

Yere Nüfuz Eden Darbe Radarı için Geniş Bantlı Anten Tasarımları

Ahmet Serdar Türk
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
P.K. 21, 41470 Gebze, Kocaeli,
e-mail: aserdar.turk@btae.mam.gov.tr

Özet: Bu çalışmada, yere nüfuz eden darbe radarları için Çok Geniş Bantlı (ÇGB) düzlemsel ve 3-boyutlu (3B) anten yapıları incelenmektedir. Bu bağlamda, bow-tie, spiral ve TEM horn antenler ele alınmış, radar performansına doğrudan etkiyen kritik parametreler olan geniş bant boyunca sabit ve yüksek kazanç, dar huzme, düşük yan/arka kulak ve giriş yansıma katsayıları ölçülmüştür. TEM hornlara kısmi dielektrik, rezistif ve soğurucu malzeme yükleme tekniği kullanılarak 20:1 band genişliğine ulaşılabileceği ve bu sayede ÇGB darbe sinyallerinin düzgün ve verimli biçimde ışıyacağı gösterilmiştir.

1. Giriş

Yere Nüfuz eden Radar (YNR) teknikleri yeryüzü altındaki gömülü cisim ve yapıların tespit ve teşhisinde giderek yaygın biçimde kullanılmaktadır. YNR darbe işaretinin merkez frekansı ve bant genişliği uygulamadaki başarımlar açısından büyük önem arz etmektedir. Toprak iletken bir dielektrik ortam özelliği gösterdiğinden çalışma frekansı arttıkça dalga yayılım kaybı da artacak ve tespit derinliği düşecektir. Ancak gömülü cisimlerin RKA (radar kesit alanı) değerleri ise frekansla birlikte yükselmektedir. Dolayısıyla, hem derindeki büyük boyutlu yapıları hem de yüzeye yakın küçük cisimleri algılayabilmek için yüksek ve alçak frekans bileşenlerini birlikte içeren Çok Geniş Bantlı (ÇGB) YNR tercih edilir [1]. Kullanılabilir bant genişliği 100MHz ila 8GHz arasında değişebilmektedir. Bu durumda, YNR darbe sinyalini düzgün biçimde toprağa ısıtmak ve yer altındaki cisimlerden saçılan sinyali verimli şekilde alabilmek amacıyla ÇGB verici ve alıcı antenler tasarlanmalıdır. Anten tasarımındaki hedef parametreler, geniş bantta kararlılık, yüksek kazanç, düşük verici/alıcı anten kuplajı, doğrusal faz cevabı ve düşük geri yansıma eldesidir. Bu sayede, düzgün biçimli darbe ışıması, yüksek verimlilik ve düşük çınlama seviyelerine ulaşarak yeraltı hedef tespit ve teşhisinde yüksek başarımlar elde edilebilir [2].

Bu çalışmada, el tipi ve araca monteli YNR için tasarlanabilecek düzlemsel anten tipleri ve 3B TEM horn yapıları incelenmektedir. Kısmi dielektrik, soğurucu ve rezistif yükleme teknikleri kullanılarak kazanç-frekans bandı 2 kat arttırılabilen, Duran Dalga Oranı (DDO) 1.5 seviyelerine çekilebilmektedir [3]. Ayrıca, EMI algılayıcı (yada metal dedektör) ile birlikte çalışan YNR sistemleri için uyumlu anten yapıları önerilmektedir. Fiziksel uygulamalara dayalı tasarlanan anten modellerinin sayısal ve deneysel sonuçları sunulmuştur.

