

# Çift Polarizasyonlu Yarıkli Dalga Kılavuzu Dizi Anten Tasarım ve Üretimi

Doğanay Doğan<sup>(1,2)</sup>, Ozan Gerger<sup>(1,2)</sup>, Özlem Aydın Çivi<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri ASELSAN A.Ş., Ankara

<sup>(2)</sup> Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

e-posta: {doganay, cbtop}@aselsan.com.tr

ozlem@metu.edu.tr

**Özet:** Polarimetrik ve çevik polarizasyonlu radar sistemlerinde kullanılmak üzere, X-bantta, çift polarizasyonlu, düşük yan huzmeli, yüksek polarizasyon saflığına sahip ve elektronik tarama kabiliyeti olan yarıkli dalga kılavuzu dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan antende yatay ve dikey polarize anten sıraları iç içe geçmiş şekilde konumlandırılmıştır. Yatay polarizasyon bileşeni için dalga kılavuzunun dar kenarına açılan ve çapraz polarizasyonu oldukça düşük, eğimsiz yeni bir yarık tipi geliştirilmiştir. Dikey polarizasyon için, tek sırtli dalga kılavuzunun geniş kenarına açılmış yarıklar kullanılmıştır.

## 1. Giriş

Polarizasyon çevikliği, günümüzde hem Elektronik Karşı Tedbir (EKT) hem de Elektronik Karşı Karşı Tedbir (EKKT) aracı olarak kullanılmaktadır. EKT alanında, polarizasyon çevikliği tespit edilen radarların yayın polarizasyonlarının kestirimini ve de karıştırıcı yayın polarizasyonunun radarın polarizasyonuna uyumlanmasını sağlamaktadır. EKKT alanında ise, radarlar tarafından Elektronik Taarruz (ET) sistemlerinin polarizasyonlarının tespitini ve takiben radarın alma polarizasyonunun ET sisteminin polarizasyonunu reddedecek şekilde ayarlanmasını sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, polarizasyon çevikliğine sahip radarlar, polarimetrik ölçümler sayesinde hedefe farklı polarizasyonda sinyaller gönderip geri dönen sinyallerin tüm bileşenlerini algılayabilirler. Bu kabiliyet, hedef hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlamakta ve özellikle SAR, ISAR ve meteoroloji uygulamalarında hedefin daha detaylı radar izlerine sahip olunmasını sağlamaktadır.

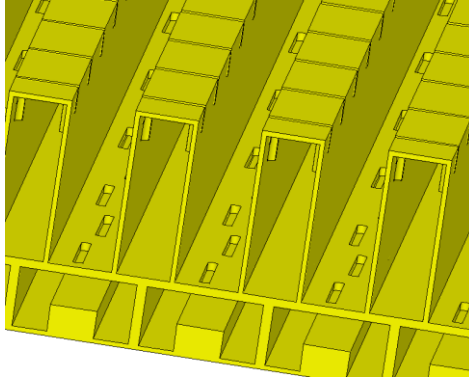
Radarlarda sıkça kullanılan Yarıkli Dalga Kılavuzu Dizi (YDKD) antenlerde polarizasyon çevikliği uygulamaları farklı yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin tümünde, yatay polarize yarıkli taşıyan dalga kılavuzları dikey polarize yarıkli taşıyan dalga kılavuzlarıyla ardışık şekilde dizilerek iki dizinin iç içe geçmesi sağlanmıştır. Dikey polarizasyon için geniş kenar yarıkli, yatay polarizasyon için ise dar kenar yarıkli kullanılmıştır. [1]'de kullanılan yöntem oldukça basittir ve üretimi de kolaydır. Fakat yatay polarizasyon için eğimli yarıkli kullanımı nedeniyle polarizasyon saflığı düşüktür. Polarizasyon saflığını arttırmak için, yatay polarize elemanları eğimsiz yarıklardan oluşan farklı tasarımlar yapılmıştır [2-4]. Bu tasarımlarda en büyük problem, dalga kılavuzlarının yarıklarla birlikte üretilmesinden sonra, antenin içerisine eğimsiz yatay polarize yarıkli uyarılmasını sağlayan ince metal tel ya da metal pencere yapılarının yerleştirilmesi gereksinimidir. Düşük yan huzmeli antenler yapabilmek için, bu yerleştirme işleminin büyük hassasiyetle yapılması gerekmektedir ve bu da üretim maliyetini yükseltmektedir. Bu tasarımların dışında, geniş kenar ve dar kenar yarıkli kullanmayan farklı tasarımlar da mevcuttur [5-7]. Fakat bu tasarımların da, elektronik tarama yapamama, dar çalışma bandı ve üretim zorlukları gibi sorunları vardır.

