



Using Microwave Patch Antennas in Breast Cancer Diagnosis

Merve Kurt^{*1}, Merve Kaya²

^{1*} Ataturk University, Faculty of Engineering, Depart. of Electrical and Electronics Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2658-1021),
merve.kurt025@gmail.com

² Ataturk University, Department of Surgical Nursing, Faculty of Nursing, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1442-5638), merve.bagdigen@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1114503)

ATIF/REFERENCE: Kurt, M, Kaya M. (2022). Using Microwave Patch Antennas in Breast Cancer Diagnosis. *European Journal of Science and Technology*, (36), 293-297.

Abstract

Breast cancer leads to fatal consequences in women if not detected early. The early diagnosis of this cancer allows the treatment to be positive and the cancer to be intervened before it grows. Diagnosis of this cancer with traditional methods such as MR imaging and tomography is a very costly process. In recent years, microstrip patch antennas have been widely used for the development of lower cost and high sensitivity methods for mass detection. Microstrip antennas are finding an increasing place in the medical field, mostly in imaging, diagnostic and therapeutic applications. Antenna is an important component for detecting abnormality in biological signals and its working resonance regions differ according to the dielectric levels of tissues in the body. In this study, specific applications of microstrip antenna in microwave chest imaging are covered. Traditional methods for breast cancer detection, such as X-ray mammography, ultrasound, and MRI, have some limitations such as cost, large volume, high radiation. In contrast, Microwave Breast Imaging (MBI) plays an accurate and safer role for regular breast screening of breast tissues. For this purpose, microwave patch antenna applications in the literature and antenna types and efficiencies offered for the diagnosis of breast cancer were compared.

Keywords: Microwave, Patch Antennas, Brest Cancer

Meme Kanseri Teshişinde Mikrodalga Yama Antenlerinin Kullanılması

Öz

Meme kanseri erken teshiş edilmezse kadınlarda ölümcül sonuçlara yol açmaktadır. Bu kanserin erken teshişi tedavinin olumlu sonuçlanmasına ve kanserin büyümeden müdahale edilmesine olanak sağlar. MR görüntüleme, tomografi gibi geleneksel yöntemlerle bu kanserin teşhisi oldukça maliyetli bir süreçtir. Kitlenin teshişi için son yıllarda daha düşük maliyetli ve yüksek hassasiyetli yöntemlerin geliştirilmesi için mikroşerit yama antenler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mikroşerit antenler, tıbbi alanlarda çoğunlukla görüntüleme, teşhis ve tedavi amaçlı uygulamalarda giderek artan bir yer bulmaktadır. Anten, biyolojik sinyallerdeki anormalliğin tespiti için önemli bir bileşendir ve vücuttaki dokuların dielektrik seviyelerine göre çalışma rezonas bölgeleri farklılıklar gösterir. Bu çalışmada, mikrodalga göğüs görüntülemede mikroşerit antenin özel uygulamaları yer alınmaktadır. X Ray mamografi, ultrason ve MRI gibi meme kanseri tespiti için geleneksel yöntemlerin maliyet, büyük hacim, yüksek radyasyon gibi bazı sınırlamaları vardır. Buna karşın Mikrodalga Meme Görüntüleme (MBI), meme dokuları hakkında düzenli meme taraması için doğru ve daha güvenli bir rol üstlenir. Bu amaçla literatürde yer alan mikrodalga yama anten uygulamaları ile meme kanserinin teshişi için sunulan anten tipleri ve verimlilikleri kıyaslanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, Yama Antenler, Meme Kanseri

1. Giriş

Meme kanseri dünya genelinde kadınlarda en sık görülen malign tümördür (Bray,2018). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, 2020 yılında dünya çapında meme kanseri teşhisi konan 2,3 milyon kadın olduğu ve bu kansere bağlı 685 bin kişinin yaşamını kaybettiği bildirilmiştir. Dünya geneline benzer şekilde ülkemizde de kadınlarda en sık görülen ve kanser kaynaklı ölüm nedeni meme kanseridir. Bu nedenle kadınlarda ölümcül sonuçlara yol açabilen meme kanseri günümüzde küresel bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir (Plevrisit, 2018).

