

Beden İçi İletişim için Giyilebilir Anten Tasarımında Yüksek Dielektrik Sabitli Esnek Alttaş Kullanımı

Uzay Bengi, Burak Ferhat Ozcan, Sema Dumanlı

Boğaziçi Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

İstanbul

uzay.bengi@boun.edu.tr, burak.ozcan@boun.edu.tr, sema.dumanli@boun.edu.tr

Özet: Bu bildiri; özgün, yüksek dielektrik sabitli esnek alttaş (YDEA) üzerine üretilen eş düzlemlî dalga kılavuzu beslemeli halka antenin tasarımını ve analizini ele almaktadır. Dielektrik sabiti 10 olan YDEA dayanıklı ve esnek bir alttaş olup aynı zamanda yüksek seviyede anten minyatürleştirilmesine olanak tanımaktadır. Önerilen beden üstü antenin boyutu 53 mm x 68.5 mm x 2 mm'dir ve 403 MHz medikal implant haberleşme sistemi (MICS) bandında çalışmaktadır. İletim performansı, anterior ve posterior torsoya yerleştirilen iki antenle analiz edilmiştir. 30 dB'den fazla geri dönüş kaybı ve yaklaşık -46 dB iletim katsayısıyla, antenin çalışır durumda olduğunu doğrulanmıştır.

Abstract: This paper discusses the design and analysis of a coplanar waveguide-fed loop antenna, which is produced on a novel high permittivity flexible substrate (HPFS). The fabricated HPFS with the permittivity of 10 provides the authors with not only durable flexibility but also outstanding antenna miniaturization. The proposed on-body antenna is designed to operate at 403 MHz in the medical implant communication system (MICS) band and it has a size of 53 mm x 68.5 mm x 2 mm. The transmission performance is evaluated when two antennas are placed on the anterior and posterior torso. The antenna's functionality is validated by the return loss of over 30 dB and the simulated transmission coefficient of approximately -46 dB.

1. Giriş

Dünya genelinde artan nüfusla birlikte kapsamlı sağlık hizmetlerine ihtiyaç olduğu açıkça ortadadır. COVID-19 salgını, uzaktan, invaziv olmayan ve kolay erişilebilir tele sağlık uygulamalarının daha da geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle beden üstü algılama sistemleri dikkatleri üzerine çekmektedir [1]. Beden üstü antenler, algılanmak istenen parametrenin antenler arasındaki beden içi iletişim kanallarını etkilediği durumlarda sensör olarak kullanılabilir. İletim katsayısı ile algılanacak parametre arasında doğrudan bir korelasyon mümkün olsa da, bu korelasyonun zayıf iletim senaryoları için takibi zordur. İletim katsayısı ve algılanmak istenen parametre arasındaki korelasyon hassasiyeti uygun anten tasarımı ile artırılabilir. Bu sebeple, giyilebilir antenlerin tasarımında birçok kısıtlama ve zorluk mevcuttur. Beden içerisinde yayılımın en üst düzeye çıkarılması gerekirken, özgül soğurum oranı (SAR) kısıtlamaları ve biyoyoumluluk sorunu da dikkate alınmalıdır [2].

