

## Araştırma Makalesi / Research Article

# 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Düşük Maliyetli Çift Sırtlı Horn Anten Tasarımı ve Üretimi

Ömer KASAR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Artvin, TÜRKİYE  
omerkasar@artvin.edu.tr

Received/Geliş: 27.09.2023

Accepted/Kabul: 10.11.2023

**Özet:** Eklemeli imalatın anten tasarımı üzerindeki olumlu etkileri, gelecekteki üretim süreçlerinde önemli bir rol oynayacaktır. Bu teknoloji, geleneksel üretim yöntemlerine göre daha hızlı ve verimli bir şekilde karmaşık anten yapılarının üretilmesini sağlayacaktır. Bu çalışma, eklemeli imalat kullanılarak tasarlanan çift sırtlı horn antenin performansını incelemektedir. Anten, elektromanyetik simülasyonlarla tasarlanmış, PLA malzemesi kullanılarak 3D yazıcı ile üretilmiş ve metalik sprey kaplama ile optimize edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, tasarlanan anten 2.65 GHz ile 5 GHz arasında çalışabilir. Anten, merkez frekansı olan 3.2 GHz'de maksimum -0.65 dB reel kazançla sahiptir. Ayrıca, yarı güç ışın genişliği (HPBW) 75° olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, çift sırtlı horn antenin kablosuz iletişim uygulamalarında başarıyla kullanılabilirliğini göstermektedir. 3D yazıcılarla anten üretim teknolojisi, karmaşık anten yapılarının daha hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesine katkıda bulunacaktır. Sonuç olarak, bu çalışma, eklemeli imalatın anten tasarımı alanındaki önemini vurgulayarak gelecekteki kablosuz iletişim uygulamaları için umut verici bir perspektif sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** 3D Yazıcı, Horn anten, Metalik kaplama

## A Low Cost 3D Printed Double Ridge Horn Antenna design And Fabrication

**Abstract:** The positive impacts of additive manufacturing on antenna design will play a significant role in future manufacturing processes. This technology will enable the faster and more efficient production of complex antenna structures compared to traditional manufacturing methods. This study investigates the performance of a dual-ridged horn antenna designed using additive manufacturing. The antenna was designed through electromagnetic simulations, fabricated using PLA material with a 3D printer, and optimized with metallic spray coating. According to the study results, the designed antenna can operate between 2.65 GHz and 5 GHz. It achieves a maximum real gain of -0.65 dB at its center frequency of 3.2 GHz. Additionally, the half-power beamwidth (HPBW) is determined to be 75°. These findings demonstrate the successful applicability of the dual-ridged horn antenna in wireless communication applications. The technology of antenna production using 3D printers will significantly contribute to the production of complex antenna structures. In conclusion, this study underscores the importance of additive manufacturing in antenna design, offering a promising perspective for future wireless communication applications.

**Keywords:** 3D Printer, Horn antenna, Metal plating

### 1. Giriş

Mühendislik, teknolojinin sürekli evrimiyle geleneksel üretim tekniklerini sürekli olarak yeniden tanımlamaktadır. Bu dönüşümün en önemli parçalarından biri 3D baskı olarak bilinen katmanlı üretim teknolojisidir. Bu yenilikçi teknoloji, tasarım, verimlilik ve gelir potansiyeli açısından endüstrilere benzeri görülmemiş fırsatlar sunmaktadır (Callister, 2005). Elektronik sektörü, özellikle mikrodalga frekanslarda test ekipmanlarının üretiminde katmanlı imalat yoluyla anten ve iletim hattı üretiminde büyük bir ilerleme kaydetmektedir. Özellikle istenilen boyutta tasarlanabilmesi, kazancının geleneksel yöntemlerdeki antenlerle eşdeğer olması, bant genişliğinin anten geometrisi ile yaralanabilir olması ve plastik malzemeden yapılmasına rağmen metalik yüzey oluşturularak

\*: Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

elektromanyetik dalgaları alma ve iletme özelliği gibi 3D yazıcıların pek çok faydalarından bahsedilebilir (Genç vd., 2018). Bu ilerleme, mühendislik becerileriyle birleştiğinde mikrodalga iletişiminde önemli yenilikler getirmektedir (Kasar vd., 2020).