2. YNR Anten İsterleri

Anten, YNR sisteminin performansını belirleyen en önemli donanım bileşenlerinden biridir. Çünkü, radarın bant genişliğini, duyarlılık seviyesini, kuplaj gürültüsünü, polarizasyonunu ve fiziksel boyutunu birincil derecede verici ve alıcı (T/R) antenler belirler. Yeraltında gömülü cisimleri tespit için kullanılan YNR sistemi, kullanılacak anten tipinin tasarımına önemli derecede sınırlamalar getirir. İnceleme ortamının kayıplı olması ve çoğu kez izotropik karakteristik göstermemesi frekansa bağlı bir zayıflatma etkisi yapmasına neden olur ve ortam alçak geçiren filtre gibi davranır. Buna karşın, küçük boyutlu cisimlerin geri yansıma karakteristikleri yüksek frekanslarda hızla artmaktadır. Dolayısıyla yüksek çözünürlüklü bir darbeli YNR için T/R antenlerin frekans bandı çok geniş, faz cevabı ise doğrusal olmalıdır. Uygulamalarda çoğunlukla menzile ve çözünürlüğe bağlı olarak birkaç yüz MHz ila birkaç GHz arasında bir band kullanılır. Darbe ışıması prensibi kullanıldığında alt kesim frekansı düşük TEM mod antenler tercih edilir. YNR bir kısa menzil darbeli radar olduğundan verici/alıcı arası kuplaj ve anten çınlama seviyeleri çok düşük olmalıdır, aksi takdirde karışım artar ve hedef yeri tespiti oldukça güçleşebilir. Çalışma bandının çok geniş olması ve özellikle alçak frekanslara yakın olması durumunda anten tasarımı zorlaştığından ve fiziksel boyutu büyüdüğünden bazen elektriksel boyu küçük dipol türü antenler dikkate alınabilir. Ancak bu tip antenlerin kazançları düşük, huzmeleri geniştir. Anten tipinin seçiminde dikkat edilmesi gereken ana hususlar; geniş frekans band cevabı, yüksek ışıma kazancı, düşük geri yansıma, bastırılmış yan ve arka kulak seviyesi, alıcı ve verici anten arasında düşük kuplaj, band boyunca sabit faz yanıtı ve hedef cisme uygun polarizasyondur [1]. Böylece düzgün darbe ışıması sağlanır ve istenilen tarama alanına odaklanılarak yeterince derinden küçük cisimler tespit edilebilir.

3. Düzlemsel ve 3-boyutlu Antenler

Elle taşınabilir YNR sistemleri hafiflik ve küçük boyut isterleri dolayısıyla anten bloğunun fiziki tasarımını ciddi derecede sınırlamaktadır. Bu bağlamda ilk olarak basit, kullanışlı, hafif yapıları ve doğrusal polarizasyon davranışları nedeniyle dipoller göze çarpmaktadır. Ancak dipol dar bant seçici bir rezonans antenidir. Dolayısıyla daha geniş bant iki tür düzlemsel anten; bow-tie ve spiral daha çok tercih edilmektedir [2]. Her ikisi de benzer elektriksel ve fiziksel özelliklere sahiptirler. En önemli ayırım noktaları ise polarizasyondur. Bow-tie yapısı üçgen, daire vs. şeklinde kesilmiş metalik tabaka veya bükülmüş tel şeklindedir (bkz. Şekil 1a). Darbe ışımaları için sıkça önerilen, dipol tabanlı ancak daha geniş bantlı ve kazançlı bir antendir. Spiral ise uzun kolları açısız kıvrımlarla bükülmek suretiyle dar bir alana sığdırılmış, teorik açıdan frekans bağımsız bir anten çeşitidir. Yuvarlak geometrilili cisim tespitinde geniş bantta doğrusal polarizeli ve doğrusal faz cevaplı bow-tie anten, çubuk boru benzeri yuvarlak olmayan cisimler için ise dairesel polarizeli spiral anten önerilir. Anten kol uzunlukları darbe işaretinin alt kesim frekansının dalga boyu mertebelerinde seçilmelidir. Ayrıca, bow-tie antende kol açısı eliptik polarizasyona kayma derecesini doğrudan etkilemektedir.

TEM horn düzlemsel antenlere göre daha geniş bantlı, yüksek kazançlı, dar huzmeli ve düşük DDO'lu karakteristikleri nedeniyle darbeleri YNR sistemlerinde çok kullanılan antenlerden biridir. V-dipol yapısına benzer üçgen yada dairesel dilim yapıda bir çift metal koldan oluşur. Sırasıyla kol uzunluğu, giriş besleme aralığı, kanat açısı ve açıklık açısı olarak adlandırılan L , d , α ve θ parametreleriyle ifade edilmektedir (Şekil 1b). Bir tür iletim hattı anteni olduğu için bu parametreler TEM modu dalga ışıma karakteristiğini gösterir. Genel bir ifadeyle, TEM hornun kol uzunluğu alt kesim frekansını, kanat açısı polarizasyon duyarlılığını, kol açıklık açısı ise (d ve α ile birlikte) yapısal empedansını belirler. Bunun ötesinde, bazı dielektrik doldurma teknikleri uygulanarak anten elektriksel boyu arttırılır, YNR darbe şekli ve tepe kazancı yükseltilebilir [2]. Geometrik ve yapısal anlamda uygun bir optimizasyon sonucu düzgün şekilli, az çınlamalı, etkin bir darbe işareti gönderilebilir. En önemli dezavantajı fiziksel boyutu ve ağırlığıdır. TEM horn analizleri sonlu eleman metodu (FEM), moment metodu (MoM), sonlu farklı zaman domeni (FDTD) gibi doğrudan sayısal yöntemlerle yapılabilmektedir. Ancak bu tür yöntemlerin elektriksel boyut kapasiteleri sınırlıdır ve işlem süreleri çok fazla olabilmektedir. Ayrıca, hesap sonuçlarının doğruluk seviyeleri de çoğu kez garanti edilemez. Bu yüzden, TEM horn benzetimleri için Kısmi dielektrik Yükleme İletim Hattı Metodu (KYİHM) olarak adlandırılan ve parçasal dielektrik/rezistif yüklü TEM hornların analizini hızlı ve verimli yapabilen bir yöntem geliştirilmiştir (ayrıntılar için bkz.[3]).

