

## Ultra Geniş Bant Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Eş Düzlemsel Dalga Kılavuz Beslemeli 3D Baskılı Yama Anten Tasarımı

Mehmet YERLİKAYA<sup>1\*</sup>, İbrahim KUŞULAY<sup>1</sup>, Hüseyin DUYSAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 05/04/2024; Kabul/Accepted: 28/05/2024; Yayın/Published: 15/06/2024

\* Sorumlu yazar e-posta: myerlikaya@kmu.edu.tr

### Öz

Kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, yüksek hızlı veri transferi için ihtiyacı artırıyor. Bu bağlamda, ultra geniş bant (UGB) teknolojisi, geniş frekans aralığında çalışabilen yeni bir kablosuz iletişim çözümü olarak öne çıkıyor. Bu teknolojinin önemli bir bileşeni olan antenlerin üretimi için ise 3D baskı teknolojisi dikkat çekiyor. Bu çalışmada, geniş bantlı kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış kompakt bir monopollü yama antenin 3D baskı teknolojisi ile tasarımı, üretimi ve karakterizasyonu incelenmiştir. Işıyıcı olarak kullanılan üçgen bir yama, dik yamuğa benzeyen toprak düzlemlerinden oluşan eş düzlemsel dalga kılavuz beslenmiştir. Toplam boyutu  $20.7 \times 28.6 \text{ mm}^2$  olan bu kompakt antenin üretiminde alttaş olarak 1 mm kalınlığında PLA malzemesi tercih edilmiştir. Önerilen UGB antenin yama ve toprak düzlemlerinden oluşan iletken kısımları ise bakır bant ile kaplanarak oluşturulmuştur. 2.75-13 GHz çalışma frekans aralığı ile %165 oransal bant genişliğine sahip anten çalışma bandı boyunca %83'ün üzerinde bir ışımaya verimliliği sunmaktadır. Maksimum kazanç değerinin 5.5 dBi olduğu 3D baskılı UGB yama anten, çok yönlü ışımaya karakteristiğine de sahiptir. Ayrıca, yapılan ölçümlerle önerilen antenin ışımaya performansı da doğrulanmıştır. Bu çalışma ile 3D baskı teknolojisinin yama antenlerin üretimindeki kullanılabilirliği ve tasarım esnekliği vurgulanmaktadır. Gelecekte, bu teknoloji üzerindeki çalışmaların kablosuz haberleşme sistemlerinin daha da gelişmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yama anten, ultra geniş bant, 3D baskı, PLA

## 3D Printed Patch Antenna Design with Coplanar Waveguide Feed for Ultra Wideband Wireless Communication Applications

### Abstract

Advancements in wireless communication technologies are driving the need for high-speed data transfer. In this context, ultra-wideband (UWB) technology emerges as a new wireless communication solution capable of operating over a wide frequency range. The production of antennas, an essential component of this technology, is drawing attention to 3D printing technology. This study examines the design, production, and characterization of a compact monopole patch antenna designed for use in wideband wireless communication systems using 3D printing technology. A triangular patch serving as the radiator is fed by a coplanar waveguide resembling a tapered trapezoid. This compact antenna, with a total size of  $20.7 \times 28.6 \text{ mm}^2$ , utilizes PLA material with a thickness of 1 mm as the substrate. The conductive parts consisting of the patch and ground planes of the proposed UWB antenna are constructed using copper tape. With a working frequency range of 2.75-13 GHz and a 165% fractional bandwidth, the antenna provides over 83% radiation efficiency across the operating band. The antenna exhibits a maximum gain of 5.5 dBi and features omnidirectional radiation characteristics. Additionally, measurements confirm the radiation performance of the proposed antenna. This study highlights the usability and design flexibility of 3D printing technology in patch antenna production. Future research on this technology is expected to further contribute to the advancement of wireless communication systems.

**Key Words:** Patch antenna, ultra-wideband, 3D printing, PLA

**Atf / To cite :** Yerlikaya M, Kuşulay İ, Duysak H (2024). Ultra Geniş Bant Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Eş Düzlemsel Dalga Kılavuz Beslemeli 3D Baskılı Yama Anten Tasarımı. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(1): 44-50.