Geleneksel üretim yöntemlerinde, istenen yapıyı elde etmek için malzemeyi yontma işlemi kullanılırken, eklemeli imalat, tasarım verilerini kullanarak yapıyı katman katman oluşturur. Bu fark, mühendislere özgün geometrilerde tasarım yapma özgürlüğü sağlar. Katmanlı üretim ve anten teknolojisinin birleşmesi, geleneksel olmayan geometrilerde tasarlanmış ve optimize edilmiş antenlerin üretimini kolaylaştırır. Bu esneklik, anten özelliklerini ele alarak elektromanyetik modeli ve mikrodalga tekniğini kapsar.

Anten üretiminde eklemeli imalatın kullanılması, bazı zorlukları da beraberinde getirir. Tutarlı ve öngörülebilir anten performansı elde etmek, özellikle mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarında malzeme seçimini dikkatle yapmayı gerektirir. Ayrıca, büyük ölçekli ve karmaşık antenlerin üretimi, verim ve hassasiyet arasında denge gerektirir. Baskı parametrelerinin optimize edilmesi, yüksek çözünürlüklü baskı elde etmek için önemlidir (Balanis, 2005).

Bu çalışma, üç boyutlu anten üretiminde eklemeli imalatın zorlukları ve fırsatları üzerine odaklanmıştır. Antenleri metal malzeme ile kaplama yöntemleri de incelenmiştir. Temel anten tasarımı ve parametreleri açıklanmış, 3D antenler ve baskı çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, PLA ve ABS 3D baskılarında yaygın hataların belirlenmesi ve azaltılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, anten baskı süreçlerini daha iyi anlamamıza ve geliştirmemize yardımcı olmaktadır.

## 2. Anten Tasarım Parametreleri

Antenler metal ve dolayısıyla iletken yüzeyleri ile elektromanyetik dalgaları alıp gönderebilen yapıdaki kablosuz ekipmanlardır. Eklemeli imalat ile üretilen antenler de tıpkı geleneksel antenler gibi temel anten parametrelerini sağlamalıdır. Bir antenin belirtilen bir frekansta çalışmasının en birincil ölçütü geri dönüş kaybının  $|S_{11}| = 10$  dB sınırından fazla olmasıdır. Literatürde, anten uygulamalarında, bir anten için yeterli yansıma eşiği, Saçılma Parametrelerinden temel  $|S_{11}|$ , geri dönüş kaybı ile temsil eder. Burada referans sınır genellikle -10 dB olarak kabul edilir (Kumar ve Ray, 2002). Haberleşme sistemlerinde, frekansın bandının 10 dB'yi kestiği en düşük ve en yüksek kesişim frekansları arasında kalan aralığa 'Bant Genişliği' adı verilir. Bir başka ifade ile, bant genişliği, antenin  $|S_{11}| \geq 10$  dB koşulunu sağladığı aralığa denir (Pozar, 2006).

Bir diğer önemli anten parametresi de anten yönlü kazancıdır. Kazanç  $G$  (Gain) anten yönlülüğü ile direkt ilişkilidir. Bir antenin yönlü kazancı; bir yönde ışıma şiddetin, tüm yönlerde yaptığı toplam ışıma şiddetine bölünmesi ile elde edilir. Antenin kazancı (1)'de gösterilmiştir Denklem (2)'de verildiği gibi, yönlü anten kazancı; ışıma verimliliği ile verilen yöndeki anten yönlülüğünün çarpımına eşittir (Balanis, 2005). Anten kazancı genellikle logaritmik (dB) şekilde ifade edilir. Matematiksel olarak lineer çarpım, logaritmada toplama işlemi olarak ifade edildiğinden, burada dB cinsinden büyüklükler toplanmıştır (Kasar, 2015).

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} \left[ 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (1)$$

$$G(\theta, \phi)(dB) = e_{cd}(dB) + D(\theta, \phi)(dB) \quad (2)$$

Burada  $G(\theta, \phi)$ ;  $\theta$  ve  $\phi$  açılara bağlı bir yöndeki kazancı göstermektedir.  $e_{cd}$ , ışıma verimliliğini,  $D(\theta, \phi)$  de yine  $\theta$  ve  $\phi$  açılara bağlı bir yöndeki yönlülüğü temsil etmektedir (Oliner vd., 2007).

