

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 13.10.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 29.12.2017	Doi 10.16984/saufenbilder.343739	

Wi-Fi ve Bluetooth Frekansları için özgün PIF Anten içeren Akıllı Saat Tasarımı ve El Modeli Üzerinde Analizi

Muhammet Hilmi Nisanci^{*1}, Ahmet Yahya Teşneli², Nigar Berna Teşneli³, Emre Gürler⁴

ÖZ

Sunulan çalışmada Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerini aynı anda destekleyen, düzlem toprak yüzeyine sahip özgün düzlemsel ters F anten (PIF Anten) tasarımı ve elektriksel simülasyonları yapılmıştır. Özgün anten modelinin fiziksel parametreleri 2.47 GHz çalışma frekansı için elde edilmiş ve 3cm x 3cm x 1cm boyutlarına sahip akıllı saat içine konumlandırılmıştır. PIF anten ve akıllı saat için yansıma katsayısının frekansla değişimi incelenmiş ve akıllı saat modelinin antenin performansında önemli bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Daha sonra yetişkin bir insan eli modelinin üzerinde analiz edilen tasarımın üç farklı aşaması için 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: anten tasarımı, PIF anten, Wi-Fi, bluetooth, akıllı saat, el modeli

A Smartwatch Design with a Noval PIF Antenna for Wi-Fi and Bluetooth Frequencies and Analysis on a Human Hand Modal

ABSTRACT

In the presented study, the design and electrical simulations of a noval planar inverted F antenna (PIFA) with plane ground surface supporting both Wi-Fi and Bluetooth technologies were performed. The physical parameters of the noval antenna model were obtained for the 2.47 GHz operating frequency, and the antenna was positioned in a smartwatch with dimensions of 3cm x 3cm x 1cm. The variation of reflection coefficient due to frequency for PIFA and smartwatch was investigated and it was seen that the smartwatch model does not cause a significant change in antenna performance. Then, 2D and 3D directivity patterns are obtained and compared for three different steps of the design that is analysed on an adult human hand.

Keywords: antenna design, PIF antenna, Wi-Fi, bluetooth, smartwatch, hand modal

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - nisanci@sakarya.edu.tr

² Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - atesneli@sakarya.edu.tr

³ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - btesneli@sakarya.edu.tr

⁴ Sakarya University, Department of Electrical & Electronic Engineering, Sakarya - b130100304@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

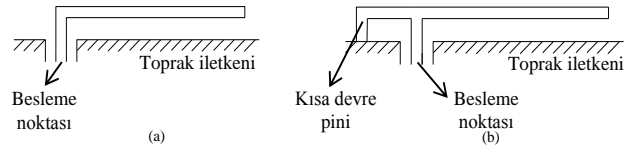
Önceleri askeri alanlarda kullanılan giyilebilir teknolojiler spor, sağlık ve oyun sektörlerinde yaptıkları çıkışla günlük hayatta da yaygın olarak yer almaya başlamışlardır [1]-[3]. Adından da anlaşılacağı gibi bu teknolojiler normalde elde tutulan teknolojik aygıtları gündelik hayatta kullandığımız saat, gözlük, bileklik, spor aksesuarları vb. ürünlere yerleştirerek bu ürünlerin yepyeni işlevler kazanmalarına ve birçok farklı ihtiyacı karşılamalarına olanak sağlamaktadırlar. Giyilebilir teknolojilerin başında akıllı saatler, akıllı bileklikler ve bantlar, akıllı gözlükler, akıllı takılar ve akıllı lensler gelmektedir [3]-[5]. Bu cihazlar içinde bulundukları sensörlerden aldıkları verileri Wi-Fi veya bluetooth gibi kablosuz bağlantılarla akıllı telefonlara aktarmaktadır [6]-[8]. Bu çalışmada akıllı saatler için Wi-Fi ve bluetooth teknolojilerini aynı anda destekleyen özgün PIF anten tasarımı sunulmuş, önerilen antenin akıllı saate entegre edilmesi durumunda performans değişimi frekansa bağlı yansıma katsayıları dikkate alınarak incelenmiştir. Tasarımlarda yüksek performanslı bir elektromanyetik simülasyon programı olan Computer Simulation Technology (CST) ticari paket programı kullanılmıştır [9]. Akıllı saat modeli daha sonra insan kolu üzerine konumlandırılmış ve çalışma frekansındaki akım dağılımlarından üç boyutlu (3D) yönlendiricilik örüntüleri elde edilmiştir.