## 1. GİRİŞ

Sürekli gelişen kablosuz haberleşme teknolojileri sebebiyle yüksek spektral verimlilik ve yüksek veri transfer hızına sahip haberleşme sistemlerine olan talep de her geçen gün artmaktadır. Ultra geniş bant (UGB), genellikle nanosaniye veya piko saniye darbeler kullanarak geniş bir frekans aralığında işlem çalışabilen yeni nesil bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. Antenler de, elektromanyetik sinyallerin iletilmesi ve alınması açısından UGB haberleşme sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Federal haberleşme komisyonunun (FCC) 3.1-10.6 GHz frekans aralığını lisanssız kullanım için UGB haberleşmesine tahsis etmesinden sonra geniş bant özellikleri, yüksek veri hızları, düşük güç iletimi ve düşük profilli nedeniyle UGB antenlere olan ilgi giderek artmıştır. UGB bir antenin 500 MHz'lik minimum bant genişliğinin yanında en az %20'lik bir oransal bant genişliğine sahip olması istenmektedir (FCC 2002; Schantz 2004). UGB haberleşmesinde vivaldi, log-periyodik, spiral anten gibi anten türleri kullanılabilir. Fakat, geniş bant kablosuz haberleşme sistemleri, ucuz, yüksek verimliliğe sahip, geniş bantta çalışan hafif ve kompakt antenlere ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, mikroşerit anten olarak da bilinen yama antenlerin düşük maliyet ve düzlemsel yapıları sebebiyle başta UGB haberleşmesi olmak üzere pek çok mikrodalga ve haberleşme uygulamalarında kullanımı daha yaygındır (Ramadan ve Dahle 2019).

Literatürde UGB uygulamaları için dikdörtgen, üçgen, dairesel gibi geleneksel yama türleri de dahil olmak üzere pek çok farklı yama geometrisine sahip monopollü anten yapıları yer almaktadır. Verma ve Kumar (2014), 40×40 mm<sup>2</sup> boyutlarında Newton yumurtası şeklinde eliptik bir monopollü yama anten tasarımı sunmuşlardır. Bağlı geçirgenliği 4.3 olan FR-4 alttaşı üzerine basılan anten, 2.9-11 GHz aralığında yaklaşık %116'lık bir bant genişliğine sahiptir. Bir başka çalışmada, UGB kablosuz haberleşme uygulamaları için yine FR-4 alttaşı üzerine tasarlanmış altıgen mikroşerit fraktal yama anteni (HMSFA) sunulmaktadır (Sawant ve Kumar, 2015). Toplam boyutu 51×63×1.53 mm<sup>3</sup> olan monopollü yama anten 3.1-12.7 GHz aralığından 9.6 GHz büyüklüğünde bir empedans bant genişliği sunmaktadır. Toktas ve ark. (2016), 2.6-18.2 GHz gibi geniş bir frekans aralığında çalışan kompakt bir UGB yama anten tasarlamışlardır. Toplam boyutu 23×31 mm<sup>2</sup> olan antende ışığı olarak monopollü üçgen bir yama tercih edilmiştir. Bir başka çalışmada, UGB uygulamaları için kısmi toprak düzleminde dikdörtgen ve Ψ şekilli yama antenleri tasarımları verilmiştir (Peram ve ark., 2019). Her ikisinde 30×30 mm<sup>2</sup> boyutunda FR-4 alttaşı üzerinde üretilen antenler, sırasıyla 3.8–11.4 GHz ve 3.4–12.0 GHz empedans bant genişliklerine sahiptirler. Yadav ve ark. (2020), biyomedikal uygulamalar için tekstil alttaşı üzerine mikroşerit hat beslemeli bir UGB monopollü anten tasarımı önermişlerdir. 2.96-11.6 GHz çalışma frekans aralığı olan giyilebilir esnek anten, 1.7 olan 25×25×1 mm<sup>3</sup> boyutlarındaki jean kumaş üzerine bakır bant yapılandırılarak üretilmiştir. Diğer bir esnek anten çalışmasında, 3.2 bağlı geçirgenlik değerine sahip bir polietilen tereftalat (PET) alt tabaka üzerine mürekkep

püskürtmeli baskılı dairesel şekilli monopollü UGB anten tasarımı sunulmuştur (Kirtania ve ark., 2021). Nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları için tasarlanan antende besleme hattı olarak eşdüzlemsel dalga kılavuz (EDK) beslemesi kullanılmıştır. Ebatları 47×25×0.14 mm<sup>3</sup> olan yama anten, 3.05-10.7 GHz ve 15.1-18 GHz olmak üzere iki frekans bölgesinde -10dB altında bir yansıma katsayısı eğrisine sahiptir. Tariq ve ark. (2023) ise, 3.4-9.8 GHz empedans bant genişliğine sahip bir UGB monopollü yama anten üzerine çalışmışlardır. Önerilen anten 40mm×20mm'lik boyutuyla 1.52mm kalınlıkta Rogers 6002 ticari alttaşı üzerine tasarlanmıştır. Bununla birlikte, antenin kazancını artırmak üzere antene frekans seçici yüzey eklenmiş olup bunun neticesinde anten kazanç seviyesi 4.5 dBi'den 9.5 dBi seviyesine yükselmiştir. Ancak, eklenen frekans seçici yüzey ile anten sisteminin toplam boyutları da 58×58 mm<sup>2</sup> olmuştur.