Eklemeli imalat olarak da bilinen 3D baskı alanı, çeşitli endüstrilerde nesnelere üretme biçimimizde çok büyük ilerleme kaydedilmesine olanak sağlamıştır. Baskılarda yaygın olarak kullanılan Polilaktik Asit (PLA) ve Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) en popüler seçeneklerden ikisidir (Tayyab vd., 2017).

Endüstride FDM tarzı olarak bilinen 3D yazıcıların baskı malzemeleri genellikle bu ABS ve PLA malzemeleri kullanmaktadır. Yazıcılar, plastiği eriterek, çizim programından yüklenen dosyadan aldığı bilgi ile; x, y ve z konumlarına göre eritilmiş malzemeyi tablaya ittirirler. Yazıcının ucundan çıkan plastik de anında donarak katlaşır ve şekil alır. Böylelikle katmanlar yükseldikçe çizim programındaki şekil ortaya çıkar.

Bahsedilen termoplastik polimerler kullanım kolaylığı, dayanıklılık ve baskı kalitesi arasında bir denge sunar. Bununla birlikte, herhangi bir üretim sürecinde olduğu gibi, PLA ve ABS malzemelerinin kullanıldığı 3D baskı da kusurlar da meydana gelebilmektedir. Bu kusurlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- Katman Yapışma Sorunları,
- Çekme ve Sızma,
- Çıkıntı ve Köprüleme Sorunları,
- Katman Yanlış Hizalama ve Kaydırma.

Yukarıda bahsedilen sorunlar 3D yazıcılardaki baskı kalitesine ve prototiplemeye doğrudan etki eden problemlerdir.

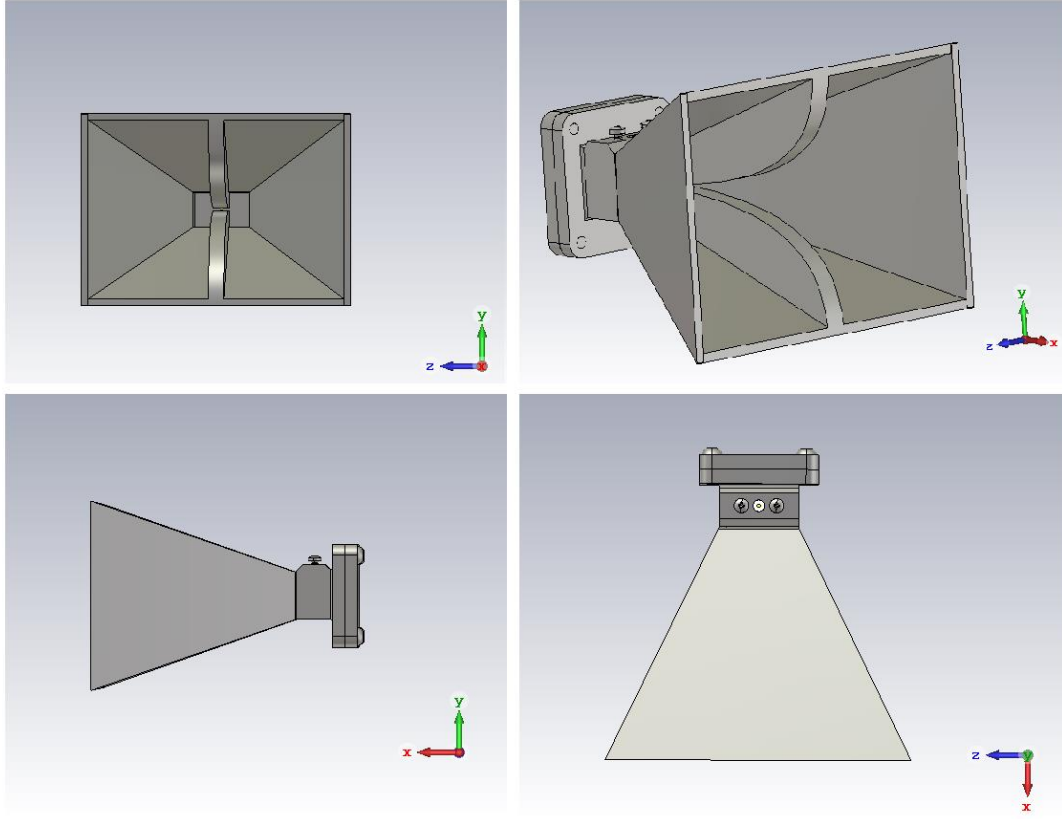
Bu çalışmanın konusu, 3D yazıcılarla gerçekleştirilen bir antenin baskı kalitesi ve kaplamasının niteliğidir. 3D yazıcıda üretilen bir antenin metal kaplama gereksinimi bulunmaktadır. Öyle ki bu kaplamanın kalınlığı, antenin çalıştığı frekanslarda, elektromanyetik olarak derinliğinin (skin dept) altında kalmamalıdır. Bu amaçla literatürde ve endüstriyel piyasada birkaç metal kaplama tekniği kullanılmaktadır. Bunlardan birkaçı: soğuk daldırma ve elektroliz, metalik sprey kaplama ve metal folyo ile kaplamadır. Bu çalışmada PLA ile üretilen anten metalik sprey ile kaplanarak iletken yüzey oluşturulmuştur. Tasarlanan 'Çift Sırtlı Horn Anten', 3D elektromanyetik simülasyon programı olan CST MWS Studio ile gerçekleştirilmiştir. Ardından metal kaplanmış ve SMA konektör bağlantısı yapılarak ölçülmüştür.

