



ISM 2.45 GHz MİKROŞERİT İMPLANT ANTEN TASARIMI VE DOKU İÇİ ÖLÇÜMLERİ

Fatih ALPER*, Özlem COŞKUN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>İmplant Anten, Doku İçi Uygulamalar, Biyoteleometri, Mikroşerit Anten.</i>	Bu çalışmada doku içi uygulamalar için kullanılabilir özgün bir mikroşerit implant anten tasarımı önerilmiştir. Anten boyutu 30 mm*28 mm*1.59 mm olarak tasarlanmıştır. Tasarımında dielektrik sabiti 4.3, kayıp tanjantı 0.025 ve yüksekliği 1.52 mm olan FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. İmplant antenin analizi CST Microwave Studio programında gerçekleştirilmiştir. İstenilen değerler elde edildikten sonra ise doku modeli oluşturularak deri doku içerisine implant anten yerleştirilmiştir. Tasarlanan mikroşerit implant antenin ISM bandında 2.45 GHz'de geri dönüş kaybı ve SAR değeri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda doku içi ve doku dışı sırasıyla geri dönüş kaybı -18 dB ve -33 dB, SAR değeri ise 153 W/kg olarak gözlemlenmiştir. Daha sonra antenin baskı-devre teknolojisi ile gerçekleştirilmesi yapıp, deri dokusunun özelliklerini gösteren bir fantom sıvı oluşturulmuş ve anten bu sıvı içine yerleştirilmiştir. Son olarak da tasarımı yapılan antenin simülasyon ve deney sonuçları değerlendirilerek literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması yapılmıştır. Deri dokusu içerisindeki ölçüm sonuçlarının da benzetim sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

ISM 2.45 GHz MICROSTRIP IMPLANT ANTENNA DESIGN AND IN-TISSUE MEASUREMENTS

Keywords	Abstract
<i>Implant Antenna, In-Tissue Application, Biotelemetry, Microstrip Antennas.</i>	In this study, a micro-strip implant antenna that can be used in-tissue applications was proposed. Antenna size was designed as 30mm * 28mm * 1.59mm. In the design, a FR4 substrate material was used whose permittivity is 4.3, loss tangent is 0.025 and height is 1.52 mm. The analysis of the implant antenna was simulated in the CST Microwave Studio program. After obtaining the desired performance, a tissue model was created and an implant antenna was placed in the skin tissue. Return loss and SAR value of the designed antenna were measured in the 2.45 GHz ISM band. As a result, return losses were observed as -18 dB and -33 dB and SAR was 153 W / kg inside and outside the tissue respectively. Then, the antenna was manufactured with PCB and a phantom liquid was created that provides the electromagnetic properties of the skin tissue and the antenna was placed in this liquid. Finally, the simulation and experiment results of the designed antenna were evaluated and compared with literature studies. It has been observed that the measurement results in the skin tissue are well aligned with the simulation results.

Alıntı / Cite

Alper, F., Coşkun, Ö., (2020). ISM 2.45 GHz Mikroşerit İmplant Anten Tasarımı ve Doku İçi Ölçümleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 541-551.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. Alper, 0000-0003-3195-9727
Ö. Coşkun, 0000-0001-8800-4433

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.02.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.03.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.04.2020
Yayın Tarihi / Published Date	25.06.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: fatihalper64@gmail.com, +90-545-684-0323

1. Giriş (Introduction)

Telemetri bir sistemin uzaktan ulaşılamayan bir bölgesini kontrol edilmesi ve izlenmesidir. İnsanlar ve hayvanlar için kullanılan telemetriye ise biyotelemetri adı verilmektedir. Biyotelemetri sistemlerinin temelleri, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA tarafından 1958 yılında ortaya çıkarılmıştır. Uzaya gönderilen astronotların fizyolojik parametrelerinin, yeryüzünde bulunan sağlık çalışanlarına iletilmesi için yapılan araştırmalar biyotelemetri sistemlerinin ana gövdesini oluşturmuştur (Singh, 2005). Aynı yıl içerisinde Ake Senning'in ilk kez bir kalp pilini insan vücudu içerisine yerleştirilmesi de implant edilebilir biyomedikal cihazların sivil amaçlı kullanımı olarak günlük yaşamımızda yer almıştır (Hall ve Hao, 2012).

Biyotelemetri sistemlerinin ana görevi ise, insan vücudundaki hayati parametrelerin uzaktan takibini yapmak ve doktorlara hastalıkların teşhis ve tedavisinde yardımcı olmaktır. Günümüz biyotelemetri uygulamalarında EKG, EMG, EEG, kan basıncı, kan akışı ve vücut sıcaklığı gibi birçok değerın uzaktan ölçülmesi mümkündür. Uygulama alanlarındaki bu çeşitlik biyotelemetri sistemlerinde kullanılacak olan biyomedikal cihazların farklılaşmasını sağlamak ve cihazların tasarımlarını gün geçtikçe değiştirmektedir. Özellikle hastalıkların önceden teşhisinin oldukça önem kazandığı son yıllarda biyotelemetri uygulamalarının gereksinimlerini karşılayacak yenilikçi elemanların (anten, mikroışlemci/ mikrodenetleyici, sensör gibi) geliştirilmesine/ üretilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerin önemli bileşenlerinden biri olan anten elemanı, verilerin iletilmesini sağlarken, sistemin güçlendirilmesinde de oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda biyo-uyumlu ve uygulama gereksinimlerini karşılayacak minyatür yapıları anten tasarımlarının geliştirilmesi tıbbi sistemin başarımı açısından üstesinden gelinmesi gereken önemli bir parametredir (Topsakal, 2009, Armağan ve Kahriman, 2016).