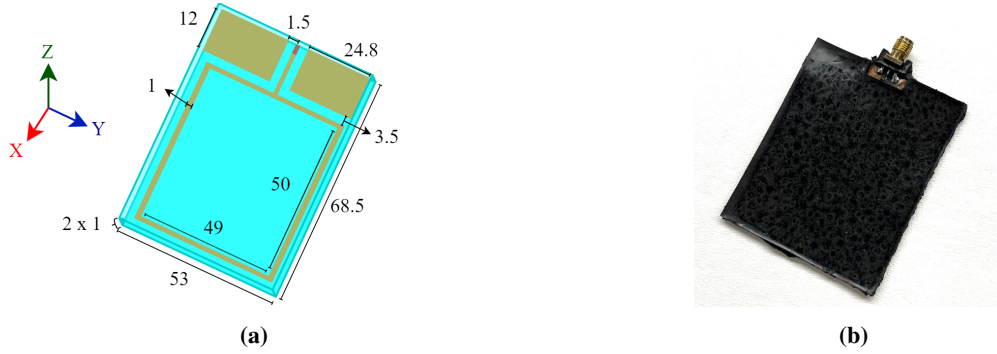
Literatürde çok sayıda beden üstü anten tasarımı bulunmaktadır [1], [3–8]. Bu antenler medikal implant haberleşme sistemi bandı (MICS), sınıai, bilimsel ve tıbbi çalışma bandı (ISM) ve ultra geniş bant (UWB) gibi çeşitli standartlarda çalışmak üzere tasarlanmıştır. Kullanıcı kabul edilebilirliği bu anten tasarımları arasındaki ortak sorundur ve bu sorun esnek alttaş kullanımıyla aşılabılır [3–6]. İnce profilli RF alttaşları [3], standart giyilebilir malzemeler olan kot ve yün kumaş [4, 5] veya köpük [6] literatürde kullanılan esnek alttaş malzemelerine örnek olarak verilebilir. Giyilebilir malzemelerin dielektrik sabitleri doğaları gereği düşüktür. İnce alttaşlar ise düşük dolgu faktörüne sahiptirler. Bu nedenle belirtilen malzemeler kullanılarak dielektrik yüklemeye ile anten minyatürleştirilmesi mümkün değildir. Yüksek dielektrik sabitli malzemelere ihtiyaç vardır. Bu malzemelerin elde edilmesi için polimer alttaşlar yüksek dielektrik sabitli seramik malzemelerle katkılanabilir [9]. Bu amaçla en yaygın kullanılan polimer PDMS iken, Al_2O_3 [7] ve $BaTiO_3$ [9] yaygın katkılama seramikleri arasında gösterilebilir. Fakat bu polimer ve seramiklerle elde edilen dielektrik sabiti hedeflediğimiz dielektrik sabitinin altındadır. Bu çalışmada, hem esneklik hem de anten minyatürleştirilmesi elde etmek için RTV silikonu yüksek dielektrik sabitine sahip grafit ile katkılayarak dielektrik sabiti 10 olan YDEA üretilmiştir.

Beden üstü anten tasarım gereksinimleri, kullanıldıkları uygulamaya bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin, beden içi iletişim kanalı oluşturan beden üstü antenler, beden içi yayılım gözetilerek tasarlanmalıdır. Literatürde verilen çalışmalarda beden içi iletişim kanallarının genellikle tıbbi uygulamalarda kullanılması nedeniyle anten

esnekliğinden ziyade anten performansı öne çıkan faktördür. Bu çalışmalar arasında [7, 8]'de esnek alttaş kullanılmıştır. [7]'de, RTV silikon ve Al_2O_3 içeren esnek alttaş kullanılarak üretilen anten dizisi 0.9 – 2.5 GHz frekans aralığında kafa görüntüleme amacıyla önerilmiştir. Benzer olarak, kafa görüntüleme için esnek alttaş kullanılarak yaklaşık 1 GHz'de çalışan başka bir anten dizisi [8]'de sunulmuştur. Ayrıca, her iki tasarım da kafa ve antenler arasında daha iyi empedans uyumu için eşleştirme katmanı içermektedir. Fakat bu eşleştirme katmanı antenin kullanıcı kabul edilebilirliğini düşürmektedir. Bu bildiride, 403 MHz MICS bandında çalışan bir anten tasarlanmış ve insan bedenine herhangi bir eşleştirme katmanı olmaksızın doğrudan yerleştirilmiştir. Bu çalışmadaki asıl yenilik, YDEA kullanarak düşük çalışma frekansına rağmen kabul edilebilir boyutlara sahip beden üstü anten üretiminde yatmaktadır.

