

Yüzey Dalgalı HF Radar Sistemleri için Dar Düşey ve Yatay Huzmeli Dizi Anten Tasarımları *

Ahmet Serdar Türk, Burak Polat
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü,
P.K. 21, 41470, Gebze, Kocaeli
ahmet@btae.mam.gov.tr , polat@btae.mam.gov.tr

Özet: *Ufuk ötesi iletişim ve radar sistemlerinde HF bandında yer ve gök dalga yayılımına dayalı anten sistemleri kullanılmaktadır. Yüzey dalgalı HF radarları ufuk ötesinde birkaç yüz kilometrelik menzillerde hedef algılamasına yönelik çalışırlar. Bu radarların bakış açısı, kapsama alanı ve tarama çözünürlüğüne göre verici ve alıcı anten sistemleri tasarlanmaktadır. Bu çalışmada, radar başarımını ve verimini artırıcı dar huzmeli dizi anten yapıları tasarlanmış, sonuçları değerlendirilerek elde edilen katkılar sunulmuştur.*

1. Giriş

HF bandında çalışan ufuk ötesi iletişim sistemleri yer ve gök dalgası yayılımı prensibiyle çalışırlar. Yüzey dalgalı HF radarları ufuk ötesinde yüzlerce kilometrelik uzaklıklardan hedef algılaması yapabilecek yetenektedir. Radar bakış açısı, kapsama alanı ve tarama çözünürlüğüne bağlı olarak tasarlanan verici ve alıcı anten sistemlerinin güç veriminin artırılması radar sisteminin hedef algılama başarımını doğrudan etkileyecektir. Bu durumda, yüksek kazançlı, dar huzmeli, düşük yan/arka kulak ve kalkış açısı seviyeli anten yapılarının elde edilmesi son derece önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, temelde düşey huzme daraltmaya, yan/arka kulak seviyesini düşürmeye ve kalkış açısını indirmeye dayalı dizi anten yapıları ele alınmıştır. Böylece, hem iyonosferden gelecek geri yansıma gürültüsünün düşürülmesi hem de yüzey dalga yayılım menzilin artırılması sağlanarak özellikle uzak mesafelerdeki radar hedef algılama başarımı iyileştirilecektir. Bu kapsamda, yükseltilmiş doğrusal dizi ve kısa dipollerden oluşan kompakt antenler tasarlanmıştır. Bununla birlikte, yatay doğrultuda geniş bir açıklığı yüksek açısal doğrulukla tarayabilmek amacıyla elektronik huzme taramaya yönelik olarak dar huzmeli ve düşük yan kulak seviyeli monopollü anten dizileri sentezlenmiştir. Yatay ve düşey dizi yapıları tümleştirilerek her iki düzlemde dar huzmeye sahip yüksek kazançlı HF anten yapıları gerçekleştirilmiştir.

2. Alıcı Anten Sisteminde Elektronik Huzme Tarama

Yüzey dalgalı HF radar sistemlerinde genelde kıyıya paralel yatay sıralar halinde yerleştirilen monopollü dizilerin geniş açısal gözlem alanını dar huzmeyle taraması mekanik olarak mümkün olmadığından, uygun faz besleme tekniğine dayalı elektriksel huzme çevirme ve tarama yöntemleri kullanılır. Belli aralıklarla dizilmiş eş fazlı monopollü antenler yatay doğrultuda birkaç derecelik huzmeler ve 20-30dB yan kulak seviyelerinde ışın diyagramları oluşturabilir (bkz. Şekil 2). Antenlerin faz beslemeleri uygun değerlere ayarlandığında ana huzme yatay düzlem üzerinde döndürülebilir. Bu işlem anten girişlerine faz farkı uygulanmasıyla gerçekleştirilebilir gibi, antenlerden alınan işaretlerin işaret işleme katında sayısal geciktirmelere tabi tutulmasıyla da olabilir. Huzme tarama işlemi ile ilgili temel sorunlardan biri tarama esnasında ışın diyagramının değişmesi ve yan kulak seviyelerinin istenmeyen düzeylere çıkabilmesidir.

