

**S-Bant Adımlı Septum Kutuplaştırıcı Tasarımı ve Analizi**

Volkan AKAN<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Dalga kılavuzlarının kullanılma fikri ve ilk tasarımları on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısına kadar uzanmaktadır. Ayrıca İkinci Dünya Savaşı'nda özellikle radar teknolojisinin temellerinin atılmasıyla dalga kılavuzları ve bu iletim hatları üzerinde tasarlanarak üretilen RF/Mikrodalga bileşenler kablosuz haberleşme teknolojilerinin vazgeçilmez yapılarından birisi olmuştur. Günümüzde de özellikle yüksek güç ihtiyacı olan RF/Mikrodalga sistemlerde sıklıkla görev almaktadırlar. Ayrıca dairesel kutuplanmalı açıklık antenler ve bu antenlerin besleme bileşenleri özellikle uydu haberleşmesinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Mobil haberleşme sistemlerinde kutuplanma kaybının azaltılması, veri hızının artırılması için kutuplanma çeşitliğinin kullanılması vb. uygulamalarda bu yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle dalga kılavuzu ile beslenen antenlerin dairesel kutuplanmalı elektromanyetik dalga yayması ya da alması için kutuplaştırıcı yapıları kullanılmaktadır. Bu yapılar antenin çevresine yerleştirilen özellikte olabileceği gibi anten girişinde ve dalga kılavuzu içinde de olabilmektedir. Bunlardan birisi de septum kutuplaştırıcıdır. Septum yapısı dalga kılavuzunun içinde yer aldığı için dış etkilere daha az maruz kalmakta ayrıca az hacimli ve hafifliği dolayısıyla da kullanım ve uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Bu çalışmada hem uzay kesimi hem de yer kesimi S-Bant uydu haberleşme sistemlerinde dairesel kutuplanmalı anten beslemelerinde kullanılmak üzere dört adımlı septum kutuplaştırıcının analiz ve tasarımı gerçekleştirilerek ticari bir elektromanyetik çözümleyicide benzetimleri yapılmıştır. Belirlenen yalıtım hedefleri doğrultusunda tasarım geri dönüş kaybı, port yalıtımı ve eksenel oran değerleri bakımından iyileştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar da belirtilen geri dönüş kaybı, port yalıtımı, eksenel oran ve ışıma örüntüsü olarak sunulmuştur. Bu sonuçlara göre tasarımı gerçekleştirilen dört adımlı septum kutuplaştırıcı yapısı özellikle S-Bant uydu haberleşme sistemlerinde dairesel kutuplanma elde etmek için anten girişlerinde kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Dairesel kutuplanma, septum kutuplaştırıcı, mikrodalga, anten, S-Bant

**S-Band Stepped Septum Polarizer Design and Analysis**

**ABSTRACT:** The idea of using waveguides and their initial designs date back to the second half of the nineteenth century. Furthermore, after foundation of the radar technology was laid during the Second World War, waveguides and the RF/Microwave components designed on this transmission line became indispensable for the wireless communication technologies. Today, it is frequently encountered particularly in RF/Microwave systems that require high power. In addition, circularly polarized aperture antennas and their feeding components constitute an important place especially in the satellite communication system. These structures are commonly needed in applications of using polarization diversity to increase data rate, reducing polarization loss in mobile communication systems, etc. In particular, the polarizing structures of the antennas fed with the waveguides are used to emit or receive electromagnetic waves with circular polarization. These structures can be placed around the antenna or can be at the input of the antenna within waveguide. One of these is the septum polarizer. Since the septum polarizer is located inside the waveguide, it is less affected by external effects and also provides an advantage due to its low volume and lightness. In this study, analysis and design of a four-step septum polarizer to be used in circularly polarized antenna feeds of S-Band satellite communication systems/ground-stations has been performed and then a commercially available electromagnetic solver has been utilized to simulate this waveguide structure. In line with the determined optimization objects, the design has been improved in terms of return loss, port isolation and axial ratio values. The results are presented as input reflection loss, port isolation, axial ratio and radiation pattern. Based on these results, four-step septum polarizer can be used at antenna inputs to provide circular polarization, especially in S-Band satellite communication.

**Keywords:** Circular polarization, septum polarizer, microwave, antenna, S-Band

<sup>1</sup>Volkan AKAN (Orcid ID: 0000-0001-7774-8752), TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Mikrodalga ve Anten Sistemleri Grubu, ODTÜ, Ankara, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Volkan AKAN, e-mail: volkanakan@hotmail.com

## GİRİŞ

Son yıllarda haberleşme sistemlerinde gerçekleşen gelişmelerle beraber anten ve anten besleme donanımlarında kullanılan mikrodalga bileşenlere olan ihtiyaçlar da önemli ölçüde artmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında özellikle radar ve askeri haberleşme teknolojileri ciddi olarak önem kazanmış, sonrasında ise sayısal bilgisayarların ortaya çıkmasıyla analitik ve hesaplamalı elektromanyetik teknikler ile tasarımlar bilgisayar ortamında yapılmaya başlanmıştır. Bu durum tasarım süreçlerine büyük ölçüde ivme kazandırmış ve bu alandaki teknolojik gelişmeleri ileri seviyelere taşımıştır. Özellikle uydu haberleşmesi için yer ve uzay kesimlerinde yer alan RF (radyo frekans) alıcı ve verici birimlerin daha hızlı veri gönderme ve almaları için çalışmalar devam etmektedir (Akan ve Yazgan, 2020).

