

## RADYO-FREKANS UYGULAMALARI İÇİN ANTENLERİN ALTERNATİF MALZEMELERLE TASARIMLARI VE ÜRETİMLERİ

Türker DOLAPÇI <sup>(a,b)</sup>, M. Sezgin BALOĞLU <sup>(b)</sup>, Özgür ERGÜL <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> SDT UZAY VE SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ, Ankara, Türkiye, tdolapci@sdt.com.tr

<sup>(b)</sup> ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, Ankara, Türkiye, {sezgin.baloglu,ozergul}@metu.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, radyo-frekans uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanan ve alternatif malzemelerden üretilebilen anten yapıları ele alınmıştır. İletken kumaş ve benzeri malzemelerden kesilerek elde edilebilen bu antenler, esnek ve bükülebilir özelliklere sahip olup askeri alanlarda kullanılmaya elverişli yapılardır. Aynı zamanda üretimleri kolay ve ucuz olan çeşitli anten yapıları, yüksek kabiliyetli bir benzetim ortamında tasarlanmış, üretilmiş, ve ölçüm ortamında farklı şekillerde test edilmiştir. Prototipler üzerinde gerçekleştirilen test sonuçları, bu antenlerin radyo-frekans uygulamalarında yaygın olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyo Frekansları, Pasif Antenler, Tekstil Antenler.

### ABSTRACT

In this study, antennas that are designed for radio-frequency applications and producible with alternative materials are considered. Such antennas that are obtained by using conductive textiles and similar materials are suitable for military applications thanks to their flexibility. Various antenna structures, which are also easy to produce and inexpensive, are designed in a simulation environment, fabricated, and tested in a measurement setup. Test results on prototypes demonstrate the high potential of the antennas for radio-frequency applications.

**Keywords:** Radio Frequencies, Passive Antennas, Textile Antennas.

### 1. GİRİŞ

Günümüzde, radyo frekanslarında haberleşme, algılama, ve tanımlama uygulamalarında, standart olanlardan farklı yöntemlerin ve malzemelerin kullanılması yaygınlaşmaktadır [1-8]. Özellikle, ilgili uygulama alanlarında aranan esneklik [1], katlanabilirlik, ucuzluk, giyilebilirlik [5,6], ve gerektiğinde

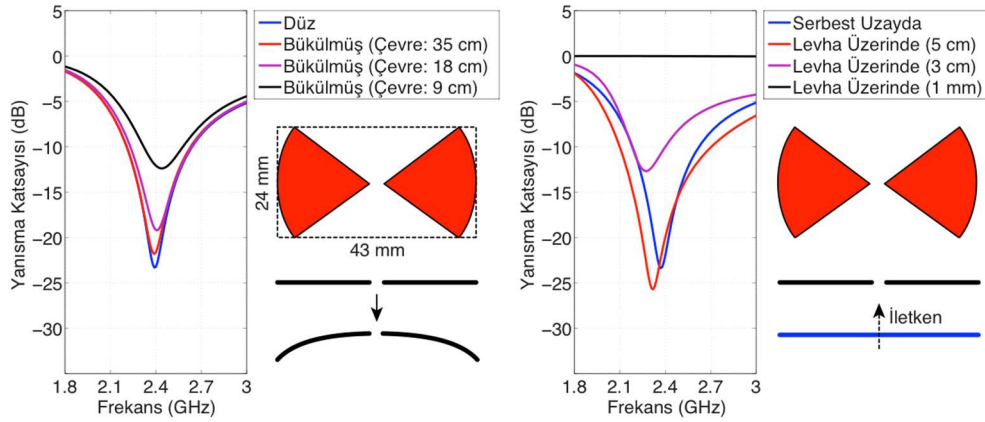
geri-dönüştürülebilirlik, alternatif malzemelere olan ihtiyacı daha da artırmıştır. Örneğin, inkjet baskı tekniği [3,4,7,8], özellikle radyo-frekans uygulamalarında kullanılan pasif antenler için son derece uygun çözümler sunmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kullanılacak özel yazıcılara [3,4] ek olarak, standart yazıcılar üzerinde gümüş bazlı mürekkeplerin kullanılması [7,8] çok ucuz antenlerin kolaylıkla basılmasına ve üretilmesine olanak sağlamaktadır. İlgili üretim hatlarının, standart olanlara göre çok hızlı olması da, tasarlanan antenlerin kısa sürede yüksek sayıda üretilmesini mümkün hale getirmektedir.