### 3. Çift Sırtlı Horn Anten Tasarımı

Horn antenler yapılarındaki genişleyen ağız sayesinde büyük bant genişliğine sahip antenlerdir. Bu çalışmamızda kullanılan çift sırt yapısı da, antenin iç kısmında en dar boğaz kısmının çevresini uzatılması amaçlanmıştır. Böylece çalışma frekansına göre daha küçük bir anten yapısı elde edilmiştir. Böyle yapılara elektriksel küçük antenler denilmektedir.

Anten tasarım boyutları olarak dış ağızı 100x70 mm<sup>2</sup> anten yüksekliği de 110 mm olarak tasarlanmıştır. Horn antenin geniş tarafını ortalayan iki sırt yapısının kalınlığı da 5 mm'dir. Antenin arka tarafı 50x50 mm olacak şekilde dalga kılavuzu benzeri bir yapıda tasarlanmıştır. Anten tasarımında (Majumdar B. ve arkadaşları (2016)) çalışmasının tasarımına benzer bir yapı gözönüne alınmış olmasına rağmen önerilen tasarımın söz konusu antenden farkı rezonans frekansları ve konektör bağlantısının farklı yapılmış olmasıdır. Çift Sırtlı Horn Anten Tasarımı Şekil 1'de önden, perspektiften, yandan, ve üstten görünüşleri verilmiştir. Simülasyon programında tasarlanan horn anten, PLA filament ile yazıcıda basılmıştır. Horn anten tasarımını 3D yazıcının anlayacağı boyutlara

getirmek için baskı öncesi çeşitli ayarlamalar yapılmıştır. Bu antenlerin tamamı için katman kalınlığı 0.20 mm, duvar kalınlığı da 2 mm seçilmiştir. Yapının iç doluluk oranı da minimum %60 olacak şekilde baskılar oluşturulmuştur.



**Şekil 1.** Çift sırtlı horn anten tasarımının (sırasıyla) önden, perspektiften, yandan, ve üstten görüşleri

Antenin PLA malzemesi üzerine (sadece içe bakan yönüne) metal kaplama işlemi yapılmıştır. Antenin iç kısmı metalik spreyle boyanmıştır. Boyama işlemi birkaç kat uygulanmıştır. Sonuçta antenin iç kısmında yüksek iletkenlik elde edilmiştir.

Antenin dış kısmı kırmızı akrilik spreyle boyanmıştır. Bu boyama işleminin antenin iletkenliğine bir zararı olmamıştır. Belirtilmesi gereken ikinci nokta da konnektörün toprak (ground) kısmının iç metal kısım ile olan bağlantısı ince bir tel yardımıyla sağlanmıştır. Şekil 3’de 3D Basılan Çift Sırtlı Horn Anten Perspektif, üstten ve önden görünümü gösterilmiştir.