Bildiri kapsamında, düşük yan huzme seviyeli, yüksek polarizasyon saflığına sahip, üretimi kolay, +/-35 derece elektronik tarama kabiliyetli, %6 bant genişliği olan bir anten tasarlanmıştır. Tasarım kapsamında, yatay polarizasyon için yeni bir eğimsiz dar kenar dalga kılavuzu yarıkli anten elemanı geliştirilmiştir. Tasarlanan anten ilerleyen dalga tipidir. Tasarım yöntemi duran dalga tipi antenlere de uyarlanabilmektedir.

## 2. Anten geometrisi

Tasarlanan anten, [1-4]'te kullanılan geleneksel topolojiyi kullanmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, antenin alt kısmında dikey polarize ışımayı yapan geniş kenar yarıkli, üst kısmında ise yatay polarize ışımayı yapan eğimsiz dar kenar yarıkli bulunmaktadır. Elektronik tarama kabiliyetinin “grating lob” oluşmadan sağlanabilmesi için, alt kısımda bulunan dalga kılavuzlarının genişliklerinin geleneksel dikdörtgen dalga kılavuzlarından daha az olması

gerekmektedir. Gerekli dalga kılavuzu genişliğini, temel modun kesim frekansına çok yaklaşımadan sağlayabilmek için bu dalga kılavuzları Şekil 1’de görüldüğü gibi sırtlı (ridged) yapıda tasarlanmıştır. Üst kısımdaki dalga kılavuzları ise, alttaki yarıkların önünü kapatmayacak şekilde inceltilmiş bir kesit alanına sahiptir. Ayrıca, dalga kılavuzu kalınlığını daha da azaltmak için, üst kısımdaki dalga kılavuzlarının et kalınlıkları, geleneksel dalga kılavuzlarından daha ince tasarlanmıştır. Bu dizilimle, üstteki dalga kılavuzları, alttaki yarıklar için “baffle” görevini üstlenmekte ve ikincil huzmelerin oluşumu engellenmektedir. “Baffle” yapısının çalışma prensipleri [8]’de ele alınmıştır.



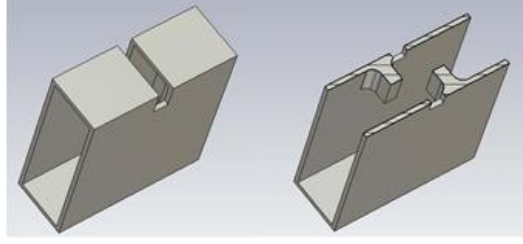
**Şekil 1.** Tasarlanan antenin geometrik kesiti

Üstteki ve alttaki dalga kılavuzları, yatay ve dikey polarizasyonlu huzmelerin karakteristiklerinin benzer olması için temel modlarının kesim frekansları aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun en büyük gerekçesi, antenin ilerleyen dalga tipinde olmasıdır. İlerleyen dalga tipi antenlerde, huzme, anten ana ekseninden frekansa bağlı olarak sapmaktadır. Sapma miktarının her iki polarizasyonda da aynı kalabilmesi için, her iki polarizasyonun anten elemanları arasındaki ardışık faz farkları eşit olmalıdır. Bu şart ise, dalga kılavuzu kesim frekanslarının aynı olması gereksinimini doğurmaktadır.

