

# Uzay Uygulaması için Geliştirilen Aktif Fazlı Dizi Beslemeli Reflektör Antenin Tasarım, Entegrasyon ve Doğrulama Yaklaşımı

Koray Tap, D. Duygu Tekbaş, Erdiñ Erçil, Sinan Köksoy  
ASELSAN A.Ş. Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Grubu  
Anten Teknolojileri Müdürlüğü  
Ankara

[ktap@aselsan.com.tr](mailto:ktap@aselsan.com.tr), [ddtekbaz@aselsan.com.tr](mailto:ddtekbaz@aselsan.com.tr), [eercil@aselsan.com.tr](mailto:eercil@aselsan.com.tr), [skoksoy@aselsan.com.tr](mailto:skoksoy@aselsan.com.tr)

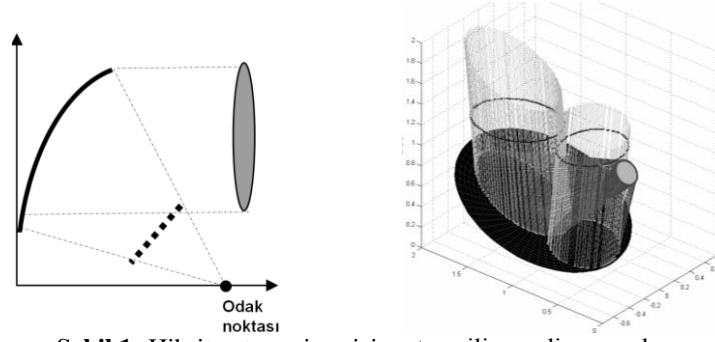
**Özet:** Bu çalışmada K-Bantta %5 bant genişliğine sahip bir uzay uygulaması için geliştirilen, faz dizili anten ile beslenen ve elektronik huzme tarama kabiliyetine sahip, dar huzmeli reflektörlü hibrit antenin prototip tasarımı, entegrasyon ve doğrulama yaklaşımı sunulmaktadır. Besleme dizisi ve reflektör yapılarının anten besleme devrelerini oluşturan diğer alt birimler ile (huzme yönlendirme birimi, sayısal kontrol birimi) aşamalı olarak entegre edilmesi ve yapılan testlerle entegrasyonun doğrulanması anlatılmaktadır. Tüm alt birimlerin bir araya gelmesi ile oluşturulan nihai anten yapısının test sonuçları benzetimler ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

## 1. Giriş

Yere eş zamanlı yörünge (GEO) üzerine konumlanan bir uydu platformunun yan paneli üzerine entegre edilmek üzere tasarlanan antenin mimarisini belirleyen temel gereksinimler dar huzme genişliği (yüksek yönlülük) ve elektronik huzme yönlendirme kabiliyeti olarak sıralanabilir. Doğrudan ışıma yapan faz dizili antenler ile söz konusu gereksinimler teoride karşılanabilir olsa da çok sayıda anten elemanına gerek duyulması ( $N > 1000$ ), buna bağlı olarak aktif besleme yapısının karmaşık ve ağır olması, sonuç olarak da maliyetin yüksek olması nedeniyle bu anten tipi tercih edilmemiştir. Reflektörlerin yüksek kazanç sağlayabilme özelliklerini ve dizi antenlerinin elektronik tarama yapabilme kabiliyetlerini bir araya getiren hibrit antenler [1] ise söz konusu gereksinimleri nispeten düşük maliyet ve karmaşıklık ile sağlayabilmektedir. Bunun temel nedeni reflektörü besleyen faz dizili antendeki eleman sayısının doğrudan ışıma yapan faz dizili antene kıyasla çok daha düşük olmasıdır ( $N \approx 100-200$ ). Hibrit anten kullanımı ile nispeten küçük dizi açıklığı reflektör yansıması ile büyütülerek yüksek kazançlı, aynı zamanda elektronik olarak yönlendirilebilir anten huzmesi elde etmek mümkün olmaktadır. Bu sayede daha basit, hafif ve az maliyetli bir besleme yapısı ile gereksinimler karşılanabilmektedir. Hibrit anten yukarıda bahsedilen avantajlarının yanında reflektör ve aktif faz dizili besleme antenini bir arada içermesinden dolayı elektromanyetik olarak nispeten karmaşık bir mimariye sahiptir. Yukarıdaki belirtilen gereksinimlere ek olarak çalışma frekansının yüksek oluşu (K-Bant) ve hassas huzme yönlendirme gereksinimleri hibrit antenin tasarımı, üretimi, entegrasyonu ve doğrulamasında sistematik bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada söz konusu geliştirme faaliyetleri sistematik olarak antenin elektromanyetik tasarımından başlayarak, huzme yönlendirme biriminin faz ve genlik karakterizasyonu (kalibrasyonu), dizi besleme faz katsayılarının belirlenmesi, aktif faz dizili besleme anteninin huzme yönlendirme birimi ile entegrasyonu ve doğrulanması ve son olarak da reflektör ve besleme dizisini içeren tüm yapının entegrasyonu ve doğrulanmasını içerecek şekilde kapsamlı bir biçimde işlenmektedir.

