

# Anten Dizilerinde Adım Evre Kaydırıcılarının Işınım Demetine Etkisi

Bülent YAĞCI, Osman PALAMUTÇUOĞLU, Selçuk PAKER  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
80626, Maslak, İstanbul  
yagci@ehb.itu.edu.tr

## Özet:

*Elektronik olarak kontrol edilecek bir anten sisteminin 50 dereceye yakın bir yatay açısal bölgede değişim gösterebilmesi ve 4 derece aralığında sabit düşey demetinin olması gerekmekte olduğu belirlenmiştir. Bunu gerçekleştirebilecek minimum dizi boyutlarının 32x8 elemanlı olduğu belirlenmiştir. Yatay dizilerinin herbirisine yerleştirilmiş olan LNA ve evre kaydırıcılar ile, yatay ışınım demetinin evresi denetlenilmekte ve belirli bir bölge içinde farklı konumlarda (boylamlarda) bulunan yersabit yörüngeli uydulara ayarlanabilmektedir. Anten dizisi içerisinde kullanılan evre kaydırıcıların sonlu (ayrık) evre adımlı olmaları anten dizi demetinin döndürülmesinde tasarlanan demet açısının değişmesine neden olmaktadır. Bu demet yönünün kullanılan evre kaydırıcı bit sayısına göre değişimi ve ulaşılan demet yönlendiriciliği ve genişliğinin açısal olarak elde edilmesi ve analizi bu çalışmada incelenmiş ve ayrıntılı olarak sunulmuştur.*

## 1. Giriş

Mikroşerit yama antenlerin uygulama alanlarının genişlemesi ile Ku Bandı alıcı anteni olarak tasarlanmasının da önemli yararlar sağlayacağı tespit edilmiştir [1-4]. “Aktif Mikroşerit Yama Anten Dizileri ile Ku-Bandı Alıcı Tasarımı” düşüncesi de bu noktada ortaya atılmıştır [5]. Bu tasarım sırasında karşılaşılan sorunlar kısaca; mikroşerit yama anten kayıplı yapısı, band genişliği, kazanç problemi, baskılı devre üzerinde her iki polarizasyon için de fiziksel gerçekleştirme sorunları, evre-kaydırıcı yapılarıdaki sorunlar ve son olarak tüm bu ayrık problemlerin aynı baskılı devre üzerinde gerçekleştirilmesi olarak sıralanmaktadır. Bu sorunların çözümü ile, anten paternini, yatay (azimut) ve düşey (elevasyon), ve polarizasyonda elektronik tarama özelliğine sahip bir düzlemsel Ku band alıcı sistemi gerçekleştirilmiş olacaktır. Mikroşerit anten dizilerinin en önemli sorunlarından biri olan zayıflama sorununun çözümü için, mikroşerit yapılarla birlikte düşük gürültülü kuvvetlendiriciler (Low Noise Amplifier-LNA) kullanılmaktadır (alıcı sistemler için). Bu sayede zayıflama engellenmiş ve anten kazancı artırılmış olmaktadır.

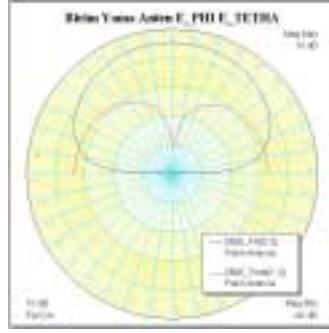
Yer senkron uydular (geosynchronous orbit satellites) radyo-TV yayıncılığı ve haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır Direct Broadcasting Satellites – DBS). DBS sistemleri geniş kaplama alanları (foot-print) ile X-Ku Bandında (10.7-12.7GHz), analog ve sayısal yayıncılık sistemleri kullanarak, büyük bir coğrafyaya hizmet sunmaktadır. Günümüzde anten yönlendirim işlevleri, çoğunlukla mekanik denetimli anten sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Yakın gelecekte, kitlesel olarak elektronik denetimli, mekanik sabit, düzlemsel anten sistemleri büyük ölçüde kullanım alanı bulacaktır. Örnek olarak İstanbul 41° kuzey enlemi ve 29° doğu boylamında bulunmaktadır. İstanbul’dan görülebilecek uyduların, yatay ve düşey açıları için elektronik olarak kontrol edilecek bir anten sisteminin 50 dereceye yakın bir yatay açısal bölgede değişim gösterebilmesini ve 4 derece aralığında düşey değişime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yayınların alınabilmesi için ihtiyaç duyulacak bir analog sistem (NF=1.0dB) için yaklaşık 31dB anten kazancına ihtiyaç duyulmaktadır. Yatay düzlemdeki ışın demeti, aynı frekans bandını kullanan komşu uyduların yayımları ile aradaki izolasyonu sağlamak için belirli bir değeri sağlamalıdır. Bu anten kazancı yatay olarak 3 derece ve düşey olarak 9 derecelik bir anten demeti ile gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Düşey demet genişliğinin gerekli büyüklükte seçilmesi oluşturulacak anten dizisinin bir uzamda sabit kalabilmesinde (ışın demet kaydırımına ihtiyaç duyulmadan) sağlayabilecektir.

