

WLAN Uygulamaları için Yeni Nesil Mikroşerit Anten Tasarımı

Burak Dökmetaş^{1*}, Dilara Akpınar², Salih Çağrı Aydın³, Zeynep Akdeli⁴ ve Gülsenem Çağın⁵

^{1,2,3,4,5}Elektrik-Elektronik Bölümü / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kafkas Üniversitesi, Kars, Türkiye

*(burakd@kafkas.edu.tr)

(Received: 16 May 2025, Accepted: 20 May 2025)

(7th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2025, May 15-16, 2025)

ATIF/REFERENCE: Dökmetaş, B., Akpınar, D., Aydın, S. Ç., Akdeli, Z. & Çağın, G. (2025). WLAN Uygulamaları için Yeni Nesil Mikroşerit Anten Tasarımı. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(5), 292-297.

Özet – Bu çalışma kapsamında, WLAN uygulamalarına yönelik bir mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilmiş ve antenin üretimi üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak yapılmıştır. Anten, yüksek frekans uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş PREPERM ABS filament malzemesi ile üretilmiş olup, dielektrik sabiti ($\epsilon_r = 2.4$) olan bir alttaş tasarımı esas alınmıştır. Antenin performansı, 2.4 GHz merkez frekansında çalışan bir kablosuz yönlendirici ile yapılan saha testleriyle değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları ile deneysel verilerin birbiriyle tutarlı olduğu görülmüş ve antenin hedef frekansta yeterli rezonans sağladığı doğrulanmıştır. Üretim süreci boyunca düşük maliyetli ve hızlı prototipleme imkânı sunan 3D yazıcı teknolojisinin, mikroşerit anten tasarımlarında etkili bir alternatif olduğu gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, bu yaklaşımın WLAN başta olmak üzere IoT ve 5G gibi modern haberleşme sistemleri için uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – Mikroşerit Anten, Nesnelerin İnterneti, 5G Uygulamaları, 3D Yazıcı, WLAN.

I. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojilerinin hızlı gelişimi, özellikle WLAN (Wireless Local Area Network) frekans bandında gerçekleştirilen uygulamalara olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve beşinci nesil (5G) mobil iletişim sistemleri gibi çağdaş haberleşme teknolojileri, araştırmacıları bu alanlarda ortaya çıkan teknik zorluklara yenilikçi çözümler geliştirmeye yönlendirmektedir [1,2].

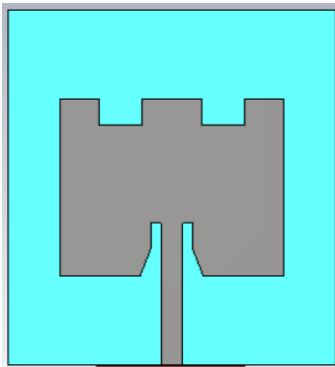
WLAN uygulamalarında yaygın olarak tercih edilen anten türlerinden biri mikroşerit antenlerdir. Kompakt yapıları, düşük profil özellikleri ve kolay entegre edilebilir olmaları, bu antenleri mikrodalga frekans bandındaki haberleşme sistemleri için uygun bir seçenek haline getirmektedir. Ancak geleneksel üretim yöntemlerinde kullanılan teknikler bazı sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. Mikroşerit antenler genellikle yüksek maliyetli ve erişimi sınırlı olan LPKF tipi CNC cihazlarla üretilmekte; ayrıca gerekli alttaş malzemeleri çoğu zaman yurtdışından temin edilmekte ve bu da maliyetleri artırmaktadır. Söz konusu yöntemler, ayrıca karmaşık geometrilere sahip anten yapılarının üretiminde yetersiz kalabilmektedir [3].

Bu bağlamda, alternatif üretim tekniklerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi anten üretimi açısından önemli bir fırsat olarak öne çıkmaktadır. 3B yazıcılar sayesinde yüksek geometrik karmaşıklığa sahip yapılar hızlı, düşük maliyetli ve tekrarlanabilir şekilde üretilebilmektedir. Bu avantajları sayesinde, 3B yazıcı teknolojisi hem akademik çevrelerde hem de endüstriyel uygulamalarda mikrodalga bileşen üretimi için ilgi çekici bir yöntem haline gelmiştir [4]. Ayrıca, kullanılan filament bazlı malzemelerin ekonomik olması ve geniş çeşitlilik sunması da bu yöntemin tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır. Literatürde, bu üretim yöntemi kullanılarak yarıkli dizi antenler, frekans seçici yüzeyler, dielektrik lensler ve Ku band horn anten gibi çeşitli mikrodalga yapılar başarıyla tasarlanmış ve üretilmiştir [5–8].