Geleneksel mikroşerit antenler, geleneksel olarak baskılı devre kartı (PCB) tekniği ile üretilmektedir. Ancak, PCB üretim tekniğinde gereken litografik üretim işleminin çevre kirliliği dezavantajının yanında kullanılan ticari alttaşı (substrat) sayısının ve özelliklerinin sınırlı olması tasarım esnekliğini kısıtlamaktadır (Olan-Nuñez ve Murphy-Arteaga 2023). Eklemeli imalat olarak da bilinen 3 boyutlu (3D) baskı teknolojisi, düşük maliyet, hafiflik, hızlı prototipleme, çevre dostu üretim, yüksek malzeme kullanımı ve kalıp gerektirmemesi gibi avantajları nedeniyle hem akademik hem de endüstri araştırmacılarından yoğun ilgi görmektedir. 3B baskı teknolojisinin anten ve diğer mikrodalga bileşenlerinin üretimindeki önemi de giderek artmaktadır (Bjorgaard ve ark. 2018). Yama antenlerin üretiminde 3D baskı teknolojisinin kullanımı, litografi temelli geleneksel baskılı devre kartı (PCB) tekniğine kıyasla tasarım esnekliğini, üretim kolaylığını, karmaşık geometrilerin gerçekleştirilmesini, ayarlanabilir dielektrik özellikleri ve daha çevreci olması gibi avantajları da beraberinde sunmaktadır (Olan-Nuñez ve Murphy-Arteaga 2023). Geçmişten çok çeşitli 3D baskı teknikleri geliştirilmiş ve bu teknikler yedi kategori altında sınıflandırmıştır. Bu tekniklerden eriyik yığıma modelleme (FDM), anten üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Malzeme ekstrüzyonu kategorisinde sınıflanan bu teknikte, filament adı verilen malzemenin bir ekstrüzyon nozulu aracılığıyla eritildiği ve istenen nesnelere oluşturmak için katmanlar halinde yerleştirilir. FDM'de en sık kullanılan malzemeler arasında akrilonitril bütadien stiren (ABS), polilaktik asit (PLA) ve polikarbonat (PC) gibi termoplastikler yer alır (Wang ve ark. 2023).

Bu çalışmada, 3D baskı teknolojisi kullanılarak kompakt boyutlu monopollü yama anten tasarımı sunulmuştur. Önerilen anten, eş düzlemsel dalga kılavuzu beslemeli üçgen şeklinde bir yama içermektedir. Antenin dielektrik alt tabakası için bağlı geçirgenliği ( $\epsilon_r$ ) 2.82 olan 1 mm kalınlıkta PLA tercih edilmiştir. Besleme hattı, yama ve toprak düzlemleri gibi iletken kısımlar ise bakır bant ile oluşturulmuştur. Önerilen 3D baskılı UGB monopollü antenin toplam boyutu 20.7×28.6 mm<sup>2</sup> olup elektriksel

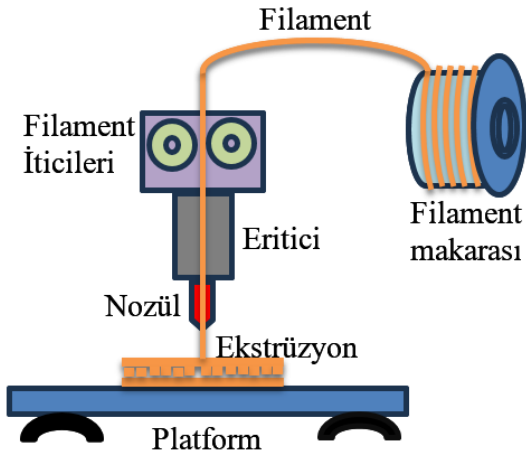
boyutu  $0.19\lambda_0 \times 0.26\lambda_0 \times 0.01\lambda_0$  olarak bulunmuştur. Tasarlanan anten 2.8-13 GHz çalışma frekans aralığı ile tüm lisanssız UGB frekans bölgesini kapsarken; rezonans frekans noktaları ise 5 ve 12 GHz olarak tespit edilmiştir. Maksimum kazanç değeri 5 dBi olan antenin tüm çalışma bandı boyunca ışıma verimliliği %87'nin üzerindedir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. FDM 3D Baskı Tekniği

Hull (1984) tarafından sterolitografi (SLA) olarak bilinen bir süreçle geliştirilmiş olan eklemeli imalat olarak da bilinen 3B baskı teknolojisinde, günümüze kadar farklı işlevlere sahip çok çeşitli teknikleri geliştirilmiştir. Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM)'in yayınlamış olduğu standart ile 3D baskı teknolojisi yedi alt kategoride sınıflandırılmıştır (ASTM, 2012).