Tıbbi uygulamalarda kullanılan anten tasarımları genel olarak, yutulabilir, giyilebilir ve implant antenler olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Yutulabilir antenler, vücut içindeki değişkenlik gösteren bazı parametrelerin (örneğin, ısı) aktarılmasında ve kolon kanserinin teşhisinde kullanılmaktadır (Yang vd., 2008). Giyilebilir antenler ise vücut yüzeyine yerleştirilerek kalp ritmi, kandaki oksijen miktarı ve kandaki şeker seviyesi gibi değerlerin ölçümünde kullanılabilirler (Lee, 2015). İmplant antenler ise vücut içerisinde belirli bir konuma sabit olarak yerleştirilerek mikrodalga görüntüleme, kalp ritim bozuklukları, kanser teşhis ve tedavisinde kullanılmaktadır (Sondas vd., 2014).

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Gözel vd. (2019), vücuda yerleştirilen biyomedikal antenler üzerine çalışılmıştır. Bir anten tasarımı yapılarak, bu anten simüle edilmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere rezonans frekansı 868 MHz UHF bandında, H şeklinde bir mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan antende alt yapı malzeme olarak FR4 kullanılmıştır. Simülasyon için oluşturulan doku üç farklı katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar kas, yağ ve deriden meydana gelmektedir. Anten bu doku örneğinde deri ile yağ katmanını sınırındadır. Simülasyon sonucuna göre SAR değeri CST simülasyon programında 396,8 W/kg olarak hesaplanmıştır. Çalışmada diğer çalışmalarla karşılaştırma yapılarak ortalama bir değer bulunduğu görülmüştür. Ayrıca doku içinde tasarlanan antenlerin çalışma frekansının ayarlanabilmesi, antenin doku içindeki yerine, dokunun iletkenlik ve dielektriği gibi birçok parametre bağlı olduğu gözlemlenmiştir.

Yeap vd. (2019), implant edilebilir çift bant çalışan bir anten üzerine çalışma yapmıştır. Tasarlanan antenin rezonans frekansları 402 MHz ve 2.45 GHz'dir. Antende malzeme olarak RO3210 kullanılmıştır. Doku içi uygulamalarda kullanılan antenlerin boyutları oldukça küçük tasarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan antenin boyutları 22 mm*16 mm*1.27 mm'dir. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre SAR değeri 402 MHz ve 2.45 GHz frekanslarında sırası ile 0.352 ve 0.054 uW/kg olarak hesaplanmıştır. Bu değerler IEEE C95.1-1999 tarafından belirlenen sınırların altında olduğu görülmüştür. Daha sonra anten ilk önce insan derisine koyularak, ardından parçalanmış domuz etine koyularak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucu antenin iyi radyasyon özelliklerine sahip olduğu ve SAR değerinin düşük olmasıyla kullanılabilir bir anten olduğu gözlemlenmiştir.

Kumar ve Raj (2017), bu çalışmada biyomedikal uygulamalar için yeni bir implant anten tasarımı yapılmıştır. Böyle bir çalışma ile kablosuz olarak insan vücudundaki bazı olayları incelemek hedeflenmiştir. Tasarlanan anten dielektrik malzemesi teflon olan bir yama antendir. Boyutları 16 mm* 16 mm* 1 mm'dir. Önerilen antenin frekansı 2.4-2.48 GHz olarak tasarlanmıştır. İnsan dokusunu tek katmanlı olarak düşünülmüştür. Simülasyon olarak kas dokusunun özellikleri kullanılmıştır. Simülasyonlar CST üzerinden yapılmıştır. Daha sonra dokunun fantom modeli oluşturularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda antenin geri dönüş kaybı -37 dB olarak gözlemlenmiştir. ISM bandında tasarlanan bu antenin boyutunun küçük olması ve yapılan ölçümler sonucunda bu tür uygulamalar için kullanılması uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Yamaç, (2015), biyomedikal telemetri için implant edilebilir mikroşerit anten tasarımı sunmuştur. Tanıtılan anten 402-405 MHz MICS bandını ve 2.45 GHz ISM bandını kapsamaktadır. Anten implant edilebilir olması için antenin küçük boyutlarda olması gerekmektedir. Tanıtılan antenin boyutları 10.5 mm * 11.5 mm * 1.27 mm'dir. Anten Rogers 3010 taban malzemesi ile tasarlanmıştır. İmplant antenin analizi CST Microwave Studio programı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca tek katmanlı deri dokusu fantom modeli oluşturularak da ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmada ek olarak esnekliği göstermek adına üç farklı boyutta anten tasarımı da sunulmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda MICS bandında %42,1 ve ISM bandında %5,8 bant genişliği sunmaktadır. Anten kazançları sırasıyla 39 dB ve 22.9 dB'dir. SAR değeri olarak da sırasıyla 369 W/kg ve 396.4 W/kg'dır. Bu ölçümler ışığında sonuçların diğer çalışmalara göre tatmin edici olduğu gözlemlenmiştir.

See vd. (2015), 434 MHz'de nöro motor protez için iki implant anten sunulmuştur. Bu anten dipol bir implant antendir. Antenin simülasyonunda üç boyutlu olan deri, yağ ve kas dokudan oluşan doku modeli kullanılmıştır. Anten kalınlığı 0.8 mm olup dokudan 20 mm uzağa konumlandırılmıştır. Tasarımı sunulan antenin simülasyonları HyperLynx 3D electromagnetic software programı kullanılmıştır. Antenin yönlülüğü 3.8 dB ve bant genişliği %4,6 olarak gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerde 8 cm de -14 dB kayıp olduğu gözlemlenmiştir. İleriki çalışmalar için bant genişliği artırılarak daha iyi sinyal aktarımı önerilmiştir.