## 2. Hibrit Anten Mimarisi

Hibrit anten mimarisi Şekil 1’de gösterildiği gibi odak noktası ile reflektör arasına yerleşmiş dizi ile beslenen parabolit yüzey şekline sahip reflektörden oluşmaktadır. Antenin çalışma prensibinde dizi anteni elemanları uygun fazda beslenerek reflektör açıklığı üzerinde istenilen elektrik alan dağılımının oluşması sağlanır [2]-[3]. Besleme dizisinin uyarım katsayıları uygun olarak belirlenerek reflektörden saçılan ışımının istenilen yönde huzme oluşturması sağlanır. Bu mimaride dizi anteni aslında reflektörün odak noktası üzerinde bulunan sanal bir antenden yayılan elektromanyetik ışımayı tekrar oluşturma işlevi görmektedir. Dizi anteni elemanları ve odak noktası arasındaki mesafe elemandan elemana fazla değişmediğinden eleman genlik beslemeleri birbirlerine yakındır ve pratikte aynı kabul edilir. Faz değerleri ise elemandan elemana farklılık gösterdiğinden eleman faz besleme değerleri nümerik hesaplama ile belirlenmesi gerekmektedir. Anten huzmesinin farklı açılara yönlendirilmesi durumunda reflektör antenin farklı bölgeleri aydınlanır. Bu durum Şekil 1’de yer alan ışın diyagramında görülmektedir.



**Şekil 1:** Hibrit anten mimarisi ve temsili ışın diyagramları

### 3. Antenin Geometrik Parametrelerinin Belirlenmesi

Anten mimarisini belirleyen temel parametreler reflektörün çapı, odak uzaklığı, ofset mesafesi, besleme anten dizisinin çapı, reflektöre göre konumu olarak sıralanabilir. Parametre sayısının fazla olmasından dolayı tasarımda parametrelerden bir kısmını sabitleyip diğer parametreleri deneme yanılma yöntemi ile belirlemek yolu izlenmiştir. Seçilen bir parametre seti için anten performansının kestirilmesinde nümerik hesaplama tekniklerinin kullanılması (örneğin fiziksel optik (PO) tekniği) durumunda çok sayıda parametre seti için uzun hesaplama süreleri gerekmektedir. Bu süreyi kısaltabilmek amacıyla seken ışın yöntemini kullanılarak belirlenen parametre seti için Şekil 1’de gösterilen ışın diyagramları oluşturulmakta ve reflektör açıklığında oluşan düzgün elektrik alan dağılımına sahip alanın büyüklüğü hesaplanmaktadır. Bu alan büyüklüğü ile elde edilebilecek yönlülük değeri analitik olarak kestirilebilmektedir. Söz konusu yöntem nümerik elektromanyetik hesaplama içermediğinden çok sayıda parametre seti için hızlı performans kestirimlerinde bulunmak mümkün olmaktadır. Tarama sektörü boyunca performans gereksinimlerini sağlayan parametre seti belirlendikten sonra nümerik elektromanyetik hesaplamalarla anten örüntüleri oluşturulmakta ve anten parametreleri belirlenmektedir.

### 4. Entegrasyon ve Doğrulama Yaklaşımı

Uydu platformu üzerindeki faydalı yüke ait bir alt sistem olan anten aşağıdaki alt bileşenlerden oluşmaktadır:

- i) Anten Birimi (AB)
- ii) Huzme Yönlendirme Birimi (HYB)
- iii) Sayısal Kontrol Birimi (SKB)

Anten birimi reflektör ve 135 elemanlı besleme anten dizisinden oluşmaktadır. Huzme yönlendirme birimi T-Modüller’i ve güç bölücüleri içermektedir. Bu birim T-Modüllerin içerisindeki güç yükselteç ve ayarlı faz kaydırıcılar ile huzmenin oluşması için gerekli RF işaretlerin anten elemanlarına aktarılmasından sorumludur. Sayısal kontrol kartlarını içeren sayısal kontrol birimi ise T-Modüllere ilgili komutları yollayarak huzmenin istenilen yöne yönlmesi için gerekli fazların uygulanmasını sağlar.