4. Kısmi Yükleme TEM Horn Yapısı

TEM horn anten geniş bant cevabına karşın genellikle bant geçiren filtre karakteristiği gösterir. Antenin dielektrik doldurulması suretiyle elektriksel boyunun arttırılması mümkün olsa da bu durum çalışma bandını genişletmeyecek, sadece bandın kaymasına sebep olacaktır. Çalışma bandını genişletmek için Kısmi Dielektrik Yükleme TEM horn (KDTEM) yapısı tasarlanmıştır. Analizler için KYİHM kullanılmıştır. Burada anten yapısı N-adet birim hücreye bölünmüş, her hücre bir mikroserit hat parçası olarak değerlendirilmiş ve anten bu parçalarının bileşimi şeklindeki bir iletim hattı olarak modellenmiştir (Şekil 2). Her bir mikroserit parçanın giriş empedansı (Z_{in}^n); parçanın karakteristik empedansı (Z_0^n); kol genişliği (w_n), kol yüksekliği (d_n), kol uzunluğu (l_n) ve yayılım sabiti (β_n) ile hesaplanmaktadır:

$$Z_{in}^n = Z_0^n \frac{Z_{in}^{n+1} + jZ_0^n \tan \beta_n l_n}{Z_0^n + jZ_{in}^{n+1} \tan \beta_n l_n} \quad ; \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

burada,

$$Z_0^n = 138 \sqrt{\frac{\mu_r^n}{\epsilon_r^n}} \log \left(\frac{8d_n}{w_n} \right); \quad (w_n/d_n) \leq 1 \text{ için, } \beta_n = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\mu_r^n \epsilon_r^n} \text{ ve } Z_{in}^{N+1} = \frac{(Z_0^N \lambda_0)^2}{120\pi^2 h^2} \quad (2)$$

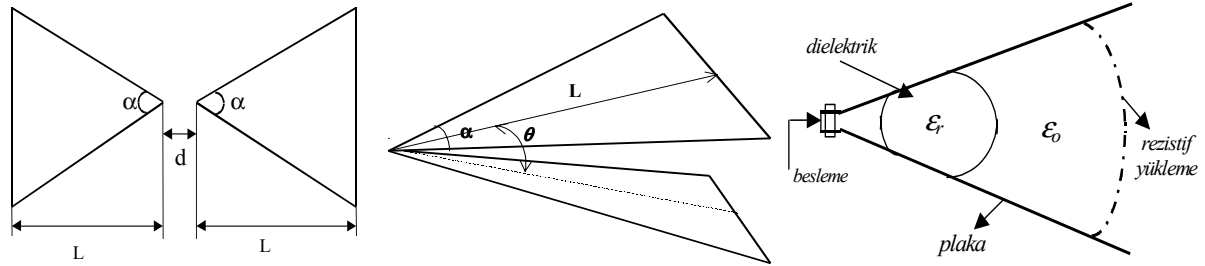
Parça giriş empedansları hesaplandıktan sonra, parça giriş yansıma katsayıları, oradan da parça gerilim/akım değerleri bulunur. Buradan da elektrik/manyetik alan integral denklemleri vasıtasıyla anten ışıma paterni ve karakteristikleri belirlenir. KDTEM horn tasarımında anten geometrisi, açıklık empedansını giriş besleme hattı empedansına uyduracak şekilde, segment karakteristik empedanslarını anten kolu boyunca adım adım düşürmek suretiyle ayarlanmıştır. Bu yaklaşım yüksek frekanslarda (antenin elektriksel hat boyu çevrim için yeterince uzun olduğundan) giriş yansımasını düşürme açısından çok etkin sonuç vermektedir. Düşük frekanslar için ise kollar arası 200Ω rezistif yükleme yapılmıştır. Ayrıca giriş beslemesi düşük iletkenlikli soğurucu ile kaplanarak bant boyunca genel DDO seviyesi biraz daha düzeltilmiştir (Fig.1c). EMI algılayıcı (metal dedektör) ile uyumlu çalışma gerektiren durumlar için anten kol metalini azaltan ama performansı koruyan ızgara modeli önerilmiştir.