Huang ve Kishk (2011), insan vücuduna yerleştirilen kalp pili için bir implant anten tasarımı yapılmıştır. Bu anten MICS bandında 403 MHz de çalışmaktadır. Anten, spiral şeklinde tasarlanmış mikroşerit bir antendir. Taban malzemesi olarak Rogers kullanılmıştır. Doku olarak kas dokuya yerleştirilmiştir. Ölçümler ilk olarak HFSS simülasyon programında gerçekleştirilmiş daha sonra kas dokusunun fantom eşdeğer sıvısı oluşturularak ölçümler tamamlanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre antenin doku içindeki S_{11} 'i 403 MHz merkez frekansında -18 dB iken anten boşlukta S_{11} 'i 489 MHz merkez frekansında -3 dB olmaktadır. Ölçülen SAR değeri ise 2.749 W/kg olarak gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucu simülasyon ile ölçümlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Kiourti ve Nikita (2012), bu çalışmada implant antenlerin dokudaki tasarım ve elektromanyetik etkileri incelenmiştir. Bunun için dört farklı frekansta (402 MHz, 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz) PIFA anten tasarımları yapılmıştır. Bu çalışmada anten kafadaki deri doku özelliklerine göre ölçümler yapılmıştır. Ölçümler deri dokusunun eşdeğer fantom modeli oluşturularak yapılmıştır. Ölçümler sonucunda 402 MHz, 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz frekanslarında sırası ile SAR değeri 1 g dokuda 324.74 W/kg, 309.74 W/kg, 296.94 W/kg, 294.86 W/kg olarak ölçülmüştür. Antenlerin kazançları sırası ile 36.9 dB, 35.99 dB, 35.14 dB, 32.94 dB olarak gözlemlenmiştir.

Duan vd. (2012), diferansiyel olarak beslenen dual band bir implant anten tasarımı sunmuştur. Bu besleme şekli olarak literatürdeki ilk implant anten tasarımıdır. Bu anten 433.9 MHz ve 542.4 MHz olmak üzere iki rezonans frekansta çalışmaktadır. Anten üç katmanlı doku modelinin her katmanına koyularak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışma ilk önce HFSS programında simüle edilmiş, daha sonra fantom sıvıda ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda antenin tek katmanlı doku ile çok katmanlı doku arasında çok bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca değişik dokularda yapılan ölçümlerden yola çıkarak, deri ve kas dokuda yapılan ölçümler birbirine yakın yağ dokuda ise biraz düşüktür. Bunun nedeni yağ dokunun iletkenlik ve geçirgenliğinin yüksek, dielektriğinin ise düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan ölçümlerde SAR değeri 10 g dokuda 423 MHz ve 532 MHz de sırası ile y-z düzleminde 0.930 mW/kg ve 0.936 mW/kg, x-z düzleminde 0.895 mW/kg ve 0.933 mW/kg olarak gözlemlenmiştir.

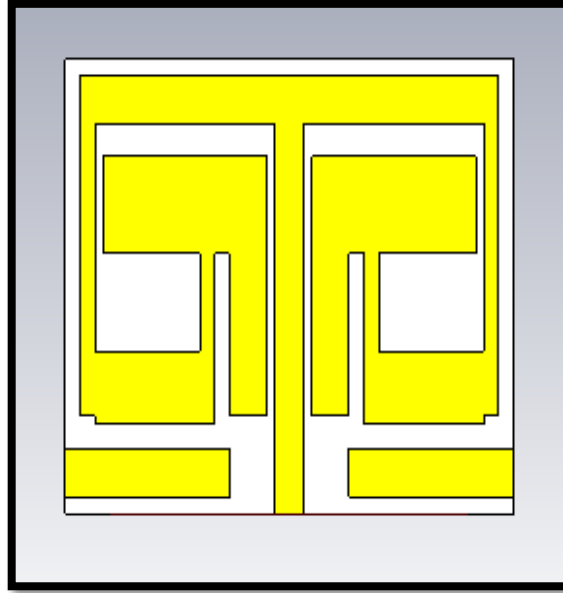
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. İmplant Antenin Tasarımı ve Gerçeklenmesi (Design and Verification of Implant Antenna)

İmplant anten tasarımında ilk olarak bilgisayar ortamında CST simülasyon programında doku modeli oluşturularak simülasyon yapılmıştır. İkinci olarak da dokuların eşdeğer sıvısı oluşturularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bunun amacı direk insan vücudunda ölçüm yapılamayacak olmasıdır. Literatürde fantom model kullanarak ölçüm yapan birçok çalışma vardır (Merli vd., 2011; Polat, 2011; Kumar ve Raj, 2017). Aynı zamanda bu ölçümler hayvanlar üzerinde de yapılabilmektedir (Merli vd., 2011; Yeap vd., 2019).

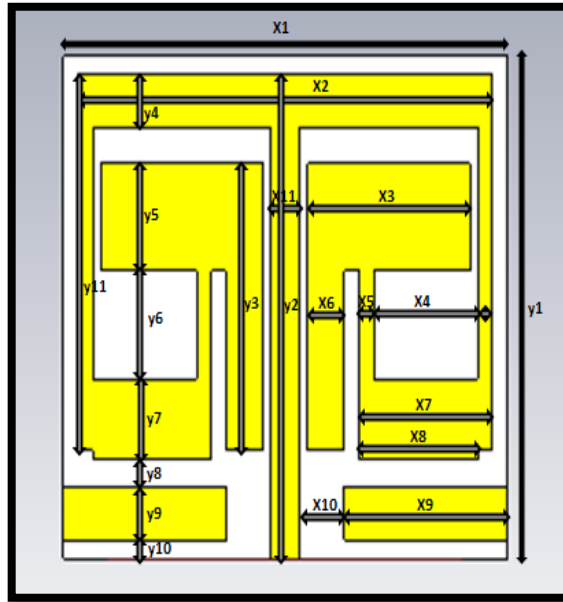
İmplant anten tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden bir tanesi antenin doku içi uygulamalarında uygulanacağı için küçük boyutlarda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Küçük boyutlarda tasarlanan antenin istenilen frekansta ve istenilen S_{11} performansını elde etmek oldukça güçtür. Bu gerekçeler göz önünde bulundurulduğunda 30 mm * 28 mm büyüklüğe sahip anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Dielektrik malzemesi FR4 olan yama anten tasarımı kullanılmıştır. Bu çalışma 2.45 GHz ISM bandında yapılmaktadır.