## 2. Düzlemsel Yama Anten Dizileri

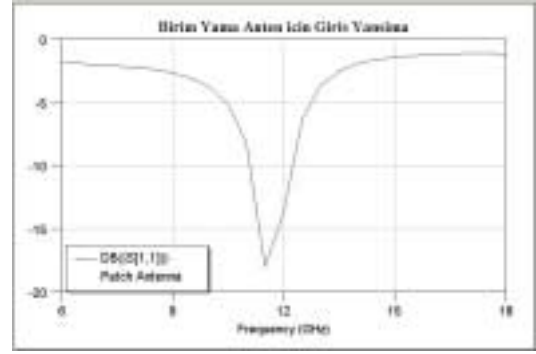
Düzlemsel anten dizisi içinde yer alacak olan temel yama anten elemanı için belirlenecek olan boyutlandırma işlemleri bir mikrodalga simulatörü kullanarak gerçekleştirilmiştir [6-9]. Şekil-1’de görülen birim yama anten elemanı için boyutlar, 0.86cm x 0.86cm, taban h=1.59mm,  $\epsilon_r=2.2$  Duroid olarak belirlenmiştir.



Şekil-1. Birim Yama Anten Elemanı



Şekil-2. Birim Yama Anten Elemanı Işın Demeti



Şekil-3. Birim Yama Anten Elemanı S<sub>11</sub>.

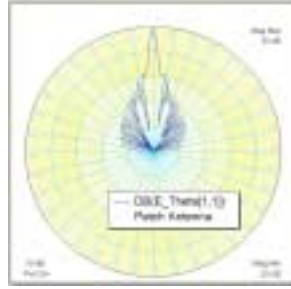
Seçilen boyutlar için birim elemanın ışın demeti Şekil-2’de görülmektedir. Bu elemanın merkez frekansta yönelticiliği (directivity) 7.35dB, yatay ve düşey yönlerindeki 3dB demet band genişliği 80° ve 96°’dir. Birim yama anten elemanları kullanılarak oluşturulacak olan iki boyutlu anten dizisi için yatay ve düşey yönlerinde gerekli olan ışın demet genişliklerinin farklı olması nedeni ile, N ve M sayılarında dizi boyutlandırması yapılmıştır (N>M). Her iki yönde de dizi birim elemanları arasındaki sabit d uzunluğu için frekans, yatay-düşey açıları, N ve M boyutları için, homojen beslemeli, anten ışın diyagramı çarpanının açıya bağlı olarak değişimi, G<sub>D</sub>’dir.

$$G_D(\theta, \varphi) = \frac{\sin^2[N\pi(d/\lambda)\sin\theta]}{N^2 \sin^2[\pi(d/\lambda)\sin\theta]} \frac{\sin^2[M\pi(d/\lambda)\sin\varphi]}{M^2 \sin^2[\pi(d/\lambda)\sin\varphi]} \quad (1)$$