2. TASARIM VE ANALİZLER (DESIGN AND ANALYSIS)

Mobil uygulamalarda sıklıkla kullanılan PIF antenler Şekil 1b'de gösterildiği gibi iki tane ters L-tipi antenin (Planar Inverted L-Antenna, PIL) uç uca eklenmesi ile elde edilir. Böylece PIL antenlerin düşük olan giriş dirençleri artırılmış olur ve antenin empedans uyumu ek bir devre gereksinimi olmadan besleme noktasının konumuna bağlı olarak sağlanır [10].

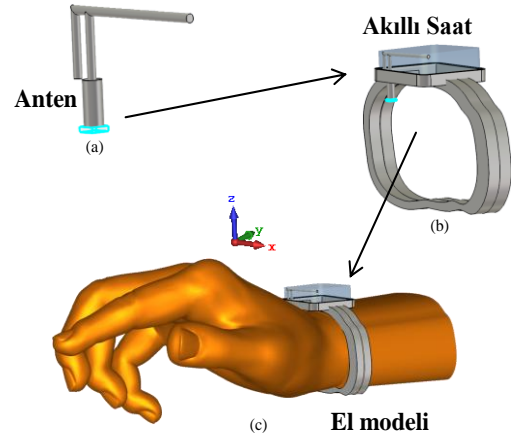
PIF antenlerin elektriksel karakteristikleri ve fiziksel parametrelerinin çalışma frekansı üzerindeki etkileri detaylı olarak çalışılmıştır [10]-[13]. Literatürde toprak iletkeni olarak tel yerine düzlem kullanılması ile antenin çalışma frekansının arttırıldığı, kısa devre pininin antenin uç kısmına konumlandırılması ile antenin

boyutunun küçüldüğü ve çapının büyütülmesi ile antenin çalışma frekansının düşürüldüğünü gösteren çalışmalar mevcuttur [10], [12]-[13].

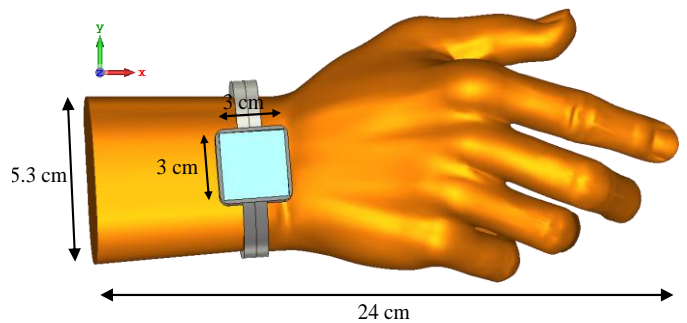


Şekil 1. Düzlem toprak yüzeyine sahip (a) ters L anten, (b) ters F anten ((a) inverted L antenna, (b) inverted F antenna with a planar ground surface)

Sunulan çalışmada tasarımlar Şekil 2'de gösterildiği gibi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada sadece PIF antenin tasarımı üzerinde durulmuş ve istenilen çalışma frekansı için antenin fiziksel parametre değerleri elde edilip anten performansı incelenmiştir. İkinci aşamada ise elde edilen PIF anten akıllı saatin içine yerleştirilip saatin anten performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Son aşamada ise tasarımları ve elektriksel analizleri yapılan akıllı saat insan kolu üzerine konumlandırılıp çalışma frekansındaki uzak alan sonuçlarından antenin performansı incelenmiştir.



Şekil 2. Tasarımları yapılan (a) PIF anten, (b) akıllı saat ve (c) akıllı saatin konumlandırıldığı el modeli (The designed (a) PIF antenna, (b) smartwatch and (c) hand model in which the smartwatch is positioned)

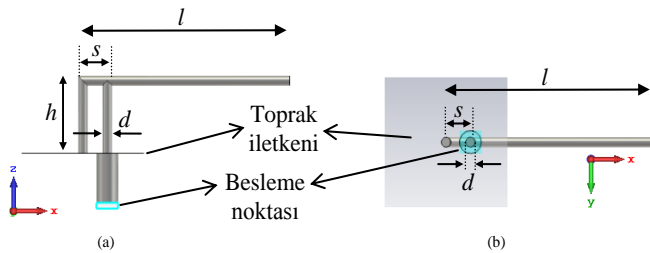


Şekil 3. Akıllı saat ve el modelinin fiziksel boyutları (Physical dimensions of the smartwatch and hand model)