Meme kanseri, memenin glandüler dokusundaki kanalların veya lobüllerinin epitel hücrelerinde ortaya çıkmaktadır. Başlangıçta, kanserli büyüme kanal veya lobülle sınırlıdır, burada genellikle semptomlara neden olmaz ve metastaz için minimum potansiyele sahiptir. Zamanla, kanser ilerleyebilir ve çevreleyen meme dokusunu istila edebilir, ardından yakındaki lenf düğümlerine (bölgesel metastaz) veya vücuttaki diğer organlara (uzak metastaz) yayılabilir. Bir kadının meme kanserinden ölümü çoğunlukla metastaza bağlıdır. Bu nedenle hastalık henüz yayılmadan erken teşhis ile meme kanserinden ölüm oranlarının azaltılabileceği bildirilmektedir. Hastalık ne kadar erken evrede tespit edilirse tedavi şansı bir o kadar yükselmektedir. Dolayısıyla erken teşhis, tedavi için kritik bir öneme sahiptir (Caughran and Braun, 2018).

İnsan vücudunun mikrodalga ile görüntülenmesi, daha düşük, iyonlaştırıcı olmayan geniş bant veya dar bant mikrodalga sinyallerinin bir anten sistemi kullanılarak iletilmesini içerir. X Ray mamografi, ultrason ve MRI gibi meme kanseri tespiti gibi geleneksel metotlara kıyasla mikrodalga yöntemler düşük maliyet, daha geniş kitleler tarafından kullanılabilme, düşük radyasyon tehlikesi, kolay erişilebilme, tümörün teşhisinde yüksek hassasiyet gibi üstünlüklere sahiptir (Vidyasree ve ark., 2018). Antenler, sensör ve harici ekipman arasındaki iletişimi sağladıkları için bu tür tıbbi izleme sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Mikroşerit antenler hafiflikleri, kompakt boyutları ve üretim kolaylıkları gibi birçok avantajı nedeniyle biyomedikal uygulamaların çoğunda tercih edilmekte ve hızla büyüyen bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bununla birlikte, bu tür antenlerin tasarımı, anten boyutu, empedans uyumu, düşük güç gereksinimleri ve vücudun fizyolojisi ile biyoyumumluluk açısından oldukça zordur (Çalışkan ve ark., 2015).

2. Materyal ve Metod

Mikrodalga görüntüleme sisteminin temel mantığı EM sinyallerini iletmek ve almak olduğu için genellikle bu sistemler antenlerden oluşur. Mevcut sisteme bakıldığında birçok anten çeşidi (dipol, horn, parabolik vb.) yer almaktadır. Bu yüzden uygulama alanlarında anten seçimi ve tasarımı çok önemlidir. Anten türlerinden biri olan mikroşerit yama anten, çeşitli avantajları ve ayırt edici özellikleri başta olmak üzere üretim kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle tıbbi uygulamalar için tercih edilen bir seçimdir.

Mikroşerit yama antenlerin avantaj ve dezavantajlarına bakıldığında farklı özellikler karşımıza çıkmaktadır. Bu özellikler sayesinde uygulama alanlarında ve tasarım aşamasında olası karşılaşılabilecek olumsuz durumlar için önceden tedbir alınmış olabilir.

Mikroşerit yama antenlere ait avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki biçimde sıralayabiliriz.

Mikroşerit yama antenlerin avantajları:

- Ağırlık ve boyutlarının küçük olmaları
- Güç tüketiminin az olmaları
- İnce yapısıyla kullanılacakları, birleştirilecekleri yapıları bozmamaları
- Doğrusal (dikey veya yatay) ve dairesel polarizasyon kriterine sahip olmaları
- Çift frekans uygulamalarında kullanılabilmeleri
- Farklı geometrik şekillerde yamaların kullanılabilmesi

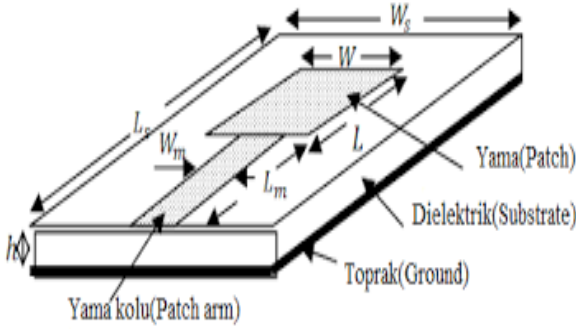
Mikroşerit yama antenlerin dezavantajları:

- Dar bant genişliğine sahip olmaları
- Düşük kazançla sahip olmaları
- Fazla kayıplarının olmaları

Mikroşerit antenlerin kullanım alanlarına bakıldığında uzay araçları, uçaklar, kablosuz haberleşme alanı (bluetooth, WLAN, Wi-Fi), güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda ve GPS ve GSM uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır.