Anteni alt sisteminin entegrasyonu ve doğrulanması sırasıyla şu aşamalardan oluşmaktadır:

- i) Besleme anten dizisinin tüm dalga (full wave) benzetimi
- ii) HYB-SKB entegrasyonu ve testleri
- iii) HYB’nin karakterizasyon testleri
- iv) Dizi elemanı uyarım faz katsayılarının hesaplanması
- v) SKB ve HYB’nin besleme anten dizisi ile entegrasyonu
- vi) Besleme anten dizisinin HYB ve SKB ile beraber yakın alan testleri
- vii) Reflektör ve besleme anten dizisinin entegrasyonu
- viii) Reflektörlü antenin testleri

#### Besleme anten dizisinin tasarımı, üretimi ve testleri

Dairesel açıklığa sahip besleme anten dizisi 135 adet açık uçlu kare dalga kılavuzu elemandan oluşmaktadır. Koaksiyel konektörlü besleme yapısına sahip dizi anteni elemanları yarı esnek kablo bağlantıları ile T-modüllere bağlanmaktadır. Besleme anten dizisi üretimi tamamlandıktan sonra laboratuvar ortamında network analizör ile pasif geri dönüş kaybı testleri ve yakın alan test odasında eleman örüntü (huzme genişliği, eksenel oran, yönlülük, vb.) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Reflektörlü antenin elektromanyetik analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle besleme anten dizisinin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda dizi anteni CST Microwave Studio benzetim programı ile modellenerek

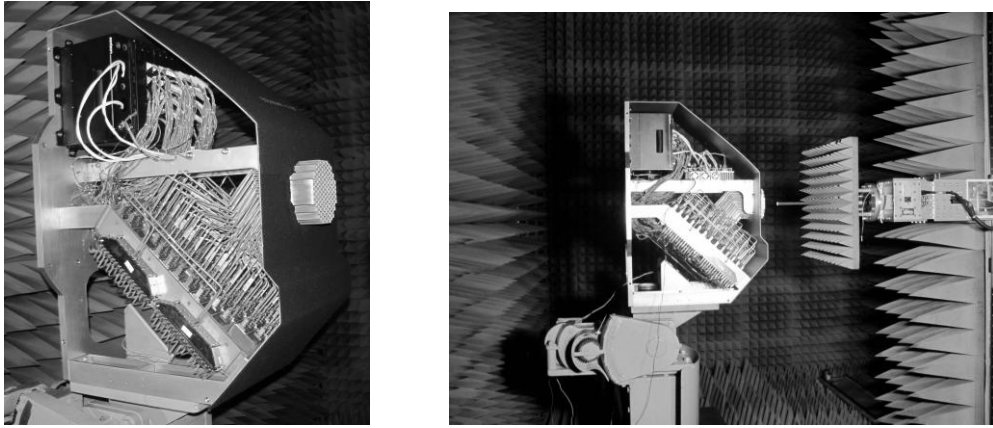
her bir elemanın dizi açıklığında oluşan EM alan değerleri tüm dalga metodu ile hesaplanmıştır. Benzetimler ile elde edilen eleman örüntüleri kaynak olarak kullanılıp fiziksel optik (PO) yöntemi ile reflektörden saçılım hesaplamaları yapılmıştır. Bu sayede hesaplanan ikincil eleman örüntülerini kullanarak huzmeyi istenilen yöne yönlendirmek için gerekli faz katsayıları hesaplanmıştır.