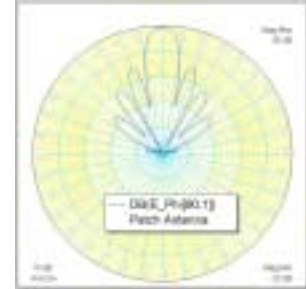
Anten elemanları arasındaki mesafe, d=1.72cm, band ortası frekans 11.7GHz, yatay ve düşey yama anten sayıları, N=32, M=8 olarak belirlendiğinde, anten dizi kazanç çarpanı GD=24.36dB’dir. Bu dizi boyutu için sistemin toplam direktivitesi 31.66dB, yatay, düşey demet genişlikleri, 3° ve 9°’dir. 32x8 = 256 eş beslemeli, yama anten elemanından oluşan anten dizisi, DBS uydularından analog ve sayısal TV, Radyo ve data işaretlerinin alınmasında kullanılabilecek minimum boyutlara sahip anten sistemini oluşturmaktadır. Bu elemanlarla oluşturulmuş olan düzlemsel anten dizisi yaklaşık olarak 60cm x 20cm boyutlarında gerçekleştirilebilmektedir. Şekil-4’de sistemin dizilimi görülmektedir. Şekil-5’te yatay ışın diyagramı, Şekil-6’da düşey ışın diyagramı görülmektedir.



Şekil-4. 32x8 Anten dizisi dizilimi.



Şekil-5. 32x8 Anten dizisi yatay ışın diyagramı.



Şekil-6. 32x8 Anten dizisi düşey ışın diyagramı.

Anten dizisi üzerinde yer alan elemanların besleme, genlik ve fazlarının homojen olmadığı durumda oluşan sistemin direktivitesi, her bir yöndeki direktivitelerin çarpımı cinsinden ifade edilebilir. Bu besleme çarpanları (2) ve (3) bağıntılarında  $\alpha(\dots)$  ile belirtilmektedir.

$$D_D = \frac{\left[ \sum_{m=1}^{N_D} \alpha_d(m) \right]^2}{\sum_{m=1}^{N_D} \sum_{n=1}^{N_D} \alpha_d(m) \alpha_d(n) \frac{\sin[k_0(d_m - d_n)]}{k_0(d_m - d_n)}} \quad (2)$$

$$D_Y = \frac{\left[ \sum_{m=1}^{N_Y} \alpha_y(m) \right]^2}{\sum_{m=1}^{N_Y} \sum_{n=1}^{N_Y} \alpha_y(m) \alpha_y(n) \frac{\sin[k_0(d_m - d_n)]}{k_0(d_m - d_n)}} \quad (3)$$

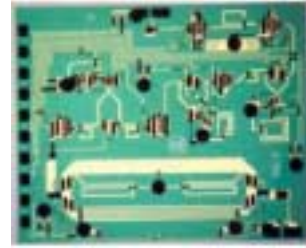
Mikroşerit yama antenlerin besleme düzenlerinde çok farklı yöntemler kullanılmak mümkündür. Buna göre, farklı besleme düzeni s-parametresi matrisleri hesaplanabilir. 256 x 1 boyutunda bir matris oluşturulabileceği gibi, yatay

ve düşey demetlerdeki düzgünlük korunmak şartıyla, 32x1 ve 8x1'lik dizilerin birleştirilmesi ile hedeflenen sabit düşey, değişken yatay açısal demet hareketinin oluşturulmasını mümkün kılar. Yatay dizisinde de paralel eş beslemeli bir yapı uygulanmıştır. Bu yapıda, birer LNA ve evre kaydırıcı eleman kaskat olarak kullanılmıştır. Bu sayede yatay dizisinde istenilen ışın demeti değişimi sağlanmaktadır.

Anten yatay dizisi paralel eş beslemeli yapıdadır. Bu besleme yapısında, her bir düşey dizisinde, X-Ku Bandında 5 veya 6 bit evre denetimi yapabilen tümdevre elemanlarının, düşük gürültülü kuvvetlendirici (LNA) ile birlikte kullanılması halinde, her bir paralel kolda farklı evre kaydırımı uygulayarak, anten yatay ışınım demetinin döndürülmesi mümkün olmaktadır. Bu yapıda kullanılacak evre kaydırıcılardan birisinin özellikleri aşağıda verilmektedir:

Northrop Grumman Microelectronic PHS2580

- 8 -- 12 GHz Frekans Bandı
- 6-Bit Evre kaydırımı
- $5 \pm 0.5$  dB tipik araya girme kaybı (Insertion loss)
- $S_{11}$  &  $S_{22} < -10$  dB
- 3.3 x 3.2 mm tümdevre boyutları
- Toplam evre kaydırımı  $360^\circ$
- Evre hatası  $4^\circ$
- 3.3 x 3.2 mm