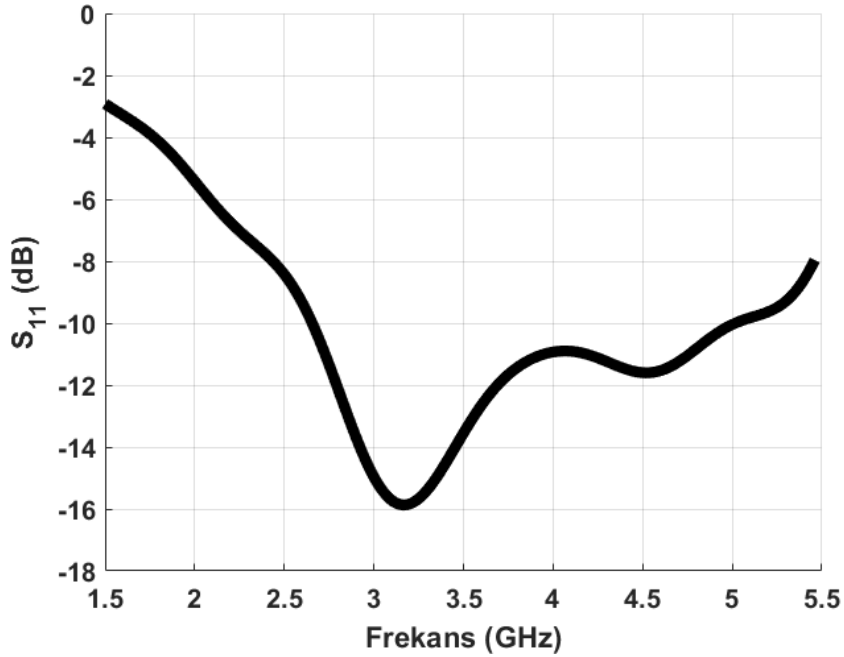


**Şekil 2.** Çift sırtlı horn anten perspektif, üstten ve önden görünümü

Çift sırtlı horn antenin veri alış kısmının yapısı SMA konnektörle bağlanmıştır. Bu antenlerin yapısı gereği konnektörün toprak ucu (ground) dış kısımdan temasla antenin her tarafında kısa devredir. Konnektörün canlı ucu ise diğer konnektör olmayan sırta içeriden kısa devre edilmiştir. Böylece rezonans tüm antenin boyutu ile orantılı olacaktır ve antenin bant genişliği biraz daha yükselebilecektir.

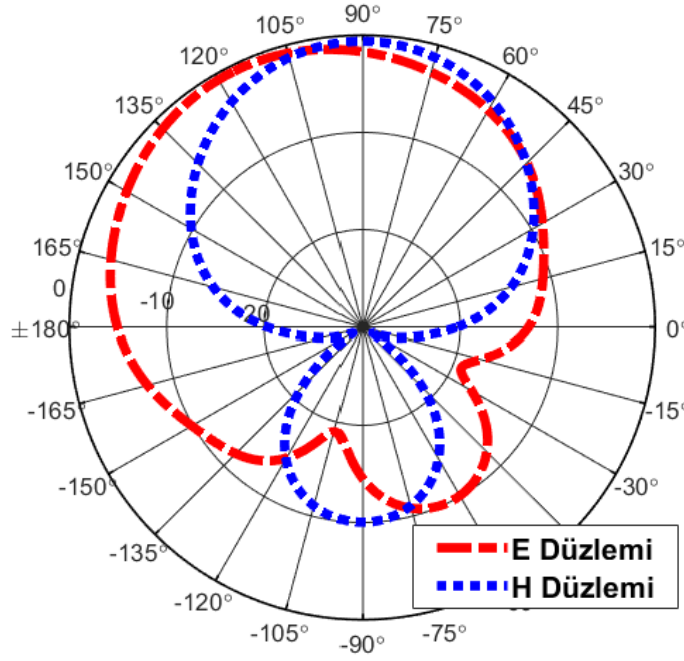
#### 4. Bulgular

PLA anten olarak tasarlanan ve metalik spreyl boya ile kaplanan antenin cihaz üzerinden alınan  $S_{11}$  bilgisinin MATLAB programında işlenerek elde edilen geri dönüş kaybı-frekans grafiği de Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekle göre antenin -10 dB'yi kestiği alt ve üst kesim frekansları sırasıyla 2.65 GHz ile 5 GHz arasındadır.



