

# Ka-Bant Dairesel Polarizasyonlu Yarıkli Dalga Kılavuzu Anten Dizisi

Doğanay Doğan, Can Barış Top  
Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri ASELSAN A.Ş., Ankara  
e-posta: {doganay, cbtop}@aselsan.com.tr

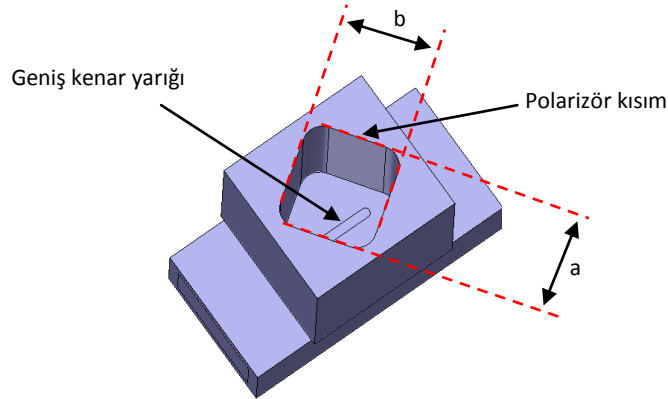
**Özet:** Yeni bir dairesel polarizasyonlu dalga kılavuzu yarık elemanı geliştirilmiştir. Geliştirilen yarık, geleneksel geniş kenar yarıklarında sağlanan esnek açıklık genlik dağılımı kontrolünün, dairesel polarizasyon kullanımında da sağlanabilmesine olanak vermektedir. Yarıkların karakterizasyonu, sonsuz dizi hücresi kullanılarak yapılmıştır. Geliştirilen yarık elemanını doğrulamak için düşük yan loblu çizgisel dizi anten tasarlanmış ve benzetimleri yapılmıştır. Üretilen çizgisel dizinin ölçüm sonuçları da verilmiştir.

## 1. Giriş

Dairesel polarizasyon, birçok telekomünikasyon uygulamasında, alıcı ve verici antenlerin oryantasyonlarının kontrol edilememesi nedeniyle oluşan polarizasyon uyumsuzluğu kayıplarını gidermek için kullanılmaktadır. Ek olarak, dairesel polarizasyonun, yansıma sonucu dönme yönünün değişmesi nedeniyle, sistemin yer yansımalarına karşı dirençli olması sağlanmaktadır.

Dairesel polarizasyonlu dar huzme elde etmek için, baskı devre antenler ve reflektörler sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat, baskı devre antenler, milimetre dalga bölgesinde oldukça kayıplıdır ve hat bütçesi üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır. Reflektör antenler ise, düşük profilli anten gereksinimi olan uygulamalarda kullanıma uygun değildir. Baskı devre antenlere ve reflektörlere alternatif olarak yarıkli dalga kılavuzu dizi antenler kullanılabilmektedir. Ancak, yarıkli dalga kılavuzu antenlerle dairesel polarizasyon elde edilmesi birtakım sorunlar içermektedir. [1-3]'te bazı dairesel polarizasyonlu yarık örnekleri görülmektedir. Literatürdeki yarıkların bir kısmı düzlemsel dizi tasarımına izin vermemektedir. Kalan kısmı ise, anten açıklığındaki genlik dağılımının kontrolüne izin vermemektedir. Bu durum da, dairesel polarizasyonlu ve düşük yan loblu anten tasarlanamamasına neden olmaktadır. Parazitik elemanlar kullanılarak gerçekleştirilen çembersel polarizasyonlu yarıkli dalga kılavuzu antenler de mevcuttur [4]. Fakat, parazitik elemanların ayraç malzeme olmadan gerekli hassasiyetle yerleşimi oldukça zordur ve ayraç malzeme de antene ek kayıp getirmektedir. Diğer bir seçenek ise, çizgisel polarizasyonlu bir antenin açıklığına polarizör koymaktır. Fakat, polarizör antene kayıp getirmekte ve anten açıklığında polarizör varlığından kaynaklanan yansımalar nedeniyle açıklık genlik dağılımı bozulmaktadır.