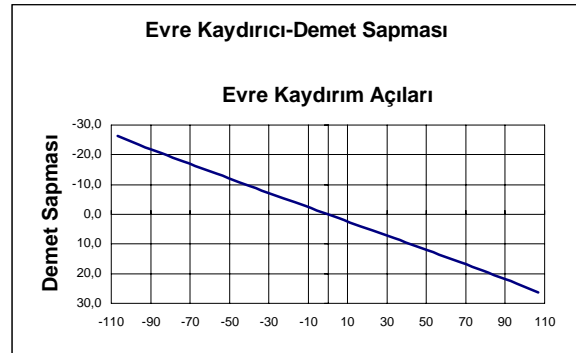
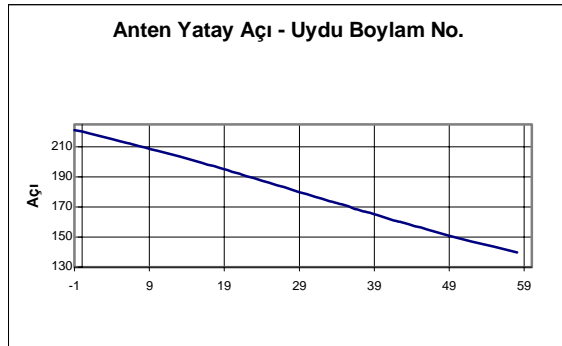


Şekil-7. Northrop Grumman Mic. 6 Bit Evre Kaydırıcı

Tablo 1'de yukarıdaki evre kaydırıcının evre paylarına karşılık oluşacak olan ışınım demeti kaymaları görülmektedir. Şekil 8'de de olması gereken anten yatay açı değerleri ile elektronik olarak oluşturulan demetin sapma açıları karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

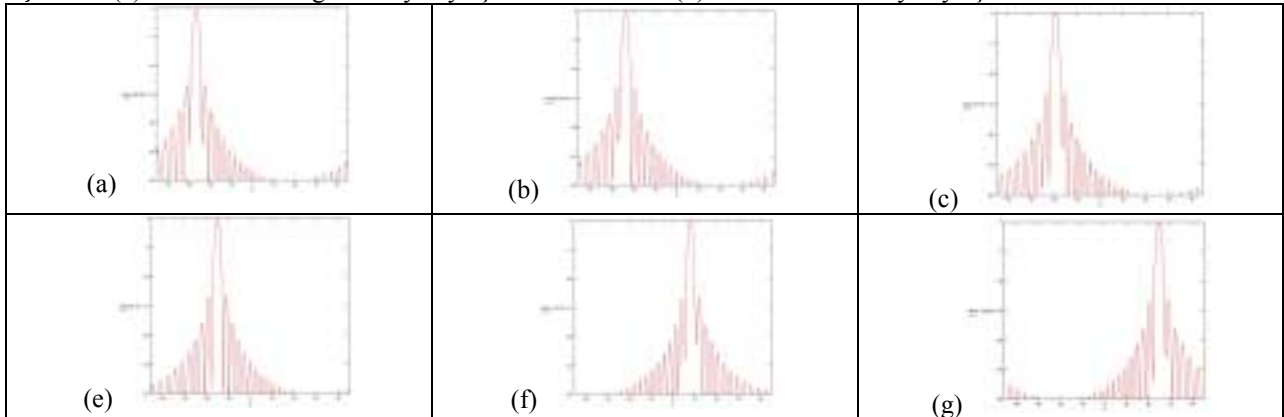
Tablo 1. Evre Kaydırım Hatalarına göre Oluşan Demet Sapma Hataları

Frekans	Evre Hatası@12GHz	En Küçük Sapma	Orta Değ. Sapma	En Büyük Sapma
11.25	$13.5 \pm 2$	2.7	3.2	3.7
22.50	$23 \pm 2$	5.0	5.5	5.9
45.00	$43 \pm 3$	9.5	10.3	10.7
90.00	$84 \pm 7$	18.6	20.4	22.1



Şekil-8. (a)Antenin olması gereken yatay açısı

(b) Anten demetinin yatay açısı



Şekil-9. Tablo 2'deki (a,b,c,d,e,f) Durumlarında Antenin Işınım Demetleri

Şekil 9'da Tablo 2'deki evre kaydırım değerlerine göre anten dizisinin ışınım demetleri görülmektedir. Tablo 2 ve şekil 9'da görülebileceği gibi Türkiye'de çoklukla kullanılmakta olan altı (6) adet uydu için anten dizisi  $\pm 0.5$  dereceden küçük bir demet hatası ile bu yöneltimi gerçekleştirebilmektedir. Bu işlem için 6 bit'lik bir evre kaydırım elemanı kullanılmıştır.

