

Polarizasyon Mod Bağımsız Üçlü Bant Mikrodalga Sinyal Emici

Bilal TÜTÜNCÜ^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada yeni bir üçlü bant mikrodalga sinyal emici yapı tasarlanmıştır. Önerilen bu yapı iç içe üç halka rezonatörden oluşmaktadır. En dıştaki halkada yapının polarizasyon bağımsızlığını sağlaması ve geniş açı emilim yapması için x-y düzleminde birbirine 45°'lik açı ile yerleştirilen dönele simetrik sekiz iletken kol vardır. İç tarafta ise biri diğerinin iki katı boyutta iki ayrı halka rezonatör yerleştirilmiştir. İlk olarak sadece en dıştaki sekiz kol halka rezonatör yapının emilim grafiği çizdirilmiş ve 4.8 GHz'de 0.87 oranında tek bir emilim tepe değeri olduğu görülmüştür. Daha sonra yapının içine iki ayrı halka rezonatör eklenince emilim frekansı az bir farkla 4.7 GHz'e kayarken, emilim tepe değeri yaklaşık %10 artarak 0.96 değerine yükselmiştir. Ayrıca 2.4 GHz ve 12.6 GHz frekanslarında sırasıyla 0.92 ve 0.94 oranında iki ayrı emilim tepe değerleri daha görülmüştür. Sonuç olarak her üç emilim tepe değerinin yapıdaki üç farklı halka rezonatörden kaynaklandığı ve simetrik sekiz adet kol yapısı gereği polarizasyon mod bağımsız olduğu ve gelen dalga açısına 50°'ye kadar kararlı davrandığı simülasyon sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrodalga sinyal emici, Üçlü bant, Polarizasyon

Polarization Mode Independent Triple Band Microwave Signal Absorber

ABSTRACT: In this study a new triple band microwave signal absorber is designed. This proposed structure consists of three nested ring resonators. In the outer ring, there are eight rotationally conductive arms that are symmetrically located in the x-y plane and placed at an angle of 45° to each other to provide polarization independence and wide angle absorption. On the inside, there are two nested ring resonators which are decrease inwardly by ½ radius rate to each other. Initially, absorption curve of the outermost eight-arm ring resonator is plotted and a single absorption peak of 0.87 at 4.8 GHz is observed. Then, when two separate ring resonators were added to the structure, the absorption frequency shifted slightly to 4.7 GHz while the absorption rate increased by 10% to 0.96. In addition, two separate absorption peaks are observed at the 2.4 GHz and 12.6 GHz frequencies, respectively, at 0.92 and 0.94 rates. Finally, three absorption peak values have been shown to be caused by three nested ring resonators in the structure and also owing to the eight rotational symmetric arm, the structure is polarization mode independent and has an incident wave angle stability of up to 50°.

Keywords: Microwave Signal Absorber, Triple-band, Polarization

¹ Bilal TÜTÜNCÜ (Orcid ID: 0000-0002-7439-268X), İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu yazar/Corresponding Author: Bilal TÜTÜNCÜ, bilal1334@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 20.09.2018
Kabul tarihi / Accepted: 15.10.2018