Literatürde yapılmış olan çalışmaları incelediğimizde, çeşitli alan ve şekillerde mikroşerit anten yapıları görülmektedir. Kanser teşhisi konulması durumunu tespit etme metotlarından biri olan mikrodalga görüntüleme yöntemi gün geçtikçe ön planda yer almaktadır. Mikrodalga görüntüleme tekniklerinin temelini mikroşerit antenler oluşturmaktadır. Mikroşerit anten teknolojisinin mevcut konumu itibarıyla mikrodalga görüntüleme tekniğinin çalışma alanını genişletmiştir. 1953 de Deschamps tarafından ilk mikroşerit anten dizayn edilmiştir. Gutton ve Baissinot, Fransa'da UHF bölgesinde kullanılabilen düz mikroşerit antenin patentini 1955 yılında almıştır. 1974 de Munson tarafından daha basit yapıyla kullanışlı mikroşerit anten tasarlanmıştır. 1975 yılında Howell daire ve dikdörtgen geometrisine sahip mikroşerit anten tasarımını gerçekleştirmiştir. 1990 yılından itibaren mikroşerit antenler tıbbi uygulamalarda daha ön planda kullanılmaya başlanmıştır. Her geçen gün teknolojinin gelişmesiyle mikroşerit antenler biyomedikal alanda daha fazla tercih edilmiştir. Yeni bir teknoloji olan 5G için anten tasarım çalışmalarının birkaç yıl öncesine dayandığı görülmektedir. 2015 yılında, 5G mobil habeleşmesi için Osama M. Haraz ve arkadaşları, kuplaj besleme metodunu uygulayarak mikroşerit anten yapısını oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın raporunda mikroşerit antenlerin 28 GHz frekansında ortalama 8 GHz, 38 GHz frekansında ise 6 GHz'lik bant genişliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Haraz ve ark., 2015). Mohamed Mamdouh M. Ali ve çalışma arkadaşları, 2016 yılında yakınlık kuplaj besleme metodunu uygulayarak 28/38 GHz frekanslarında rezonansa giren mikroşerit yama anten tasarımı yapmışlardır. Toktaş ve arkadaşları 2016 yılında dairesel polarizasyona sahip ultra geniş bant yama anten tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarımda yer alan boyutlar 40.6 x 40.9 mm² ve 4-11 GHz frekans aralığında -10 dB altında olan ultra geniş bant anten olarak değerlendirilmektedir (Toktaş ve Yerlikaya, 2016). Benzer başka bir çalışmada ise boyutu 20 x 18 mm² ve 2.8-11.8 GHz frekans aralığında 2 dB altında olan ultra geniş bant anten tasarlanmıştır (Abdollahvand ve ark., 2010).

Mikroşerit yama antenler, toprak düzlemi üzerine aynı alana sahip yalıtkan tabaka olan alttaş ve ışımayı sağlayan iletken tabakadan meydana gelmektedir. Şekil de genel bir mikroşerit anten yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1. Mikroşerit yama anten parametreleri

Mikroşerit anten tasarım aşamasında öncelikle çalışma frekansı (f_r), elektriksel geçirgenlik katsayısı (ϵ_r) ve dielektrik malzemenin yüksekliği (h) ifadeleri elde edilir. Alttaşın dielektrik sabitinin $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ limitinde seçip ve alt tarafında kalın tabanlı malzemeler tercih edilmesiyle anten performansında iyi bir sonuç elde edilebilmektedir. Radyasyon verimliliğinin iyi olması ve daha yüksek bant genişliği sağlamak için düşük dielektrik sabitine sahip malzemelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasında elde edilen ifadeler (1), (2) ve (3) denklemlerinde yerleştirilerek yama (patch) kısmının genişliği (W), yalıtkanın geçirgenlik katsayısının etkin değeri (ϵ_{ff}), saçaklanma etkisiyle yama boyundaki değişim (ΔL) hesaplanır (Balanis, 1999).

