

Dielektrik Cisimlerin Tespiti için Geniş Frekans Bantlı Yere Nüfuz Eden Radar Tasarımı

Demet S. Armağan Şahinkaya, Sevinç Aydınlık Bechteler, Melikşah Ertuğrul, Ahmet Serdar Türk

TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü

PK: 21, 41470 Gebze, Kocaeli

e-mail: demet.sahinkaya@btae.mam.gov.tr, sevinc.aydinlik@btae.mam.gov.tr, melik@btae.mam.gov.tr, aserdar.turk@btae.mam.gov.tr

Özet: Bu çalışmada, dielektrik cisimlerin tespiti için geliştirilen elde taşınabilir geniş bantlı GPR sistemi incelenmiştir. Sistemin tasarım kriterleri ve çalışma prensibi açıklanmış, alt bileşenlerden darbe üretici tasarımı irdelenmiştir. GPR için tasarlanan bazı düzlemsel antenler ve TEM hornlar 200MHz- 4GHz frekans aralığında ele alınmıştır. Sistemin ve alt bileşenlerinin performans testleri ve deneysel sonuçlar sunulmaktadır.

1. Giriş

Yere nüfuz eden radar (Ground Penetrating Radar: GPR) teknikleri gömülü cisimlerin ve yer altındaki süreksizliklerin tespit ve teşhisinde günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. GPR algılayıcının performansı, kullanılan donanım ve yazılım kadar, toprağın ve gömülü hedefin elektriksel ve manyetik özelliklerine, hedef cismin boyutuna ve bulunduğu derinliğe bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Günümüzde GPR algılayıcılar genel olarak jeofizik uygulamalarda kullanılmaktadırlar ve merkez frekansları 1GHz'in altındadır. Merkez frekansı ve GPR darbesinin bant genişliğinin seçimi GPR sistem tasarımında anahtar parametrelerdir. Küçük boyutlu cisimleri belirlemek için daha iyi çözünürlüğe yani yüksek frekanslara ihtiyaç duyulurken, frekans arttıkça topraktaki zayıflama da artacağı için daha derinlere gömülü cisimleri tespit etmek için daha düşük frekanslar tercih edilir. Geniş bantlı GPR'lar, iyi bir çözünürlük için gereken hem düşük hem de yüksek frekanstaki sinyalleri içerdiği için önemli bir üstünlük sağlarlar ve mayın tespiti gibi uygulamalarda tercih edilirler. Gömülü küçük cisimlerin tespiti ve teşhisinde GPR darbe sinyalinin toprak içerisinde bozulmadan yayılmasını sağlayan çok geniş frekans bantlı (Ultra Wide Band:UWB) antenin yeteneği oldukça önem kazanmaktadır. GPR antenleri toprağa etkin şekilde enerji yayabilmek için yere yakın çalıştırılırlar.

2. Tasarım Kriterleri

GPR'ın çalışma etkinliği aşağıdaki isteklerin sağlanmasına bağlıdır: (i) elektromanyetik yayılımın etkin olarak toprağa geçirilmesi, (ii) hedefin bulunduğu derinliğe kadar gönderilen enerjinin iletimi, (iii) gömülü cisimden saçılan sinyalin elde edilebilmesi, (iv) istenen çözünürlük ve gürültü seviyesi göz önünde tutularak uygun bant genişliğinin sağlanması [1]. Bu çalışma isteklerine ilaveten sistem istekleri belirlenirken çözünürlük gereksinimi, incelenecek malzemenin özellikleri ve nüfuz etme derinliği gibi diğer performans parametreleri ve kısıtları da göz önünde tutulmalıdır. Sistem isteklerini belirlerken, toprağın karakteristiğini, hedefin özelliklerini ve sistem tasarım parametrelerini düşünmek gereklidir.