2.1. 2.47 GHz Wi-Fi ve Bluetooth PIF Anten Tasarımı (2.47 GHz Wi-Fi and Bluetooth PIF Antenna Design)

Akıllı telefonlar gibi günlük hayatın vazgeçilmezleri arasında hızla yer almaya başlayan akıllı saatler, bileklikler ve bantlar benzeri giyilebilir teknoloji içeren ürünler Wi-Fi, bluetooth, GPS, GSM vb. birçok haberleşme frekanslarında çalışan antenler içermektedir. Ancak söz konusu ürünlerin küçük fiziksel boyutlara sahip olması antenlerin tasarımları ve konumlandırılmalarını oldukça zor ve önemli hale getirir. Yapılan çalışmada Şekil 3'te boyutları verilen (3cm x 3cm x 1cm) akıllı saat için merkez frekansı 2.47 GHz, bant genişliği 3.2% (2.43-2.51 GHz) olan, koaksiyel konnektör ile beslenen, iletken yüzey üzerine yerleştirilmiş bir PIF anten tasarımı önerilmektedir. Antenin bant genişliği hem bluetooth hem de Wi-Fi haberleşme frekanslarını kapsayacak şekilde seçilip saatin fiziksel boyutlarının küçük olması nedeni ile kısıtlı olan alana tek antenli çözüm üretilerek avantaj sağlanmaktadır.

Antene ait tasarım parametreleri; antenin besleme boşluğu (s), antenin toprağa uzaklığı (h), besleme iletkeninin çapı (d) ve anten uzunluğu (l) olmak üzere saate yerleştirilecek PIF anten geometrisi Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Besleme iletkeninin çapı ve anten uzunluğuna bağlı olarak PIF antenlerin çalışma frekansı yaklaşık olarak Eşitlik 1'den hesaplanabilir [10]. Ancak literatürde Eşitlik 1'de kullanılmayan antenin besleme boşluğu ve antenin toprağa uzaklığı parametrelerinin empedans uyumunun rezonans frekansı civarında sağlanabilmesi için önemli olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur [10]-[13]. Bu nedenle önerilen PIF antenin 2.47 GHz çalışma frekansı için parametre değerleri CST programının "Parameter Sweep" menüsü kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Düzlem toprak yüzeyine sahip PIF anten geometrisi ve parametreleri (a) yan görünüş, (b) alt görünüş. (PIF antenna geometry with planar ground surface and parameters (a) side view, (b) bottom view.)

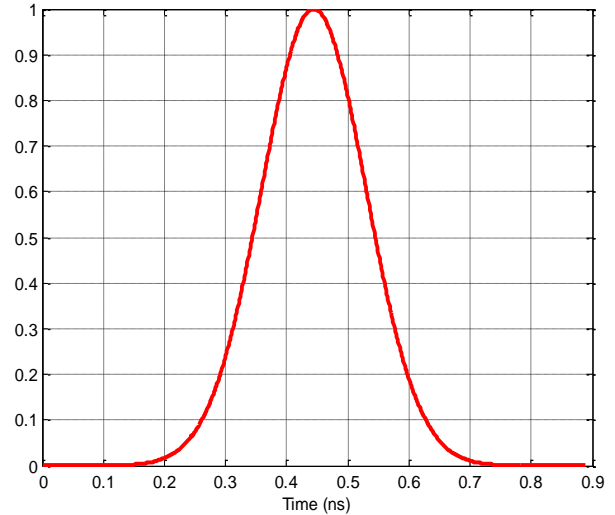
$$f_r = \frac{c}{4(\ell + d)} \quad (1)$$

Rezonans frekansında 50 ohm giriş empedansı için elde edilen parametre değerleri Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. 2.47 GHz çalışma frekansı için PIF antenin parametre değerleri. (Parameter values of PIF antenna for 2.47 GHz operating frequency.)