Tablo.2 Evre Kaydırım Hatalarına göre Oluşan Işınım Demeleri ile Görülebilen Uydular ve Hataları.

Boylam No.	Uydu Adı	Uydu Yatay Açısı	Anten Yatay Açısı	Demet Sapması		Yatay Açılı Hata	Evre Kaydırım Açısı	Adım No.	
7	Eutelsat W3 (7)	211,57	6	211,30	26,30	6	0,270	106,875	19
10	Eutelsat W1 (10)	207,64	5	208,30	23,30	5	-0,660	95,625	17
13	Hotbird 1, 2, 3, 4, 5 (13.)	203,56	4	204,00	19,00	4	-0,440	78,750	14
16	Eutelsat W2 (16)	199,35	3	199,90	14,90	3	-0,550	61,875	11
29		180,00		185,00	0,00	OFFSET=185 derece			
31	Turksat 1B (31.3)	176,95	2	177,00	-8,00	2	-0,050	-33,750	-6
42	Turksat 1C Eurasiasat-1 (42)	160,64	1	160,20	-24,80	1	0,440	-101,250	-18

## 7. Sonuç

Bu çalışmada, Ku bandında uydu yayınlarını izlemek için kullanılabilir ucuz, kolay kullanılabilen, küçük ve verimli bir alıcı sisteminde, sayısal evre kaydırıcıların demetin yöneltim başarımına olan etkisi gösterilmiştir. Sistem, belirli bir boylam farkında yerleştirilmiş bulunan yer sabit yörüngeli uydulardan işaret alışı yapabilmek için elektronik denetimle ışın demeti kaydırımı yaparak, alıcı sisteme ilgili TV/Data işaretleri aktarabilecek özellikte olmaktadır. Elektronik olarak kontrol edilecek bir anten sisteminin 50 dereceye yakın bir yatay açısal bölgede değişim gösterebilmesi ve 4 derece aralığında sabit düşey demetinin olması gerektiği belirlenmiştir. Bunu gerçekleştirebilecek minimum dizi boyutlarının 32x8 elemanlı olduğu belirlenmiştir. Yatay ve düşey dizilerinde birbirinden bağımsız besleme yapıları seçilmiştir. Yatay dizilerinin herbirisine yerleştirilmiş olan LNA ve mevcut olan sayısal 6 bitlik evre kaydırıcılar ile, yatay ışınım demetinin evresi denetlenebilmekte ve  $\pm 0.5$  dereceden küçük yatay açı hataları ile mevcut istenilen uyduya ışınım demetinin yöneliminin sağlanabildiği görülmektedir. Bu çalışma içinde ülkemizde çok kullanılmakta olan 6 uydu seçilerek ve bu uydulara, elektronik denetimli anten sistemi ile istenen şekilde yönlendirim yapılabilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Balanis, A. Constantin, 1997. Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Sainati, Rober A., 1996. CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications Artec House, Boston
- [3] James J.R., Hall, P.S., Wood, C., 1981, Microstrip Antenna theory and Design, The Institution of Electrical Engineers, London.
- [4] Diaz L., Milligan T., 1996, Antenna Engineering Using Physical Optics, Practical CAD Techniques and Software, Artech House, Boston.
- [5] N. Amitay, V. Galindo, ve C. P. Wu, 1972, Theory and Analysis of Phased Array Antennas, John Wiley and Sons.
- [6] Pozar, D.M., Introduction to Practical Antennas Antennas, Electrical and Computer Engineering, University of Massachusetts at Amherst, MA 01003, USA
- [7] J. D. Kraus, 1988, Antennas, second edition, McGraw Hill.
- [8] T. A. Milligan, 1985, Modern Antenna Design, McGraw Hill.
- [9] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, 1996, Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays, IEEE Press.