Küçük boyuttaki bir antenin rezonans frekansını ayarlamak oldukça zordur. Merkez frekansını ayarlamak için birçok yöntem kullanılabilir. Bu tasarımda Şekil 1'de gösterildiği gibi antenin ön yüzüne besleme hattının başlangıcının sağ ve sol tarafına toprak ile bağlantılı iletken koyularak merkez frekansı ayarı yapılmıştır.



Şekil 1. Mikroşerit antenin simülasyon görüntüsü (Simulation view of microstrip antenna)

Tasarımı yapılan mikroşerit antenin ölçü parametreleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



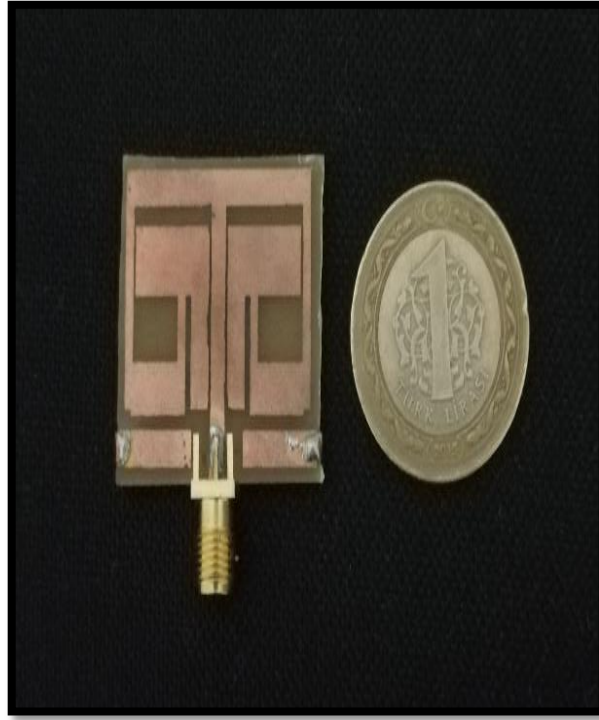
Şekil 2. Mikroşerit antenin uzunluk parametreleri (Length parameters of microstrip antenna)

Aşağıdaki Tablo 1'de antenin uzunluk parametreleri verilmiştir. Yama antenin simülasyonunda dielektrik malzemenin kalınlığı 1.52 mm ve iletkenin kalınlığı ise 0.035 mm olarak alınmıştır.

Tablo 1. Tasarlanan mikroşerit antenin uzunluk parametreleri (Length parameters of designed microstrip antenna)

Uzunluk Parametreleri	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Uzunluk Değerleri (mm)	30	28	11	7	1	2.5	9	8	11	2.5	2
Uzunluk Parametreleri	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11
Uzunluk Değerleri (mm)	28	27	16	3	6	6	4.5	1.5	3	1	21

Mikroşerit antenin simülasyonu yapıldıktan sonra antenin baskı-devre teknolojisi ile gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilmesi yapılan mikroşerit antenin görüntüsü Şekil 3’de verilmiştir.

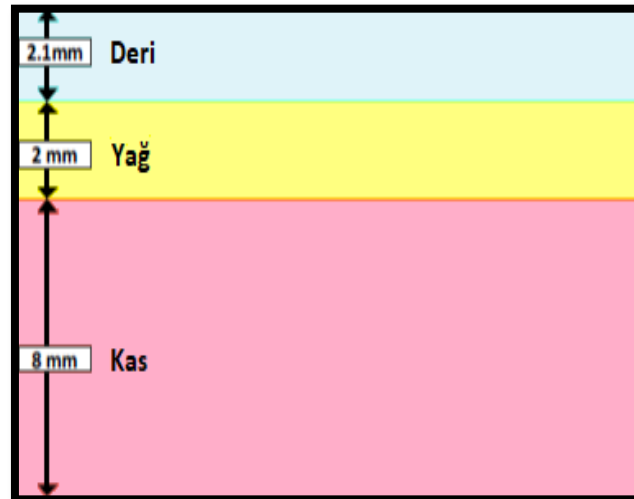


Şekil 3. Tasarımı yapılan antenin gerçekleştirilmiş görüntüsü (Verification view of designed antenna)

3.2. Doku Modelinin Oluşturulması (Composing of Tissue Model)

Bu çalışmada üç katmanlı doku modeli kullanılmıştır. Önceki bölümde bahsedildiği gibi ölçümlerin yapılmasında direkt olarak insan vücudu kullanılması mümkün olmadığı için, simülasyon aşamasında en yakın sonuçları elde edebilmek amacıyla bu şekilde tasarım yapılmıştır. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde çalışmaların büyük çoğunluğunda üç katmanlı tasarım yapıldığı gözlemlenmiştir (Kim ve Rahmat-Samii, 2004; Karaçolak vd., 2008; Almari vd., 2013; Doddipalli vd., 2017; Gözel vd., 2019). Bu tasarım CST Microwave Studio programı kullanılarak tasarlanmış ve ölçümler yapılmıştır.