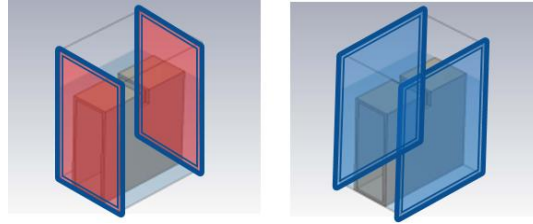
### 3. Yarık karakterizasyonu

YDKD antenlerde, huzme kontrolü, her bir yarık tarafından aktif olarak ışınan uzak alan değerlerinin genlik ve fazlarının değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Aktif ışımadan kastedilen, tüm yarık elemanlarının uyarıldığı durumda, ilgilenilen yarığın açıklığında oluşan toplam elektrik ve manyetik alanlardan kaynaklı ışımadır. Açıklıktaki toplam alanlar ise, yarığın kendi uyarımından kaynaklı alanlar ve diğer uyarılmış yarıkların etkileşimiyle oluşan alanlar olarak ikiye ayrılabilir. Bu nedenle, dizideki herhangi bir yarık tarafından ışınan alanlar, dizideki diğer tüm yarıkların özellikleriyle de ilişkilidir. Yarıkların elektriksel özellikleri ise, yarık yapısındaki birtakım geometrik parametrelerle kontrol edilmektedir.

Tasarlanan dizide, yatay polarize diziyi oluşturmak için, [9]’da detaylı olarak incelenmiş olan eğimsiz dar kenar yarıkları kullanılmaktadır. Şekil 2’de görülen bu yarıklar, dalga kılavuzuna entegre durumdaki uyarıcı yapılarıyla birlikte üç eksen CNC (Computer Numerically Controlled) freze tezgahlarında işlenebilmektedir. Yarıkların uzak alan genlik ve fazları, uyarıcı yapıların yüksekliği (h) ve yarığın derinliği (d) değiştirilerek kontrol edilmektedir. Yarıkların karakterizasyonu, farklı uyarıcı yükseklikleri ve farklı yarık derinlikleri için ışınma genlik ve fazlarının elde edilmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, HFSS ile hazırlanan parametrik yarık modeli, farklı yarık parametreleri için analiz edilmiş ve parametrelerin ışınma genlik ve fazlarına etkisi tespit edilmiştir. HFSS benzetiminde, tasarlanan dizinin boyutlarının elektriksel olarak büyük olmasından faydalananak sonsuz dizi yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 3’te görülen sonsuz dizi hücrelerinde, iki dik polarizasyon arasındaki etkileşimin çok düşük olacağı hipotezinden yola çıkılarak sadece yatay polarize yarık kullanılmıştır. Hücrede, mavi sınırlar arasındaki Periyodik Sınır Koşulları (PSK) için 0 derece faz farkı, kırmızı sınırlar için antenin ilerleyen dalga tipi olmasından kaynaklı ardışık yarıklar arasındaki faz farkı uygulanmıştır. Karakterizasyonun detayları [9]’da verilmektedir.

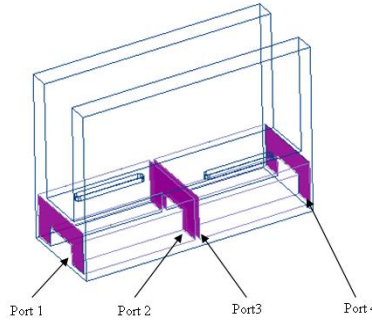


**Şekil 2.** Tasarlanmış olan yatay polarize yarık geometrisi



**Şekil 3.** Dikey polarize yarıkların karakterizasyonu için kullanılan hücre

Dikey polarize yarıkların karakterizasyonu için de benzer bir yöntem izlenmiştir. Bu yarıkların şönt admitans olarak modellenebildiği bilinmektedir [10]. Dizi ortamındaki yarıklar arası etkileşimi de hesaba katabilmek için yine sonsuz dizi yaklaşımı kullanılmıştır. Fakat, ardışık geniş kenar yarıkları, birbirlerine göre ters yönde ofsetli olduğu için, benzetim için kullanılan hücrede iki yarık bulunmaktadır. Ayrıca, her yarığın kendi besleme portları bulunmaktadır ve bu nedenle Şekil 4'te görüldüğü gibi modelde 4 port bulunmaktadır. Karakterizasyonun detayları [9]'da verilmiştir.