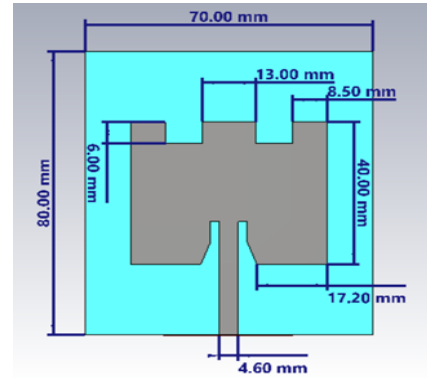
Bu çalışma kapsamında, WLAN haberleşme bandında çalışmak üzere bir mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilmiş ve üretimi 3B yazıcı teknolojisi ile yapılmıştır. Alttaş yapısı, dielektrik özellikleri bilinen PREPERM ABS malzeme kullanılarak, Creality marka 3B yazıcı ile üretilmiştir. Antenin performans karakteristikleri, ARINST SSA-TG R2 model spektrum analizörü yardımıyla değerlendirilmiş; ayrıca antenin alıcı olarak çalıştığı durumda gerçek ortam testleri, Kafkas Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nde yer alan bir WLAN yönlendirici kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

II. TASARIM VE ÜRETİM

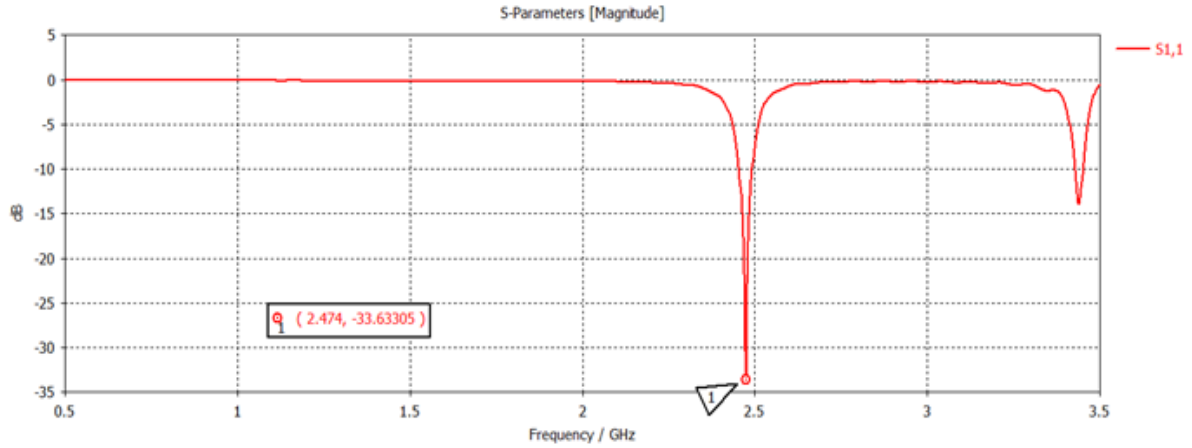
Önerilen mikroşerit antenin ışıma yapan üst yüzeyine ait görsel Şekil 1(a)'da sunulmaktadır. Anten yapısında iletken yüzey olarak 35 mikron kalınlığında bakır tabaka kullanılmıştır. Alttaş malzemesi olarak, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.4$ olan PREPERM ABS tercih edilmiş ve antenin empedans uyumunu sağlamak amacıyla iletim hattı genişliği 4.6 mm olarak optimize edilmiştir. Şekil 1(b)'de antenin geometrik boyutları detaylı olarak verilmiştir. Antenin yansıtma katsayısı (S_{11}) parametresine ait simülasyon sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Analiz sonuçları, antenin 2.47 GHz frekansında rezonans sağladığını ve bu frekansta -30 dB seviyesinin altında bir yansıtma katsayısı elde edildiğini ortaya koymaktadır. Bu değer, tasarımın hedef frekansta yüksek uyumlulukla çalıştığını ve empedans eşleşmesinin başarılı şekilde sağlandığını göstermektedir.



Şekil 1.a) Önerilen antenin üstten görünüşü



Şekil 1.b) Antenin yapısal boyutları (mm)