Malzeme olarak genellikle termoplastik polimerlerin kullanıldığı ve kısaca FDM olarak bilinen eriyik yığıma modelleme (fused deposition modelling) tekniği, 3D baskı teknolojisinde en yaygın kullanılan tekniklerin başında gelmektedir. Bu yöntemde, Şekil 1'de gösterildiği gibi bir termoplastik polimerden oluşan filament, nozulda ısıtılarak yarı-sıvı bir halde tutulur ve ardından platform üzerine veya önceden basılmış katmanların üzerine çıkarılır. Kullanılan filamentlerin termoplastik olması, baskı sırasında bir araya gelmesine ve baskıdan sonra oda sıcaklığında katılaşmasına izin vermesi açısından önemlidir. Düşük maliyet, yüksek hız ve işlem basitliği FDM'nin başlıca avantajlarıdır. Diğer yandan, zayıf mekanik özellikler, katmanlı görünüm, düşük yüzey kalitesi ve sınırlı sayıda termoplastik malzeme bulunması FDM'nin başlıca dezavantajlarıdır. (Ngo ve ark. 2018).



Şekil 1. FDM 3D baskı tekniğinin şematik gösterimi

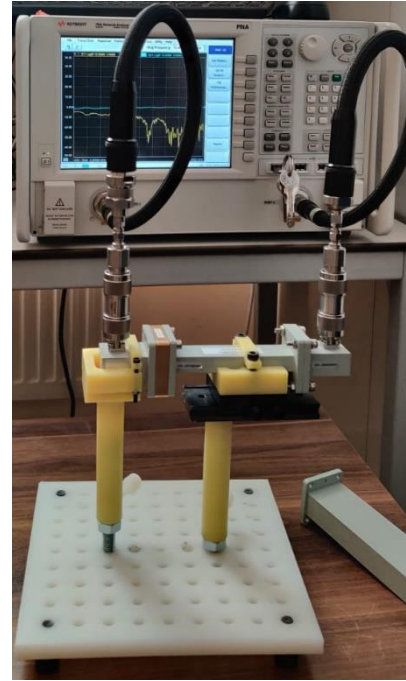
### 2.2. PLA Malzemesinin Di-elektrik Katsayısının Belirlenmesi

Günümüzde hem ticari hem de amatör kullanıcılar tarafından yoğun şekilde kullanılan FDM tipi yazıcılarda en yaygın kullanılan malzemelerin başında gelen PLA, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiş ve biyolojik olarak parçalanabilen son derece kullanışlı bir polimerdir.

Alternatiflerine göre çevre dostu olan ve baskı yapılırken toksik koku yaymadığı için kapalı ortamlarda bile güvenle kullanılabilen PLA, düşük sıcaklıkta işlenebilen ve kolay bükülmeyen bir filament çeşididir (Musa ve ark. 2022).

Kullanılan di-elektrik alttaş malzemenin bağlı geçirgenlik olarak da bilinen di-elektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ ) ve tanjant kaybı ( $\tan\delta$ ), yama antenlerde ışıma performansını etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. Literatürde PLA malzemesi için 2.5 ila 2.9 arasında değişen  $\epsilon_r$  değerleri verilmekle birlikte,  $\epsilon_r$  değeri malzemenin türüne bağlı olmakla beraber frekans, doluluk yüzdesi, dolgu geometrisi, sıcaklık ve nem gibi faktörlere de bağlıdır. Bu sebeple, 3B baskıyla üretilen di-elektriklerde, daha karmaşık bir tasarımı üretmeden önce malzemenin di-elektrik özelliklerinin ölçülmesi önemlidir. Di-elektrik malzemelerin malzeme karakterizasyonu için dalga kılavuzları, boşluk rezonatörleri ve koaksiyel problemleri içeren çeşitli teknikler kullanılabilir (Chen ve ark. 2004).

Bu çalışmada kullanılacak olan colorFabb PLA malzemesinin di-elektrik özelliklerini belirlemek için Şekil 2'de ölçüm düzeneği gösterilen dikdörtgen dalga kılavuzu iletim hattı yöntemi kullanılmıştır.