Üç boyutlu doku modeli Şekil 4’de gösterilmiştir. Tasarımı yapılan implant anten deri dokunun içine yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Üç katmanlı doku modeli (Three layered tissue model)

3.3. Doku Fantom Sıvısının Oluşturulması (Composing of Tissue Phantom Liquid)

Bu çalışmada 2.45 GHz ISM bandına göre fantom sıvı oluşturulmuştur. Kullanılan malzemeler ve oranları aşağıdaki Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Deri dokunun MICS ve ISM bandında Fantom İçeriği (Phantom content in MICS and ISM band of skin tissue)

KULLANILAN MALZEMELER	MICS BANDI	ISM BANDI
	(402 - 405 MHz)	(2.4 - 2.48 GHz)
DEİYONİZE SU	%41,49	%47
ŞEKER (SÜKROZ)	%56,18	%53
TUZ (NaCl)	%2,33	-
AGARÖZ	100 ml’lik karışıma 1 g eklenir	

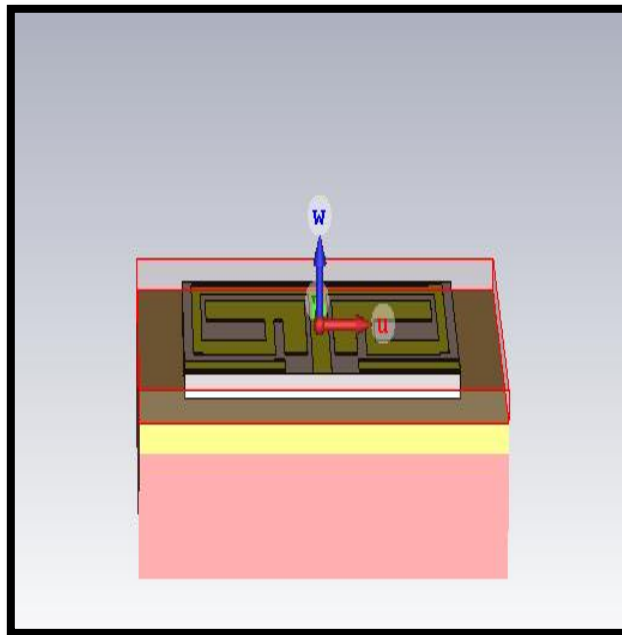
ISM bandında yapılan çalışmalar için literatürde farklı içeriklerde bulunmaktadır. Bunun nedeni ISM bandı için kullanılan malzemelerin oldukça zor bulunması ve pahalı olmasıdır. Örneğin; %58,2 deiyonize su, %5,1 DGBE ve %36,7 Triton ile yapılan bir çözelti yine 100 ml’lik karışıma 1 g agaroz ekleyerek kullanılarak fantom sıvı içeriği bazı çalışmalarda verilmiştir (Fukunaga vd., 2004; Yamaç, 2015).

Doku içinde antenin ölçümleri simülasyonda üç katmalı yapılırken, fantom sıvıda sadece deri doku oluşturularak ölçüm yapılmıştır. Çünkü literatürdeki bazı çalışmalarda ölçümler için sadece bir dokunun olmasının yeterli olduğunu kanıtlamıştır (Duan vd., 2012; Yamaç, 2015). Fantom sıvıda üç katman modelinin kullanılması zor ve pahalı olduğu için bu çalışmada tek katman modeli uygulanmıştır.

3.4. Antenin Yerleştirildiği Ortam (Antenna Placed in Medium)

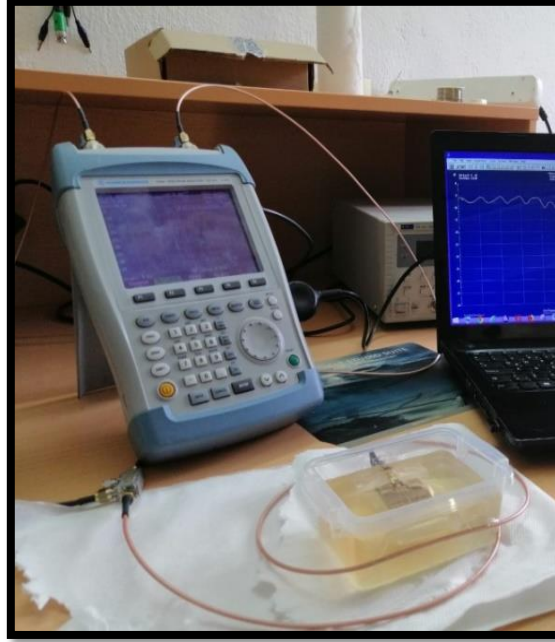
Yapılan çalışmada üç boyutlu doku modelinin kullanılmasının nedenlerinden bir tanesi kas, yağ ve deri dokunun vücudun hemen hemen her yerinde bulunmasıdır.

Antenin deri dokuya yerleştirilmesi anten veriminin iyi olması ve kolay cerrahi operasyon açısından düşünülmüştür. Anten, dokuda ne kadar derine koyulursa o kadar verim azalacaktır. Çünkü doku ortamı çok kayıplı bir ortamdır. Ayrıca dokular tarafından soğurma oranı daha da artacaktır. Şekil 5’de implant antenin simülasyonda doku içerisindeki konumu gösterilmiştir.



Şekil 5. Deri dokusuna yerleştirilen implant antenin konumu (Position of the implant antenna placed in the skin tissue)

Simülasyonu yapılan ölçümlerin gerçekleşmesi için Tablo 2'de gösterildiği üzere fantom sıvı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu sıvı Şekil 6'da gösterildiği gibi bir kap içerisine koyularak anten içine konumlandırılmıştır. Ölçümler Rohde & Schwarz (FSH6) marka spektrum analizör kullanılarak yapılmıştır.