#### **HYB-SKB entegrasyonu ve testleri ve HYB'nin karakterizasyon (kalibrasyon) testleri**

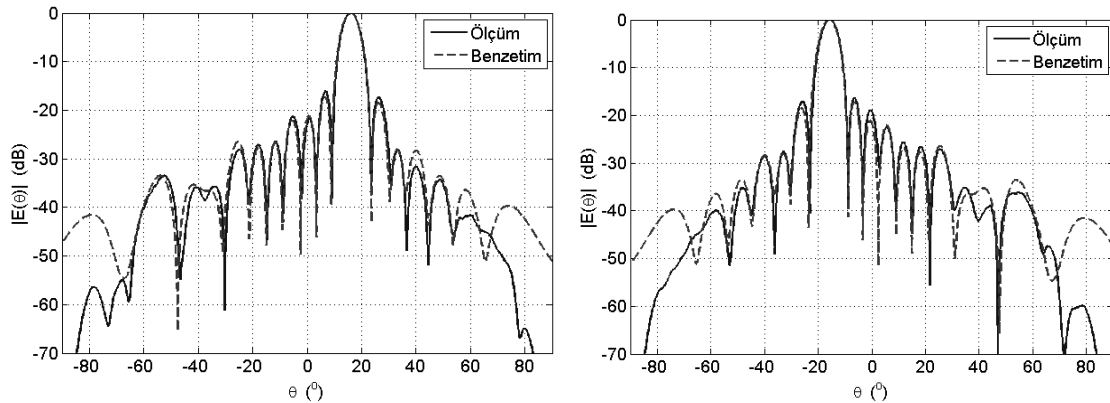
Besleme anten dizisi faz dizili bir yapıda olduğu için huzme yönlendirme birimi içerisinde bulunan 135 adet besleme hattının frekans bandı boyunca karakterize edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda öncelikle HYB ve SKB birimleri entegre edilerek komutlarla HYB'nin giriş kapısından T-Modüllerin çıkış kapılarına kadar olan hattın faz değerlerinin doğru bir şekilde ayarlanabildiği kontrol edilmiştir. Söz konusu doğrulama RF hat üzerinde network analizör ile S21 ölçümleri gerçekleştirilerek yapılmıştır. Sonrasında ölçümler 135 hat için, frekans bandı boyunca tüm faz kaydırıcı ve zayıflatıcı ayarları için tekrarlanmış ve karakterizasyon tamamlanmıştır. Anten elemanlarının girişindeki faz katsayılarını belirlemek için besleme dizisi benzetimlerinden elde edilmiş faz uyarım katsayıları ve karakterizasyon ölçümlerinin verileri kullanılmıştır.

#### **SKB ve HYB'nin besleme anten dizisi ile entegrasyonu ve yakın alan testleri:**

Entegre haldeki SKB ve HYB birimleri yarı esnek koaksiyel kablolar ile besleme anten dizisine bağlanmıştır. Şekil 2'te söz konusu birimler mekanik destek yapısı ile beraber entegre halde yakın alan test odasında mast üzerinde görülmektedir. Bu yapı ile besleme anteninin yakın alan testleri yapılarak anten huzmesinin istenilen yönlere yönlendirilebildiği gösterilmiştir. Söz konusu testlere ilişkin ölçüm sonuçları örnek iki farklı tarama açısı için benzetimlerle karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te görülmektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi ölçüm sonuçları benzetim sonuçlarıyla uyumludur.



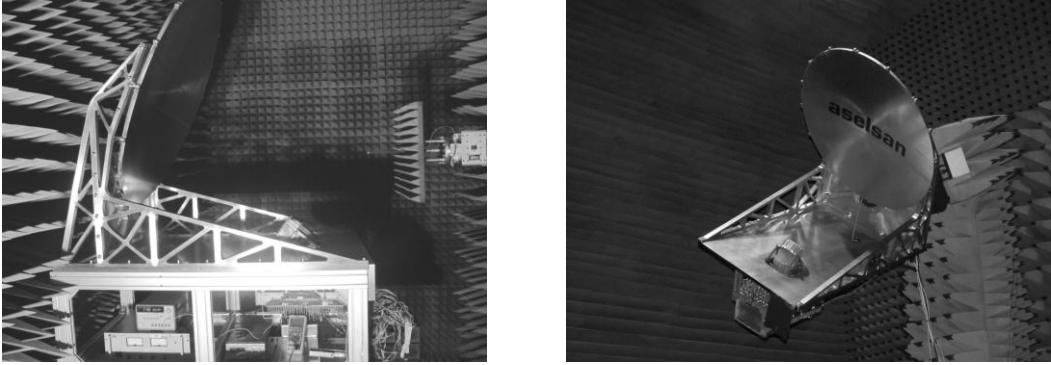
**Şekil 2:** Besleme anten dizisinin HYB ve SKB ile beraber yakın alanda ölçülmesi