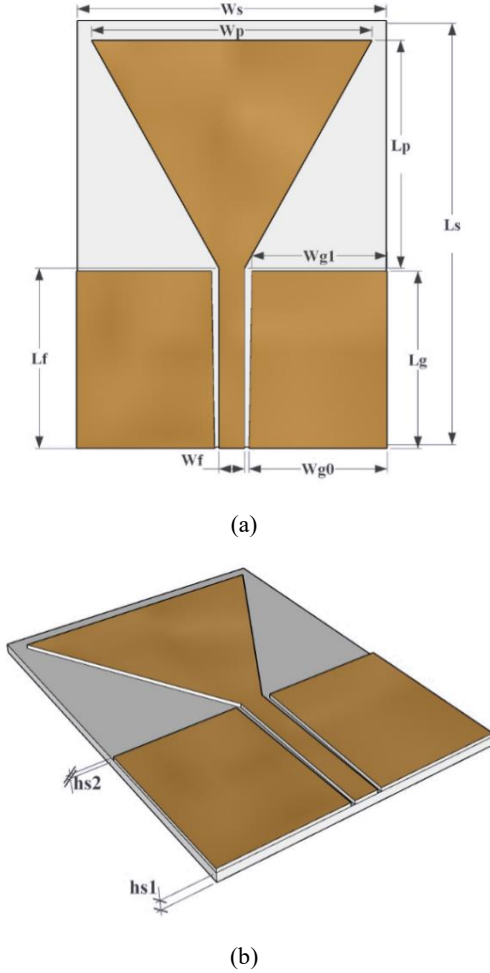


Şekil 2. X-band di-elektrik özellik ölçüm düzeneği

Şekilde görüldüğü gibi iki portlu vektör ağ analizörü (VNA) koaksiyel kablolar ile WR-90 X-band dalga kılavuzu adaptörlerine bağlanmıştır. 3D yazıcı ile üretilen PLA numunesi adaptörler arasında yer alan numune tutucu içine yerleştirilmiştir. Port 1'den gelen enerji dalga kılavuzu ve numune içinde yayılarak Port 2'ye iletilir. Böylelikle malzemeye ilişkin yansıma ve iletim parametreleri ( $S_{11}$  ve  $S_{21}$ ) belirlenir. Elde edilen s-parametreleri Nicholson Ross Weir (NRW) yaklaşımına göre işlenerek malzemenin di-elektrik özellikleri bulunur. Çalışmada kullanılan mat beyaz renkli colorFabb PLA için yapılan ölçümlerden di-elektrik sabitinin gerçek kısmı ( $\epsilon'$ ) X-bandı boyunca 2.82 seviyelerinde olmuştur.

### 3. 3D UGB YAMA ANTEN TASARIMI

Mikroşerit antenler için geniş bant empedans uyumu, çok yönlü ışınma örüntüsü, kompakt tasarım ve düşük üretim maliyeti en önemli tasarım parametreleridir. Bu çalışmada önerilen 3D baskılı UGB yama anten Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3D baskılı UGB yama antenin (a) üstten (b) perspektif görünümü

Yama antenlerin boyutları, alt kesim frekansı ( $f_L$ ), rezonans frekansı ( $f_r$ ), karakteristik empedans ( $Z_0$ ) ve bağlı dielektrik geçirgenlik ( $\epsilon_r$ ) gibi parametrelere bağlıdır (Garg, 2001). Toplam boyutu  $20.7 \times 28.6 \times 1 \text{ mm}^3$  olan antenin, elektriksel boyutu ise  $0.26\lambda_L \times 0.19\lambda_L \times 0.01\lambda_L$ 'dir. Bağlı dielektrik geçirgenliği ( $\epsilon_r$ ) 2.82 olan PLA'nın kullanıldığı antenin alttaşı (substrat), malzeme tasarrufu ve iletken kısımları oluştururken imalat kolaylığı açısından katmanlı olarak tasarlanmıştır. Yüksek bant genişliği avantajı sunması sebebiyle eş düzlemsel dalga kılavuz (EDK) beslemesinin kullanıldığı antende, ışıyıcı olarak da monopul üçgen yama kullanılmıştır. Geniş bant eşleşmesini sağlamak için besleme hattının karakteristik empedansı Simons (2004)'un sunduğu tasarım eşitliklerine göre hesaplanmıştır. Ayrıca, geniş bant empedans uyumunu artırmak için eş düzlemsel dalga kılavuz besleme iletim hattının her iki yanındaki toprak düzlemleri, dikdörtgen yerine genişliği daralan dik yamuk şeklinde tasarlanmıştır. Önerilen antenin tasarım boyutları Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. 3D baskılı UGB yama anten boyutları (mm)

$W_s$	$L_s$	$W_f$	$L_f$	$W_{g0}$	$W_{g1}$
20.7	28.6	1.7	12	9.2	9.0
$L_g$	$W_p$	$L_p$	$hs1$	$hs2$	
11.8	18.7	15.2	0.7	0.3	