Haberleşme sistemlerinin önem kazandığı alanlardan birisi de DDY'de (Düşük Dünya Yörüngesi) yer alan uydulardır. Bu uydular farklı görevler için kullanılabilirler. Bu görevler optik ya da mikrodalga enstrümanlarla yer gözlem, bilimsel araştırma, veri haberleşmesi, IoT için internet yayını sağlama vb. olarak sayılabilir (Akan ve Yazgan, 2010; Imbriale, 2012; Akan ve Dudak, 2014; Akan, 2015; Akan ve ark., 2017; Akan, 2020; Akan ve Yazgan, 2020). Bunun yanında yer sabit uydularda da haberleşme alt sistem ve donanımları oldukça önemli bir yere sahiptir. Burada yer alan donanımlardan birisi de huni antenler ve besleme bileşenleridir. Balanis (Balanis, 2005) tarafından belirtildiği üzere standart dörtgensel huni anten mikrodalga antenler arasında en çok kullanılan yapılardan birisidir. Bu antenlerin kullanımını 19. yy'ın sonunda başlamış ve hala radyo astronomi, uydu takip, haberleşme çanakları gibi birçok yapıda sıklıkla görev almaktadırlar. Faz dizi yapıları için genel bir eleman olup diğer yüksek kazançlı antenlerin kazanç ölçümleri için ölçümleme standardı olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle genellikle standart kazanç huni anteni olarak nitelendirilir. Tek bir besleme kullanarak yüksek saflıkta dairesel kutuplanmalı anten elde etmenin basit ve etkin bir yolu kare dalga kılavuzu içerisine septum kutuplaştırıcı yerleştirilmesidir (Chen ve Tsandoulas, 1973; Schrank, 1983; Balanis, 2005). (Davis ve ark., 1967)'de ilk olarak septum kutuplaştırıcı literatüre sunulmuştur. Buradaki çalışmada beş elemanlı huni anten dizisinde her bir huni antenin dairesel kutuplanmada çalışması için eğimli septum kutuplaştırıcı tasarımı yapılmıştır. Septum kutuplaştırıcının çalışma prensibi (Chen and Tsandoulas, 1973)'de temel olarak verilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın Materyal ve Yöntem kısmında da sunulmaktadır. Chen ve Tsandoulas çalışmalarında (Chen and Tsandoulas, 1973) tek ve çift mod uyarımları ile dairesel kutuplanmanın septum kutuplaştırıcıda nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmışlardır. Schrank ayrıca (Schrank, 1982)'de yamuk (trapezoidal) septum kutuplaştırıcı tasarlayarak, eksenel oran ölçümlerinde bu yapının sağlıklı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. (Mrnka ve ark., 2016)'da anten ölçümleri için Küresel Konumlandırma Sistemlerinde (KKS) kullanılan antenlerin ölçümlerini gerçekleştirebilmek için çift mod olarak ve dairesel kutuplanmalı olarak çalışan huni anten tasarımı sunulmaktadır. Buradaki huni anten yapısının dairesel kutuplanmada çalışmasını sağlayan septum kutuplaştırıcıdır. Shu ve ark. tarafından yapılan çalışmada (Shu ve ark, 2019) W-Bant'da Sol El Dairesel Kutuplanmalı (SoEDK) veya Sağ El Dairesel Kutuplanmalı (SaEDK) yayın yapabilecek şekilde septum kutuplaştırıcılı milimetrik dalga haberleşmesinde kullanılacak huni anten tasarımı verilmektedir. Yapılan bu çalışmada prototip üretimi yapılan antenin 76.8 ile 94.7 GHz aralığında %21'lik bağıl bant genişliğine sahip olduğu gösterilmiştir. (Chio ve ark., 2016)'de ise yine çift dairesel kutuplanmalı olarak çalışacak huni anten için X-Bant'da çalışacak bir tasarım yapılmış ve 3-Boyutlu metal yazıcı teknolojisi kullanılarak prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu kez oluklu huni antenin tasarlandığı bu çalışma özellikle eklemeli imalat teknolojilerinin ön plana çıktığı düşünüldüğünde mikrodalga ve anten teknoloji alanı için önem arz etmektedir. Ayrıca Wang ve ark.

tarafından septum kutuplaştırıcının bir dalga kılavuzunun içinde dielektrik bölücü kullanılarak yapılabileceği gösterilmiştir (Wang ve ark., 2004). Buradaki dielektrikli septum kutuplaştırıcı 60 ile 62.5GHz frekans aralığında eksenel oran 0.5dB'nin altında olacak şekilde tasarlanmış ve prototip ile doğrulanmıştır. Kim ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ve (Kim ve ark., 2011)'de sunulan çalışmalarında ise X-Bant'da huni antenlerin dairesel kutuplanmalarını sağlamak üzere üçgensel yapıdaki adımlı septum kutuplaştırıcı tasarımı sunulmuş ve literatürdeki benzer yapılarla karşılaştırılmıştır. Bir diğer çalışmada (Deutschmann and Jacob, 2020) ise 75 ile 110GHz bandı ve 18 ile 26GHz bantlarında çalışacak iki septum kutuplaştırıcı üçgensel dalga kılavuzu portlarına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Buradaki amaç ise septum kutuplaştırıcının dalga kılavuzunun kesim frekansları tarafından sınırlanan bant genişliğini arttırmaktır. Prototip üretimleri ise birinci yapı bilgisayar kontrollü torna diğeri de 3-Boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Balanis, 2005)'de belirtildiği üzere birçok uygulamada iyi bir verimlilik ve performans isteneceğinden iç kısımdaki metalik yüzeylerin iyi birer iletken olması gerekmektedir. Huni antenlerin, dalga kılavuzlarının ve bileşenlerinin üretimi torna tezgâhında veya bilgisayar kontrollü makinelerde yapılabilmektedir. Özellikle 100GHz'in üzerindeki tasarımlar için üretimler zorlaşmakta ve özelleşmiş farklı üretim tekniklerinin kullanılması zorunlu hale gelebilmektedir. Farklı bir septum kutuplaştırıcı profiline sahip çalışmada ise dalga kılavuzunun ortasında yer alan septum kutuplaştırıcı üç parçalı yarıktan oluşan bir tasarım kullanılmıştır (Wang ve ark., 2016). Reflektör antenlerin beslemelerinde sıklıkla kullanılan huni antenlerin girişlerinde septum kutuplaştırıcılar dairesel kutuplanma sağlamak için kullanılmaktadır. Buna örnek verilecek uygulamalardan birisi de radyo teleskoplardır. İsveç'te yer alan Onsala Uzay Gözlemevinde bulunan 20m çapındaki radyo astronomi teleskobunun besleme kısmında yer alan S-Bant huni antenin girişinde septum kutuplaştırıcı kullanılarak dairesel kutuplanmalı elektromanyetik dalgaların alımı sağlanmaktadır (Elgered ve ark., 1997; Elgered ve ark., 1999).