Bahsedilen zorlukları aşmak için, çembersel polarizasyonlu yeni bir dalga kılavuzu yarık anten elemanı geliştirilmiştir. Önerilen yarık, dizi açıklığında genlik kontrolünün sağlanabilmesi ve dizi empedans eşleşmesinin kolay olması nedeniyle diğer dairesel polarizasyonlu yarıklardan ayrılmaktadır. Yarığın sağladığı başka bir avantaj ise, tasarlanan dizilerin periyodik olmasıdır. Periyodiklik sayesinde, tasarım sırasında yapılan yarık karakterizasyonlarında sonsuz dizi yaklaşımları kullanılabilmektedir.



Şekil 1. Önerilen yarık geometrisi

## 2. Yarıık

Önerilen yarıık anten, temelde geleneksel geniş kenar yarıık anteni temel almaktadır. Fakat, yarıığın polarizasyonunun dairesel dönüşmesi için, yarıığın önüne polarizasyon çevirici bir kısım eklenmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi polarizör kısım, boyutları özel olarak seçilmiş ve yarıığa göre özel bir açıyla yerleştirilmiş bir açık uçlu dalga kılavuzundan oluşmaktadır. Açık uçlu dalga kılavuzu parametrelerinin özel olarak seçilmesi, açıklıktaki polarizasyonun istenilen dönüş yönüne sahip dairesel polarizasyon olmasını sağlamaktadır.

Önerilen yarıık iki parçaya ayrılabilir:

- 1- Geniş Kenar Yarıık: Yapının ilk kısmı, ilk olarak Stevenson tarafından incelenen, dalga kılavuzu geniş kenarına açılan şönt yarııktır. Dalga kılavuzu içerisindeki TE<sub>10</sub> modu, yarıık üzerinde TE<sub>10</sub> modunun oluşmasını sağlamaktadır. Oluşan bu modun genliği ve fazı yarıığın ofseti ve uzunluğuyla kontrol edilebilmektedir.
- 2- Polarizör: Yapının ikinci kısmı, kesiti ve yüksekliği özel olarak belirlenmiş bir açık uçlu dalga kılavuzudur. Amacı, yarııkta oluşan çizgisel polarizasyonlu dalgayı dairesel polarizasyonlu dalgaya çevirmektir. Şönt yarııkta oluşan TE<sub>10</sub> modu, polarizör kısmın içinde TE<sub>10</sub> ve TE<sub>01</sub> modlarını belli oranlarda oluşturmaktadır. Bu modların genliklerinin oranı, polarizörün yerleştirme açısı değiştirilerek kontrol edilebilmektedir. Dairesel polarizasyon elde edilebilmesi için, bu modların genlik oranlarının bir olması gerekmektedir. Zira dairesel polarizasyon, eş genlikli ve aralarında 90 derece faz farkı olan iki çizgisel ve birbirine dik polarizasyonun toplamı şeklinde ifade edilebilir. Yarıık tarafından uyarılan TE<sub>10</sub> ve TE<sub>01</sub> modları, polarizör kısmın kesitinin asimetrik olması nedeniyle farklı hızlarda ilerlemektedirler. Modların hızları şu şekilde ifade edilmektedir:

$$v_{TE_{10}} = \frac{\omega}{\sqrt{k^2 - (\pi/a)^2}} \quad (1)$$

$$v_{TE_{01}} = \frac{\omega}{\sqrt{k^2 - (\pi/b)^2}} \quad (2)$$

Modların belirli bir “d” mesafesi ilerledikten sonra aralarında oluşan faz farkı:

$$\Delta\phi = \left( \sqrt{k^2 - (\pi/a)^2} - \sqrt{k^2 - (\pi/b)^2} \right) d \quad (3)$$

Polarizörün yüksekliği, modlar arası faz farkını belli bir frekansta 90 derece yapabilecek şekilde ayarlanabilmektedir. Bu şekilde dairesel polarizasyonlu bir ışıma elde edilebilmektedir.