Şekil 2) Tasarlanan antenin S_{11} parametresi

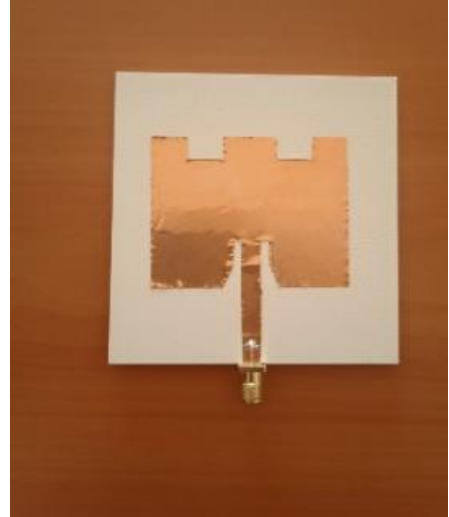
Antenin alttaş (substrat) yapısının üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcıya ait görsel Resim 1’de sunulmuştur. Üretim sürecinde Crealty marka FDM tipi yazıcı tercih edilmiş ve işlem parametreleri dikkatle optimize edilmiştir. Tabla sıcaklığı 110 °C, nozzle sıcaklığı ise 260 °C olarak ayarlanmıştır. Yazım hızı 50 mm/sn olarak belirlenmiş ve toplam üretim süresi 1 saat 22 dakika sürmüştür. Bu süreçte yaklaşık 11 gram PREPERM ABS filament malzemesi kullanılmıştır. Tasarımda hedeflenen dielektrik sabiti ($\epsilon_r = 2.4$) değerinin üretim sonrasında da korunabilmesi amacıyla, üç boyutlu yazıcının dilimleme yazılımı arayüzü üzerinden doluluk oranı %78 seviyesinde ayarlanmıştır. Bu oran, dielektrik özelliklerin fiziksel üretimde hedeflenen değerlere yaklaşmasını sağlamak amacıyla literatürde önerilen yöntemlerle uyumludur.

Bu çalışmada kullanılan PREPERM ABS filament, elektromanyetik uygulamalara yönelik olarak özel olarak formüle edilmiş bir malzemedir. Standart ABS filamentlerin aksine, PREPERM serisi malzemeler kontrollü ve stabil bir dielektrik sabiti sunmak üzere geliştirilmiştir. Özellikle mikrodalga frekans bandında çalışan pasif RF bileşenlerin üretimi için tasarlanan bu malzeme, düşük kayıp tanjantı ve frekansa bağımlılığı minimize edilmiş dielektrik özellikleri ile öne çıkmaktadır. Bu yönüyle PREPERM ABS, piyasada yaygın olarak bulunan genel amaçlı ABS filamentlerden farklıdır; çünkü standart ABS filamentlerin dielektrik özellikleri üreticiye, katkı maddelerine ve üretim yöntemine göre önemli değişiklik gösterebilir. PREPERM malzemeler bu değişkenliği minimize ederek, anten ve RF bileşen tasarımlarında öngörülebilir ve tekrarlanabilir performans elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada bu özel filamentin tercih edilmesi, elektromanyetik karakterizasyon açısından önemli bir avantaj sağlamıştır.

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen dielektrik alttaşlarda, doluluk oranı yalnızca yapının mekanik dayanımını değil, aynı zamanda elektromanyetik performansını da doğrudan etkilemektedir. Doluluk oranındaki değişim, malzemenin efektif dielektrik sabitini ve kayıp tanjantını değiştirerek antenin rezonans frekansı, bant genişliği ve kazancı üzerinde belirgin etkilere neden olabilir. Bu nedenle anten tasarımında, hem elektromanyetik hem de üretimsel parametrelerin birlikte optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde, FDM teknolojisiyle üretilen mikrodalga yapıların, dikkatle seçilmiş doluluk oranları ve katman yönelimleriyle geleneksel PCB tabanlı yapılarla karşılaştırılabilir performanslara ulaşabildiği gösterilmiştir. Bu bağlamda, çalışmada tercih edilen %78 doluluk oranı, hem hedeflenen dielektrik özelliklerin elde edilmesine hem de üretim sırasında yapının kararlılığının korunmasına katkı sağlamıştır.