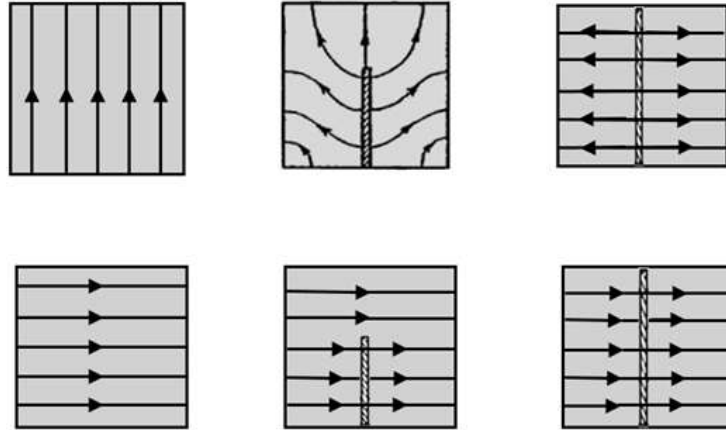
Bu makalede S-Bant'da dalga kılavuzu ile beslenen antenlerin dairesel polarizasyon ışına karakteristiğine sahip olabilmesi için adımlı septum kutuplaştırıcı tasarımı ve analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için ticari olarak mevcut olan üç boyutlu bir elektromanyetik çözümleyici kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar giriş geri dönüş kaybı, port yalıtımı, eksenel oran değeri olarak sunulmuştur. Bu sonuçlara göre S-Bant'da 2200MHz ve 2300MHz frekans aralığı içerisinde kullanılacak düşük yansımaya kaybına ve eksenel orana sahip dört adımlı septum kutuplaştırıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

## MATERYAL VE METOT

### Mikrodalga Septum Kutuplaştırıcının Analizi

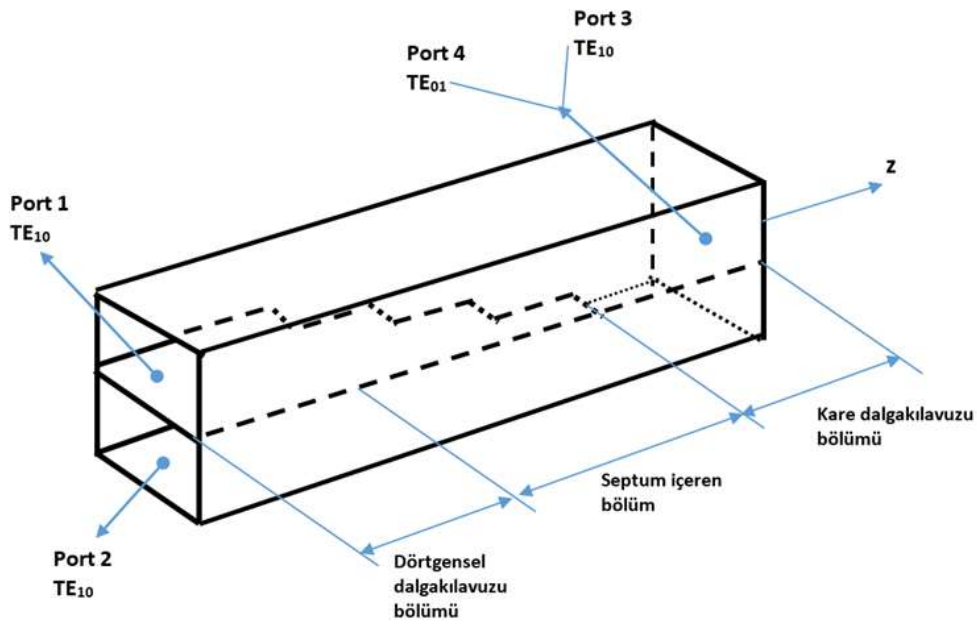
(Schrack, 1982)'de belirtildiği ve açıklandığı üzere huni anten dairesel kutuplanmalı bir elektromanyetik dalganın geldiği durum için gelen dalga septum kutuplaştırıcıda kare dalga kılavuzundaki  $TE_{10}$  ve  $TE_{01}$  modlarının süper pozisyonu olarak ifade edilebilir. Bu nedenle bunlar uzaysal olarak dik elektrik alanlara, eşit genliklere ve bağıl olarak  $\pm\pi/2$  faz farkına (kutuplanma tipine göre değişen) sahiptir. Septum kutuplayıcı etrafındaki alan geçişleri Şekil 1'de görülmektedir.

Kare dalga kılavuzu  $TE_{10}$  modu septumun düzlemine dik olan elektrik alan ile kutuplanmıştır ki bu nedenle yapı faz bölücü olarak çalışmaktadır. Bununla beraber kare dalga kılavuzu  $TE_{01}$  modu elektrik alanı ile birlikte septuma paralel gelmektedir. Bu nedenle bu, mod çevirmenin gerçekleşmesiyle iki zıt faza sahip  $TE_{10}$  modu alt ve üstte yer alan dikdörtgen dalga kılavuzlarına aktarılmış olurlar. Gelen  $TE_{01}$  kare dalga kılavuzunun kutuplanma düzlemi  $\pi/2$  boyunca septumun dik düzlemine uzanmak için döner.

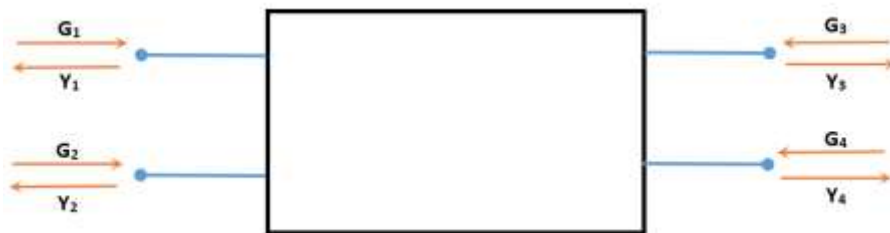


Şekil.1. Septum kutuplaştırıcıda alan geçişleri (Schrank, 1982).

En sonunda septumun uzunluğu eş-eksenli sonda (prob) tarafında iki  $TE_{10}$  moduna eş fazlı ekleme yapmak amacıyla tasarlanırken bu tasarım diğer tarafta zıt fazlı iki alanın birbirini yok etmesini sağlar (Chen and Tsandoulas, 1973; Kim ve Rahmat-Samii, 2011). Septum kutuplaştırıcının içinde modların nasıl oluştuğu Şekil 2’de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil.2. Septum kutuplaştırıcı içeren kare dalga kılavuzu içerisinde modların oluşması ve dörtgenel dalga kılavuzlarına bölüşülen TE modlar, (a) Septum kutuplaştırıcı ile kare dalga kılavuzu konfigürasyonu, (b) Kutuplaştırıcı eşdeğer ağı (Chen and Tsandoulas, 1973).

Ayrıca dalga kılavuzunun sonundaki açıklıktan yayılacak dalga iki farklı tipte olacağından dalga kılavuzunun son kısmı da iki portlu kabul edilebilir. Dolayısıyla septum kutuplaştırıcı toplamda dört portlu olarak düşünülebilir.