2. Yüksek Dielektrik Sabitli Esnek Alttaş Üretimi ve Anten Tasarımı

YDEA'nın bileşen malzemeleri, RTV-2 silikon ve mikro ölçekli grafit tozudur. RTV-2 silikon bazı ve grafit tozu 15 : 6 kütle oranında karıştırılır. Ardından karışım, 15 : 0.2 (RTV-2 silikon bazı:kürlenme kimyasalı) kütle oranında kürlenme kimyasalıyla karıştırılarak son haline getirilir. Hazırlanan silikon-grafit karışımı kalıba dökülerek 8-10 saat kürlenmeye bırakılır. YDEA'nın dielektrik sabiti ve kayıp faktörü, Speag DAKS 3.5 dielektrik ölçüm kiti ile oda sıcaklığında, 405 MHz'de sırasıyla 11.44 ve 0.021 olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. (a) Önerilen eş düzlemlı dalga kılavuzu beslemeli halka antenin izometrik üst görünümü ve milimetre (mm) cinsinden boyutları. (b) Üretilen anten.

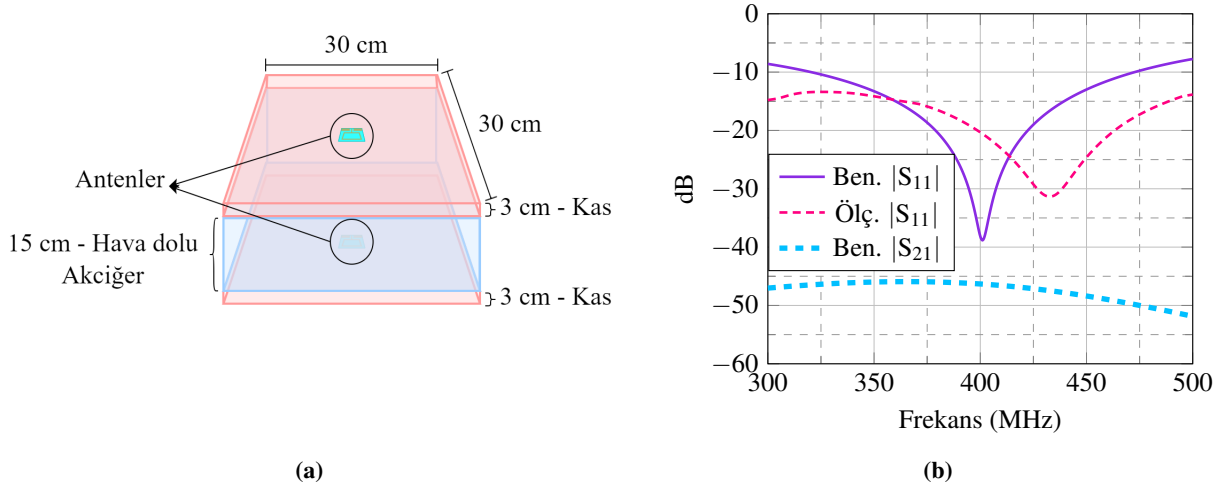
Bu çalışmada, üretilen antenin doğrudan anteriyör ve posteriyör torsoya yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Antenin, beden dokularından kaynaklanan yüksek dielektrik yük altında çalışması beklendiğinden dolayı, halka anten yapısı tercih edilmiştir. Şekil 1(a), tasarlanan anteni ve antenin boyutlarını göstermektedir. Üretilen anten Şekil 1(b)'de verilmiştir. Alttaş kalınlığının 1 mm seçilmesiyle antenin yakın alanının kontrol edilebilir bir ortamda olması amaçlanmış ve üsttaş eklenimi ile ekstra minyatürizasyon hedeflenmiştir. Tasarım sürecinde alttaşın dielektrik sabiti 10 olarak kabul edilirken, dielektrik kayıp faktörü ($\tan\delta$) 0.03 olarak alınmıştır. Çalışma frekansı ve esneklik özelliği dikkate alındığında anten kabul edilebilir boyutlardadır.

3. Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

Benzetimler için ANSYS HFSS kullanılarak Şekil 2(a)'da gösterilen model hazırlanmıştır. 3 cm kas dokusu blokları arasına yerleştirilen 15 cm hava dolu akciğer bloğu kullanılırken ölçüm ise posteriyör torsoda alınmıştır. Benzetim sonucu ve ölçülen geri dönüş kaybı ($|S_{11}|$) grafikleri ve iletim cevabı ($|S_{21}|$) Şekil 2(b)'de gösterilmiştir. Önerilen tasarım, MICS bandından daha geniş bir aralıkta kabul edilebilir bir yansımaya performansına sahiptir ve 403 MHz'de empedans eşleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bant genişliğinin fazla olması anten empedans eşleşmesindeki bozulmaya karşı bağışıklığı garanti etmektedir. Ayrıca, 10 mW'lık bir giriş gücü için çalışma frekansında benzetimi yapılan 1 g ortalama SAR değeri, Avrupa Standartları'nda belirlenen 2 W/kg sınırına uygun olarak 0,3442 W/kg'dır.