Bu bildiriye, radyo frekanslarında çalışacak şekilde tasarlanan ve farklı yöntemlerle/malzemelerle üretilen antenler ele alınmıştır. Hem sivil hem de askeri alanlarda kullanılacak olan bu antenler, ucuz metalik kumaşların kesilmesiyle elde edilmiştir. Kumaşların son derece esnek olması, üretilen antenlerin giyilebilir (özellikle var olan giysilerin üzerine dikilebilir) olmasını sağlamaktadır. Elde edilen ilk prototipler, bu tür antenlerin avantajlarını ortaya koymakta ve yaygınlaşma potansiyellerini göstermektedir.

## 2. ANTENLERİN TASARLANMASI

Antenlerin tasarlanması için Computational Electromagnetics at METU (CEMMETU) laboratuvarlarında [9] geliştirilen, yüksek kabiliyetli ve hassas elektromanyetik çözümler kullanılmıştır. Benzetimlerdeki bazı önemli bileşenler ve aşamalar şu şekildedir.

- Anten yüzeyleri ince kalınlıklı metaller olarak modellenmiştir. Formülasyonlar frekans uzayında yüzey integral denklemleriyle gerçekleştirilmiştir. Bu denklemler, metal, dielektrik ve bileşik yapılara uygulanabilmektedir.
- Yüzeyler dalgaboyuna göre çok küçük üçgenlerle ayrıştırılmıştır. İndüklenen elektrik akımının veya eşdeğer elektrik/manyetik akımlarının açılması için üçgenler üzerinde tanımlanan Rao-Wilton-Glisson fonksiyonları kullanılmıştır.
- Elektromanyetik etkileşimlerin hesaplanmasında teklik çıkarma yöntemi kullanılmış ve yüzey integralleri analitik ve sayısal kısımlara bölünmüştür. Sayısal kısımların hesaplanması için Gauss tümlev metotları kullanılmıştır.
- Elektromanyetik uyarımlar için anten terminallerinde tanımlanan delta-gap modelleri kullanılmıştır.
- Ayrıklaştırma sonucunda elde edilen matris denklemleri iteratif olarak çözülmüş ve ihtiyaç duyulan matris-vektör çarpımları çok seviyeli hızlı çokkutup yöntemiyle (MLFMA) hassas olarak gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen benzetim sonuçlarının doğruluğu ayrıklaştırma yakınsama analizleriyle teyid edilmiştir.



**Şekil 1.** Papyon tipi anten tasarımı üzerinde benzetim ortamında gerçekleştirilen bazı testler. Yansıma katsayısı değerleri frekansa bağlı olarak farklı senaryolarda incelenmiştir.

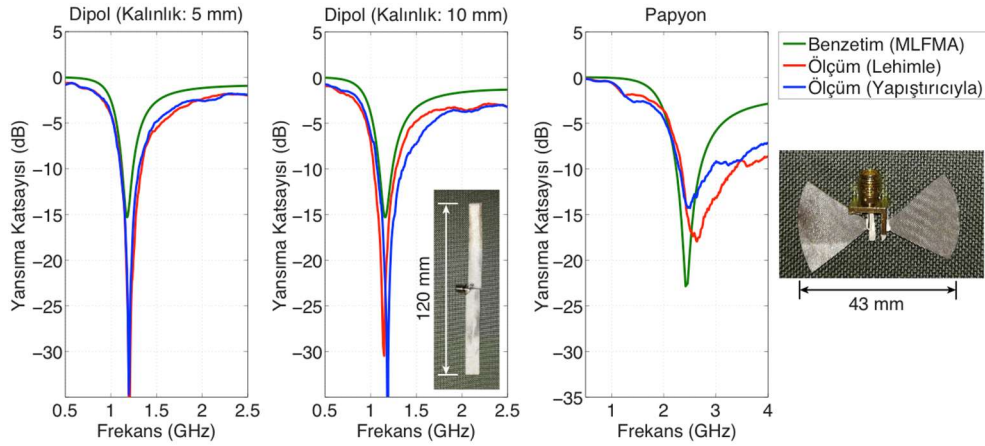
Anten benzetimleri üç boyutlu uzayda gerçekleştirildiğinden, ele alınan antenlerin kullanımında ortaya çıkan bükülme ve benzeri deformasyonlar incelenebilmiştir. Ayrıca, kullanılan malzemelerdeki iletimin sabit olmaması ve pozisyona (antenin ortası, kenarı, vb.) bağlı olması, bu tür yüksek kabiliyetli bir benzetim aracının önemini artırmaktadır.