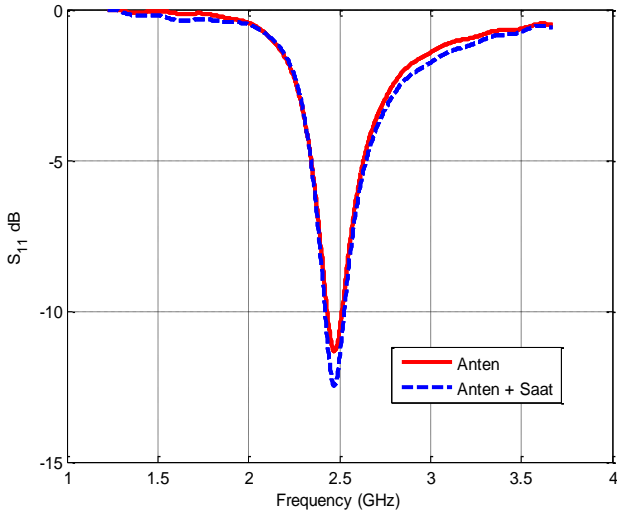
Parametre	Açıklama	Değer (mm)
s	Besleme boşluğu	4,42
h	Antenin toprağa uzaklığı	9,615
d	Besleme iletkeninin çapı	1,23
l	Anten uzunluğu	26,615
t	Koaksiyel beslemenin uzunluğu	6,124

Parametre değerleri Tablo 1'de verilen PIF anten, uyarım sinyali olarak Şekil 5'te verilen Gauss darbesi kullanılarak ve anten beslemesi dalga kılavuzu portu ile koaksiyel konnektörden yapılarak modellenmiş ve simülasyonlar sonucunda frekansa bağlı giriş yansımaya katsayısı (S_{11}) değişimi elde edilmiştir. Simülasyonlar için sınır koşulları açık alan olarak seçilmiş ve frekans aralığı antenin çalışma frekansını da kapsayacak şekilde ayarlanmıştır.



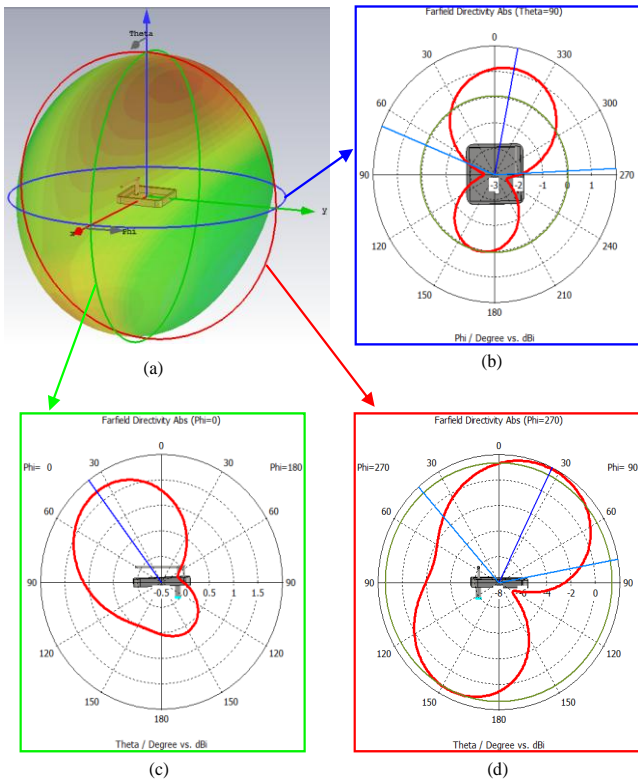
Şekil 5. Simülasyonlarda kullanılan zamana bağlı uyarım sinyali. (Time-dependent excitation signal used in the simulations)

Antenin frekansa bağlı giriş yansımaya katsayısı değerleri Şekil 6'da verildiği gibi elde edilmiştir. Bu sonuca göre tasarımı yapılan antenin çalışma frekansı hedeflendiği gibi $f_0 = 2.47$ GHz'dir. Ayrıca antenin -10 dB'de bant genişliği yaklaşık olarak 80 MHz'dir.



Şekil 6. Tasarlanan PIF antenin ve akıllı saatin frekansa bağlı yansımaya katsayılarının karşılaştırılması. (Comparison of the frequency-dependent reflection coefficients of the designed PIF antenna and smartwatch.)