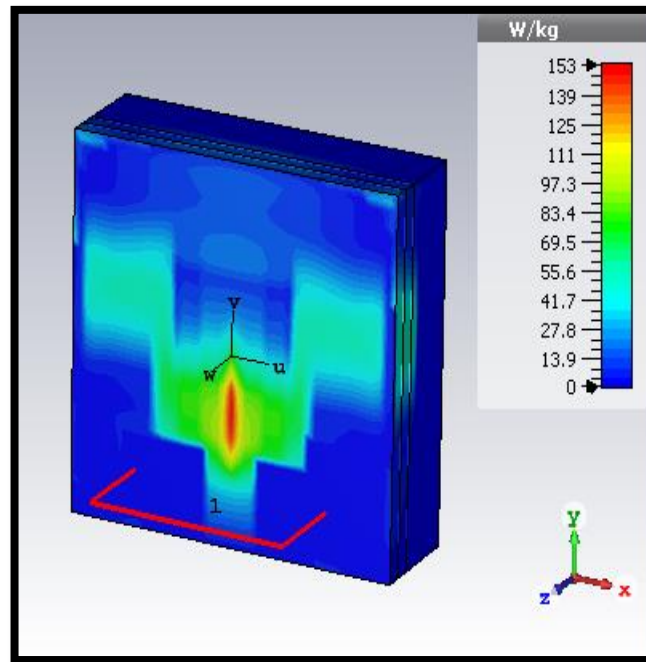


Şekil 6. Fantom sıvı ve ölçüm düzeneği (Phantom liquid and measuring device)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Yapılan çalışmada simülasyonda implant mikroserit antenin S_{11} ve SAR (özgül Soğurma Oranı) değerleri incelenmiştir. Ölçümlerin gerçekleşmesinde ise sadece implant antenin S_{11} sonuçları değerlendirilmiştir.

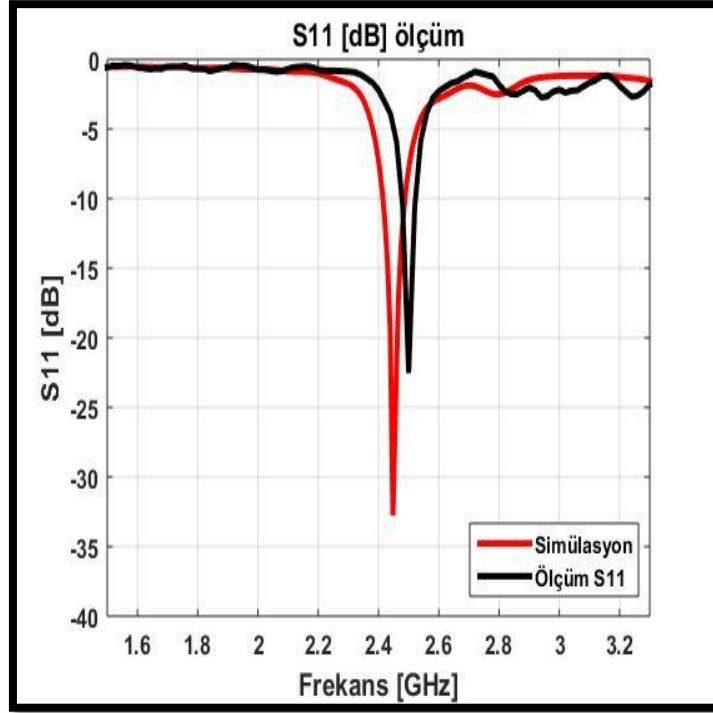
SAR için sınır değer olarak IEEE C95.1standartı 1 g doku için 1.6 W/Kg olarak belirlemiştir (Gözel, 2019). Mevcut çalışmadaki SAR değeri CST simülasyon programı ile 1 W giriş için ölçüm yapılmış dokunun görüntüsü ve SAR değeri Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Dokudaki SAR dağılımı ve sonuç skalası (SAR distribution in the tissue and result scale)

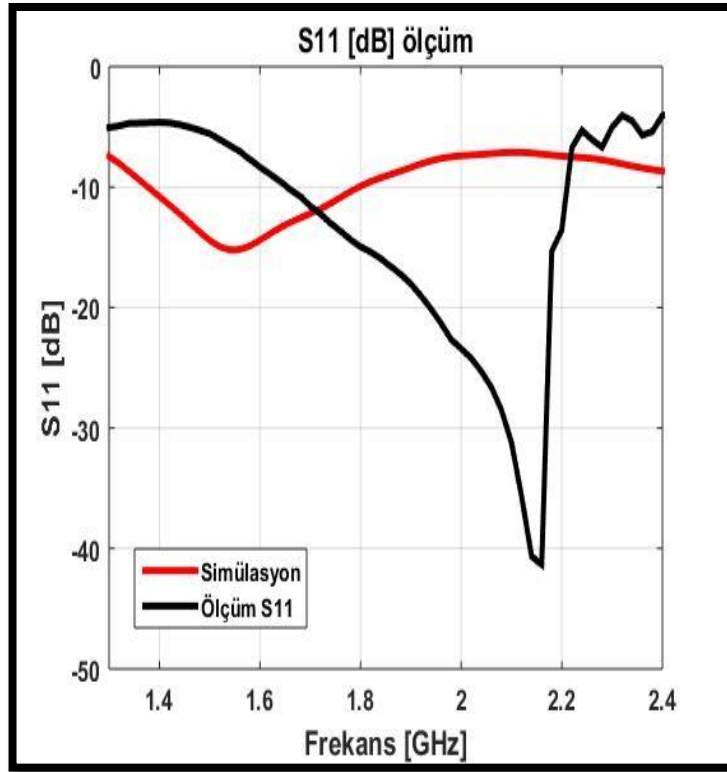
Şekil 6'da da görüldüğü gibi tasarlanan antenin maksimum SAR değeri 153 W/kg olarak belirlenmiştir. Tablo 3'de yapılan karşılaştırmaya göre gayet iyi bir değer olduğu görülmektedir. Tasarlanan mikroşeritimplant antenin S_{11} sonuçları ise antenin doku içinde ve dışında olmak üzere iki ayrı şekilde ölçülmüştür.

