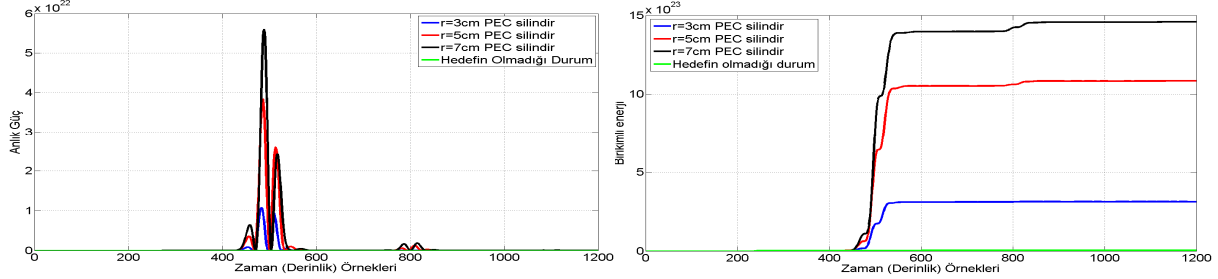
Farklı boyutta PEC silindirlere ait ham A-tarama sinyalleri ve birikimli enerji eğrileri, şekil 1-2'de verilmiştir:



Şekil 1. Farklı boyutlardaki PEC silindirlere ait ham A-tarama sinyalleri ve birikimli enerji eğrileri

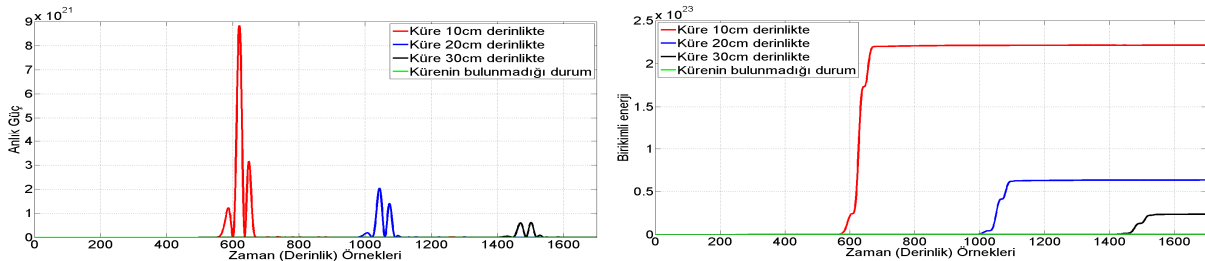
GPR sinyallerine uygulanan ön işleme basamaklarından en önemlisi, hedeften geri dönen sinyalleri bastırarak kadar güçlü olan yüzey yansımalarını kesmektir. Şekil 1'de görüleceği üzere birikimli enerji eğrilerindeki seviye değişimleri yüzey yansımalarının başlangıç ve bitiş anlarını belirlemede etkilidir. Yüzey yansımaları ayıklandıktan sonra gömülü hedefe ait yansıma/saçılma sinyalleri ham benzetim verilerine kıyasla çok daha belirgin biçimde ön plana çıkar.

GPR A-tarama sinyallerine ön işlem uygulanırken (yani yüzey yansımaları ayıklandıkça) hesaplanan birikimli enerji eğrileri yardımı ile hedef tespit işlemi de aynı anda yapılabilir. A-tarama sinyallerinin kendileri yerine anlık güç sinyallerinin kullanılması ile, hedef bilgisi barındıran ve barındırmayan GPR verileri arasındaki kontrast artmakta, hedef tespiti kolaylaşmaktadır. Şekil 2'de aynı derinliğe gömülmüş ancak farklı yarıçaplara sahip silindirik PEC hedeflere ait (yüzey yansımaları kesildikten sonra elde edilen) anlık güç sinyalleri ve birikimli enerji eğrilerinden hedeflerin boyutsal farklılıklarının yarattığı etkiler açıkça görülmektedir.



Şekil 2. Silindirik PEC hedeflerin ön işlenmiş A-tarama anlık güç sinyalleri ve birikimli enerji eğrileri

Aynı büyüklükteki farklı derinliklere gömülmüş PEC kürelerin kullanıldığı ikinci örnek benzetim probleminin sonuçları ise şekil 3'de verilmiştir. Birinci örnek problemde yapılabildiği benzer biçimde elde edilen ve yüzey yansımaları kesilen GPR verilerine ait anlık güç sinyallerinin ve birikimli enerji eğrilerinin gösterildiği şekillerde, hedeflerin gömülüm derinliklerindeki farklar ve bu farklardan kaynaklanan toplam enerji değerlerindeki değişim açıkça görülmektedir. Beklendiği üzere hedeflerin gömülü oldukları derinlik arttıkça hedeflerden yansıyan sinyallere ait anlık güç ve toplam enerji değerleri (toprağın soğurucu etkisine bağlı olarak) azalmaktadır.



Şekil 3. Küresel PEC hedeflere ait yüzey yansımaları kesilmiş anlık güç sinyalleri ve birikimli enerji eğrileri

5. Değerlendirme

Bu bildiriye, toprağa gömülü silindirik ve küresel PEC hedeflerden yansıyan/saçılan GPR verilerinin benzetimi; A-tarama verilerinden elde edilen anlık güç sinyali ve birikimli enerji eğrilerinin ön işleme ve hedef tespiti amacıyla etkili bir şekilde kullanılabilme potansiyeli; ve gömülü hedeflerin boyut ve gömülüm derinliği farklılıklarının GPR sinyalleri ve enerji tabanlı sinyal öznelikleri üzerinde yarattığı etkiler gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, BAP-03-01-2016-005 numaralı ODTÜ-BAP1 Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, ODTÜ EEMB STAR-2016 programındaki bir grup lisans öğrencisinin de katılımıyla gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Turhan-Sayan G., PhD Thesis: K-Pulse Estimation and Target Identification, Ohio State University, Electrical Engineering Department, Columbus, Ohio, USA, Aralık 1988.
- [2]. Doğan M., ve Turhan-Sayan G., "Preprocessing of A-scan GPR data based on energy features ", Proc. SPIE 9823, Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XXI, 98231E (3 Mayıs, 2016).