Radyo-frekans uygulamalarında, tasarlanan antenlerin başka cihazlara (örneğin tanımlama uygulamalarında mikroçiplere) bağlanması gerekmektedir. Antenlerin bu bağlantılarda uyum gösterebilmesi için, yukarıda özetlenen elektromanyetik çözücü bir optimizasyon modülüyle birleştirilmiştir. Antenlerin optimizasyonları, uygulamaya bağlı olarak diğer cihazlar tarafından belirlenmiş olan çeşitli kriterlerin (yansıma katsayısı, kazanç, ışınım örüntüsü, kararlılık) sağlanması doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

### 3. ANTENLERİN ÜRETİLMESİ VE ÖLÇÜLMESİ

Antenlerin üretilmesinde farklı malzemeler ve yöntemler kullanılmıştır. Bu bildiride ise, "Adafruit" etiketiyle satılan (Shzhou Wanhe Electronic Co., Ltd.) bir kumaşın doğrudan kesilmesiyle elde edilen örnekler gösterilmiştir. Basit kesme tekniği kullanıldığında geometrik çeşitlilik dipol ve papyon tipi antenlerle sınırlıdır; ancak, bu antenlerin çok kısa sürelerde üretilmesi mümkündür. Bu bildiride gösterilen her antenin maliyeti 5 kuruştan azdır. Örneğin, radyo frekanslarında tanımlama uygulamaları için kullanılacak mikroçipler (Alien Higgs-3) 20 kuruş civarında olduğundan, radyo frekanslarında tanımlama etiketlerinin 25 kuruşa mal edilmesi ve seri üretimle bu maliyetin daha da azaltılması mümkün gözükmektedir.

Üretilen antenlerin ölçülmesi mikroçiplere bağlanmasından daha zordur. Özellikle yansıma katsayısı ölçümlerinde antenlerin eş-eksenli bağlaştırmalara



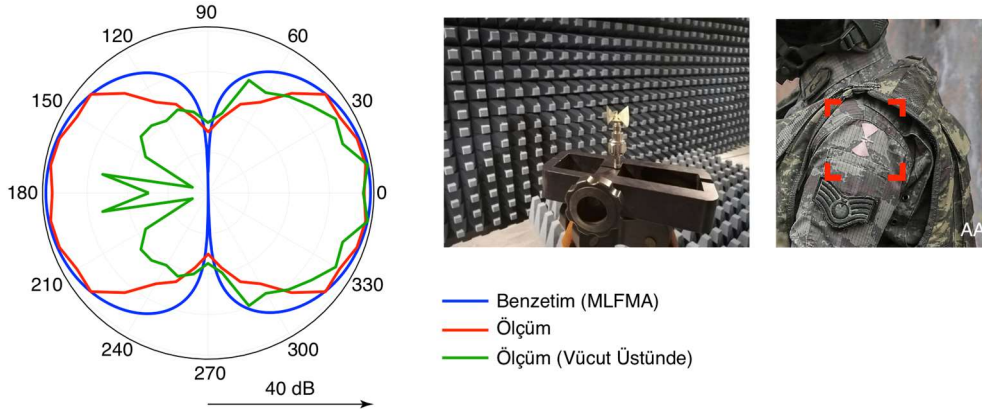
**Şekil 2.** Dipol ve papyon tipi antenlere ait yansımaya katsayısı değerleri. Benzetim sonuçlarına ek olarak, iki farklı metotla (lehim ve yapıştırıcı) gerçekleştirilen ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

bağlanmasında önemli güçlükler yaşanmaktadır. Örneğin, bu bağlantıların lehimle yapılması anten malzemelerine zarar verebilmektedir. Dolayısıyla, alternatif olarak, iletken yapıştırıcılar kullanılmış ve farklı tekniklerle elde edilen ölçüm sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