5. Tasarım ve Sonuçlar

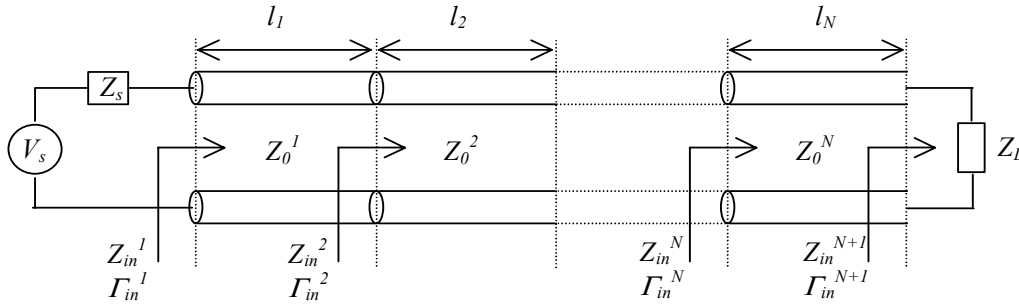
Şekil 1 ve Tablo 1’de verilen bow-tie, TEM horn ve KDTEM horn antenleri tasarlanmış ve deneysel sonuçları gösterilmiştir (Şekil 3). Karşılaştırmalı analizlerin sağlıklı olması açısından antenler benzer açıklık boyutlarında üretilmişlerdir. ÇGB giriş yansıma ve ışıma kazanç performansları HP8719D devre analizörü ile 50MHz–7GHz aralığında ölçülmüştür. Darbe ışıma şeklinin görülebilmesi için frekans bandı yanıtları ters FFT algoritmasıyla zaman domenine dönüştürülebilir. Antenler arası mesafe yere gömülü cisme ortalama uzaklığın iki katı değeri olan 50cm alınmıştır.

Tablo 1 Tasarlanan YNR Anten Modelleri

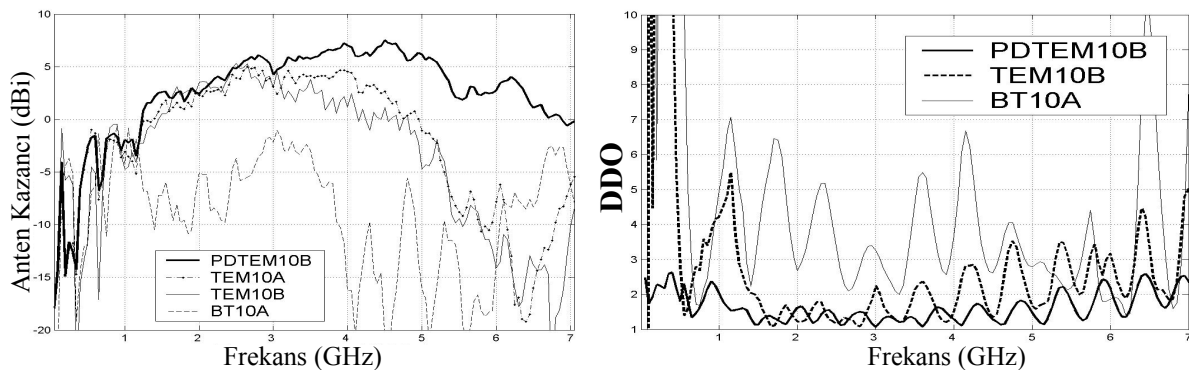
Şekil	Model	Fiziksel ve Geometrik Özellikleri
1.a	BT10A	$\alpha=60^\circ$, $d=1\text{cm}$, $\theta=180^\circ$, $L=5\text{cm}$ (metal plaka bow-tie anten)
1.b	TEM10A	$\alpha=30^\circ$, $d=0.15\text{cm}$, $L=10\text{cm}$, $\theta=80^\circ$, boş plaka TEM horn, (TEM10B:ızgara versiyonu)
1.c	PDTEM10B	$\alpha=30^\circ$, $d=0.15\text{cm}$, $L=10\text{cm}$, $\theta=80^\circ$, 5cm teflon dielektrik & 200 Ω yüklü KDTEM horn



Şekil 1. Tasarlanan anten modellerinin geometrileri (a) Bow-tie (b) TEM horn (c) KDTEM horn (yan kesit)



Şekil 2. TEM horn anten eşdeğer iletim hattı modeli



Şekil 3. Antenlerin geniş bantlı kazanç ve DDO karakteristikleri

Kaynaklar

- [1] Daniels D.J., Surface Penetrating Radar, IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6, Londra, 1996.
- [2] Turk A.S. ve Sen B., “Ultra wide band antenna designs for ground penetrating impulse radar systems,” IEEE EMC Symposium Records, Mayıs 2003, İstanbul, Türkiye.
- [3] Turk A.S., “Ultra wide band TEM horn design for ground penetrating impulse radar system,” Microwave and Optical Technology Letters, 41(6), s. 333-336, 2004.