$$W = \frac{c}{(2 * f_r)} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{ff} = (\epsilon_r + 1) \frac{1}{2} + (\epsilon_r - 1) \frac{1}{2} [1 + 12 * (h/W)]^{-1/2} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0.412h [(\epsilon_{ff} + 0.3) \left(\frac{W}{h}\right) + 0.264] / (\epsilon_{ff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right) \quad (3)$$

Anten performans kriterinin ölçülmesinde dikkate alınan parametreler yansımaya katsayısı (reflection coefficient), gerilim duran dalga oranı (voltage standing wave ratio, VSWR) ve geri dönüşüm kaybıdır (return loss, RL). Antenin sahip olduğu yansımaya katsayısı ifadesi (4) denkleminde sunulmuştur. Antenin çalışma frekans aralığını S11 ifadesi ile göstermekte mümkündür.

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4)$$

İfade de yer alan yük direncini Z_L , antenin karakteristik empedansını ise Z_0 göstermektedir.

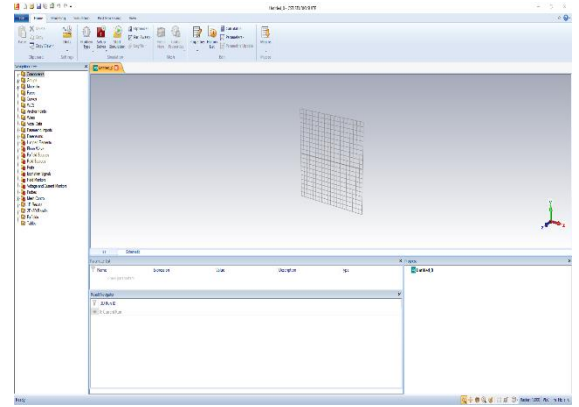
Denklem 5 ifadesi gerilim duran dalga oranını göstermektedir.

$$VSWR = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|) \quad (5)$$

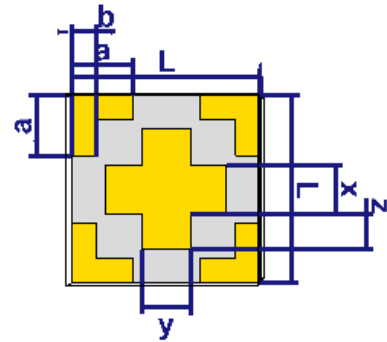
Denklem 6 ifadesi geri dönüşüm kaybı (Return Loss) değeridir.

$$RL(\text{dB}) = -20 \log|\Gamma| \quad (6)$$

Tasarlanan antenin simülasyonu CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio programı yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2. (a) CST (Computer Simulation Technology) programında bulunan arayüz (b) CST arayüzünde bir tasarım

Tablo1. Meme kanseri tespiti için kullanılan antenlerin karşılaştırması

Parametre	Çalışkan ve ark., 2015	Mahalakshmi ve Jeyakumar, 2012	Rahayu ve Waruwu, 2019
Substrate	FR4	FR4	FR4
Çalışma frekansı (GHz)	2.45	ISM bandı (2.4 – 2.48 GHz)	8,41 GHz - 10,29 GHz
Besleme tipi	Ankastre besleme	tekli besleme açıklığı	mikroşerit beslemeli
Anten Boyutları 3D meme yapısı	65,4×88,99x80 mm ³	-	-
Yama şekli	dikdörtgen	dikdörtgen	dikdörtgen
memeden uzaklık	-	3 cm	5 mm
Kazanç (dB)	-	3,2 dB	-
Tümörsüz Akım Yoğunluğu (A/m ²)	68.15	-	tümör olmadan (9 GHz)=27.93 (10GHz)=33,55
Tümörlü Akım Yoğunluğu (A/m ²)	54.946	-	Tümör ile 6 mm (9GHz)=27,95 (10 GHz)=33,7
Tümörsüz elektrik alan (V/m)	137.6	-	tümör olmadan (9 GHz)=589.7 (10GHz)=924.3
Tümörlü elektrik alanı (V/m)	170.38	-	Tümör ile 6 mm (9GHz)=591.1 (10GHz)=929,4
Manyetik alan, tümörsüz (A/m)	0.786	-	tümör olmadan (9 GHz)=2.833 (10GHz)=4.036
Tümörlü manyetik alan (A/m)	0.84634	-	Tümör ile 6 mm (9GHz)=2.856 (10 GHz)=4,06