Doku dışındaki antenin Şekil 7'de S_{11} grafiği verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi simülasyon sonucu merkez frekansı 2.45 GHz, geri dönüş kaybı -33 dB olarak gözlemlenmiştir. Antenin gerçek ölçüm sonucu ise 2.49 GHz de -23 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 7. Doku dışı S_{11} ölçüm sonuçları (Non-tissue S_{11} measurement results)

Şekil 8'de doku içi ölçümler için S_{11} grafiği verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi simülasyon sonucu merkez frekansı 1.56 GHz, geri dönüş kaybı -18 dB olarak gözlemlenmiştir. Antenin fantom sıvıya konulduktan sonraki ölçüm sonucu ise 2.16 GHz de -41 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. Doku içi S_{11} ölçüm sonuçları (In-tissue S_{11} measurement results)

Yukarıdaki Şekil 7 ve Şekil 8'deki grafikler CST Microwave Studio ve spektrum analizörden alınan verilerin MATLAB programına girilerek grafikler oluşturulmuştur.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, doku içi uygulamalarda kullanılabilecek ISM bandında 2.45 GHz merkez frekansında çalışan bir mikroşerit implant anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımlar 3D elektromanyetik simülasyon yazılımı olan uzayında sonlu integral tekniğini temel alan CST Microwave Studio programı içerisinde modellenmiş ve tasarımların analizleri yapılmıştır.

Antende dielektrik malzeme olarak FR4 kullanılmıştır. Tasarlanan antenin boyutu 30 mm * 28 mm * 1.59 mm'dir. Simülasyon sonucunda antenin merkez frekansı 2.45 GHz ve geri dönüş kaybı -33 dB olarak görülmüştür. Gerçek ölçüm sonucunda ise merkez frekansının 2.49 GHz ve geri dönüş kaybı -27 dB olarak ölçülmüştür. Doku içi ölçümlerde ise simülasyon sonucu geri dönüş kaybı -18 dB, fantom sıvıya konulan antenin ise geri dönüş kaybı -41 dB olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde doku dışı ölçümlerde fark yok denilecek kadar az iken doku içi ölçümlerde biraz fark oluşmuştur. Oluşan bu fark oluşturulan fantom sıvı hazırlanırken sıcaklık değerinin ve dielektrik sabitinin tam ayarlanamamasından kaynaklanması muhtemeldir. Ayrıca ölçüm simülasyon sonucu dokudaki SAR değeri 153 W/kg olarak hesaplanmıştır. Deri dokusu içerisindeki ölçüm sonuçlarının benzetim sonuçlarıyla, oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3'de görüldüğü üzere anten parametrelerinin diğer literatürdeki bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılan parametreler antenin boyutu, malzemesi, bant genişliği, kazancı ve SAR değeridir.

Tablo 3'de yapılan değerlendirmeler sonucu; SAR değerinin oldukça iyi bir değerde olduğu, diğer parametrelerin ise ortalama değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda tasarımı yapılan antenin, bu alanda tercih edilebilir bir tasarım olduğu sonucuna varılmıştır.

Doku hacminin büyümesi simülasyon sürecini ciddi manada arttırmaktadır. Ayrıca ölçümlerin gerçekleşmesi için oluşturulan fantom sıvının bileşenleri olan kimyasallar oldukça pahalıdır. O yüzden daha az fantom sıvı oluşturmak zorunda kalınmıştır. Antenin doku içindeki konumu yapılan çalışmanın amacına göre değişiklik göstermektedir. Üç katmanlı dokuda deri ve kas doku hemen hemen aynı özellikleri gösterirken, yağ dokunun iletkenlik ve geçirgenlikte yüksek dielektriğinin ise düşük olduğu literatürdeki çalışmalardan yola çıkarak söylenebilmektedir. Geleceğin önemli araştırma konuları bunlar olacaktır. İleriki çalışmalarda; antenin

fabrikasyonu yapılarak fantom ve canlı doku ölçümleri tekrarlanabilir ve bu ölçümler için medikal implant cihaz üretimi gerçekleştirilebilir.

Tablo 3. Mevcut çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması (Comparison of the current study with other studies in the literature)

Kaynak	Boyutlar ve yapı (mm*mm*mm)	Katman Malzemeleri	Bant Genişliği	Maksimum Kazanç (dBi)	SAR (W/Kg)
Karaçolak Vd. 2008	22.5*22.5*2.54 (1265.6 mm ³) PIFA	Üst katman Rogers 3210	MICS %20.4	24	-
		Alt katman Rogers 3210	ISM %4.2	7.5	-
Chein Vd. 2010	18*16*1 (288 mm ³) Monopol	-	MICS %33.5	24	797
Huang Vd. 2011	10*10*2.54 (254 mm ³) PIFA	4 katmanlı Rogers 3210	MICS %21.3	7	341
			ISM %2.5	15	381
Ha Vd. 2011	15.9*12.9*1.6 (328.2 mm ³) Patch	Alt katman FR4	MICS %2.5	38	130.5
Kiourti Vd. 2012	12 mm çaplı, 3*0.635 (274.3π mm ³) PIFA	Üç katmanlı Rogers 3210	MICS %10.9	39.1	324.7
Lie-Jie Vd. 2012	19*19.4*1.27 (487.8 mm ³) PIFA	Üst katman Rogers 3210	MICS %52.6	28	324
		Alt katman Rogers 3210	ISM %5.4	27.6	314
Lie-Jie Vd. 2014	10.02*10.02*0.675 (67.77 mm ³) PIFA	Üst katman Rogers 3010	MICS %47.5	30.5	302.4
		Alt katman Rogers 3010	ISM %31.6	19.2	238.9
Yamaç. 2015	10.5*11.5*1.27 (153.35 mm ³) PIFA	Üst katman Rogers 3010	MICS %42.1	39	369
		Alt katman Rogers 3010	ISM %5.8	22.9	396.4
Usluer. 2017	14*14*1.27 (248.92 mm ³) Patch	Katman Rogers 3010	MICS %20	39.6	354.1
			ISM %6	26	368
Gözel Vd. 2019	16*15*1.5 (240 mm ³) Dipol	Katman FR4	UHF %28.8	25	396.8
Mevcut Çalışma	30*28*1.59 (1335.6 mm ³) Patch	Katman FR4	ISM %18.7	14.8	153