GİRİŞ

Elektromanyetik emiciler, ölçeklendirilerek çok farklı frekans bantlarında çalışabilmesi ve neredeyse tüm gelen ışımaya dalgalarını emebilecek yüksek performansları nedeniyle çok çeşitli alanlarda ümit vaat etmektedir. (Araneo ve ark., 2013; Shchegolkov ve ark., 2010). Bu yüksek absorbe özelliği sayesinde, bu yapılar enerji hasadı (Ünal ve ark., 2015), termal algılama sensörleri (Karaaslan ve Bakır, 2014), güneş pilleri (Rufangura ve ark., 2015) ve gizlilik teknolojisi gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılabilir. Bir yeni diğer elektromanyetik emici uygulaması da günümüz savunma sanayi teknolojisinde önemli bir çalışma alanı olan radar kesit alanının düşürülmesidir (Ren ve ark., 2018). Elektrikli halka rezonatörü (ERR) ve iletken tellerden oluşan ilk mükemmel metamateriyal (MM) emici Landy ve arkadaşları tarafından 2008 yılında önerilmiştir. Bu MM sinyal emici 3 katmandan oluşmaktadır; elektrik rezonatörün olduğu üst katman, dielektrik katman (alttaş) ve iletken telden oluşan arka katman. Yapının üst tarafındaki ERR ve arka tarafındaki iletken tel ile bağımsız olarak ayarlanmış elektrik ve manyetik rezonanslar nedeniyle MM içinde tutulan elektromanyetik güç, yapının dielektrik ve ohmik kayıpları nedeniyle yavaş yavaş dağılır ve mükemmel bir emilime neden olur. Ayrıca üst katmanın empedansı boşluğun empedansı ile eşleştirilerek yansıma sıfırlanır ve iletim; yapının sırt tarafının tamamen iletken ile kaplanmasıyla engellenir. Dolayısıyla tüm gelen elektromanyetik enerji içeride harcanmış olur (Landy ve ark., 2008).

İlk MM emici yapısının literatüre girmesiyle birlikte MM emicilerin tasarımı, üretimi ve karakterizasyonu önemli ölçüde ilgi çekmiştir. Bu ilk çalışmanın sonrasında mikrodalga, terahertz ve kızılötesi frekanslarda çalışan birçok MM emici gerçekleştirildi ve farklı uygulamalar için önerildi (Liu ve ark., 2010; Dinçer ve ark., 2014; Noor ve Hu, 2010). Mevcut MM emiciler

her ne kadar yüksek soğurma özelliğine sahip olsa da, mikrodalga uygulamalarında birçoğu polarizasyon moduna duyarlı ve dar açıdan sinyal emen yapılardır ve bu da bazı uygulamalardaki kullanımlarını sınırlamaktadır. Dolayısıyla polarizasyona duysuz ve geniş açılı emici tasarımı acil ihtiyaç olmuştur. Bazı çalışmalarda sunulan elektromanyetik emiciler çift bant veya çoklu bant olmalarına karşın asimetrik geometrileri nedeniyle polarizasyon bağımlıdır (Tao ve ark., 2010; Wen ve ark., 2009). Bu çalışmada x-y düzleminde birbirine 45°'lik açı ile simetrik olarak yerleştirilen dönel sekiz ayrı kol yapısı sayesinde polarizasyon mod bağımsız olan ve yaklaşık 50°'ye kadar açısal kararlılık gösteren Sekiz-kol Halka Rezonatör (SHR) emici tasarlanmıştır. Bu sekiz kollu halka rezonatörün içine, biri diğerinin iki katı boyutta iç içe iki ayrı halka rezonatör daha eklenerek üçlü bantta emilim yapması sağlanmış ve böylece yapıdaki her dairesel halkanın iyi bir emilime sahip bir rezonans bandına katkıda bulunduğu gösterilmiştir.