3. Tartışma ve Bulgular

3.1. Meme Kanseri Tespitinde Kullanılan Mikroşerit Yama Antenler

Meme kanseri tespiti için kullanılan farklı antenler arasında bir karşılaştırma Tablo 1’de gösterilmiştir. Meme kanserine neden olan etken hala belirgin şekilde net değildir. Çalışmalar, başlangıçta meme hücrelerinde başlayan, daha sonra kontrol dışı büyüyen ve sonunda bir tümör oluşturan kötü huylu bir tümör olduğunu göstermiştir. Bu kanser hücreleri daha sonra kan sistemine girer ve daha sonra diğer komşu organları etkileyerek vücudun farklı bölgelerine yayılır. Mikrodalga Meme Görüntüleme (MBI) tekniği, meme dokuları hakkında kritik bilgiler elde etmek için daha uzun dalga boyu ve düşük güç sinyalleri kullanır ve düzenli meme taraması için daha güvenli ve doğru bir uygulama sunar. Ultrason, MRI, X-ray mamografi, tomografi vb. gibi meme kanserini saptamanın birçok geleneksel yolu vardır (Nover ve ark., 2009;Reddy ve ark., 2018). Bu yöntemlerin sınırlılıkları vardır ve bu yöntemler iyonize radyasyon nedeniyle genç bayanlarda pek tercih edilmez. Mikrodalga görüntüleme teknikleri, daha fazla güvenlik, düşük maliyet ve bulunabilirlik kolaylığı gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir (El Misilmani ve ark., 2020). Mikrodalga görüntülemenin altında yatan çalışma prensibi, kötü huylu tümör dokuları ile sağlıklı dokular arasındaki dielektrik farklılığına dayanmaktadır (Wang ve Huang, 2012). Dokuların iletkenlik, geçirgenlik veya dielektrik parametreleri gibi farklı elektriksel özellikleri, normal ve kötü huylu dokuları patolojik olarak ayırt etmek için kullanılabilir. Mikrodalga görüntüleme sistemi kavramını meme kanseri tespiti için kullanmanın temel fikri, elektromanyetik dalganın verici bir antenden memeye iletilmesi ve ardından yansıyan dalgaların alıcı bir antende alınmasıdır. Elektriksel alan, manyetik alan, akım yoğunluğundaki farklılıklar kanserli dokunun konumu ve hacmi hakkında bilgi almak için yeterlidir. Antenler, göğüs derisinden sinyal saçılımını azaltmak için tasarlanabilir, böylece iletilen sinyal sadece tümör üzerinde ışınlanır ve tümör algılama hassasiyeti artar. Çoğu araştırmacı, HFSS kullanılarak modellenen memenin 3B yapısını Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) kullanarak modellemiştir (Çalışkan, 2015). Farklı anten tasarımları, yer düzlemi, farklı tasarım teknikleri, farklı alt tabakalar, besleme teknikleri ve mikroşerit yama üzerinde slotlama modifiye edilerek değerlendirilir (Dixit ve Kumar, 2020). Göğüs tümörü tespiti için mikrodalga sistemi, konformal mikrodalga görüntüleme teknikleri ile yapılabilmektedir. Bu tür yöntemlerde meme başlangıçta bir UWB darbesi ile aydınlatılır ve tümörü saptamak için sentetik bir odak taraması kullanılır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, meme kanseri tespiti için mikroşerit yama anten tasarımına ilişkin son araştırmalara dayanan birkaç araştırma makalesi gözden geçirilmiştir. Farklı geleneksel görüntüleme tabanlı tekniklerin dışında, Mikrodalga Görüntüleme, meme kanseri tespiti için en iyi yöntem olarak bulunmuştur. Mikrodalga Görüntüleme teknikleri hastalara daha yüksek konfor sunar. Mikroşerit antenler, diğer biyomedikal uygulamaların yanı sıra meme kanseri tespiti için kullanılabilen giyilebilir veya giyilemez olabilir. İnceleme makaleleri, birkaç mm'lik tümör boyutunun ve konumunun, anten boyutu, çalışma frekansı, bant genişliği, memenin tümörden uzaklığı vb. gibi antenin diğer birkaç parametresinden bir uzlaşma sağlanarak tespit edilebileceğini göstermektedir. İnceleme makalelerinin çoğunda, antenler tek bir frekans bandı için çalışmak üzere tasarlanmıştır, ancak bant genişliğini iyileştirmek ve çift bantlı çalışma sağlamak için bazı geliştirme teknikleri kullanılabilir ve bu tür antenleri Tıbbi İmplant İletişim Hizmetleri (MICS) ve Endüstriyel Bilim ve Tıp (ISM) bandı için en uygun hale getirir. Mikroşerit yama üzerinde yerleştirme ve yer düzlemini değiştirme, kanserin erken tespiti için antenin görüntüleme kalitesini iyileştirmek ve böylece daha fazla hayat kurtarmak için kullanılabilir.