### 4. 3D UGB YAMA ANTENİN ÜRETİMİ VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Bu çalışmada tasarlanan UGB yama antenin alt tabaka üretiminde Şekil 4'de gösterilen Ultimaker 2+ 3D yazıcısı kullanılmıştır. Ultimaker 2+ 3D yazıcısının baskı özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



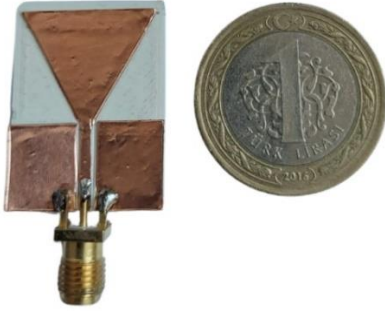
Şekil 4. Ultimaker 2+ 3D yazıcısı

Tablo 2. Ultimaker 2+ 3D yazıcısı baskı özellikleri

Baskı teknolojisi	FDM
Baskı hacmi ( $\text{mm}^3$ )	223 x 220 x 205
Uyumlu filament çapı (mm)	2.85
Katman çözünürlüğü ( $\mu\text{m}$ )	20-600
Nozzle çapları (mm)	0.25, 0.4, 0.6, 0.8
Baskı ucu sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	180-260

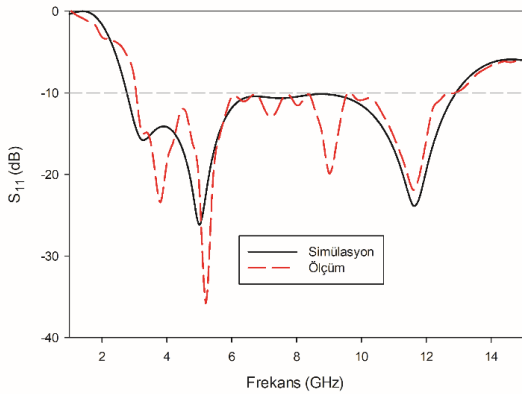
Tasarlanan UGB yama antenin performans incelemesi için gereken prototipi, 2.85 mm mat beyaz renkli PLA filament ile 70mm/s baskı hızı, 0.15mm katman kalınlığı ve 0.4mm nozzle ile üretilmiştir. Prototip oluştururken ilk olarak, simülasyon programında oluşturulan model ".STL" dosya formatında dışa aktarılır. Sonrasında ".STL" uzantılı çizim Ultimaker Cura yazılımıyla 3D yazıcı için ".gcode" formatına dönüştürülür. Ultimaker 2+ 3D yazıcısı ile oluşturulan anten alt tabakasına yapışkan bakır bant

kullanılarak 3D baskılı UGB antenin yama ve toprak katmanları kaplanır. Son olarak ölçüm yapabilmek için gereken SMA konnektör besleme hattına lehimlenerek anten prototipi tamamlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. 3D baskılı UGB antenin yama anten prototipi

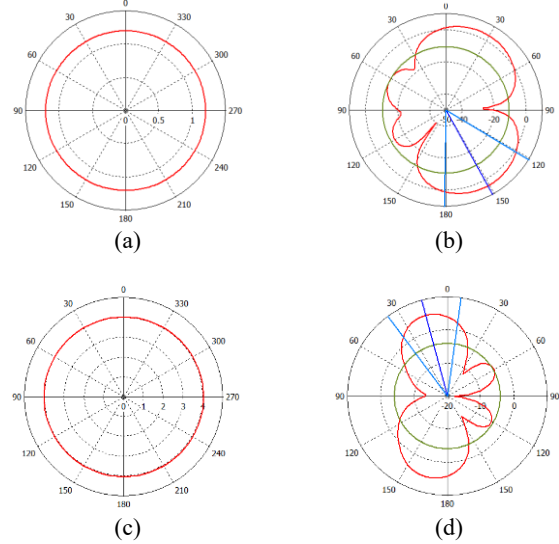
Üretimi tamamlanan 3D baskılı UGB yama antenin geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) ölçümü, 10 MHz – 43.5 GHz ölçüm aralığına sahip Keysight PNA N5224A vektör ağ analizörü (VNA) ile yapılmıştır. Önerilen UGB yama antenin simülasyon ve ölçüm geri dönüş kayıplarının karşılaştırmalı grafikleri Şekil 6'da gösterilmiştir.  $S_{11}$  simülasyon grafiklerinden görüleceği üzere önerilen UGB antenin -10 dB empedans bant genişliği 2.75-13 GHz aralığında iken, ölçüm bant genişliğinin de 3.05-12.9 GHz aralığında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, simülasyon sonuçlarına göre 5 GHz ve 11.8 GHz'de iki rezonans frekansına sahip antenin ölçümlerde ise 3.8, 5.2, 9 ve 11.6 GHz frekanslarında olmak üzere dört rezonans noktası bulunmaktadır. Genel olarak geri dönüş kaybı grafikleri incelendiğinde ise, 3D baskılı UGB yama antenin simülasyon ve ölçüm sonuçları açısından iyi bir uyum sağladığı da görülmektedir. Simüle edilen ve ölçülen eğriler arasında oluşan farkların nedeni ise, üretim sürecinin toleransı ve SMA konnektörünün kaynak kaybından olduğu düşünülebilir.