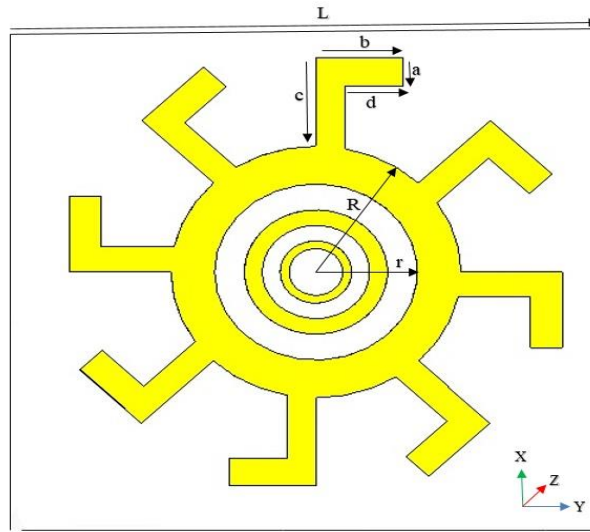
MATERYAL VE YÖNTEM

Elektromanyetik emicinin verimliliği $A(\omega)=1-R(\omega)-T(\omega)$ olarak karakterize edilir ve burada $A(\omega)$ emilim ve $R(\omega)$ ve $T(\omega)$ ise sırasıyla frekansa bağlı yansıma ve iletimdir (Landy ve ark., 2008). Eşitlikten anlaşılacağı gibi yüksek performanslı bir emici için $R(\omega)$ ve $T(\omega)$ 'in eş zamanlı olarak aynı frekanslarda minimize edilmesi gerekmektedir. İletimi sıfıra doğru çekmek için en verimli ve etkili yöntem yapının sırt tarafını iletken bir tabaka ile kaplamaktır. Yansımayı engellemek için de yapının karakteristik empedansı ile boş uzay empedansını eşleştirmek yeterli olacaktır. Dolayısıyla çoklu bant mükemmel bir emici tasarımında kullanılacak birim hücre yapısının parametreleri, emilim yapacak her frekans değerinde boş uzay empedansı ile eşleşecek şekilde dikkatlice optimize edilmelidir.

SHR Birim Hücre Yapının Tasarımı

Bu çalışmada önerilen yapı üç katmandan oluşmaktadır. Üst katman yarıçap boyutları içe doğru $\frac{1}{2}$ oranında azalan i içe üç halka rezonatörden oluşmaktadır. En dıştaki halkaya, yapının polarizasyon bağımsızlığını sağlamak ve kabul açısını geniş tutmak için birbirine 45° 'lik açılarla yerleştirilmiş sekiz eş boyutlu simetrik kol yerleştirildi. Ara katman yani alttaş olarak kalınlığı 0,7 mm, dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 3.48$ ve kayıp tanjantı $\delta = 0.037$ olan Rogers 4350B dielektrik malzeme kullanıldı. Alt katman yani

yapının sırt tarafı ise iletimi engellemek için bakır tabaka ile kaplıdır. Aynı zamanda bu tabakanın, üst tabaka ile eş zamanlı antiparalel yüzey akımı yapının manyetik rezonansına katkı sağlamaktadır. Yapıda iletken olarak kullanılan bakırın kalınlığı 0.035 mm'dir. Şekil 1'de üçlü bant SHR sinyal emicinin birim hücre yapısı Őematik olarak görülmektedir. lçler CST programında birkaç ölçeklendirme çalışmalarından sonra; $L=36$ mm, $a=1.8$ mm, $b=4.8$ mm, $c=5.7$ mm, $d=3.2$ mm olarak optimize edildi.



Şekil 1. SHR sinyal emicinin birim hücre Őematik görüntüsü

Serbest uzay Simülasyon Modeli

Modelleme, leklendirme ve simülasyon CST STUDIO SUITE programı ile yapıldı ve programın genel amaçlı üç boyut zmleyicilerinden transient çözücü (transient solver) kullanıldı. Bu zc, tasarlanan geometriyi Hexahedral mesh (altı yüzeyli aę) yapıda böler ve yapı içerisinden bir zaman sinyali yayarak inceler. Burada kullanılan aę yapısı eğri geometrilere sahip olmayan karmaşık yapıların incelenmesi için çok güvenilir ve etkili bir yöntemdir.

Simülasyonun kurulumu, Z-ekseninde yayılım yapan bir dalga kılavuzu ortamında yerleştirilen materyale benzer Őekildedir.