GPR tasarımında toprağın elektriksel özellikleri önemli parametrelerdir. Konsept olarak ortam yarı homojendir ve elektriksel davranışı ϵ , μ ve σ gibi bünyesel parametreleri ile belirlenebilir. Bağlı dielektrik sabiti (ϵ_r), etkin dalgaboyunu ve toprak iletkenliği yayılım kaybını belirler. Gerçek hayatta karşılaşılan malzeme parametrelerinin ve jeolojik koşulların bölgesel değişimi, yayılım davranışının doğru şekilde tahminini güçleştirir. Tüm bu parametreler genel olarak frekansın fonksiyonudur. RF yayılım kaybı 3GHz'ten sonra hızla artar ve çalışma bant genişliğini fiziksel olarak sınırlar. Bununla birlikte tespiti arzulanan gömülü dielektrik cisimlerin boyutları 5cm-50cm arasında değişmektedir. Ansoft HFSS® benzetimine dayalı radar kesit alanı (Radar Cross Section: RCS) analizine göre havadaki en küçük cisim için 2GHz civarındaki rezonans frekans bölgesinden önceki RCS değerleri yeterli değildir. Topraktaki sinyal yayılımının dalga boyu havadakinden daha küçük olduğu için (ϵ_r 'nin karekökü ile ilişkili), 2GHz bant genişliği bu uygulama için yeterlidir. Menzil çözünürlüğü (R_z) GPR tasarımında önemli bir performans parametresidir. Darbe radarı için bant genişliği (BW), dikey menzil çözünürlüğü ile ters orantılıdır (c ışığın boşluktaki hızı ve ϵ_r toprağın bağlı dielektrik sabitidir):

$$BW = \frac{c}{2 \cdot \Delta R_z \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$\epsilon_r=13.5$ ve $\Delta R_z=2\text{cm}$ kabulü ile bant genişliği 2 GHz olarak belirlenebilir.

3. GPR Donanım

GPR sistemi farklı toprak koşulları ve iklimlerde yaklaşık 1m. derinliğe kadar gömülü olan küçük cisimleri tespit etmek için tasarlanmıştır. Tasarlanan GPR'nın blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir. UWB verici ve alıcı tetikleme sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Alınan analog sinyal sayısal sinyale dönüştürülmekte ve mikroişlemci tarafından sinyal işleme birimine gönderilmektedir. Verici darbe tek çevrimli darbe şeklindedir ve frekans spektrumu 200MHz- 2.2GHz arasında geniş band karakteristiğine sahiptir. Bu sebeple etkin bir sistem için verici ve alıcı antenler de geniş bantlı tasarlanmışlardır.

3.1. Darbe Üretici

Çok geniş bantlı, çok kısa süreli darbe işaretleri radar uygulamalarında geniş ölçüde yer almaktadır. Kısa süreli darbe işaretinin frekans spektrumu çok düşük frekanslardan çok yüksek frekanslara kadar uzanmaktadır. Genel olarak basamak darbesi, Gauss tipi darbe, tek çevrimli darbe, çok çevrimli darbe gibi çok geniş bantlı spektruma sahip darbe işaretleri üretmek mümkündür. Tek çevrimli darbe işaretleri düşük frekans bölgelerinde bileşen içermediklerinden dolayı GPR uygulamalarında sistem tasarımı açısından performans artırıcı katkılar sağlamaktadır. Tek çevrimli darbe üreticilerinde iki ana kısıt vardır: (i) darbe genişliği, (ii) darbe genliği. Kritik darbe tasarımında tasarımcı her iki parametreyi de göz önünde bulundurmak zorundadır. Darbe genişliği gömülü küçük cisimleri tespit etmek için geniş frekans bandı isterini sağlarken, darbe genliği ise toprak içerisinde daha derindeki cisimlerden hedef bilgisi almayı sağlar. GPR sistemi için iki ayrı darbe üretici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birisi çığ (avalanche) tranzistörlerle, diğeri ise adım kazanım diyodu (Step Recovery Diode: SRD) ile gerçekleştirilen tasarımlardır [2]. Her iki tasarımda da darbe süresi ve frekans spektrumu hemen hemen aynı iken çığ tranzistörlerle yapılan tasarımda darbe genliği diğerine göre 3-4 kat daha iyi olmasına karşın seğirme (jitter) daha fazladır. GPR'nın çok derindeki cisimleri algılaması gerekli değilse özellikle küçük boyutlu hedeflerin tespitinde SRD kullanılarak yapılan tasarımlar tercih edilmelidir. Gerçekleştirilen tek çevrimli darbe üreticisine ait frekans ve zaman domen sinyalleri Şekil 2 ve 3'te verilmektedir. Ölçülen sinyalin darbe süresi 1.5ns'den az, band genişliği (10dB) ise yaklaşık 2 GHz'tir.