(Chen and Tsandoulas, 1973)'de tanımlandığı üzere portlara gelen ve yansıyan dalga sırasıyla  $G_i$  ve  $Y_i$  ile port numaraları da  $i$  ( $i=1,2,3,4$  olmak üzere) ile ifade edilirse Şekil 2'deki gibi gelen ve yansıyan dalgalar gösterilebilir. Çift mod uyarımlama durumunda  $G_1=G_2=1$  ve  $G_3=G_4=0$  oluşmakta ayrıca septum tarafından ikiye bölünen kare dalga kılavuzundan ortaya çıkan iki dürtgösel dalga kılavuzundaki elektrik ve manyetik alanlar büyüklük olarak birbirlerine eşit olmakla beraber yapının ortak duvarında zıt yönlerde oluşmaktadır. Bu sebeple her bir dürtgösel dalga kılavuzunda oluşan alanlar septum sayesinde birbirlerini bozmadan ve ters yönlerde akım oluşturacak şekilde ilerleyebilmektedir. Sonuç olarak çift modun ilerlemesine septumun herhangi bir olumsuz etkisi yoktur ve toplam enerji kare dalga kılavuzunda  $TE_{10}$  moduna transfer edilmektedir.

Yine (Chen and Tsandoulas, 1973) 'de açıklandığı üzere tek mod uyarım durumunda ise  $G_1 = 1$ ,  $G_2 = -1$ ,  $G_3 = G_4 = 0$  olmak üzere çift mod uyarımına göre aşağıda yer alan dürtgösel dalga kılavuzunda alan ve akımlar ters şekilde oluşurlar. Bu durum akımın dalga kılavuzlarının arasındaki ortak duvarın üst ve alt yüzeylerinde aynı yönde oluşmasına neden olur ve bu ortak duvarda oluşturulan bir açıklık alanın bozulmasına, sonrasında ise mod kuplajına ve yansımaya neden olur. İkili dürtgösel dalga kılavuzunda tek mod uyarımıyla oluşan enine (transverse) alan yukarı ve aşağı tek simetri ile karakterize olurken kare dalga kılavuzundaki  $TE_{10}$  modu çift yukarı ve aşağı simetriye sahiptir ki bu aralarında herhangi bir kuplajın oluşmamasına neden olur. Dolayısıyla tek mod uyarımıyla oluşturulmuş dalganın bir kısmı kare dalga kılavuzunda  $TE_{10}$  moduna dönüştürülürken bir kısmı geri yansır. Birinci portun uyarımlanması çift ve tek mod uyarımlarının üst düşümüne (süper poze) eşittir. Bu durum dairesel kutuplanmaya sahip olan dalganın oluşmasıdır ve matematiksel olarak (Chen and Tsandoulas, 1973)'de tanımlandığı üzere aşağıdaki gibi

$$Y_1 = \frac{\Gamma}{2} = -Y_2 \quad (1)$$

$$Y_3 = \frac{1}{2} \quad (2)$$

$$Y_4 = \frac{1}{2} (1 - |\Gamma|^2)^{1/2} e^{j\theta} \quad (3)$$

ifade edilebilir.

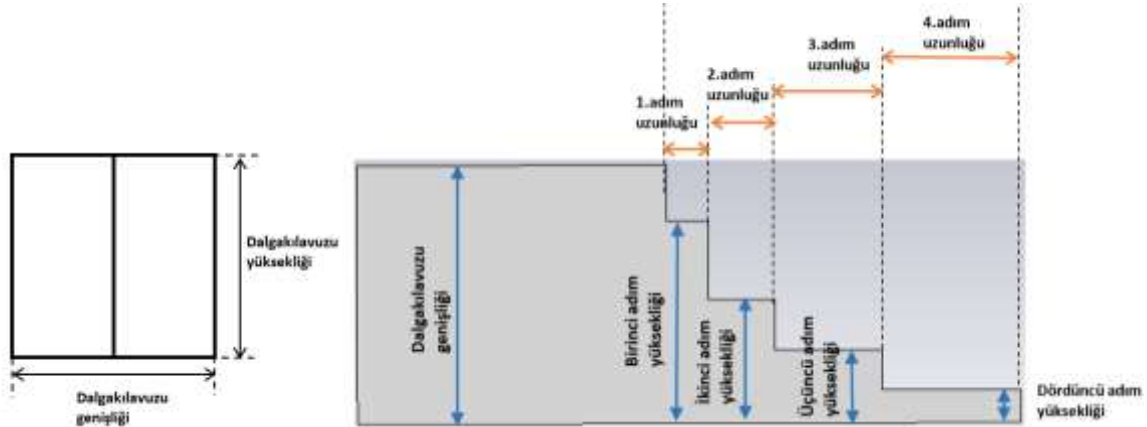
Burada  $\Gamma$  tek mod için yansımaya katsayısını,  $Y_1$  giriş portuna geri yansıyan gücü ve  $Y_2$  uyarımlanmayan giriş portuna kuplajlanan gücü bir başka deyişle portlar arasındaki yalıtımı ifade eder.

$Y_3$  ve  $Y_4$ 'ün bağıl genlik ve fazları eksene oran ile eliptik polarize dalganın temel eksendeki kayma miktarını hesaplamak için yeterlidir. Bilindiği üzere ideal bir dairesel kutuplanmış dalgada  $Y_3$  ve  $Y_4$ 'ün genlikleri eşit olmalı faz farkları ise  $\pi/2$ 'ye eşit olmalıdır. Sonuç olarak tasarım sırasında hedef yansımaya katsayısının genliğini 0'a çıkış faz açısını da mümkün olduğunca  $\pi/2$ 'ye yerleştirmek gerekmektedir.

Besleme olarak dalga kılavuzu kullanılabileceği gibi eş-eksenli sonda da kullanılabilir. Bu eş-eksenli sondanın canlı ucu dalga kılavuzunun içinde yer almaktadır. (SoEDK) veya (SaEDK) olması sondanın septuma göre alta ya da üste yerleştirilmesiyle belirlenmektedir. Sondanın arka duvara olan mesafesi ve canlı ucun dalga kılavuzuna dalma uzunluğuna göre gerekli olan giriş empedansı ve dolayısıyla uyumlandırma sağlanabilmektedir.