Tasarlanan antenin karakteristiğinin tam olarak anlaşılabilmesi için antenin akıllı saatin içine yerleştirilmeden önceki yönlendiricilik örüntüsü de incelenmiştir. Şekil 7a'da çalışma frekansı için verilen 3D yönlendiricilik örüntüsünün $\theta = 90^\circ$, $\Phi = 0^\circ$ ve $\Phi = 90^\circ$ durumlarına karşılık gelen enine ve boyuna kesitleri alınarak sırası ile xy , xz ve yz düzlemleri için 2D örüntüleri elde edilmiştir



Şekil 7. Tasarlanan PIF antenin (a) 3D yönlendiricilik örüntüsü, (b) xy , (c) xz ve (d) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntüleri. ((a) 3D directivity pattern, (b) xy , (c) xz and (d) yz planes 2D directivity patterns of the designed PIF antenna)

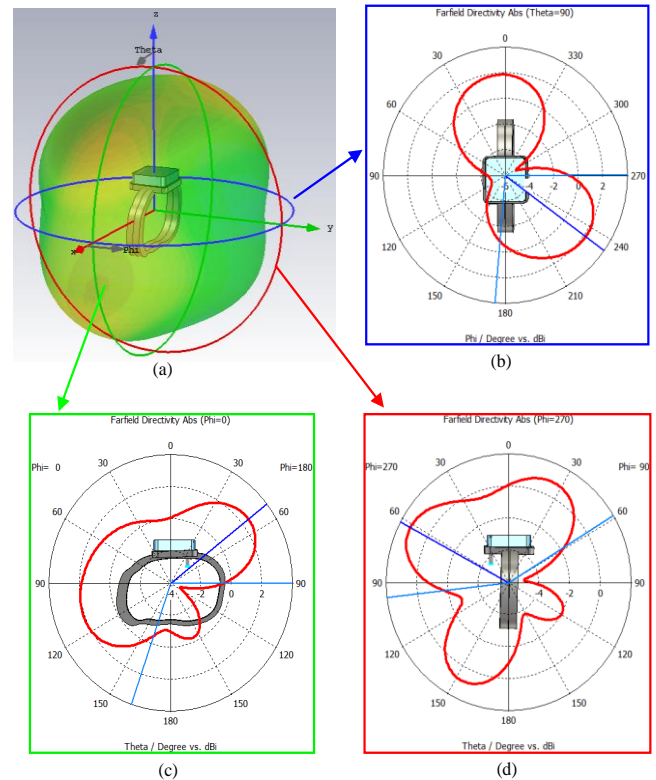
Antenin maksimum yönlendiricilik değerleri xy , xz ve yz düzlemleri için sırası ile $\Phi = 349.0^\circ$ da

1.17 dBi, $\theta = 26.0^\circ$ da 1.87 dBi ve $\theta = 37.0^\circ$ da 1.71 dBi'dir. Ayrıca Şekil 7b incelendiğinde, önerilen PIF antenin örüntüsünün çok yönlü olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar gerçekleştirilen antenin tasarım amacına uygun olarak mobil sistemler için kullanılabilir bir anten olduğunu göstermektedir.

2.2. Akıllı Saat Tasarımı ve PIF Antenin akıllı Saate Konumlandırılması (Smartwatch Design and Positioning of the PIF Antenna on the Smartwatch)

Çalışmanın ikinci aşamasında istenilen çalışma frekansı için tasarımı yapılan anten akıllı saat modeli içine yerleştirilerek elektriksel analizleri yapılmıştır.

Bunun için öncelikle, Şekil 2b'de verilen 3D saat modeli için 1 - 4 GHz frekans aralığında yansımaya katsayısı değerleri simülasyonlar ile elde edilmiştir. Anten yerleştirilmiş 3D saat modeli için frekansa bağlı yansımaya katsayısı grafiği PIF anten ile Şekil 6'da karşılaştırılmış ve tasarlanan PIF antenin akıllı saate yerleştirilmesi durumunda çalışma frekansında herhangi bir değişiklik olmadığı, antenin tasarım hedefine uygun olarak $f_0 = 2.47$ GHz'de -12.60 dB'lik giriş yansımaya katsayısı değeri ile rezonansa geçtiği görülmüştür.