#### 4. ÖRNEKLER

Bu bildiriye, radyo-frekans uygulamalarında kullanılacak antenlere örnek olarak, iletken kumaştan üretilen dipol ve papyon tipi antenler gösterilmiştir. Papyon tipi antenler 2.4 GHz civarında çalışacak biçimde tasarlanmıştır. Dipol tipi antenler için ise çalışma frekansı 1.2 GHz civarı seçilmiştir. Tüm antenler ilgili frekanslarda 50 Ohm giriş empedansına sahip olacak şekilde optimize edilmiştir.

Şekil 1'de, tasarlanmış olan papyon tipi antene ait bazı sayısal sonuçlar gösterilmiştir. Boyutları 24 mm x 43 mm olan antene ait yansımaya katsayısı değerleri farklı senaryolarda frekansa bağlı olarak incelenmiştir. Soldaki sonuçlarda gözlemlendiği üzere, antenin bükülmesi performansın düşmesine (yansımaya katsayısı dipinin yükselmesine) yol açmaktadır. Öte yandan, bükülme çevresinin 9 cm'ye kadar düştüğü durumlarda bile, kritik seviye olan -10 dB yakalanabilmekte ve anten çalışabilmektedir. Sağda gösterilen denemelerde ise, antene alt tarafından metalik bir levha yaklaştırılmış ve antenin performansı incelenmiştir. Levhanın yaklaştırılmasıyla birlikte yansımaya katsayısının yükselmesi ve en sonunda 0 dB'ye çıkması (antenin tamamen devre dışı kalması) beklenmektedir. Şekilde gösterildiği üzere 3 cm'ye kadar -10 dB'lik seviye yakalanabilmektedir.



**Şekil 3.** Papyon tipi antenin ışınım karakteristiği. Benzetim sonuçlarına ek olarak, ölçüm sonuçları verilmiştir. Ölçümlerde hem antenin havada durduğu hem de vücut üzerine gerleştirildiği durumlar ele alınmıştır.

Şekil 2’de papyon tipi anten, ve ek olarak iki farklı (5 mm x 120 mm ve 10 mm x 120 mm boyutlarında) dipol anten için, yansımaya katsayısı değerleri frekansa bağlı olarak incelenmiştir. Her anten için, benzetim sonuçlarına ek olarak, iki farklı yöntemle (lehim ve iletken yapıştırıcı ile) elde edilen ölçüm sonuçları sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, görece daha basit geometrilere sahip olan dipol antenler için son derece tutarlı değerler elde edildiği gözlemlenmektedir. Bu antenlerin çalışma frekanslarında düşük seviyelerde frekans kaymaları gözlemlenmektedir; ancak antenler tasarlandıkları 1.2 GHz’te çalışmaktadır ve gerekli görüldüğü durumlarda ölçekleme ile kalibre edilebilmektedir. Yansımaya katsayısındaki seviye düşüklüğü ise metal kayıplarından kaynaklanmakta olup, ihtiyaç duyulduğunda daha iletken malzemelerin kullanılmasıyla önlenmektedir. Diğer taraftan, papyon tipi antende, ölçüm sonuçlarının biraz daha kararsız (örneğin kendi aralarında tutarsız) olduğu ve benzetim değerlerinden saptığı gözlemlenmektedir. Bu anten tasarımındaki yüzey alanının geniş olması, bükülmelere/kırışmalara karşı hassasiyetin artmasına ve bu tür farklılaşmaların oluşmasına neden olmaktadır. Öte yandan, yansımaya katsayısı değerleri incelendiğinde, papyon tipi antenin de istenilen frekansta (2.4 GHz’te) çalıştığı söylenebilmektedir. Görece daha düşük performansla çalışmasına rağmen papyon tipi antenler dipol tipi antenlere göre kopmalara karşı daha güvenilirdir.