### S-Bant Septum Kutuplaştırıcının Tasarım ve Optimizasyonu

(Chen and Tsandoulas, 1973)'de tanımlandığı üzere septum kutuplaştırıcının belirlenen çalışma dalga boyuna göre fiziksel parametreleri Şekil 3'de verilmiştir. Ancak burada görüldüğü üzere septum kutuplaştırıcının beslemesi doğrudan dalga kılavuzu yapısındadır. Dolayısıyla eş-eksenli sonda ile besleme yapıldığında geri yansımaya kaybı ile eksenel oranın istenen seviyelerin altına çekilebilmesi için optimizasyon gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 3'de verilen fiziksel parametreleri optimizasyona başlama değerleri olarak kabul edilmiş ve daha sonra elektromanyetik çözümleyici programın genetik algoritma aracı kullanılarak yapı hedeflenen geri yansımaya kaybı ile eksenel oran değerleri için optimize edilmiştir. Optimizasyon için CST Microwave Studio'nun genetik optimizasyon aracı kullanılmıştır. Benzetimler sırasında dalga kılavuzu, dalga kılavuzu portu ile beslenmiştir. Sınır koşulları olarak ışımaya örüntüsü de dikkate alınacağından soğuran sınır koşulları tanımlanmıştır. Burada mutasyon oranı 0.6 olarak belirlenmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak Genetik Algoritma seçilmesinin en önemli nedenleri olarak çoklu değişkenlerle optimizasyon yapılabilmesi, paralel hesaplama yöntemlerine uyumlu olması, sürekli ve ayrık değişkenlerle optimizasyon yapılabilmesi şeklinde sıralanabilir. Tüm benzetimlerde septum ve dalga kılavuzunun metal kalınlığı 0.25mm, metaller ise mükemmel elektrik iletken olarak tanımlanmıştır.



Şekil.3. S-Bant septum kutuplaştırıcı optimizasyonu öncesi başlangıç fiziksel parametreleri.

S-bant septum kutuplaştırıcı için optimizasyon öncesi ilk değerler ile optimizasyon sonrası tasarım değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Optimizasyon ile 2200-2300MHz bandı için geri dönüş kaybının 15dB'den daha iyi olması ve eksenel oranın dik bakış açısında 2dB'den daha iyi olması hedeflenmiştir.

Üç boyutlu elektromanyetik çözümleyicide modellenen kutuplaştırıcı ile eş-eksenli sonda besleme yapısı Şekil 4'de görülmektedir. Gerçekleştirilen optimizasyondan sonra elde edilen giriş yansımaya kaybı, portlar arası yalıtım ve eksenel oranın frekansa ve açısız değerlere göre değişimi ile dalga kılavuzu açıklığından yayılan ışımaya sonucu elde edilen kazanç örüntüleri bir sonraki bölümde sunulmuştur.

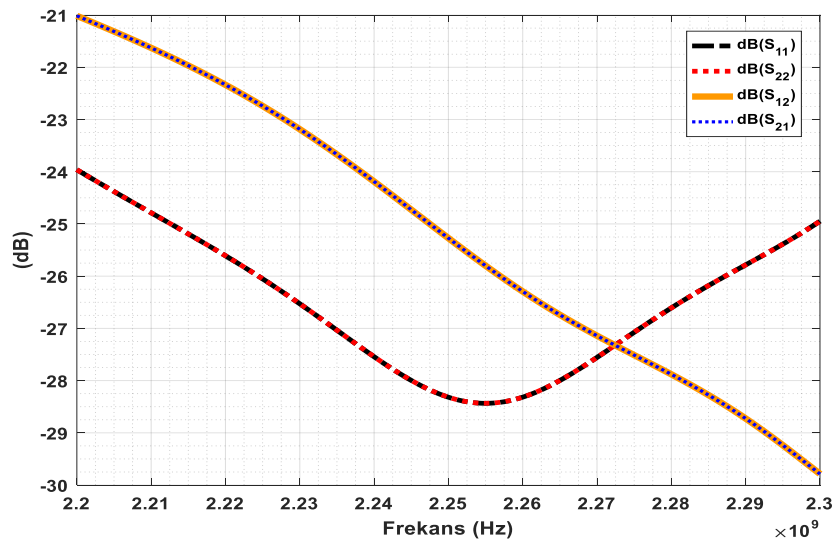
**Tablo 1.** S-Bant septum kutuplaştırıcının fiziksel parametreleri.

Parametre	Optimizasyon öncesi ilk değer	Optimizasyon sonrası elde edilen değer
Giriş adım uzunluğu	$0.35 \lambda_0$	$0.670 \lambda_0$
1.Adım yüksekliği	$0.491 \lambda_0$	$0.542 \lambda_0$
1.Adım uzunluğu	$0.101 \lambda_0$	$0.142 \lambda_0$
2.Adım yüksekliği	$0.301 \lambda_0$	$0.336 \lambda_0$
2.Adım uzunluğu	$0.364 \lambda_0$	$0.287 \lambda_0$
3.Adım yüksekliği	$0.178 \lambda_0$	$0.290 \lambda_0$
3.Adım uzunluğu	$0.623 \lambda_0$	$0.310 \lambda_0$
4.Adım yüksekliği	$0.080 \lambda_0$	$0.141 \lambda_0$
4.Adım uzunluğu	$0.961 \lambda_0$	$0.388 \lambda_0$
Besleme canlı pin uzunluğu	$0.189 \lambda_0$	$0.206 \lambda_0$
Besleme sonda merkezinin dalga kılavuzu arka duvarına olan uzaklık	$0.233 \lambda_0$	$0.223 \lambda_0$
arka duvarına olan uzaklık		
Dalga kılavuzu genişliği	$0.695 \lambda_0$	$0.695 \lambda_0$
Dalga kılavuzu yüksekliği	$0.695 \lambda_0$	$0.695 \lambda_0$
Dalga kılavuzu uzunluğu	$2.221 \lambda_0$	$2.221 \lambda_0$
$\lambda_0$	120mm	120mm

**Şekil.4.** S-Bant septum kutuplaştırıcının boyuna kesit görüntüsü ve iki portlu eş-eksenli besleme yapısı.

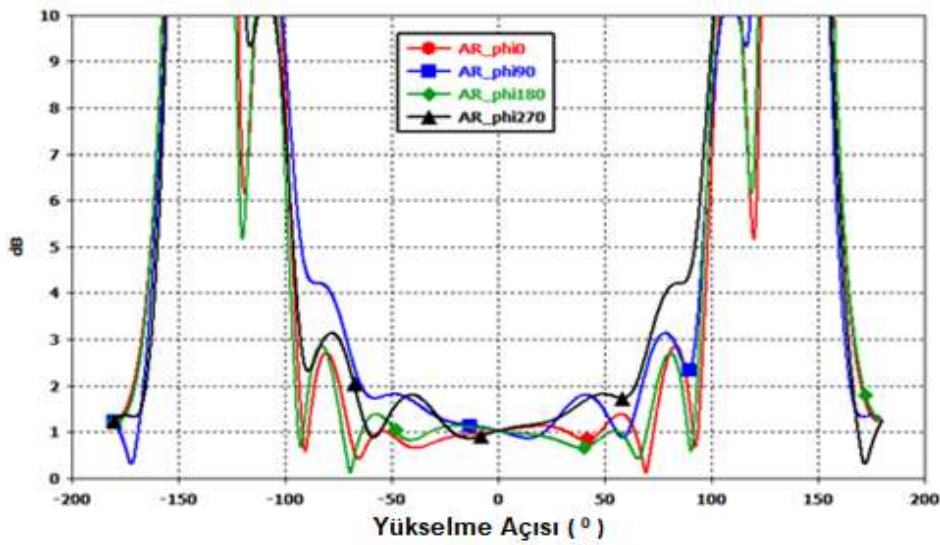
## BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 1’de verilen optimize edilmiş fiziksel boyutlar dikkate alınarak gerçekleştirilen benzetim sonuçlarına göre elde edilen sonuç grafikleri Şekil 5 ile Şekil 11 arasında sunulmaktadır.