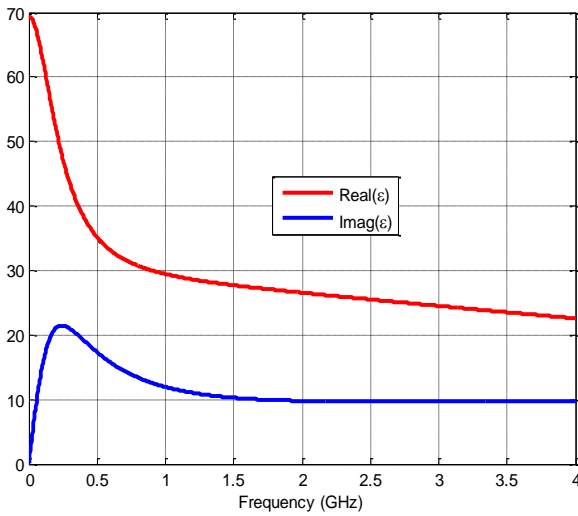


Şekil 8. Akıllı saatin (a) 3D yönlendiricilik örüntüsü, (b) xy , (c) xz ve (d) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntüleri. ((a) 3D directivity pattern, (b) xy , (c) xz and (d) yz planes 2D directivity patterns of the smartwatch)

Antenin saat içine yerleştirilmesinden sonra tek başına anten için yapıldığı gibi anten yerleştirilmiş saat modeli için de 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri incelenerek yapının karakteristiği ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Elde edilen yönlendiricilik örüntüleri Şekil 8'de verildiği gibidir. Antenin maksimum yönlendiricilik değerlerinin xy , xz ve yz düzlemleri için sırası ile $\theta = 234.0^\circ$ 'da 2.12 dBi, $\theta = 62.0^\circ$ 'da 1.26 dBi ve $\theta = 52.0^\circ$ 'da 2.47 dBi olduğu görülmektedir.

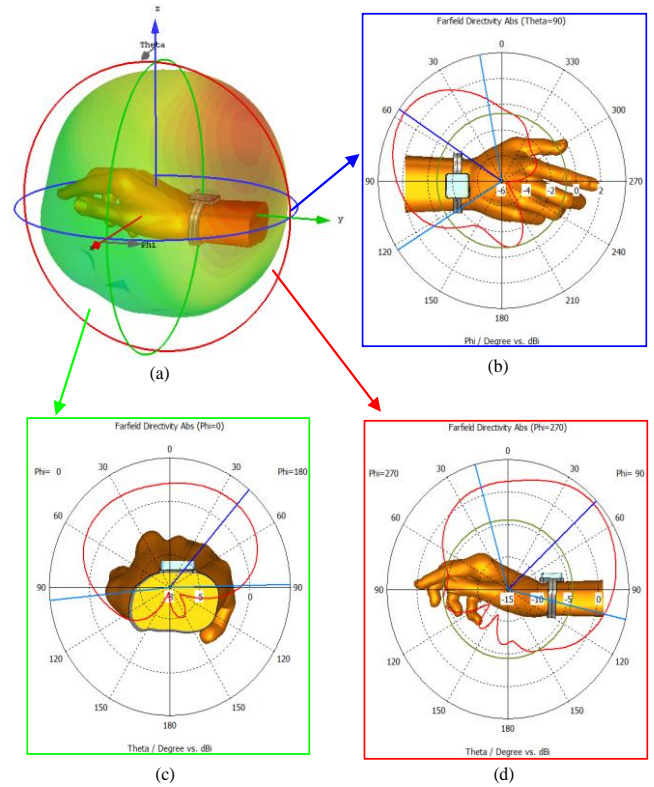
2.3. Akıllı Saatin El Modeli Üzerine Konumlandırılması (Positioning of the smartwatch on the hand model)

Çalışmanın son aşamasında, tasarımları yapılan ve elektriksel performansı simülasyon sonuçları ile belirlenen üzerine anten yerleştirilmiş akıllı saat Şekil 3'te verilen yetişkin bir insan elinin fiziksel ölçülerine sahip IXB-050 R&L CTIA 3D el modelinin üzerine konumlandırılmıştır [9],[14]. El modelinin frekansa bağlı kompleks elektriksel geçirgenliği Şekil 9'da verilmektedir.