Dairesel polarizasyonun elde edildiği polarizör parametrelerinin belirlenebilmesi için öncelikle herhangi bir yarıık ofseti ve uzunluğu seçilmektedir. Daha sonra bu yarıık için, bir tam dalga çözüm yöntemiyle anten açıklığında dairesel polarizasyon yaratan polarizör kısmın kesiti, yüksekliği ve yerleştirme açısı belirlenmektedir. Bu işlemin tüm yarıık ofset ve uzunlukları için yapılmasına gerek olmamaktadır; çünkü, aynı polarizör parametreleri diğer yarıık ofset ve uzunlukları için de dairesel polarizasyon oluşturmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, polarizör kesitinin çok geniş seçilmemesidir. Aksi durumda, kesit içerisinde TE<sub>10</sub> ve TE<sub>01</sub> dışındaki modlar da uyarılabilmektedir.

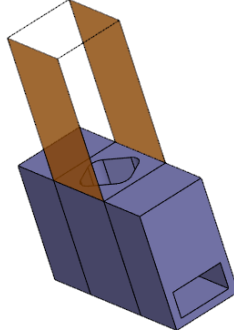
## 3. Karakterizasyon

Önerilen yarııklarla genlik dağılımı kontrollü dizi antenler tasarlanabilmesi için, yarııkların farklı uyarımlar için karakterize edilmesi gerekmektedir. Karakterizasyonda amaç, [5]’de olduğu gibi farklı yarıık ofsetleri ve uzunlukları için yarıığın şönt admitans değerlerinin bulunmasıdır.

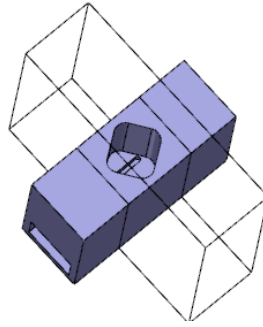
Yarııkların üzerindeki polarizörlerin geometrilerinin yarııktan yarıığa değişmemesi, yarııklarla düzenli düzlemsel ya da çizgisel dizi oluşturulması durumunda, dizide periyodiklik oluşmasını sağlamaktadır. Periyodiklik sayesinde, dizide elemanlar arasında oluşan etkileşimler, sonsuz dizi yaklaşımlarıyla yaklaşık olarak hesaba katılabilmektedir. Sonsuz dizi yaklaşımı, HFSS benzetim aracında periyodik sınır koşulları ve Floquet Portu kullanılarak oluşturulan bir birim hücre vasıtasıyla uygulanmıştır. Düzlemsel dizi tasarımında kullanılacak olan karakterizasyonun yapıldığı birim hücre Şekil 2’de görülmektedir. Çizgisel dizi tasarımı için ise periyodik sınır koşulları sadece tek yönde kullanılmakta ve bu nedenle Floquet Portu kullanılamamaktadır. Periyodiklik kullanılmayan sınırlarda PML sınır koşulları kullanılmaktadır. Çizgisel dizi tasarımında kullanılan birim hücre geometrisi Şekil 3’te görülmektedir.

Birim hücre benzetimleri sonucunda elde edilen S-parametreleri, yarıkların sonsuz dizi ortamındaki aktif S-parametreleridir. Bu parametrelerle hesaplanan admitans değerleri de aktif admitans değerleridir.

Sonsuz dizi karakterizasyonu yapılırken, polarizörün optimum parametreleri de sonsuz dizi ortamında elde edilmelidir. Çünkü izole durumda dairesel polarizasyonlu ışıma yapan yarıkların eksenel oranları dizi ortamında kötüleşmektedir.