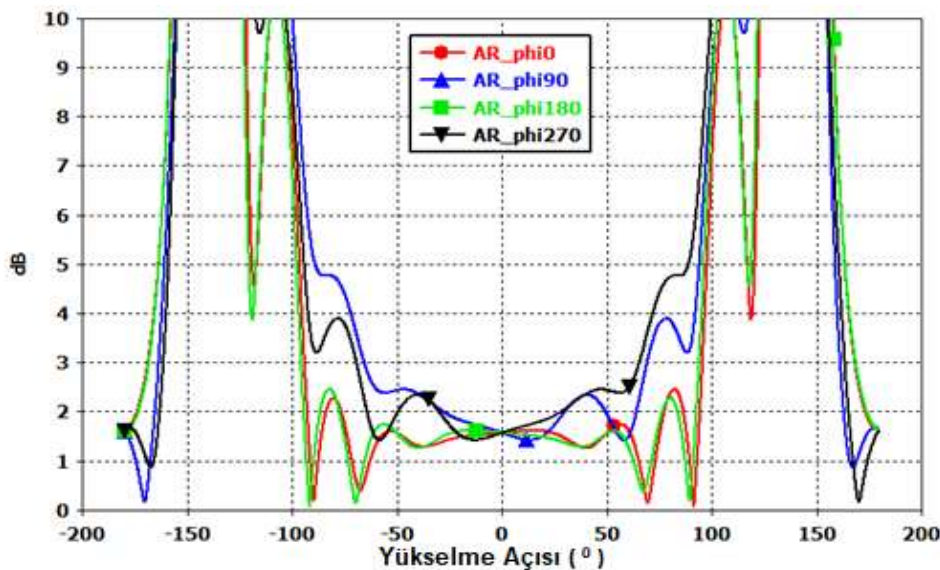
**Şekil.5.** Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının çalışma frekans aralığında elde edilen S-parametreleri.

Şekil 5’de görüldüğü üzere tasarımı gerçekleştirilen S-Bant Septum Kutuplaştırıcının çalışma frekans aralığı boyunca her iki portu için geri yansıma katsayısının ( $S_{11}$  ve  $S_{22}$ ) -23dB’nin altında olduğu görülmektedir. Portlar arasındaki yalıtım ( $S_{21}$  ve  $S_{12}$ ) ise -20dB’den daha iyidir.

Tasarımı gerçekleştirilen kutuplaştırıcı yapısı birinci porttan uyarımlandığı zaman SoEDK, ikinci porttan uyarımlandığı zaman ise SaEDK elektromanyetik dalga ışıması elde edilmektedir. Şekil 6’da ise birinci port uyarımıyla farklı yanca açıları için çalışma merkez frekansında (2250MHz) elde edilen eksenel oran sonucuna göre değeri  $\pm 95^\circ$  yükselme açısı aralığında 3dBnin altında kalmaktadır. Dik bakış açısında ise 1dB civarında olduğu görülmektedir ki bu dairesel polarizasyon saflığının oldukça yüksek elde edildiğini göstermektedir. Bu durumun farklı yanca açılarında da korunduğu bu grafikten açıkça görülmektedir. Benzer sonuçlar çalışma frekansının başlangıç ve bitiş değeri olan 2200MHz ile 2300MHz frekansları için de elde edilmiştir. Bu sonuçlar da sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de sunulmaktadır.

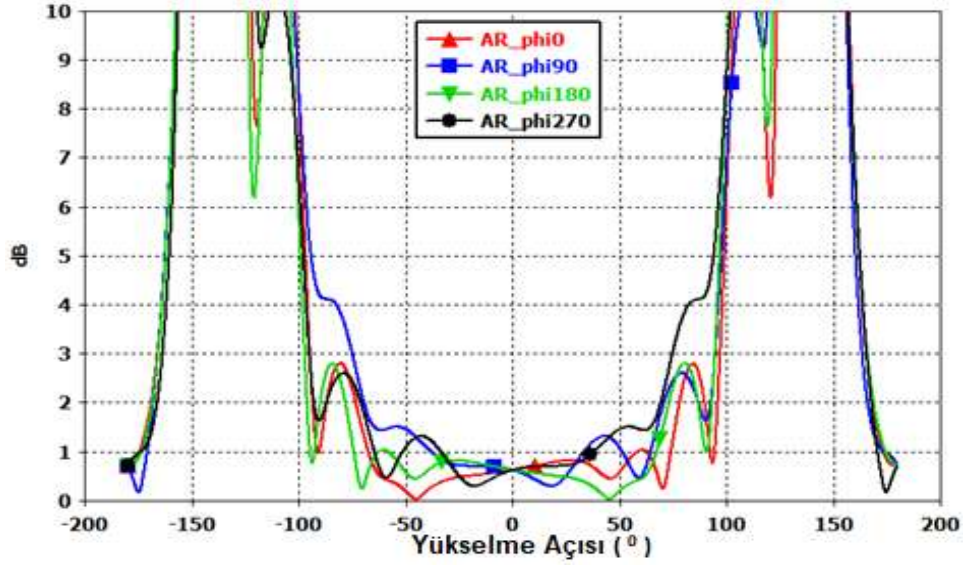


Şekil.6. Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının merkez çalışma frekansında (2250MHz) farklı yanca açıları için yükselme açısına göre elde edilen eksenel oran (AR) değeri.