Şekil 6. 3D baskılı UGB anten için simüle edilen ve ölçülen geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) grafikleri

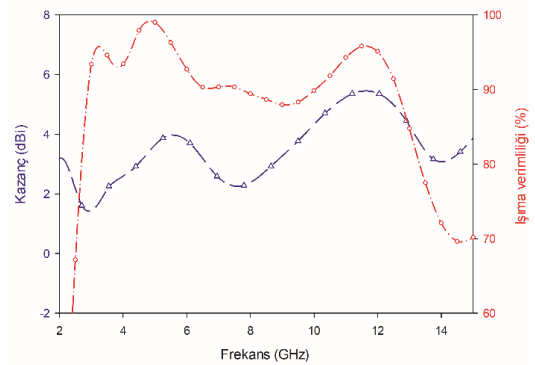
İşıma örüntüsü, bir antenin çevresine yaydığı elektromanyetik enerjinin dağılımını gösteren önemli parametrelerden birisidir. Yama antenleri için istenen performans genelde çok yönlü bir ışıma örüntüsüdür. Çok yönlü bir ışıma örüntüsü, antenin farklı yönlerde eşit güçte ve homojen bir şekilde sinyal yayması anlamına gelir. Bu özellik, antenin iletişim sisteminin geniş bir alana

yayılmasını sağlar ve iletişim kalitesini artırır. Ayrıca, antenin çevresindeki engellerden etkilenme olasılığını azaltır. 3D UGB yama antenin 5 GHz ve 11.8 GHz rezonans frekanslarındaki E-düzlemi ( $\phi=0^\circ$ ) ve H-düzlemi ( $\phi=90^\circ$ ) ışıma örüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, her iki frekansta da neredeyse kararlı ve çok yönlü ışıma örüntüsü sağlandığı açıkça görülmektedir.



Şekil 7. 3D baskılı UGB antenin ışıma örüntüleri; (a) 5 GHz E-düzlemi (b) 5 GHz H-düzlemi (c) 11.6 GHz E-düzlemi (d) 11.6 GHz H-düzlemi

Son olarak, Şekil 8'de anten maksimum kazanç ve ışıma verimliliğinin frekansa bağlı değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çalışma bandı boyunca antenin maksimum kazanç değeri 1.8 dBi ile 5.5 dBi aralığında değişmektedir. Rezonans frekansları olan 5 ve 12 GHz frekansları için maksimum kazanç değerleri sırasıyla 3.8 dBi ve 5.5 dBi olarak bulunmuştur. Anten ışıma verimliliği de tüm çalışma bandı boyunca %83'ün üzerinde ölçülmüştür. Maksimum verimlilik değeri de 4.8 GHz'de %99 seviyesindedir.



Şekil 8. 3D baskılı UGB antenin maksimum kazanç ve ışıma verimliliği eğrileri

Önerilen 3D baskılı UGB monopollü anteni ile literatürde bildirilen UGB antenler ile karşılaştırması Tablo 3'te sunulmuştur.



**Tablo 3.** Önerilen 3B antenin mevcut UGB yama antenler ile karşılaştırması

Referanslar	Alttaş türü	Bant genişliği (GHz)	Anten boyutları (mm)	Anten boyutları ( $\lambda_L$ )	Kazanç (dBi)
Verma ve Kumar (2014)	FR-4	2.9-11	40×40×1.6	0.38×0.38	2.2–2.9
Sawant ve Kumar (2015)	Polyamide	3.1-12.7	51×63×1.53	0.52×0.65	-
Toktas ve ark. (2016)	FR-4	2.6-18.2	23×31×1.6	0.2×0.27	2.2-4.5
Peram ve ark. (2019)	FR-4	3.4–12.0	30×30×1.6	0.34×0.34	0.2-4.6
Yadav ve ark. (2020)	Jean	2.9-11.6	25×25×1	0.24×0.24	0-5.7
Kirtania ve ark. (2021)	PET	3.04–10.7 ve 15.2–18	47×25×0.14	0.47×0.26	1-5.7
Tariq ve ark. (2023)	Roger 6002	3.4-9.9	40×30×1.52	0.45*0.34	1.5-4.5
Bu çalışma	PLA	2.75-13	20.7×28.6×1	0.19*0.26	1.8-5.5