Radyo-frekans uygulamalarında genel olarak antenlerin eş yönlü ışınım yapması istenilen bir durumdur. Bu bakımdan da, dipol ve papyon tipi antenlerin kullanılması idealdir. Örneğin, yatay olarak kullanıldıkları durumda, bu antenler ön ve arka tarafa geniş açılarda ışınım yapabilmektedir. Gerçekçi uygulamalarda ise bu antenler vücut üzerinde çalışacağından, arka tarafa olan ışınım azalmakta, ancak ön tarafa olan ışınım aynı performansla (kimi zaman daha yüksek performansla) devam etmektedir. Işıma karakteristiklerine örnek olarak, Şekil 3’te papyon tipi antene ait ışınım örüntüsünün açığa bağlı

değişimi verilmiştir. Benzetim sonuçlarına (havada) ek olarak, SDT Uzay ve Savunma Teknolojileri laboratuvarlarında elde edilen ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Ölçümlerde antenin hem havada durduğu, hem de vücut üzerine (göğüs bölgesinin ortasına) yerleştiği durumlar ele alınmıştır. Havada durduğu durumda, antenin beklendiği gibi ön (0 derece) ve arkaya (180 derece) eşit seviyelerde yayın yaptığı gözlemlenmektedir. Vücut üzerinde ise arka tarafa olan ışınımın azaldığı, ancak ön tarafa olan ışınımın istenilen şekilde devam ettiği gözükmektedir.

### 3. SONUÇ

Bu bildiriye radyo-frekans uygulamaları için tasarlanan ve alternatif malzemelerle üretilen antenler ele alınmıştır. Örnek olarak, iletken bir kumaş türünden üretilen dipol ve papyon tipi antenler verilmiştir. Ölçüm ortamında gerçekleştirilen testlerle, üretilen antenlerin tasarlandıkları gibi çalıştıkları ve kullanışlı oldukları gösterilmiştir. Antenlerin fiziksel olarak esnek ve bükülebilir olması, var olan giysiler üzerine dikilebilecek yapılarda olması, ve her bir antenin 5 kuruştan ucuza imal edilebiliyor olması, bu tür radyo-frekans sistemlerinin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Bu çalışma TÜBİTAK (116E871) tarafından desteklenmiştir.

### KAYNAKÇA

- [1] A. Tronquo, H. Rogier, C. Hertleer, ve L. V. Langenhove, (2006), "Robust Planar Textile Antenna For Wireless Body LANs Operating in 2.45 GHz ISM Band", *Electron. Lett.*, 42, 142.
- [2] M. Klemm ve G. Troester, (2006), "Textile UWB Antennas for Wireless Body Area Networks", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 54, 3192-3197.
- [3] L. Yang, A. Rida, R. Vyas, ve M. M. Tentzeris, (2007), "RFID Tag and RF Structures on a Paper Substrate Using Inkjet-Printing Technology", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, 55, 2894-2901.
- [4] B. S. Cook ve A. Shamim, (2012), "Inkjet Printing of Novel Wideband and High Gain Antennas on Low-Cost Paper Substrate", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 60, 4148-4156.
- [5] L. Zhang, Z. Wang, ve J. L. Volakis, (2012), "Textile Antennas and Sensors for Body-Worn Applications", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, 11, 1690-1693.
- [6] A. Dierck, H. Rogier, ve F. Declercq, (2013), "A Wearable Active Antenna for Global Positioning System and Satellite Phone", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 61, 532-538.

SAVTEK 2018, 9. SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ  
27-29 Haziran 2018, ODTÜ, Ankara

[7] T. Çiftçi, B. Karaosmanoğlu, ve Ö. Ergül, (2016), "Low-Cost Inkjet Antennas for RFID Applications", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 120.

[8] F. Mutlu, C. Önel, B. Karaosmanoğlu, ve Ö. Ergül, (2017), "Inkjet-Printed Cage-Dipole Antennas For Radio-Frequency Applications", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 11, 2016-2020.

[9] Web sayfası: <http://cem.eee.metu.edu.tr> [24 Mayıs 2018].