4. Sonuç

Bu bildiri, MICS bandında çalışan bir beden üstü halka anten tasarımı sunmaktadır. Sunulan anten, dielektrik sabiti yaklaşık 10 olan özgün bir YDEA kullanılarak üretilmiştir. YDEA; esneklik, minyatürizasyon ve yakın alan etkilerine karşı bağışıklık sağlamaktadır. Birbirine uyumlu olduğu görülen benzetim ve ölçüm sonuçlarıyla



Şekil 2. (a) Benzetim modeli. (b) Benzetim ve ölçüm ile elde edilen geri dönüş kaybı ve 21 cm yayılım uzunluğundaki iletim katsayısı.

antenin beden içi iletişimi için uygun olduğu görülmektedir. Gelecekte, önerilen tasarım akıllı implantları ve beden üzerindeki sensörleri takip etmek ve farklı tıbbi durumları teşhis etmek için kullanılabilir.

Kaynaklar

- [1] A. Kumar ve R. K. Badhai, "A dual-band on-body printed monopole antenna for body area network," 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, Hindistan, 2017, s. 1-5, doi: 10.1109/ICISC.2017.8068696.
- [2] S. Dumanli, "Challenges of wearable antenna design," 2016 46th European Microwave Conference (EuMC), Londra, Birleşik Krallık, 2016, s. 1350-1352, doi: 10.1109/EuMC.2016.7824602.
- [3] M. A. B. Abbasi, S. S. Nikolaou, M. A. Antoniadis, M. Nikolić Stevanović ve P. Vryonides, "Compact EBG-Backed Planar Monopole for BAN Wearable Applications," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, cilt 65, sayı 2, s. 453-463, Şubat 2017, doi: 10.1109/TAP.2016.2635588.
- [4] G. -P. Gao, B. Hu, S. -F. Wang ve C. Yang, "Wearable Circular Ring Slot Antenna With EBG Structure for Wireless Body Area Network," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, cilt 17, sayı 3, s. 434-437, March 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2794061.
- [5] A. Y. I. Ashyap ve arkadaşları, "Fully Fabric High Impedance Surface-Enabled Antenna for Wearable Medical Applications," in IEEE Access, cilt 9, s. 6948-6960, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3049491.
- [6] Q. H. Dang, S. J. Chen, D. C. Ranasinghe ve C. Fumeaux, "A Frequency-Reconfigurable Wearable Textile Antenna With One-Octave Tuning Range," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, cilt 69, sayı 12, s. 8080-8089, Aralık 2021, doi: 10.1109/TAP.2021.3083826.
- [7] A. S. M. Alqadami, A. Zamani, A. Trakic ve A. Abbosh, "Flexible Electromagnetic Cap for Three-Dimensional Electromagnetic Head Imaging," in IEEE Transactions on Biomedical Engineering, cilt 68, sayı 9, s. 2880-2891, Eylül 2021, doi: 10.1109/TBME.2021.3084313.
- [8] D. O. Rodriguez-Duarte, J. A. Tobon Vasquez, S. De Luque Arias, R. Scapaticci, L. Crocco ve F. Vipiana, "A Portable Microwave Scanner for Brain Stroke Monitoring: Design, Implementation and Experimental Validation," 2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Madrid, İspanya, 2022, s. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP53622.2022.9769048.
- [9] S. Koulouridis, G. Kiziltas, Y. Zhou, D. J. Hansford ve J. L. Volakis, "Polymer-Ceramic Composites for Microwave Applications: Fabrication and Performance Assessment," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, cilt 54, sayı 12, s. 4202-4208, Aralık 2006, doi: 10.1109/TMTT.2006.885887.