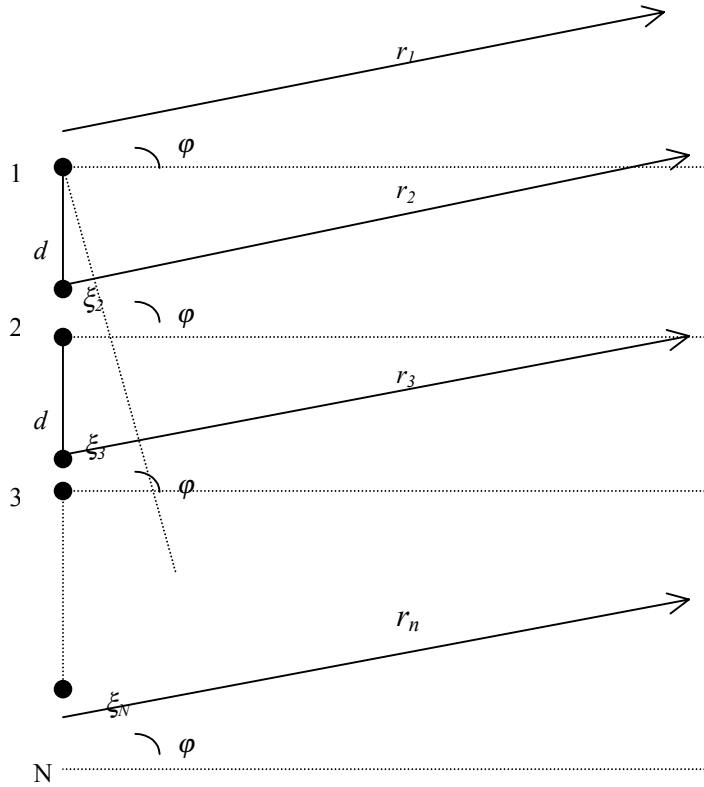
2.1 Dizi Tasarım Tekniği

Şekil 1’de verilen doğrusal anten dizisi ele alınsın. Bu dizi yapısının her biri $f_i(\theta, \varphi)$ ışın örüntüsüne (*pattern*) sahip, d aralıkla dizilmiş, N adet antenden oluştuğu varsayalım. Buna göre, üzerinden I_i genlikli sinüzoidal akım akan i ’nci antenin r_i uzaklığındaki bir noktada oluşturduğu elektrik alan

$$\vec{E}_i(\theta, \varphi) = \hat{\theta} f_i(\theta, \varphi) I_i \frac{e^{jkr_i}}{r_i}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

* Bu çalışma Dz.K.K. ’lığı Araştırma Merkezi Komutanlığı (ARMERKOM) tarafından desteklenmiştir.

şeklinde ifade edilebilir. Burada, k ortamın dalga sayısıdır.



Şekil 1. Doğrusal dizi huzme tarama konfigürasyonu

Dizi elemanları özdeş seçildiğinde ($f_i(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi)$), uzak alan kabulü altında ($d_N = (N-1)d \ll r_i, \forall i$) dizinin ışınma alanı aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$\vec{E}(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\theta, \varphi) \quad (2)$$

(1) ifadesi (2)'de yerine konulduğunda,

$$\vec{E}(\theta, \varphi) = \hat{\theta} f(\theta, \varphi) \sum_{i=1}^N I_i \frac{e^{jkr_i}}{r_i} \quad (3)$$

elde edilir. Uzak alan kabulü altında, $\xi_i = d_i \sin \varphi$ olmak üzere, (3) ifadesinde

$$r_i = r_1 + \xi_i, \quad i=2, \dots, N \quad (\text{faz değişimi için}) \quad r_i \cong r_1, \quad i=2, \dots, N \quad (\text{genlik değişimi için})$$

yerleştirilir ve antenlerin dizinin ilk elemanına göre Ψ_i kadar faz farkıyla beslenmesi durumunda dizinin toplam ışınma alanı son halini alır ($r_1 \cong r$):