Tablodan da görüldüğü üzere, önerilen antenin yakın zamanda yayınlanan çalışmalardan daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca, her ne kadar maksimum kazanç olarak daha iyi olan iki çalışma yer alsada çalışma bandı boyunca ortalama kazanç değerine bakılacak olursa diğer antenlerden daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada 3D baskı teknolojisi kullanılarak kompakt boyutlu bir monopol yama anten tasarımı sunulmuştur. Önerilen anten, eş düzlemsel dalga kılavuzu beslemeli üçgen şeklinde bir yama içermektedir. Antenin alt tabakası için di-elektrik katsayısı 2.82 olan 1mm kalınlıkta PLA kullanılırken, yama ve toprak kısımlarında bakır bant tercih edilmiştir. Tasarlanan UGB monopol antenin toplam boyutu 20.7×28.6 mm<sup>2</sup> olup, 2.8-13 GHz çalışma frekans aralığı ile tüm UGB bandını kapsamaktadır. Simülasyon sonuçları ve ölçüm verileri

## KAYNAKLAR

- ASTM (2012). Standard terminology for additive manufacturing technologies. ASTM International F2792-12a, 46:10918-10928.
- Bjorgaard J, Hoyack M, Huber E, Mirzaee M, Chang YH, Noghianian S (2018). Design and fabrication of antennas using 3D printing. *Progress In Electromagnetics Research C*, 84:119-134.
- Chen LF, Ong CK, Neo CP, Varadan VV, Varadan VK (2004). *Microwave electronics: measurement and materials characterization*. John Wiley & Sons.
- FCC (2002). Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. Federal Communications Commission.
- Garg R, Bhartia P, Bahl I, Ittipiboon I (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Artech House.
- Hull CW (1984). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. United States Patent, Appl. No. 638905.
- Kirtania SG, Younes BA, Hossain AR, Karacolak T, Sekhar PK (2021). CPW-fed flexible ultra-wideband antenna for IoT applications. *Micromachines*, 12(4):453.
- Musa L, Kumar NK, Rahim SZA, Rasidi MSM, Rennie AEW, Rahman R, Kanani AY, Azmi AA (2022). A review on the potential of polylactic acid based thermoplastic elastomer as filament material for fused deposition modelling. *Journal of Materials Research and Technology*, 20:2841-2858.
- Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KT, Hui D (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143:172-196.
- Olan-Núñez KN, Murphy-Arteaga RS (2023). Dual-band antenna on 3D-printed substrate for 2.4/5.8 GHz ISM-band applications. *Electronics*, 12(11):2368.
- Peram A, Reddy ASR, Prasad MNG (2019). Miniaturized single layer ultra wide band (UWB) patch antenna using a partial ground plane. *Wireless Personal Communications*, 106(3):1275-1291.
- Ramadan M, Dahle R (2019). Characterization of 3-D printed flexible heterogeneous substrate designs for wearable antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(5):2896–2903.

- Sawant KK, Kumar CS (2015). CPW fed hexagonal micro strip fractal antenna for UWB wireless communications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 69(1):31-38.
- Schantz HG (2004). A brief history of UWB antennas. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 19(4):22-26.
- Simons RN (2004). *Coplanar waveguide circuits, components, and systems*. John Wiley & Sons.
- Tariq S, Hussain Q, Alzaidi MS, Ghoniem RM, Alibakhshikenari M, Althuwayb AA, Virdee BS, Aslam M (2023). Frequency selective surfaces-based miniaturized wideband high-gain monopole antenna for UWB systems. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 170:154841.
- Toktaş A, Yerlikaya M, Yiğit E (2016). Microstrip-fed Triangular UWB Microstrip Antenna Based on DGS. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers, Special Issue-1*:43-47.
- Verma S, Kumar P (2014). Printed Newton's egg curved monopole antenna for ultrawideband applications. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 8(4): 278-286.
- Yadav A, Singh VK, Bhoi AK, Marques G, Garcia-Zapirain B, Díez IT (2020). Wireless body area networks: UWB wearable textile antenna for telemedicine and mobile health systems. *Micromachines*, 11(6):558.
- Wang Y, Zhang X, Su R, Chen M, Shen C, Xu H, He R (2023). 3D printed antennas for 5G communication: current progress and future challenges. *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, 2(1):100065.