**Şekil 4.** Dikey polarize yarıkların karakterizasyonu için kullanılan hücre

#### 4. Dizi anten tasarımı

İki polarizasyonu yaratacak olan diziler birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanmaktadır. Ayrıca karakterizasyonda kullanılan sonsuz dizi modeline uygunluk açısından, elektriksel olarak büyük bir dizi tasarlanacağı varsayılmaktadır. Dizinin büyük olması nedeniyle kenar etkileri ihmal edilmekte ve aynı polarizasyondaki tüm anten sıraların birbiriyle aynı olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle, iki polarizasyon için birer anten sırası tasarımı yapılması yeterlidir ve bu tasarımlar için hedeflenen yanca genlik dağılımının bilinmesi yeterlidir.

Tasarlanacak dizi anten sıralarının ilerleyen dalga tipinde olmasından dolayı, Dion'un tasarım yöntemi [11] kullanılmaktadır. Yöntemde tek tasarım denklemi vardır ve şu şekildedir:

$$g_n = \frac{P_n}{P_L + \sum_{k=n+1}^N P_k} \quad (4)$$

İfadede,  $g_n$ , n'inci yarığın kondüktansını,  $P_k$ , k'inci yarık tarafından ışınan gücün toplam güce oranını (normalize ışınan güç) ve  $P_L$ , sonlandırıcı yükte harcanan normalize gücü belirtmektedir. Bu ilişkiden hareketle belirlenen tasarım yöntemi şu şekildedir:

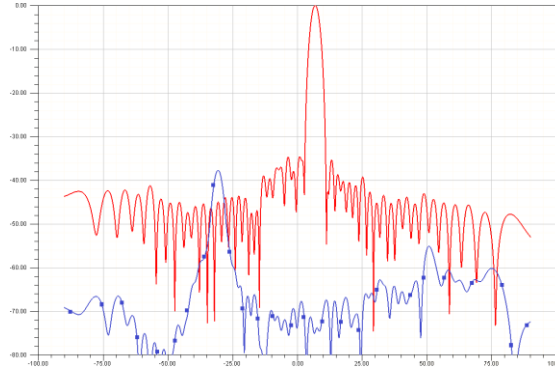
- 1- Hedeflenen yanca eleman sayısı ve genlik dağılımı belirlenir.
- 2- Yükte harcanacak olan güç yüzdesi belirlenir.
- 3- Elemanlardan ışıyacak ve yükte harcanacak güçler, toplamaları 1 olacak şekilde normalize edilir. Elde edilen değerler  $P_n$  ve  $P_L$ 'dir.
- 4- (4) kullanılarak  $g_n$ 'ler hesaplanır.
- 5- Hedeflenen  $g_n$ 'leri yaratacak yarık parametreleri elde edilmiş olan polinomlarla bulunur.

Bu bildiride, [9]'da tasarlanmış olan çift polarizasyonlu antenin tasarımı üzerinde durulmaktadır. Tasarım kapsamında, antenin yanca genlik dağılımı 35 dB yan lob seviyeli Taylor dağılımı, yükte harcanan güç ise %1 olarak hedeflenmiştir. Her iki polarizasyon için tasarlanan anten sıraları çoklanarak 23 elemanlı bir dizinin üretilmesi hedeflenmiştir.