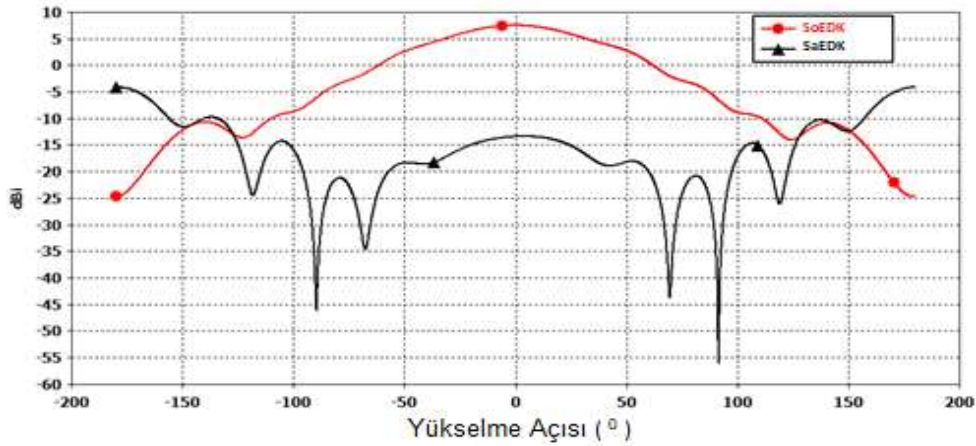


Şekil.7. Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının 2200MHz çalışma frekansında farklı yanca açıları için yükselme açısına göre elde edilen eksenel oran (AR) değeri.

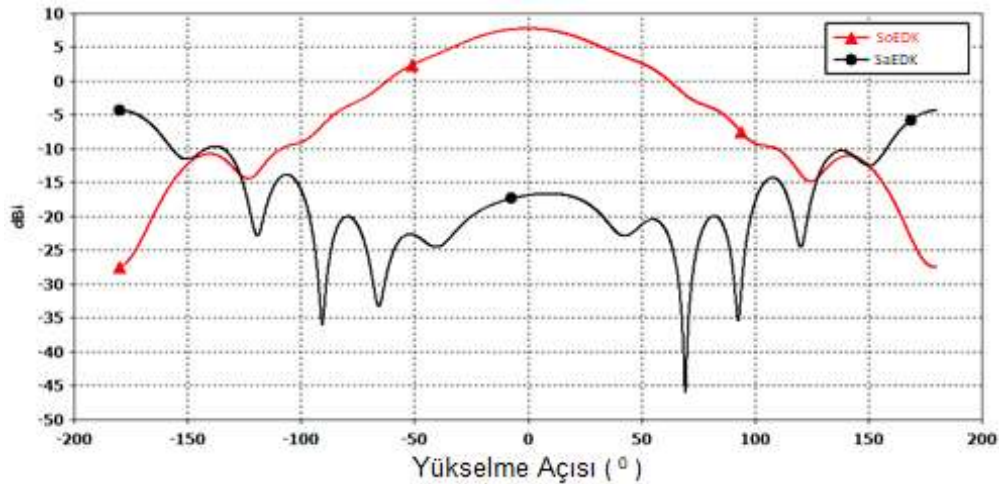




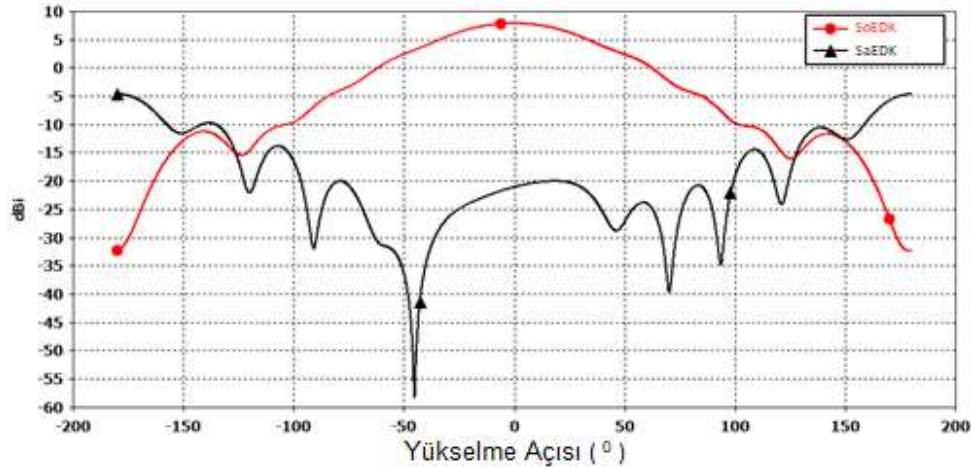
Şekil.8. Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının 2300MHz çalışma frekansında farklı yanca açıları için yükselme açısına göre elde edilen eksenel oran (AR) değeri.



Şekil.9. Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının 2200MHz çalışma frekansında yanca açısı  $\phi=0^\circ$  için yükselme açısına göre elde edilen eş ve çapraz polarizasyon kazanç örüntüsü.



Şekil.10. Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının 2250MHz çalışma frekansında yanca açısı  $\phi=0^\circ$  için yükselme açısına göre elde edilen eş ve çapraz polarizasyon kazanç örüntüsü.



**Şekil.11.** Optimize edilen S-Bant septum kutuplaştırıcının 2300MHz çalışma frekansında yanca açısı  $\phi=0^{\circ}$  için yükselme açısına göre elde edilen eş ve çapraz polarizasyon kazanç örüntüsü.

Son olarak doğrudan dizi anten yapılarında anten elemanı olarak kullanılmak üzere de değerlendirilebilecek bu yapının yine birinci port uyarımıyla 2200MHz, 2250MHz ve 2300MHz frekanslarında yükselme açılara göre elde edilen kazanç örüntüleri sırasıyla Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre en yüksek kazanç dik bakış açısında ve 8dBic seviyelerinde elde edilmektedir. Buradaki kazanç örüntüleri doğrudan dalga kılavuzu yapısının çıkışından elde edilmiştir. Gerekliğinde dalga kılavuzu açıklığı dizisi oluşturularak kazancı yüksek anten elde edileceği gibi dalga kılavuzunun çıkışına huni anten bağlanarak da kazanç seviyesi artırılabilir. Böylece anten kazancı uydu haberleşmesi için hat bütçesinin gerektirdiği daha yüksek değerlere getirilebilir.

## SONUÇ

Bilindiği üzere dalga kılavuzu yapısındaki anten beslemeleri yüksek güç taşıma kapasitesi, bant genişliği avantajı ve düşük kayıpları nedeniyle haberleşme sistemlerinde tercih edilen yapılar arasındadır. Uydu haberleşme sistemlerinde de belirtilen bu avantajları nedeniyle sıklıkla tasarımlarda kullanılmaktadır. Dalga kılavuzu yapısı ile beslenen antenlerde dairesel kutuplanmalı ışımaya karakteristiği elde etmek için farklı kutuplaştırıcı yapıları kullanılabilir. Bunlardan en temel olanları antenin hemen dışına yerleştirilen kutuplaştırıcılar ile septum kutuplaştırıcılardır. Ancak septum kutuplaştırıcı yapısının dalga kılavuzunun içinde yer alması dolayısıyla dış etkilerden korumaya ihtiyacının olmaması, yapısı gereği hafif ve az hacim kaplaması gibi nedenlerden ötürü tasarımlarda daha çok tercih edildiği bilinmektedir.