Kaynakça

- Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A. (2018). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*, 68(6), 394-424.
- Plevritis, S. K., Munoz, D., Kurian, A. W., Stout, N. K., Alagoz, O., Near, A. M., ... & Mandelblatt, J. S. (2018). Association of screening and treatment with breast cancer mortality by molecular subtype in US women, 2000-2012. *Jama*, 319(2), 154-164.
- Caughran, J., Braun, T. M., Breslin, T. M., Smith, D. R., Kreinbrink, J. L., Parish, G. K., ... & Henry, N. L. (2018). The Effect of the 2009 USPSTF breast cancer screening recommendations on breast cancer in Michigan: A longitudinal study. *The breast journal*, 24(5), 730-737.
- Vidyasree, K., Mannisha, M., Nagaveni, T. S., Nandhini, B. M., & Kumar, H. V. (2018). Breast cancer detection using microstrip patch antenna. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(3), 1378-1379.
- Çalışkan, R., Gültekin, S. S., Uzer, D., & Dündar, Ö. (2015). A microstrip patch antenna design for breast cancer detection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2905-2911.
- Haraz, O. M., Ali, M. M. M., Alshebeili, S., & Sebak, A. R. (2015, July). Design of a 28/38 GHz dual-band printed slot antenna for the future 5G mobile communication Networks. In 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting (pp. 1532-1533). IEEE.
- Toktaş, A., & Yerlikaya, M. (2016). Haberleşme Sistemleri İçin Dairesel Polarizasyonlu Ultra-geniş-bant Yama Anten Sistemi. In *4th International Symposium on Development of KOP Region (UNIKOP)* (pp. 21-23).
- Abdollahvand, M., Dadashzadeh, G., & Mostafa, D. (2010). Compact dual band-notched printed monopole antenna for UWB application. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9, 1148-1151.
- Balanis, C. A. (1999). *Advanced engineering electromagnetics*. John Wiley & Sons.
- Dixit, A. S., & Kumar, S. (2020). A survey of performance enhancement techniques of antipodal Vivaldi antenna. *IEEE Access*, 8, 45774-45796.
- Çalışkan, R., Gültekin, S. S., Uzer, D., & Dündar, Ö. (2015). A microstrip patch antenna design for breast cancer detection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2905-2911.
- Nalam, M., Rani, N., & Mohan, A. (2014). Biomedical application of microstrip patch antenna. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*, 2(6), 6-8.
- Grabssi, W., Izza, S., & Azrar, A. (2017, October). Design and analysis of a microstrip patch antenna for medical applications. In 2017 5th International Conference on Electrical Engineering-Boumerdes (ICEE-B) (pp. 1-6). IEEE.
- Manna, S. (2016). Rectangular Microstrip Patch Antenna for Medical Applications. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 5(2).
- Nover, A. B., Jagtap, S., Anjum, W., Yegingil, H., Shih, W. Y., Shih, W. H., & Brooks, A. D. (2009). Modern breast cancer detection: a technological review. *International Journal of Biomedical Imaging*, 2009.
- Reddy, V. N., Reddy, A. R. S., & Reddy, T. M. (2018). Comparative study on breast cancer detection techniques. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(14), 253-260.
- Wang, L., & Huang, B. (2012). Design of ultra-wideband MIMO antenna for breast tumor detection. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2012.
- El Misilmani, H. M., Naous, T., Al Khatib, S. K., & Kabalan, K. Y. (2020). A survey on antenna designs for breast cancer detection using microwave imaging. *IEEE Access*, 8, 102570-102594.
- Mahalakshmi N, Jeyakumar V. "Design and Development of Single Layer Microstrip Patch Antenna for Breast Cancer Detection," *Bonfring International J Res Comm Eng*, Vol. 2, Special Issue 1, July 2012.
- Rahayu, Y., & Waruwu, I. (2019). Early detection of breast cancer using ultra wide band slot antenna. *Sinergi*, 23(2), 115-122