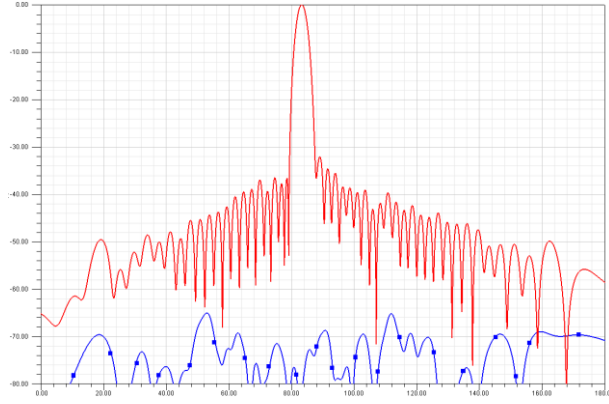
## 5. Dizi anten benzetim sonuçları

Bağımsız olarak tasarlanan farklı polarizasyonlu alt diziler, öncelikle ayrı ayrı modellerde elektromanyetik benzetimlerle doğrulanmıştır. Tasarlanan antenin 23 sıra olması ve yükseliş genlik dağılımının çok hızlı değişim göstermeyen bir dağılım olan Taylor olması nedeniyle, iki antenin de 23'te 1'inin periyodik sınır koşullarıyla yapılacak benzetiminin, tüm antenin benzetimiyle benzer sonuçlar vereceği öngörülmektedir. Bu öngörü, [9]'da, 10 sıra olarak üretilmiş yatay polarize antenin ölçüm sonuçlarının, antenin 10'da 1'inin PSK kullanılarak yapılmış benzetimleriyle gösterdiği örtüşme ile desteklenmektedir. Tasarlanan antenlerin PSK ile yapılmış benzetimleri sonucunda elde edilen yanca örüntüleri Şekil 5 ve 6'da sırasıyla yatay polarize ve dikey polarize diziler için verilmiştir. Örüntülerden görüldüğü gibi tasarımlar istenilen yan lob seviyelerini karşılamaktadır.

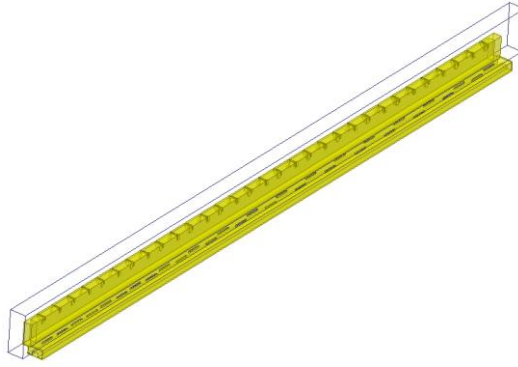
Elde edilen örüntülerdeki yan lob seviyelerinin tasarım hedefleriyle paralellik göstermesi nedeniyle tasarlanan alt diziler birleştirilerek Şekil 7'deki tüm antenin PSK'li modeli oluşturulmuştur. Bu model kullanılarak yapılan benzetimlerde, her iki polarizasyondaki alt dizilerin eş-polarize ve çapraz polarize yanca örüntüleri Şekil 8'de görülmektedir. Görüldüğü gibi, yatay ve dikey polarize dizilerin birleştirilmesi, bu dizilerin ışıma örüntülerinde kayda değer bir değişikliğe neden olmamakta ve her iki dizinin polarizasyon saflığı korunmaktadır. Benzetim sonuçlarının başarılı olmasından hareketle, tasarlanan anten üretilmiştir. Üretilen anten Şekil 9'da görülmektedir. Antenin ölçüm sonuçları URSI 2012 Türkiye Ulusal Toplantısı'nda paylaşılmaktadır.



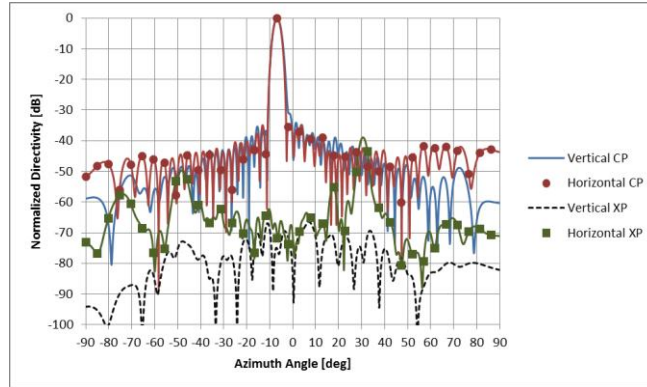
Şekil 5. Yatay polarizasyonlu dizinin PSK ile benzetimi sonucu elde edilen yanca örüntüsü



Şekil 6. Dikey polarizasyonlu dizinin PSK ile benzetimi sonucu elde edilen yanca örüntüsü