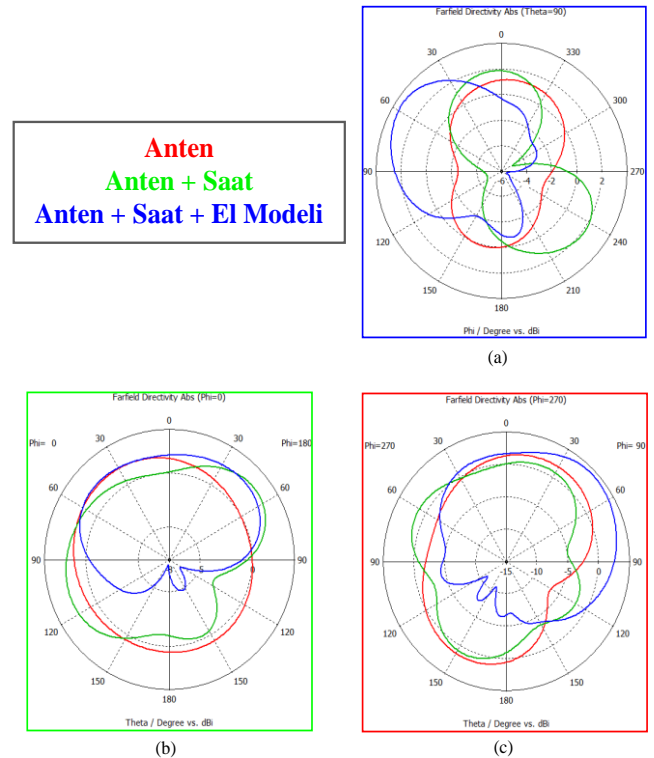


Şekil 9. El modelinin frekansa bağlı kompleks elektriksel geçirgenliği. (Frequency-dependent complex permittivity of the hand model.)

El modeli üzerindeki saat için simülasyonlar ile çalışma frekansında elde edilen 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Buradan, antenin maksimum ışın yaptığı yöndeki yönlendiricilik değerlerinin xy , xz ve yz düzlemleri için sırası ile $\theta = 57.0^\circ$ 'da 3.72 dBi, $\theta = 48.0^\circ$ 'da 4.42 dBi ve $\theta = 43.0^\circ$ 'da 1.93 dBi olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Üzerine saat yerleştirilen el modelinin (a) 3D yönlendiricilik örüntüsü, (b) xy , (c) xz ve (d) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntüleri. ((a) 3D directivity pattern, (b) xy , (c) xz and (d) yz planes 2D directivity patterns of the hand model in which the smartwatch is positioned)

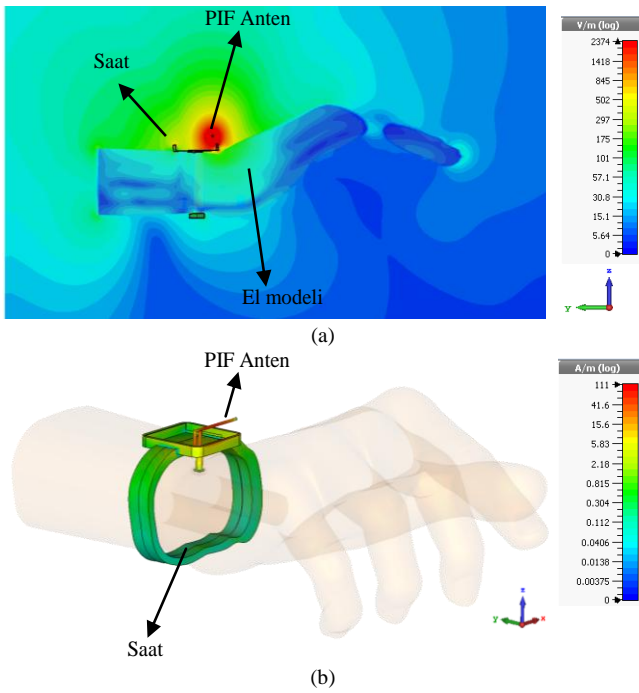


Şekil 11. (a) xy , (b) xz ve (c) yz düzlemlerinde oluşan 2D yönlendiricilik örüntülerinin karşılaştırılması. (Comparison of the (a) xy , (b) xz and (c) yz planes 2D directivity patterns.)

Başlangıçta da belirtildiği gibi bu çalışma PIF antenin tasarımı, antenin akıllı saatin içine yerleştirilmesi ve akıllı saatin insan eli üzerine konumlandırılması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Sonuç olarak, her aşama için çalışma frekansında oluşan xy , xz ve yz düzlemlerine ait yönlendiricilik örüntüleri Şekil 11'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 11b ve Şekil 11c incelendiğinde akıllı saat kolun üzerinde iken kolun alt kısımlarında yönlendiriciliğin azaldığı açıkça görülmektedir.

Son olarak antenin çalışma frekansında Şekil 2c'de verilen 3D model üzerinde oluşan elektrik alan şiddeti dağılımı ve yüzey akım yoğunluğu sırası ile Şekil 12a ve 12b'de gösterilmiştir.