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Almari, S., Langley, R., J., Alamoudi, A., O., 2013. Improved Performance of 2.45 GHz Implanted Patch Antenna for Wireless Communication. Antennas & Propagation Conference, 11-12 November 2013, Loughborough, UK.
- Armağan, O., Kahriman, M., 2016. 2.45 GHz, 3.7 GHz Ve 5.8 GHz Frekanslarda Çalışan Üç-Bant Yama Anten Tasarımı, Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, vol. 4, pp. 189-193.
- Chien, T., Cheng, C., Yang, C., Jiang, C., Luo, C., 2010. Development of Nonsuperstrate Implantable Low-Profile CPW-Fed Ceramic Antennas. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 9, 599-602.
- Doddipalli, S., Kothari, A., Peshwe, P., 2017. A Low Profile Ultrawide Band Monopole Antenna for Wearable Applications. International Journal of Antennas and Propagation, 2017, India, 9 pages.
- Duan, Z., Guo, Y., X., Xue, R., F., Je, M., Kwong, D., L., 2012. Differentially Fed Dual-Band Implantable Antenna for Biomedical Applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 60(12), 5587-5595.
- Fukunaga, K., Watanabe, S., Yamanaka, Y., 2004. Dielectric Properties of Tissue-Equivalent Liquids and Their Effects on Specific Absorption Rate. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 46(1), 126-129.
- Gözel, M., A., Kasar, Ö., Kahriman, M., 2019. 868 MHz UHF Bandında H-Şeklinde Katlanmış İmplant Mikroşerit Dipol Anten Tasarımı. DÜMF Mühendislik Dergisi, 10(3), 797-806.
- Ha, J., Kwon, K., Choi, J., 2011. Compact Zeroth-Order Resonance Antenna for Implantable Biomedical Service Applications. Electronics Letters, 47(23), 1267-1269.
- Hall P. S., Hao Y., 2012. Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications, 2 nd ed., Artech House, Boston, 2012.
- Huang, W., Kishk, A., A., 2011. Embedded Spiral Microstrip Implantable Antenna. International Journal of Antennas and Propagation, June 2011, 6 pages.
- Karaçolak, T., Hood, A., Z., Topsakal, E., 2008. Design of a Dual-Band Implantable Antenna and Development of Skin Mimicking Gels for Continuous Glucose Monitoring. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 56(4), 1001-1008.
- Kim, J., & Rahmat-Samii, Y., 2004. Implanted Antennas Inside a Human Body: Simulations, Designs, and Characterizations. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 52(8), 1934-1943.
- Kiourti, A., Nikita, K., S., 2012. Miniature Scalp-Implantable Antennas for Telemetry in The MICS and ISM Bands: Design, Safety Considerations and Link Budget Analysis. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 60(8), 3568-3575.
- Kumar, S., A., Raj, M., A., Shanmuganatham, T., 2017. Analysis and Desing of CPW Fed Antenna at ISM Band for Biomedical Application. Alexandria Engineering Journal, 57, 723-727.
- Lee J. H., 2015. Human Implantable Arrhythmia Monitoring Sensor with Wireless Power and Data Transmission Technique, Austin J Biosens & Bioelectron, 1(2), 1008-1014.
- Li-Jie, X., Yong-Xin, G., Wen, W., 2012. Dual-Band Implantable Antenna with Open-End Slots on Ground. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 11, 1564-1567.
- Li-Jie, X., Yong-Xin, G., Wen, W., 2014. Miniaturized Dual Band Antenna for Implantable Wireless Communications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 13, 1060-1063.
- Merli, F., Bolomey, L., Zürcher, J.-F., Corradini, G., Meurville, E., & Skrivervik, A. K. 2011. Design, Realization and Measurements of a Miniature Antenna for Implantable Wireless Communication Systems. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 59(10), 3544- 3555.
- Polat, L., N., Ö., 2011. Elektromanyetik Alan Yayıcı Cihazların Kas Dokusunda oluşturduğu Etkinin Modellenmesi ve Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 65s, Isparta
- See, T., S., P., Qing, X., Chen, Z., N., 2015. Desing and Characterization of on-Head Antenna Systems for Neural Motor Prosthesis. 9 th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 13-17 August April 2015, Lisbon Portugal.
- Singh K., 2005. Biotelemetry: Could Technological Developments Assist Healthcare in Rural India, Rural and Remote Health Journal, 234(5), 1-6.
- Sondas A., Ucar M. H. B., Uras E., 2014. A Dual-Band Implantable Antenna Desing, 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Trabzon, Turkey, 23-25 April.
- Topsakal E., 2009. Antennas for Medikal Applications: Ongoing Research and Future Challenges, International Conference on Electromagnetics in Advanced Application (ICEAA), Torino, Italy.
- Usluer, M., 2017. Tümleyen Yarık Halka Elemanlarını Temel Alan İmplant Anten Tasarımı ve Üretimi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 51s, Antalya.
- Yamaç, Y., E., 2015. Biyomedikal Uygulaması İçin İmplant Edilebilen Mikroşerit Anten Tasarımı ve Üretimi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 46s, Antalya.
- Yang L., Vyas R., Rida A., Pan J., Tentzeris M. M., 2008. Wearable RFID-Enabled Sensor Nodes for Biomedical Applications, 2008 58 th Electronic Componentes and Technology Conference, Lake Buena Vista, FL, ABD.
- Yeap, K., Voon, C., Hiraguri, T., Nisar, H., 2019. A Compact Dual-Band Implantable Antenna for Medical Telemetry. International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST), 17-19 Dec. 2015, Lahore Pakistan.