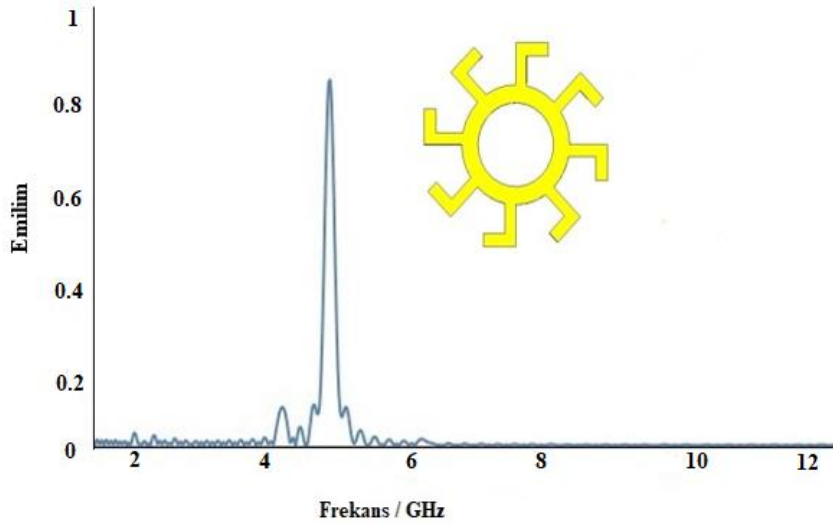
Programın sınır koşulları ayarları (boundary conditions) X-ekseni boyunca mkemmek elektrik iletken (PEC) sınırı ve Y-ekseni boyunca mkemmek manyetik iletken (PMC) sınırı olacak Şekilde ayarlandı. Bu sınır Őartları nedeniyle malzeme ilk etapta TEM dalgası ile uyarılmış oldu (Katiyar ve Mahadi, 2013). İletim, yansımaya ve emilim hesabı için birim hücre emicinin evre uzunluğunun 4 katı mesafe uzaklığına iki adet dalga kılavuzu portu yerleştirildi.

BULGULAR VE TARTIŐMA

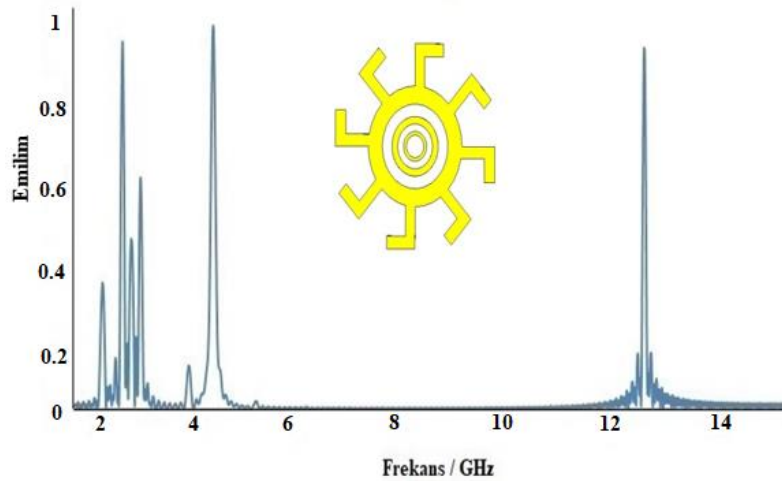
İ Halkaların Emilime Etkisi

Tasarlanan SHR birim hücrenin iki farklı durum için simülasyonu yapıldı. Öncelikle iteki

iki halka rezonatörün emilime katkısının anlaşılması için sadece en dıştaki sekiz kollu halkanın emilim grafiği çizdirildi ve daha sonra yapıya iki halka rezonatör dhil edilerek emilim grafiği tekrar çizdirildi.