Şekil 7. Çift polarizasyonlu antenin PSK ile benzetimi için hazırlanan model

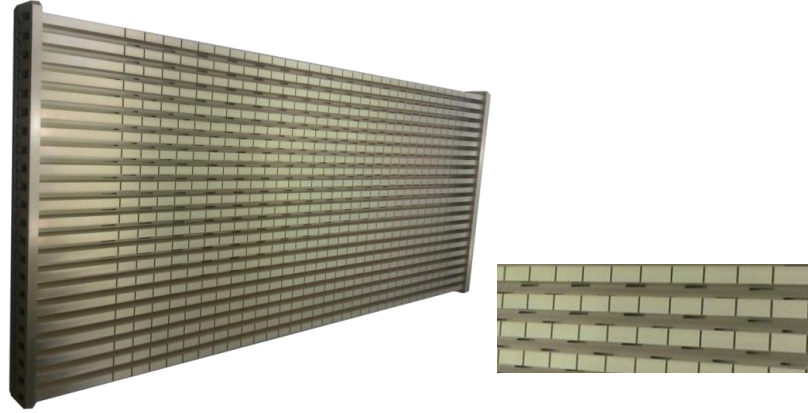


Şekil 8. Çift polarizasyonlu dizinin PSK ile benzetimi sonucu elde edilen ışıma örüntüleri

## 6. Sonuç

Polarizasyon çevikliği uygulamalarına uygun, düşük yan loblu, çift polarizasyonlu bir anten dizisi başarıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Dizinin polarizasyon saflığını yüksek tutabilmek için yeni bir dalga kılavuzu dar kenar eğimsiz yarık geometrisi geliştirilmiştir. Geliştirilen yarık, benzerlerinden daha basit üretim yöntemleriyle üretilebilmektedir. Tasarımda kullanılan tüm yarıklar periyodik sınır koşulları ve sonsuz dizi yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir ve modellemenin isabetli olduğu benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir. Ayrıca, anten sıraları,  $\pm 35$

derece elektronik tarama kabiliyeti sağlanabilmesi için inceltilerek standart olmayan dalga kılavuzu kesitleri kullanılmıştır. Üretimi tamamlanan antenin ölçüm sonuçları URSI 2012 Türkiye Ulusal Toplantısı'nda paylaşılacaktır.



**Şekil 9.** Üretilen çift polarizasyonlu anten

## Kaynaklar

- [1] P.J Wood, N. Sultan, G. Seguin, “A dual-polarized reconfigurable-beam antenna for the DSAR synthetic aperture radar,” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol.3, ss.1716-1719, Temmuz 1996
- [2] Wei Wang, Jian Jin, Jia-Guo Lu, Shun-Shi Zhong, “Waveguide slotted antenna array with broadband, dual-polarization and low cross-polarization for X-band SAR applications,” *IEEE International Radar Conference*, ss. 653-656, Mayıs 2005.
- [3] A.G. Derneryd, A. Lagerstedt, “Novel slotted waveguide antenna with polarimetric capabilities,” *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol.3, no., ss.2054-2056 vol.3, Temmuz 1995.
- [4] M. Stangl, R. Werninghaus, R. Zahn, “The TERRASAR-X active phased array antenna,” *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, ss. 70-75, 14-17 Ekim 2003.
- [5] M.G. Guler, “Dual Polarized Slotted Array Antenna,” U.S. Patent No: 6,127,985, 3 Ekim 2000.
- [6] A. J. Sangster, R. W. Lyon, “Dual mode waveguides for variably polarised slotted waveguide array antennas,” *IEE Proceedings on Microwaves, Optics and Antennas*, Ekim 1980.
- [7] G. Montisci, G. Mazzarella, M. Musa, “A Polarization-agile Waveguide Slot Antenna,” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol.3, ss.1034-1037, Haziran 2003.
- [8] K. Forooghi, P.S. Kildal, “Reduction of Second-Order Beams in Slotted Waveguide Arrays Using Baffles,” *IEE 7th International Conference on Antennas Propagation*, ss. 725, Nisan 1991.
- [9] Doğanay Doğan, “Dual Polarized Slotted Waveguide Array Antenna,” Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2011.
- [10] A.F. Stevenson, “Theory of Slots in Rectangular Waveguides,” *Journal of Applied Physics*, ss. 24-38, Ocak 1948.
- [11] A. Dion, “Nonresonant slotted arrays,” *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.6, no.4, ss.360-365, Ekim 1958.