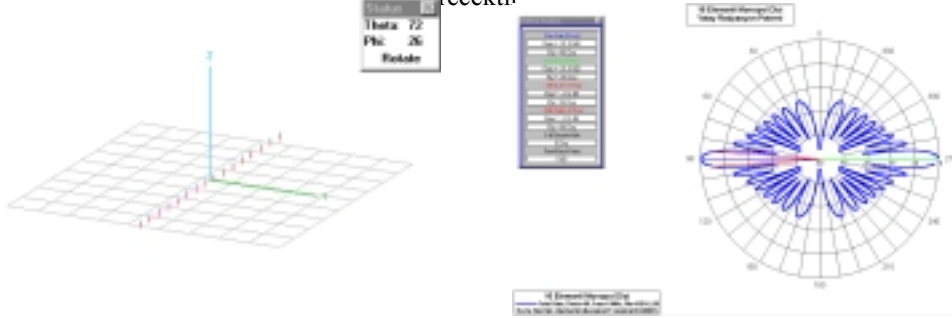
$$\vec{E}(\theta, \varphi) = \hat{\theta} F(\theta, \varphi) \frac{e^{jkr}}{r}, \quad F(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \sum_{i=1}^N I_i e^{j(i-1)(kd \sin \varphi + \psi_i)} \quad (4)$$

(4)'teki uzak alan ifadesinden de görüldüğü üzere, dizinin toplam ışınma alanı, dizi elemanlarının ışınma alanları ile doğrudan, akım ve açılal faz gecikmeleriyle ise toplamsal biçimde ilişkilidir. Birtakım basitleştirici kabuller kullanılmasına rağmen dizi faktörü yine de oldukça karmaşık bir parametrik yapıya sahiptir. Huzme tarama işleminde öncelikle ana kulağın istenilen açığa yönlendirilmesine yönelik faz beslemeleri belirlenmeye çalışılır. Sonuçta ortaya çıkan döndürülmüş diyagramlarda şekilsel farklılıklar ve yüksek yan ve/veya arka kulak seviyeleri çıkabilir. Bunların düzeltilmesi için ise fazlar yerine daha çok akım genlikleri üzerinde değişiklikler yapılır. Bölüm 2.2'de konuyla ilgili örnek tasarımlar sunulmuş, ortaya çıkan sorunlar ve çözümlerine yönelik yorumlar yapılmıştır.

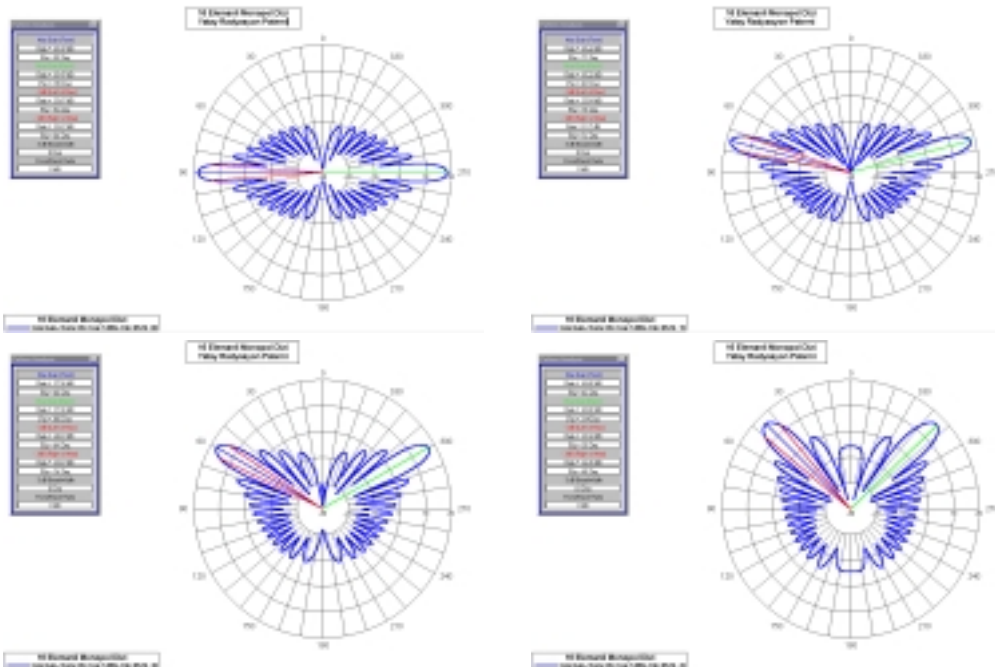
2.2 Sayısal Uygulamalar

Şekil 2'de mükemmel iletken düzlem üzerine konuşlandırılmış 16 elemanlı çeyrek dalga boylu monopol dizi için elektronik huzme tarama yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Ele alınan doğrusal dizi yapısında elemanlar arasındaki faz farklarını uygun değerlere ayarlamak suretiyle 15° lik aralıklarla 0° - 60° arası huzme tarama gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, deniz ve kuru toprak düzlemler üzerindeki ışınma alanları hesaplanmış ve ışınma diyagramı üzerinde olabilecek değişimler (kazanç değişimi hariç) incelenmiştir.