Şekil 2. İçteki halkalar olmadan SHR yapının emilim grafiği



Şekil 3. Önerilen SHR Yapının emilim grafiği

Şekil 2’de tek başına dıŐ halkanın ve Şekil 3’te ise önerilen emici birim hücre yapının simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi i halkalar yokken 4.8 GHz’de 0,87 oranında tek bir emilim tepe değeri

var. Yapıya, ap olarak biri diğerinin iki katı olan iki ayrı halka rezonatör eklenince Şekil 3’te görüldüğü gibi emilim frekansı az bir farkla 4.7 GHz’e kayarken, emilim oranı yaklaşık %10 artarak 0.96 değerine yükselmiştir. Ayrıca 2.4

GHz ve 12.6 GHz frekanslarında sırasıyla 0.92 ve 0.94 oranında iki ayrı emilim tepe değerleri daha görülmüştür. Sonuç olarak her üç emilim tepe değerinin yapıdaki üç farklı halka

rezonatörden kaynaklandığını söyleyebiliriz (Şekil 3). Sonuçlar kıyaslamalı olarak izelge 1’de verilmiştir.

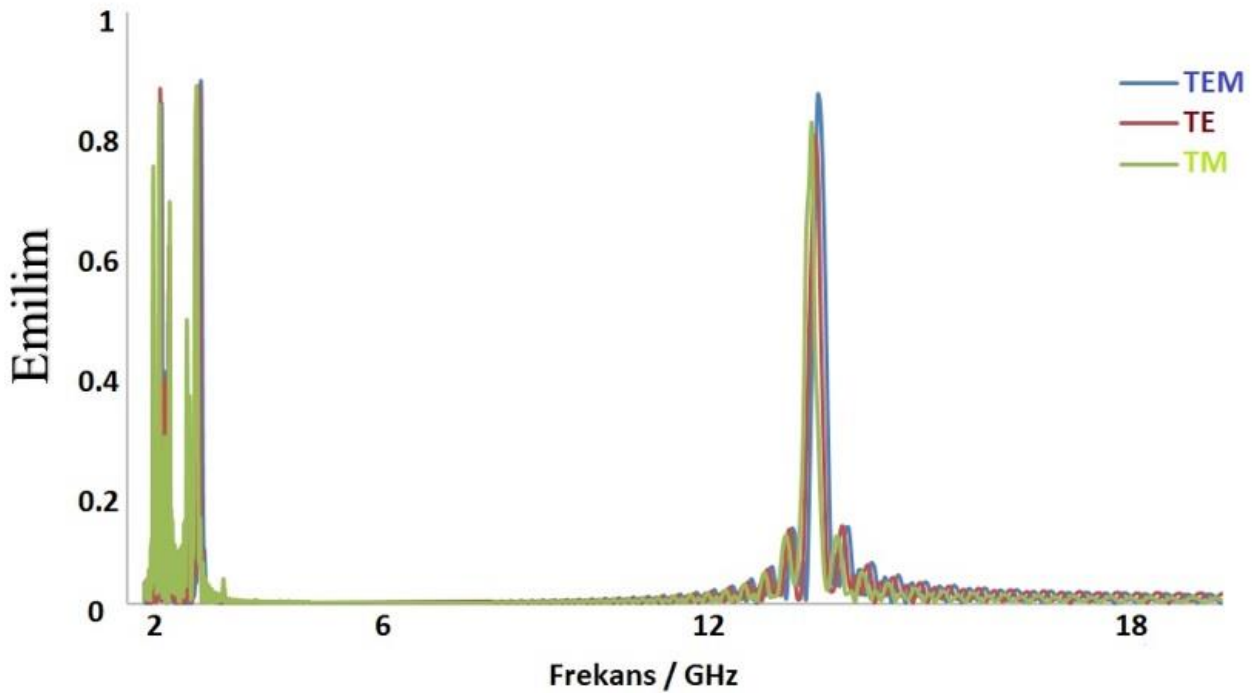
Çizelge 1. Tek sekiz kollu ve tüm SHR yapının emilim değerleri

| Yapı | Frekans GHz | Emilim % | Yansıma-S ₁₁ dB | İletim-S ₂₁ dB |
|-----------------|----------------|-------------|-------------------------------|------------------------------|
| Tek sekiz kollu | 4.8 | 0.87 | -24 | -58 |
| | 2.4 | 0.92 | -38 | -60 |
| Tüm SHR yapısı | 4.7 | 0.96 | -46 | -64 |
| | 12.6 | 0.94 | -43 | -62 |