3.2. Verici ve Alıcı Antenler

Verici biriminde üretilen geniş bantlı GPR darbesini düzgün biçimde toprağa ısımak ve yer altındaki cisimlerden saçılan sinyali verimli şekilde alabilmek amacıyla çok geniş bantlı verici ve alıcı (T/R) antenler tasarlanmalıdır. GPR performansında doğrudan belirleyici bir faktör olan T/R anten tasarımında geniş bantlılığın yanı sıra yüksek kazanç, düşük yan/arka kulak seviyesi, azaltılmış giriş çınlaması (düşük geri yansıma), doğrusal faz cevabı, hedefe uygun polarize alan üretimi, tarama alanını kapsamak şartıyla dar ışıma huzme genişliği, yüksek verici/alıcı ekranlaması (düşük verici/alıcı kuplajı), düzgün şekilli darbe sinyal ışıması ve fiziksel kısıtlama parametreleri hep birlikte ele alınmalıdır. Bu amaçla Şekil 4'te gösterilen bow-tie türü düzlemsel anten ve TEM horn anten yapıları kullanılmıştır. Öncelikle farklı boyutlardaki bow tie antenlerin frekans ve zaman domenindeki davranışları teorik ve pratik olarak incelenmiştir. Daha sonra benzer irdelemeler TEM horn antenler için gerçekleştirilmiştir. TEM horn yapısı V-dipol benzeri bir çift üçgen yada dairesel dilimli iletken plakalardan oluşmaktadır. Bir tür iletim hattı antenidir ve darbeli GPR sistemlerinde yüksek kazanç, geniş bant ve dar huzme karakteristikleri nedeniyle sıkça tercih edilir. Frekans bant genişliğini arttırmak yada kaydırmak için dielektrik doldurma gibi teknikler kullanılabilir. Gerçekleme sürecinde kısmi yüklemeli iletim hattı yöntemi (PLTLM) adı verilen bir TEM horn anten tasarım algoritması geliştirilmiş ve gerek giriş yansıma seviyesinin gerekse ışıma kazanç paterninin gönderilecek darbe sinyalini kapsayacak derecede geniş bantlı olması sağlanmıştır. Şekil 5'te gerçekleştirilen farklı anten modelleri için alınan darbe sinyali verilmektedir. Burada TEM horn antenlerin darbe yayılım davranışının bow-tie antenlere göre daha iyi olduğu açıkça görülmektedir.

3.3 Alıcı Birimi

GPR alıcısı düşük gürültülü kuvvetlendirici, örnekle/tut kuvvetlendiricisi ve analog sayısal dönüştürücü (ADC) içerir. Sistemin darbe tekrarlama süresi (PRF) 100kHz ile 400kHz arasında bilgisayardan ayarlanabilir. Sinyal gürültü oranını (SNR) iyileştirmek için kullanılan düşük gürültülü kuvvetlendirici 200 MHz - 2.5 GHz frekans bandına ve 3dB'den düşük gürültü sayısına sahiptir. RF sinyal, örnekle tut kuvvetlendiricide tetikleme sinyali ile örneklenmiş sinyale dönüştürülür. Örnekleme için gereken yüksek hızlı anahtarlama beam lead Schottky diyotlar tarafından sağlanır. Schottky diyotlar piko saniyeler mertebesinde anahtarlama hızına sahiptirler. Örneklenen sinyal bir kapasite tarafından tutulur ve sayısal sinyale dönüştürülmeden önce bir işlemsel kuvvetlendirici ile kuvvetlendirilir.

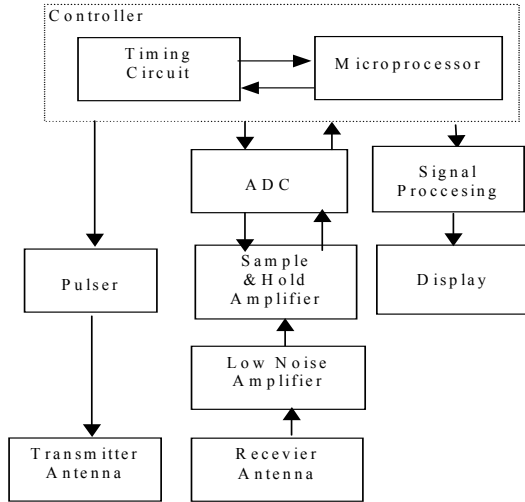
4. DeneySEL Sonuçlar

DeneySEL veriler 3mx3m boyutlarındaki 3 farklı toprak örneği (yumuşak toprak, sert toprak ve kum) içeren havuzların bulunduğu GPR test alanında toplanmıştır. Dielektrik cisimler yüzeyden birkaç santimetre derinliğe gömülmüşlerdir ve GPR algılayıcı toprak yüzeyinden 5cm yukarıda hareket ettirilmektedir. Tarama hızı tarama yönünde 0.33m/sn'dir ve bu işlem ilerleme yönünde 4cmlik çözünürlükle tekrarlanır. Alınan sinyal gürültü ve