Şekil 3. Çift sırtlı horn antenin geri dönüş kaybı-frekans grafiği

3 boyutlu, PLA baskılı ve metalik spreyl kaplamalı çift sırtlı horn anten merkez frekansı olan  $f_m = 3.2$  GHz rezonansında kazanç ışınma örüntüsü grafiği Şekil 4'te çizdirilmiştir. Grafiğe göre antenin maksimum reel kazancı -0.65 dB olarak gerçekleşmiştir. Anten yarı güç değerlerini kesiştiği açı değerleri  $55^\circ$  ile  $130^\circ$  arasındadır. Böylelikle  $f_m$  frekansında yarı güç ışınma genişliği (HPBW)  $75^\circ$  olarak hesaplanabilir.



Şekil 4. Rezonans frekansında kazanç ışıma örüntüsü grafiği

## 5. Değerlendirme

Bu çalışmada eklemeli imalat ile çift sırtlı horn anten tasarımı yapılmıştır. Elektromanyetik olarak simülasyon programında tasarlanan anten 3D yazıcı ile PLA malzemeden üretilmiş ve metalik spreyle metal kaplanmıştır. Tasarlanan anten sırasıyla 2.65 GHz ile 5 GHz arasında çalışmaktadır. Antenin merkez frekansı olan  $f_m = 3.2$  GHz rezonansında maksimum reel kazancı -0.65 dB ve yarı güç ışıma genişliği (HPBW) de  $75^\circ$  olarak gerçekleşmiştir. Önerilen çift sırtlı horn antenin, uygun çalışma koşulları altında ve performans gerekliliklerine göre pek çok kablosuz haberleşme uygulamasında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışmanın elde ettiği bilimsel sonuçlar ve ilerlemeler, "AÇÜ-BAP-2022.F14.02.01" proje numarasıyla desteklenen Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından finanse edilmiştir. Yazar, Artvin Çoruh Üniversitesi'ne olan teşekkürlerini ve minnetlerini ifade etmektedir.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Kaynaklar

Balanis, C. A. (2005). Antenna Theory, Analysis and Design (third edition.). Wiley. 047166782X.

Callister, W. D. (2005). Fundamentals of Materials Science and Engineering , Wiley ,(second edition., Vol. 471660817). London.

- Genc, A., Basyigit, I. B., Colak, B., & Helhel, S. (2018). Investigation of the characteristics of low-cost and lightweight horn array antennas with novel monolithic waveguide feeding networks. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 89, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2018.03.024>.
- Kasar, Ö. (2020). Determining the water level in pvc water pipes with micro-strip dipole antennas. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1165-1169.
- Kasar, Ö., Geçin, M., & Gözel, MA. (2021). Design and implementation of a 3D printed rf power transceiver clamp to measure the water level in pvc water pipes. *Int J RF Microw Comput Aided Eng.*, 31:e22644.,<https://doi.org/10.1002/mmce.22644>.
- Kasar, Ö. (2015). Dikdörtgen ve Dairesel Yama Antenler Üzerinde Reel Empedans Uyumlandırma Tekniklerinin Nümerik ve Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi, Suleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Majumdar, B., Baer, D., Chakraborty, S., Esselle, K.P. and Heimlich, M. (2016), Advantages and limitations of 3D printing a dual-ridged horn antenna. *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 58, 2110-2117. <https://doi.org/10.1002/mop.30026>
- Oliner, A.A., Jackson, D.R., & Volakis, J. (2007). *Antenna Engineering Handbook*, McGraw Hill.
- Pozar, D. M. (1998). *Microwave Engineering*, Wiley, (second edition.),NY,ABD.
- Tayyab, M., Sharawi, M. S., & Al-Sarkhi, A. (2017). A radio frequency sensor array for dielectric constant estimation of multiphase oil flow in pipelines. *IEEE Sensors Journal*, 17(18), 5900-5907.