SHR yapının aı ve polarizasyon mod bağımsızlığının analizi

SHR yapının en dıştaki halkasında birbirine simetrik dönel sekiz iletken kol olması yapıyı gelen dalganın açısından ve polarizasyon modundan bağımsız kılmıştır. Polarizasyon mod bağımsızlığını incelemek için CST programında

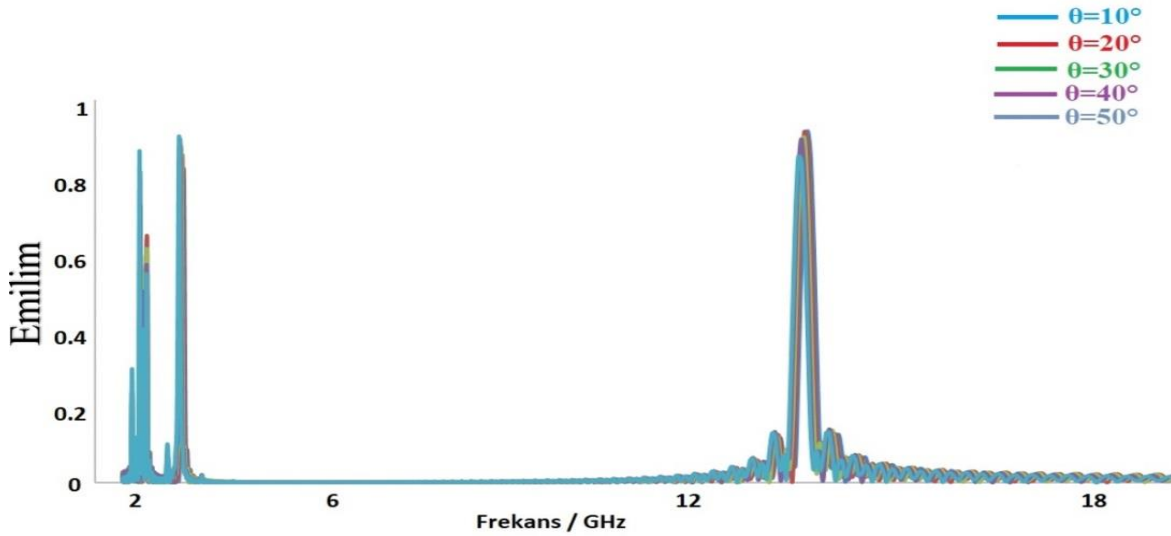
sınır koşulları (Boundary conditions) zelliği kullanılarak yapı TEM, TM ve TE olarak üç farklı modda uyarıldı. Üç farklı mod için elde edilen emilim sonuçları Şekil 4’de verildi. Görüldüğü gibi her üç modda da emilim oranları hemen hemen aynıdır.



Şekil 4. Üç farklı polarizasyon modu için SHR yapının emilim grafiği

Daha sonra yapının emilim oranının sinyalin geliş açısına bağımlılığı 10°’lik açılarla 50°’ye kadar analiz edildi ve sonuçlar şekil 5’te verildi.

Görüldüğü gibi yapı 50°’ye kadar çok az farkla açısal olarak kararlılık göstermektedir.