Huzmenin döndürülmesi esnasında anten kazancı ve ışınma diyagramının yapısı korunmaya, yan kulak seviyeleri ise en az seviyede tutulmaya çalışılmalıdır. Şekil 3'te görüldüğü gibi, özellikle yüksek tarama açılarında ışınma diyagramında bazı bozulmalar söz konusu olabilmektedir. Geometrik yapıyı değiştirmeden bu durumu iyileştirebilmek için dizi elemanlarının genlik değerlerini değiştirerek uygulamaya bağlı olarak en uygun değeri tespit etmek ve ona göre ayarlamak gerekir. Ayrıca, dizideki anten sayısının artması, yan kulak sayısını arttırmakla beraber seviyelerini önemli ölçüde düşürecektir.



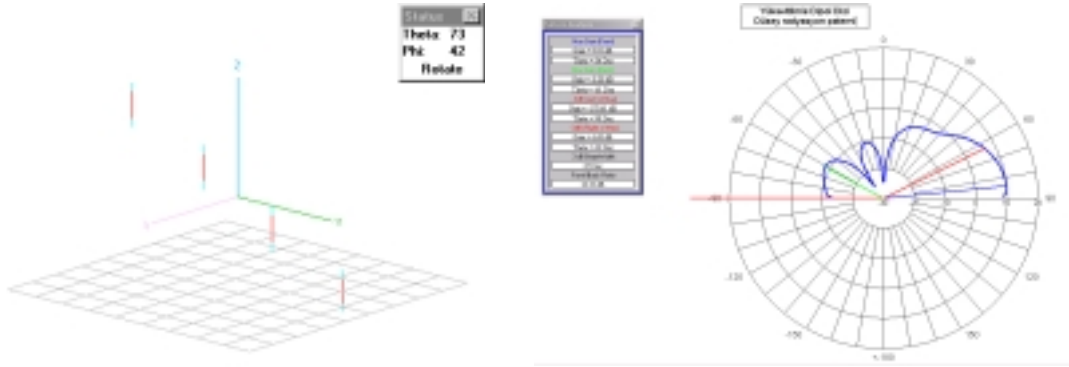
Şekil 2. 16-Elementli monopol dizi ve kara üzerindeki yatay ışınma diyagramı



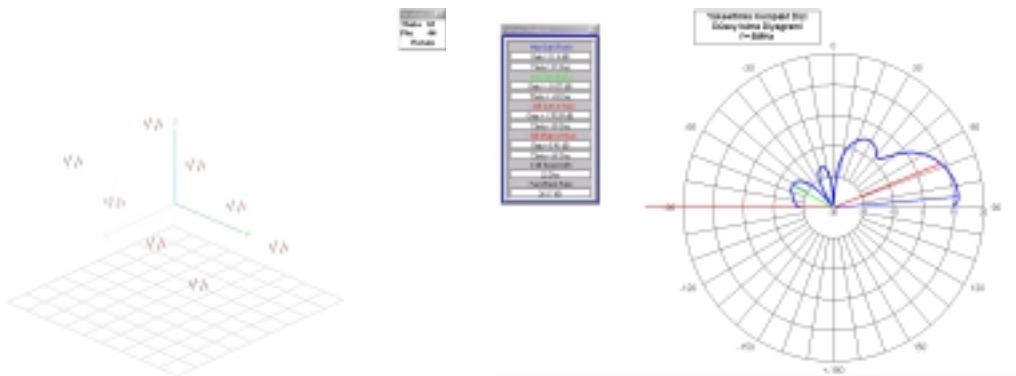
Şekil 3. Huzmesi 0° - 45° aralığında 15° lik adımlarla döndürülmüş anten diyagramları