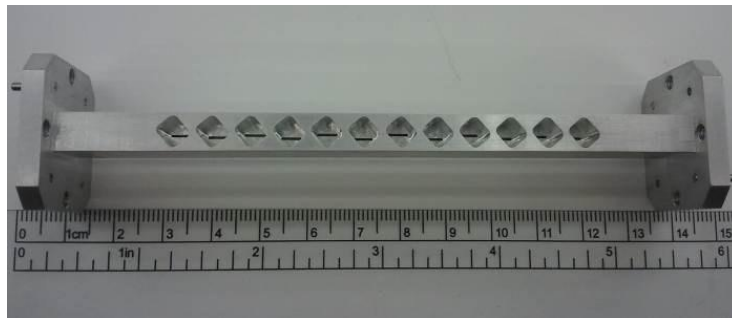
**Şekil 3.** Düzlemsel dizi tasarımı öncesi karakterizasyonda kullanılan birim hücre



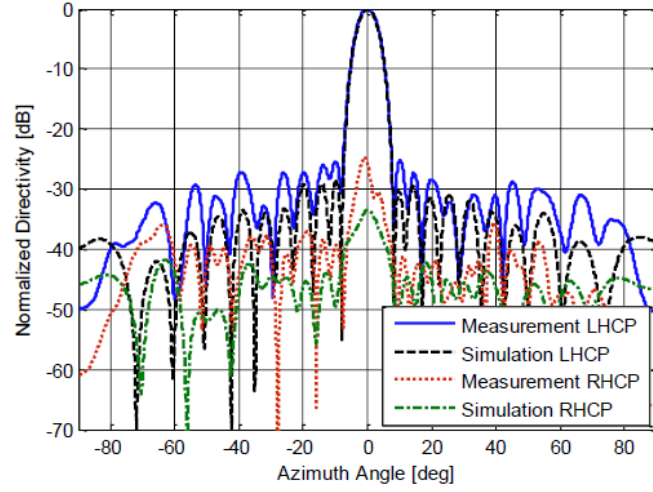
**Şekil 4.** Çizgisel dizi tasarımı öncesi karakterizasyonda kullanılan birim hücre

#### 4. Dizi Tasarımı

Önerilen yarığın doğrulanması için çizgisel bir dizi tasarlanmıştır. Şekil 4'teki geometri kullanılarak çizgisel diziye uygun sonsuz dizi yarığın karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen yarığın karakterizasyon verisiyle, 12 elemanlı, 30dB yan lob seviyeli Taylor dağılımını hedefleyen bir dizi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan antenin benzetimleri yapılmış ve daha sonra anten üretilmiştir. Üretilen anten Şekil 5'te görülmektedir. Benzetim ve ölçümle elde edilmiş ışıma örüntüleri Şekil 6'da görülmektedir.



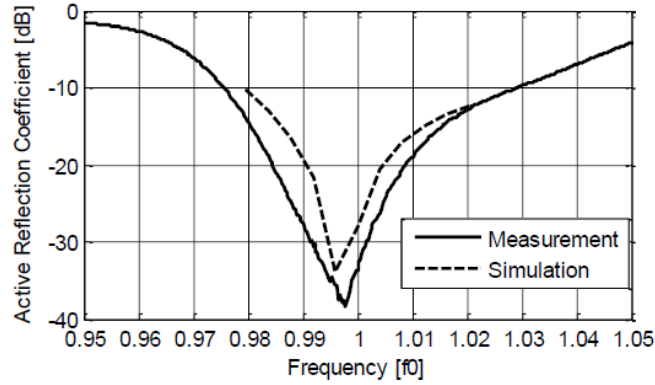
**Şekil 5.** Üretilen çizgisel dizi anten