Şekil 5. Farklı sinyal açılarına göre SHR yapının emilim grafiği

SONUÇ

Bu çalışmada, ilk olarak kalınlığı 0,7 mm, dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 3.48$ ve kayıp tanjantı $\delta = 0.037$ olan Rogers 4350B dielektrik alttaş malzeme kullanılarak dönel simetrik sekiz kollu tek bir halkadan oluşan bir mikrodalga emici yapı tasarlandı, simüle edildi ve 4.8 GHz'de %87 tepe değerinde emilim gösterdiği görüldü. Daha sonra bu yapının içine çap olarak biri diğerinin iki katı olan iki adet halka rezonatör eklenip emilim grafiği tekrar çizdirildi. 2.4 GHz, 4.7 GHz ve 12.6 GHz olmak üzere üç ayrı frekansta sırasıyla %92, %96 ve %94 tepe değerlerinde emilim gösterdiği görüldü. Yapının  bantlı olmasında i içe  halka rezonatörün etkisi, emilim grafiklerinde kıyaslamalı olarak verildi. Ayrıca nerilen bu SHR mikrodalga emicinin simetrik sekiz adet kol yapısı gereği polarizasyon mod bağımsız olduğu ve 50°'ye kadar gelen dalga açısına kararlı davrandığı simülasyon sonuçlarıyla gösterildi. Bu nerilen birim hücre mikro dalga emcinin periyodik katmana dönüştürülerek GSM (2.4 GHz) uygulamalarında (enerji harmanlama, SAR değeri düşürme vb.) ve X bantta (8-12 GHz) alışan radarlar için radar kesit alanının düşürülmesinde kullanılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Araneo R, Lovat G, Celozzi S, 2013. Compact electromagnetic absorbers for frequencies below 1 GHz. *Progress In Electromagnetics Research*, 143: 67–86.
- Dincer F, Karaaslan M, nal E, Delihacioglu K, Sabah C, 2014. Design of polarization and incident angle insensitive dual-band metamaterial absorber based on isotropic resonators. *Progress In Electromagnetics Research*, 144: 123-132.
- Karaaslan M, Bakır M, 2014. Chiral metamaterial based multifunctional sensor applications. *Progress In Electromagnetics Research*, 149: 55–67.
- Katiyar PR, Mahadi WNLBW, 2013. A comparative study on metamaterial for antenna in space application. *IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace)*, Melaka-Malaysia, 1-3 July 2013, pp: 74-78.
- Landy NI, Sajuyigbe S, Mock JJ, Smith DR, Padilla WJ, 2008. Perfect metamaterial absorber. *Physical Review Letters*, 23: 207402.

- Liu N, Mesch M, Weiss T, Hentschel M, Giessen H, 2010. Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor. *Nano Letters*, 10(7): 2342–2348.
- Noor A, Hu Z, 2010. Metamaterial dual polarised resistive Hilbert curve array radar absorber. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 4(6): 667–673.
- Ren J, Gong S, Jiang W, 2018. Low-RCS Monopolar Patch Antenna Based on a Dual-Ring Metamaterial Absorber. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17(1): 102-105.
- Rufangura P, Sabah C, 2015. Dual-band perfect metamaterial absorber for solar cell applications. *Vacuum*, 120: 68-74.
- Shchegolkov DY, Azad AK, O'Hara JF, Simakov EI, 2010. Perfect subwavelength fishnetlike metamaterial-based film terahertz absorbers. *Physical Review B*, 82 (20): 205117.
- Tao H, Bingham CM, Pilon D, Fan KB, Strikwerda AC, Shrekenhamer D, Padilla WJ, Zhang X, Averitt RD, 2010. A dual band terahertz metamaterial absorber. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(22): 225102.
- Ünal E, Dinçer F, Tetik E, Karaaslan M, Bakir M, Sabah C, 2015. Tunable perfect metamaterial absorber design using the golden ratio and energy harvesting and sensor applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26: 9735–9740.
- Wen QY, Zhang HW, Xie YS, Yang QH, Liu YL, 2009. Dual band terahertz metamaterial absorber: design, fabrication, and characterization. *Applied Physics Letters*, 95 (24): 241111.