3. Alıcı/Verici Anten Yapıları için Düşey Huzme Daraltma

HF frekans bölgesinde ufuk ötesi yayılım ortamlarından biri olan ionosfer tabakası, $3-30\text{MHz}$ bandındaki HF radyo işaretlerini yansıtarak uzak mesafelerle iletişimi sağlar. Bu yöntem gök dalgalı HF radar iletişiminin temel ilkesidir. Ancak ionosferin bu özelliği yüzey dalgalı HF radar iletişiminde yayılım yeryüzü üzerinden sağlandığından, genelde dezavantaj oluşturmaktadır. Çünkü toplam alanın uzay dalgası bileşenleri yüzey dalgası yayılım mekanizmasına katkı sağlamadığından güç kazancı düşecek; bununla birlikte, ionosferden geri yansıtılarak kargaşa oluşturacaktır[3]. Benzer biçimde, alıcı antenin de bu tabakadan yansıtılarak gelen kargaşayı ve ek olarak atmosferik gürültüleri algılaması, sistem algılama başarımını düşürecektir. Bu sorunu engellemeye yönelik çeşitli işaret işleme yordamları geliştirilmesine karşın, problemin kesin çözümününün alıcı/verici anten düşey ışınma alanlarının daraltılması ve kalkış açısının düşürülmesi olduğu açıktır. Buna yönelik olarak doğrusal anten dizileri ve kompakt anten yapıları üzerinde birtakım geometrik düzenlemeler yapılmış, uygun faz beslemeleri uygulanarak ön/arka oranı yüksek, ionosfere yönelen kulağı düşük ve dar huzmeli tasarımlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Yükseltilmiş verici dipol anten dizisi ve düşey ışınma diyagramı (deniz için $\epsilon_r=70$, $\sigma=5\text{S/m}$)



Şekil 5. Yükseltilmiş kompakt (altıgen) alıcı anten dizisi ve düşey ışın diyagramı (deniz üzerinde)

Şekil 4'te örnek bir 4 elemanlı doğrusal monopollü dizinin elemanlarının kademeli olarak yükseltilmesi sonucu düşey ışın diyagramının ön/arka oranının artırılması, yan kulak seviyelerinin düşürülmesi ve huzmenin daraltılması gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki adımda ise, Şekil 5'te verilen kısa dipollerden oluşan kompakt anten dizileri kullanılarak daha küçük antenlerle benzer ışın diyagramları elde edilmiştir.

4. Sonuç ve Yorumlar

Yükseltilmiş platformların kullanılması, yere konuşlandırılmış klasik yüzey dalgalı HF monopollü dizi anten sistemlerine göre düşey huzmenin daraltılması ve iyonosfere yönelen yan kulak seviyelerinin düşürülmesi üstünlüğünü getirdiğinden daha uzun menzilli ve düşük gürültülü ufuk ötesi iletişime olanak sağlayacaktır. Anten platformunun yükseltilmiş olması toprak yer yüzeyi üzerindeki omik kayıpları klasik monopollü yapılar ile karşılaştırıldığında önemli oranda azaltmakta ve bu sayede antenin ışın gücü verimi artırılmaktadır. Ayrıca, analiz sonuçlarına bakıldığında düşey ışın alanının yer düzleminden fazla etkilenmediği görülmektedir.

Doğrusal dizilerle elektronik huzme tarama yapıldığında özellikle gözlem açıklığının sınır açalarına doğru yaklaşıldıkça yan ve arka kulak seviyelerindeki yükselmeler olmakta, dolayısıyla tarama verimi düşmektedir. Bu nedenle yatay düzlemde geniş açılı tarama için dairesel/eliptik diziler daha başarılı sonuçlar verebilecektir. Bu konuda yazında dairesel dizi çalışmaları bulunmaktadır (örneğin bkz.[2]). Analizlerden çıkan diğer bir önemli sonuç da, antenin elektronik huzme tarama işlevini yer düzleminden (mükemmel iletken, deniz, kuru toprak vb.) fazla etkilenmeden yapabilesidir.

Kaynaklar

[1] M.T. Ma, 'Theory and Application of Antenna Arrays,' John Wiley and Sons Inc., 1974.

[2] R.L. Tanner, "A new computer-controlled high frequency direction-finding and transmitter locating system", Agard Conference Proceedings no.263, Lizbon, Portekiz, Kasım 1979.

[3] B. Şen, B. Polat, "İyonosfer kargaşası ve yüzey dalgalı monostatik HF radar sistem başarımına etkileri", URSI-TÜRKİYE'2002 Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı ,18-20 Eylül 2002.