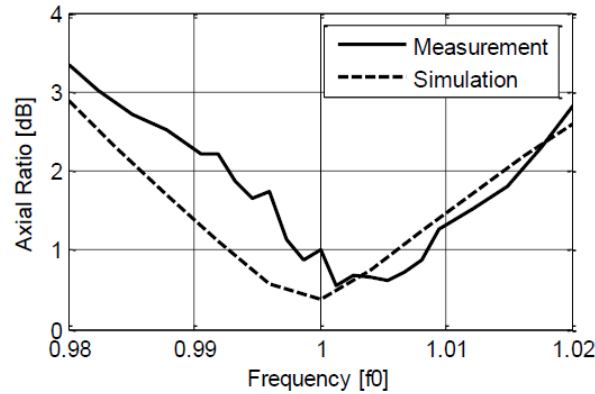
**Şekil 6.** Tasarlanan antenin benzetim ve ölçümle elde edilmiş ışıma örüntüleri

Şekil 6’da, üretilen antenin yan loblarında 4-5dB’lik bir yükselme gözlemlenmektedir. Bunun temel nedeninin, frekansın yüksek olması nedeniyle elektriksel boyutların mekanik üretim toleranslarından daha fazla etkilenmesi olduğu düşünülmektedir. Bu yükselme dışında, ölçülen ışıma örüntüsünün oldukça isabetli olduğu görülmektedir.

Üretilen antenin geri dönüş kaybı ve eksenel oranı frekansa bağlı olarak ölçülmüş ve benzetimlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 7’de geri dönüş kaybı grafikleri, Şekil 8’de ise eksenel oran grafikleri görülmektedir.



**Şekil 7.** Anten geri dönüş kaybı grafikleri



**Şekil 8.** Anten eksenel oran grafikleri

Şekil 7’de görüldüğü gibi antenin geri dönüş kaybı 10dB bant genişliği yaklaşık %5 olarak ölçülmüştür. Antenin eksenel oranı için ise 3dB bant genişliği Şekil 8’de görüldüğü gibi yaklaşık %4 olarak ölçülmüştür.

## 5. Sonuç

Düşük yan loblu ve çembersel polarizasyonlu dizi antenlerin, milimetre dalga bölgesinde düşük kayıplı olarak gerçekleştirilmesi için, dalga kılavuzu tabanlı bir yarık geliştirilmiştir. Yarık, sonsuz dizi yaklaşımıyla karakterize edilerek çizgisel bir anten dizisi tasarlanmıştır. Tasarlanan antenin benzetim ve ölçümleri, önerilen yarığın oldukça iyi bir eksenel oran sağladığını ve de anten yan loblarının düşürülebildiğini göstermiştir. Önerilen yarık kullanılarak düzlemsel bir dizi anten de tasarlanmaktadır. Bu diziyle ilgili sonuçlar URSI 2012 Türkiye Ulusal Toplantısı’nda paylaşılacaktır.

## Kaynaklar

- [1] A. J. Simmons, “Circularly polarized slot radiators,” *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 5, ss. 31-36, Ocak 1957.
- [2] K.-S. Min, J. Hirokawa, M. Ando, and N. Goto, “U-shaped slots for circularly polarized slotted waveguide array,” *IEEE AP-S Uluslararası Sempozyum.*, vol. 3, ss. 1434–1437, 1995.
- [3] G. Montisci, M. Musa, and G. Mazzarella, “Waveguide slot antennas for circularly polarized radiated field,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, ss. 619–623, Şubat 2004.
- [4] K Itoh and T. Adachi, „Novel circularly polarized antennas combining a slot with parasitic dipoles,” *IEEE AP-S Uluslararası Sempozyum*, vol. AP. 2- 4, ss. 52-55, 1980.
- [5] R. J. Stegen, “Longitudinal Shunt Slot Characteristics,” Hughes Technical Memorandum No. 261, Culver City, CA. Kasım 1951.
- [6] D. Dogan, O. A. Civi, “Edge wall slotted waveguide antenna with low cross polarization,” *IEEE AP-S Uluslararası Sempozyum*, 11-17 Temmuz 2010.
- [7] D. Dogan, C. B. Top, "Circularly Polarized Ka-Band Waveguide Slot Array with Low Sidelobes," EuCap Konferansı, Prag, Mart 2012.