Resim 1) Üretimde kullanılan üç boyutlu yazıcı

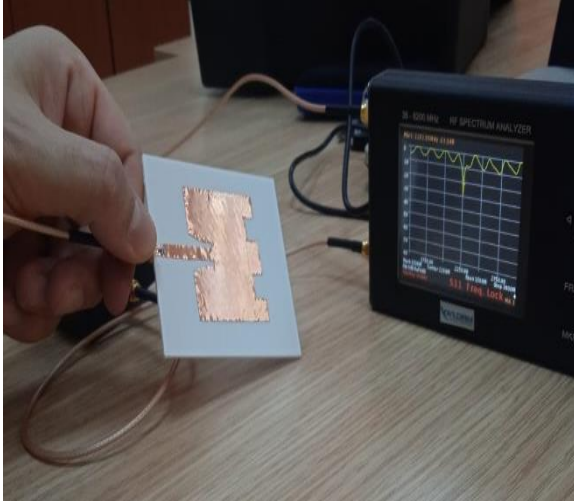


Şekil 3) Üretilen antenin üstten görünüşü

Üretilen mikroşerit antenin son haline ait üstten görünüş Şekil 3'te sunulmuştur. Antenin iletken yüzeyleri, yüzeye uygulanabilir bakır bant kullanılarak elde edilmiştir. İletim hattı ile dış bağlantıyı sağlamak amacıyla bir SMA konnektör, iletim hattına dikkatli biçimde lehimlenmiştir. Antenin geri yansıma parametresine (S_{11}) ilişkin deneysel ölçüm verileri Resim 2'de gösterilmektedir. Ölçümler, ARINST SSA-TG R2 model taşınabilir spektrum analizörü ile gerçekleştirilmiş olup, antenin 2.24 GHz frekansında -25 dB seviyesinde bir rezonans sağladığı gözlemlenmiştir. Bu değer, antenin hedef frekans bandına yakın bir bölgede yüksek empedans uyumu ile çalıştığını göstermektedir.

Elde edilen bu ölçüm sonuçlarının tatmin edici bulunmasının ardından, antenin alıcı performansı değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Resim 3'te gösterilen deney düzeneği kurulmuştur. Deneyde 2.4 GHz merkez frekansında çalışan ticari bir WLAN yönlendirici verici olarak kullanılmış; yaklaşık 1 metre uzaklıktaki anten ile yapılan alım testinde, 2.24 GHz'de güçlü bir sinyal elde edilmiştir. Bu sonuç, antenin pratik WLAN uygulamalarında kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Ek olarak, üretim sonrası antenin yapısal bütünlüğü ve fonksiyonel kararlılığı da göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen altaş yapının mekanik dayanımı, üretim esnasında uygulanan doluluk oranı ve katman kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Antenin çevresel koşullara karşı tepkisinin anlaşılması açısından, farklı sıcaklık ve nem seviyelerinde ölçüm yapılması gelecekteki çalışmalarda faydalı olacaktır. Ayrıca, anten yapısının tekrar üretilebilirliği ve üretim parametrelerindeki küçük sapmaların performansa etkisi gibi üretim toleransı analizlerinin yapılması, yöntemin güvenilirliğini artırmak adına önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.



Resim 2) Üretilen antenin S-parametre ölçümü



Resim 3) Üretilen antenin alıcı (receiver) olarak test edilmesi

III. SONUÇ

Kablosuz haberleşme sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olan antenler, özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) ve 5G gibi yeni nesil iletişim teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, daha kompakt, düşük maliyetli ve yüksek performanslı çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda, geleneksel üretim yöntemlerinin sınırlılıklarını aşmak amacıyla alternatif üretim tekniklerinin araştırılması önem kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında, üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak bir mikroşerit anten tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simülasyon ve deneysel veriler, antenin 2.4 GHz WLAN uygulamaları için uygun performans sergilediğini ortaya koymuştur.

Üretim sürecinde kullanılan PREPERM ABS malzemesi ve yazıcı parametreleri, hedeflenen dielektrik özelliklerin elde edilmesini sağlamış ve empedans uyumu açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Gerçek ortam testlerinde elde edilen 2.24 GHz rezonans frekansı ve -25 dB seviyesindeki yansıma katsayısı, üretilen antenin uygulamaya yönelik geçerliliğini desteklemektedir. Ayrıca, üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile düşük maliyetli ve hızlı prototipleme yapılabilmesi, bu yöntemin araştırma ve geliştirme süreçlerinde etkin bir araç olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda anten yapısının çok bantlı hâle getirilmesi, yönlü kazanç ölçümlerinin yapılması ve farklı doluluk oranlarının anten performansı üzerindeki etkilerinin detaylı biçimde incelenmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Üretim ve ölçüm için Kafkas Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Laboratuvar ekipmanları kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Balanis, C.A., Antenna Theory: Analysis and Design. John Wiley & Sons, New Jersey, A.B.D., 2005.
- [2] Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., ve Ittipiboon, A., Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House, Boston, A.B.D., 2001.
- [3] Olan-Nuñez 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.
- [4] 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.

- [5] Zhang, S., Arya, R.K., Pandey, S., et al.: "3D printed planar graded index lenses", *Microw. Antennas Propag.*, (2016), 1411-1419.
- [6] Ghazali M.I.M., Karuppuswami S., Kaur, A., "3D printed air substrates for the design and fabrication of RF components", *Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.*, (2017), 982-989.
- [7] Jun S., Sanz-Izquierdo B., Heirons J., "Circular polarised antenna fabricated with low-cost 3D and inkjet printing equipment", *Electron. Lett.*, (2017), 370-371.
- [8] Belen MA., Güneş F., Mahouti P., Belen A., "UWB Gain Enhancement of Horn Antennas Using Miniaturized Frequency Selective Surface", *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, (2018), 997-1002.