Bu makalede özellikle anten beslemelerinde dairesel kutuplanma elde etmek için kullanılabilir S-Bant adımlı septum kutuplaştırıcı tasarımı ve analizi sunulmaktadır. Öncelikle bu kutuplaştırıcı da elektromanyetik alanların portlar arasında nasıl iletildiği ve dalga kılavuzu yapısı içerisinde hangi mod uyarımlarıyla oluşup ilerlediği analitik olarak anlatılmış sonrasında özellikle DDY uydu haberleşmesi için kullanılabilir 2200MHz-2300MHz frekans bandında çalışabilecek bir yapının fiziksel parametreleri ticari bir benzetim programı yardımıyla optimize edilmiştir. Optimizasyonda genetik algoritma tercih edilmiştir. Bunun en önemli nedenleri olarak çoklu değişkenlerle optimizasyon yapılabilmesi, paralel hesaplama yöntemlerine uyumlu olması, sürekli ve ayrık değişkenlerle optimizasyon yapılabilmesi gibi özellikleri gösterilebilir. Optimize edilen bu parametrelere göre yapılan benzetimlerle septum kutuplaştırıcının giriş geri dönüş kaybı, portları arasındaki yalıtım değerleri frekansa göre; dalga kılavuzu açıklığından elde edilen ışımaya sonrası oluşan aksel oran ile kazanç değeri ise yanca ve yükselme açısına göre elde edilmiş ve incelenmiştir. Yapılan tasarım ve bu tasarımın

benzetim sonuçlarına göre DDY uydu haberleşme uygulamalarında düşük kayıp ve geniş bant ihtiyacı olan dairesel kutuplanmalı anten yapılarının beslemelerinde rahatlıkla kullanılabileceği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akan V, 2015. Electrically small printed antenna for applications on CubeSat and Nano-satellite platforms. *Microwave and Optical Technology Letters*, 57 (4): 891–896.
- Akan V, 2020. Design of polyrod antenna having isoflux radiation characteristic for satellite communication systems. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 4 (3): 226 - 232.
- Akan V, Dudak C, 2014. Antenna subsystem of GAMALINK platform. 6th European CubeSat Symposium, Estavayer-le-Lac, Switzerland, October 14-16, 2014, pp:85-89.
- Akan V, Köse S, Öztürk F 2017. Technical Report for Research Project: YADAS, 71150800-MASG-RPR-2017007-01 funded by TUBITAK Space Technology Research Institute, Ankara, Turkey (in Turkish).
- Akan V, Yazgan E, 2020. Antennas for Space Applications: A Review. Book chapter in *Advanced Radio Frequency Antennas for Modern Communication and Medical Systems* (Ed. A. Saban), 2020, UK: IntechOpen, pp. 139-171.
- Akan V, Yazgan E, 2010. Analysis and Design of Circularly Polarized and Frequency Tunable Microstrip Antenna having Conical Radiation Pattern Characteristic. 32nd ESA Antenna Workshop on Antennas for Space Applications 2010, European Space & Technology Centre (ESTEC), Noordwijk, Netherlands, October 05-08 2010, pp:185-188.
- Balanis CA, 2005. *Antenna Theory Analysis and Design*. Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, pp.156-165.
- Imbriale WA, Gao S, Boccia L, 2012. *Space Antenna Handbook*. John Wiley & Sons, Inc. USA, pp.205-211.
- Chen M, Tsandoulas G, 1973. A wide-band square-waveguide array polarizer. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 21(3): 389-391.
- Chio TH, Huang GL, Zhou SH, Lim WY, 2016. A 3D-printed compact dual-circularly polarized corrugated horn with integrated septum polarizer. 2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Okinawa, Japan, October 24-28 2016, pp.272-273.
- Davis D, Digiondomenico O, Kempic J, 1967. A New Type of Circularly Polarized Antenna Element. 1967 Antennas and Propagation Society International Symposium, Ann Arbor, MI, USA, October 17-19 1967.
- Deutschmann B, Jacob AF, 2020. Broadband Septum Polarizer with Triangular Common Port. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 68(2): 693-700.
- Elgered G, Kildal PS, Flodin J, Hansson B, Pettersson L, Rafaelli S, Rubinos-Lopez JO, Tengs A, 1997. A dual frequency feed system for the 20 m radio telescope at the Onsala Space Observatory. *Nordic Antenna Conference Antenna-97, Proceedings of the Nordisk Antenna Symposium Goteborg*, May 27-29, p: 279-287.
- Elgered G, Haas R, Pettersson L, 1999. The IVS Technical Development Center at the Onsala Space Observatory. Vandenberg, N.R. (Ed.), *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 1999 Annual Report*, NASA / TP \_ 1999 – 2092431999, GreenBelt, USA, pp:272-275.
- Kim I, Rahmat-Samii Y, 2011. Revisiting stepped septum circular polarizer using full-wave simulations. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), Spokane, WA, USA, July 3-8 2011, pp.919-921.
- Kim J, Yoon S, Jung E, Lee JW, Lee TK, Lee WK, 2011. Triangular-shaped stepped septum polarizer for satellite communication. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), Spokane, WA, USA, July 3-8 2011, pp.854-857.
- Mrnka M, Pavlovic M, Raida Z, 2016. Antenna Range Illuminator Based on a Septum Polarizer and a Dual-Mode Horn. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 58(4): 82-86.
- Schrank H, 1982. Polarization Measurements using the Septum Polarizer. 1982 Antennas and Propagation Society International Symposium, Albuquerque, NM, USA, May 24-28 1982.

- Shu C, Wang J, Hu S, Yao Y, Yu J, Alfadhl Y, Chen X, 2019. A Wideband Dual-Circular-Polarization Horn Antenna for mm Wave Wireless Communications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(9): 1726-1730.
- Wang SW, Chien CH, Wang CL, Wu RB, 2004. A circular polarizer designed with a dielectric septum loading. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52(7):1719-1723.
- Wang X, Huang X, Jin X, 2016. Novel square/rectangle waveguide septum polarizer. 2016 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), Nanjing, China, October 16-19 2016, pp. 1-4.