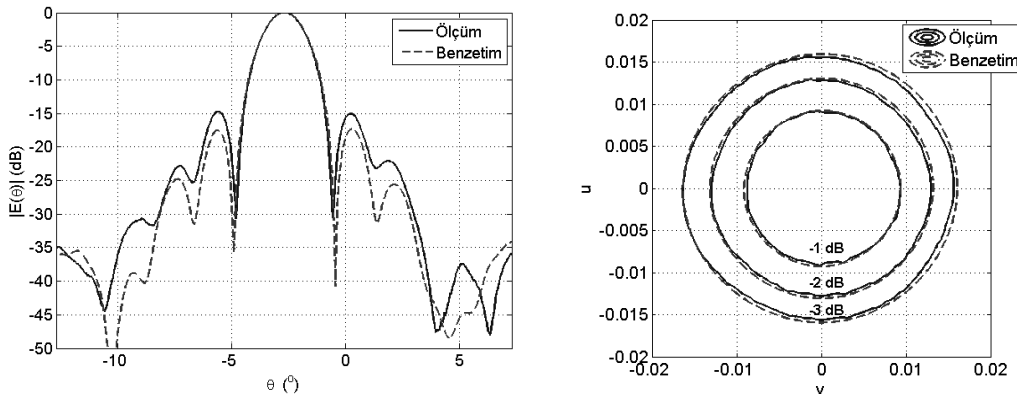
**Şekil 3:** Besleme anten dizisinin iki farklı tarama açısı için yakın alan ölçüm sonuçları

#### Reflektör ve besleme anten dizisinin entegrasyonu ve testleri:

Entegrasyonun son aşaması olarak dizi anteni, SKB ve HYB'den oluşan besleme yapısı reflektör ve destek yapısı ile entegre edilerek prototip anten alt sisteminin nihai hali oluşturulmuştur. Söz konusu entegrasyon sırasında besleme anteni ile reflektörün birbirine göre yüksek doğrulukta konumlanabilmesi için "laser tracker" cihazı kullanılarak hassas hizalama yapılmıştır. Entegrasyonun tamamlanmasından sonra anten alt sisteminin yakın alan ve kompakt alan test odalarında ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'da bu ölçümlere ait fotoğraflar yer almaktadır:



Şekil 4: Reflektörlü antenin yakın alan ve kompakt alan testleri



Şekil 5: Reflektörlü antenin ölçüm sonuçları

Doğrulama testleri kapsamında farklı yönler yönlendirilmiş 39 adet huzme bant başı, ortası ve sonunda ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde elde edilen örüntü verileri benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu karşılaştırmalara ilişkin örnek grafikler Şekil 5'de yer almaktadır. Soldaki grafikte örnek bir huzmenin düzlemsel bir kesit üzerindeki anten örüntüsü görülmektedir. Sağdaki grafikte ise huzme tepesi ve çevresinin u-v düzlemindeki kontur grafikleri (huzme tepesinden 1 dB, 2 dB ve 3 dB konturları) gösterilmektedir. Kesit üzerindeki grafikte ölçüm ve benzetim sonuçlarının ana huzme üzerinde birbiri üzerine oturduğu görülmektedir. Antenin kapsama alanının  $1^\circ$  olduğu düşünüldüğünde benzetim ve ölçüm sonuçlarının kapsama alanı ve yakın çevresinde uyumlu olduğu görülmektedir. Örüntünün ana huzme dışındaki kısımlarındaki uyumsuzluklar anteni taşıyan mekanik destek yapısından dolayı oluşan saçılımlardan kaynaklanmaktadır. Söz konusu destek yapısı benzetim hesaplamalarında modele dahil edilmemiştir. Benzer uyum sağdaki kontur grafiklerinde de görülmektedir. Antenin nihai yapısı ile yapılan söz konusu ölçümlerle elde edilen uyum ile bu çalışmada kullanılan modelleme, analiz ve kalibrasyon yaklaşımı doğrulanmış olmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] R. J. Mailloux, "Hybrid antennas," in *The Handbook of Antenna Design*, vol. 1, A.W. Rudge, K. Milne, A. Oliver ve P. Knight, Eds. London, U.K. : Peter Peregrinus, 1982, ch. 5.
- [2] J. M. Howell, "Limited scan antennas," *IEEE AP-S Int. Symp Proc.*, vol. 12, s. 117-120, 1974
- [3] K. Ueno, "Multibeam antenna using a phased array fed reflector," *IEEE AP-S Int. Symp. Proc.*, s. 840-843, 1997