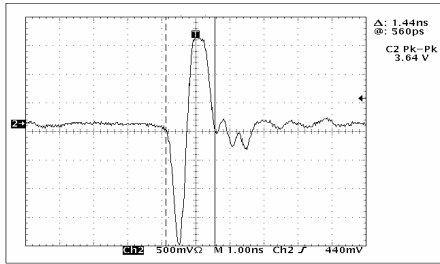
parazit yankılar (clutter) içerdiği için mümkün olduğunca temizlenmelidir. Alınan sinyalin sinyal gürültü seviyesini arttırmak için süzgeçleme, ortalama alma, arka plan çıkarma gibi birçok sinyal işleme yöntemi uygulanabilir [3]. Hedeften yansıyan enerjinin yüksek olması durumunda, kümülatif enerji dağılımı tespit uyarı sinyali elde etmek için uygun bir yöntemdir. Tasarlanan GPR'dan elde edilen pratik bir sonuç Şekil 6 da gösterilmektedir. Burada gömülü cisim toprakta 5cm derinliktedir ve 3cm yarıçapında dielektrik bir cisimdir.

5. Sonuç

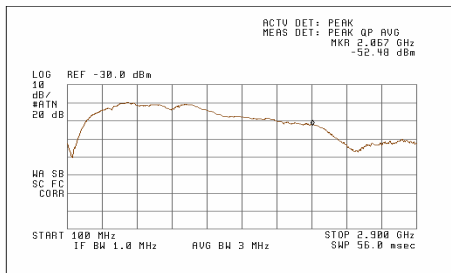
Bu çalışmada özgün bir UWB GPR tasarımı sunulmuştur. Sistemin çalışma frekansı 200 MHz - 2.2 GHz arasındadır ve farklı toprak çeşitlerinde küçük dielektrik cisimleri tespit edebilir yetenektedir.



Şekil 1. Elde taşınabilir GPR blok şeması.



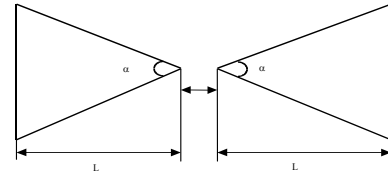
Şekil 2. Zaman domeninde ölçülen tek çevirimli darbe.



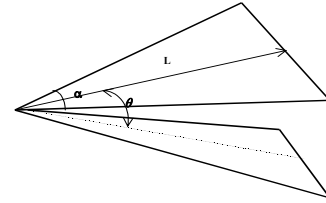
Şekil 3. Frekans domeninde ölçülen tek çevirimli darbe.

Kaynaklar

- [1] Daniels D. J., Gunton D., ve Scott H.F., "Introduction to subsurface radar," IEE Proceedings-H, vol. 135, no. 4, pp. 278-320, August 1988.
- [2] Lee J.S. ve Nguyen C., "Novel Low-Cost Ultra-Wideband, Ultra-Short-Pulse Transmitter with MESFET Impulse-Shaping Circuitry for Reduced Distortion and Improved Pulse Repetition Rate," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 11, no. 5, May 2001.
- [3] Sezgin M., Kurugollu F., Taşdelen I., Ozturk S., "Real time detection of buried objects by using GPR", Proc. SPIE, 2004, in press.

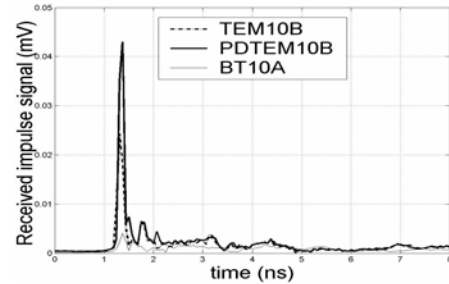


(a)

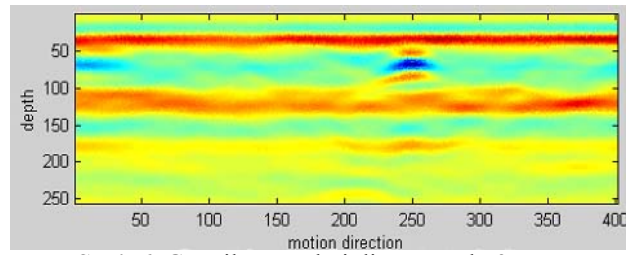


(b)

Şekil 4. Gerçekleştirilen antenlerin geometrileri; (a) Bow-tie, (b) TEM horn.



Şekil 5. Farklı T/R anten modellerinde alınan darbe.



Şekil 6. GPR ile 5cm derinliğe gömülü 3cm yarı çaplı dielektrik cisimden alınan ham veri.