Beklendiği gibi, Şekil 12a ve 12b'den yüksek elektrik alan şiddetinin ve akım yoğunluklarının anten üzerinde ve antene yakın bölgelerde oluştuğu, antenden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 12. Üzerine akıllı saat yerleştirilen el modelinin (a) elektrik alan dağılımı ve (b) yüzey akım yoğunluğu. ((a) electric field distribution and (b) surface current density of the smartwatch placed on the hand model)

3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada Wi-Fi ve bluetooth teknolojilerinin ikisini de destekleyecek şekilde 2.47 GHz çalışma frekansına, yaklaşık 80 MHz bant genişliğine ve 1.87 dBi maksimum yönlendiriciliğe sahip bir özgün PIF anten tasarlanarak giriş yansımaya katsayısının frekansla değişimi belirlenmiş, 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri elde edilmiştir.

Daha sonra PIF anten akıllı saate entegre edilerek oluşturulan model için tüm analizler tekrarlanmış ve saat üzerindeki antenin rezonans frekansı aynı kalırken yansıma katsayısının 1.17 dB iyileştiği gözlemlenmiştir. Son olarak akıllı saatin insan eli üzerinde kullanımı modellenerek 2D ve 3D yönlendiricilik örüntüleri, elektrik alan şiddeti dağılımları ve yüzey akım yoğunluğu değerleri incelenmiştir. Yüksek elektrik alan şiddeti ve akım yoğunluğu değerleri anten üzerinde ve antene yakın bölgelerde oluşurken antenden uzaklaştıkça azalmaktadır. Maksimum yönlendiricilik akıllı saatin ve el modelinin tasarıma eklenmesi ile artış göstermiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] K. Ito, H. Y. Lin, C.H. Lin, "Novel small antennas for body-centric wireless communications," Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC), Kaohsiung, Taiwan, 4-7 Dec. 2012.
- [2] D. Wu, S. W. Cheung and Q. L. Li, "Slot antenna for all-metal smartwatch applications," European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, 10-15 April 2016.
- [3] A. Kavas and E. Kirik, "Antenna design for smart devices," Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, Turkey, 16-19 May 2016
- [4] Y. F. Zheng, G. H. Sun, Q. K. Huang, "Wearable PIFA antenna for smart glasses application," IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM), Guangzhou, China, 23-25 Feb. 2016.
- [5] J. Vian, Z. Popovic, "Smart lens antenna arrays," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Phoenix, AZ, USA, 20-24 May 2001.
- [6] W. S. Chen, T. W. Chiou and K. L. Wong, "Compact PIFA for GSM/DCS/PCS triple-band mobile phones," Antennas and Propagation Society, IEEE International Symposium, 2002. , vol. 4, pp. 528-531, June 2002.
- [7] F. A. Assadallah, J. Costantine, Y. Tawk, "A multiband and reconfigurable PIFA for mobile devices," IEEE International Symposium on Antennas and Propagation

- (APSURSI), Fajardo, Puerto Rico, 26 June - 1 July 2016.
- [8] G. Punitha, B. Saranya, V. Swathi, D. Mohanageetha, "A Multiband Slot Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Systems," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 3, March 2016.
- [9] Computer Simulation Technology, CST Studio Suite 2017, User Guide, CST, Darmstadt, Germany, 2017, available at www.cst.com.
- [10] C. C. Chiau, "Study of the Diversity Antenna Array for the MIMO Wireless Communication Systems," Department of Electronic Engineering, University of London United Kingdom, 2006.
- [11] P. Song, P. S. Hall, H. Ghafouri-Shiraz, and D. Wake, "Triple-band planar inverted F antenna," Antennas and Propagation Society, IEEE International Symposium 1999, vol. 2, pp. 908-911, 1999.
- [12] Z. D. Liu, P.S. Hall, D. Wake, "Dual-frequency planar inverted-F antenna," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 45, no. 10, pp. 1451-1458, Oct 1997.
- [13] S. Shulteis, C. Waldschmidt, C. Kuhnert and W. Wiesbeck, "Design of a miniaturized dual band planar inverted F antenna," IEEE International Symposium on Antenna and Propagation Society, Monterey, CA, USA, June 2004.
- [14] IndexSAR, Indexsar New CTIA compliant UWPDA hand IXB-050, Surrey, England, 2017, available at www.indexsar.com.