

WLAN Sinyallerini Engellemeye Yönelik Çift Bant Frekans Seçici Yüzey Tasarımı

Dual Band Frequency Selective Surface Design to Block WLAN Signals

Ömer Faruk Günaydın^{1*}, Zeynep Sıdika Seven^{1,2*}, Mensur Öztürk¹, Sultan Can¹

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara Üniversitesi

ofgunaydin@ankara.edu.tr, ozturkmnsr@ankara.edu.tr, sultancan@ankara.edu.tr

² Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
TED Üniversitesi

zeynep.seven@tedu.edu.tr

*eşit şekilde katkıda bulunmuştur.

Özet

Bu çalışmada, dikdörtgen yapılar kullanılarak özgün bir çift bant frekans seçici yüzey (FSY) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Frekans seçici yüzey, 3.6 GHz ve 4.9 GHz WLAN frekans bantlarını engellemek ve diğer frekans bantlarını geçirmek için çift bant şeklinde tasarlanmıştır. Tek katmanlı FR-4 olarak seçilen alt taşı malzemesi ve FSY deseninin istenen frekansta cevap vermesi için, 3 boyutlu tam dalga elektromanyetik benzetim programı (CST Studio Suite®) kullanılarak parametrik analiz yapılmıştır. FSY üretimi LPKF cihazında tek kat FR-4 kullanılarak üretilmiş olup, deney ölçümleri network analizör ile gerçekleştirilmiştir. Parametrik analizler ile deneysel veriler karşılaştırılmış ve ölçümler doğrulanmıştır.

Abstract

In this study, an original two-band frequency-selective two-surface (FSS) with rectangular structures was designed. The frequency selective surface was designed in dual-band form to block the 3.6 GHz and 4.9 GHz WLAN frequency bands and allow other frequency bands to pass. Parametric analysis was performed using a three-dimensional full-wave electromagnetic simulation program (CST Studio Suite®) to ensure that the selected substrate material (FR-4) and FSY pattern would respond to the desired frequency. FSY production was fabricated with a single layer of FR-4 in the LPKF fixture, and test measurements were performed using a network analyzer. Parametric analysis and experimental data were compared and the measurements were confirmed.

1. Giriş

Telekomünikasyondaki ilerlemeyle birlikte, bilgi sistemi için kablosuz teknolojinin kullanımı önemli ölçüde artmıştır [1]. Erişim ağı teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte internet erişimi evlerde ve ofislerde kullanılmaya başlanmıştır. Binalardaki internet ağları, kablolu ve

kablosuz ağlar arasında paylaşılır. Yerel alan ağları (LAN) bir bina, okul, hastane, kampüs gibi sınırlı bir coğrafi alanda kurulan ve çok sayıda kişisel bilgisayarın yer aldığı ağlardır [2]. LAN'larda bilgisayarlar ve ağ içerisindeki diğer cihazlar arasında iletişimi sağlamak üzere kablo yerine RF (Radio Frequency) veya kızılötesi teknolojisi kullanılması durumunda, Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN) olarak adlandırılmaktadır [3]. Artan bilgi veri kapasitesini sağlamak için giderek büyüyen kablosuz sistemler dikkate alındığında, kablosuz yerel alan ağı (WLAN) kanallarına karşılık gelen yayılan alanların miktarı her yıl artmaktadır. Bu nedenle, aynı anda farklı bantlarda yayılan kanallar arasındaki parazit ve elektriksel bozulma, sistem performansındaki bozulma ve güvenlik hatalarının oluşması nedeniyle büyük bir sorun haline gelir [4-6]. Ayrıca bazı özel ve kamusal alanlarda istenilen frekans kanallarına izin verilirken istenmeyen radyasyonun kısıtlanması istenmektedir. Örneğin, acil servis iletişimlerinin iletilmesine izin verilirken, hapisane hücrelerinde, hastanelerde veya uçaklarda mobil iletişim frekanslarına erişimin engellenmesi önemlidir [5]. Aksine, GSM sinyallerinin pencerelerden veya duvarlardan geçmesine izin verirken, WLAN sinyallerinin yeniden kullanım için bir bina içinde engellenmesi gerekecektir. Binaların duvarlarına asılabilecek bir bant durdurucu FSY, kablosuz güvenlik için çözüm sağlayabilir. FSY'nin seçici doğası, WLAN sinyallerini bloke ederken diğer faydalı RF/mikrodalga sinyallerinin geçmesine izin verir [7].

Frekans seçici yüzeyler, gelen elektromanyetik dalganın frekansına bağlı olarak iletim, yansıma veya soğurma özellikleri gösteren bir filtre veya polarizasyon dönüştürücü olarak görev alan tek veya çok katmanlı periyodik yapılardır [8]. Frekans seçici yüzey (FSY), bir dielektrik malzeme üzerinde düzlemsel metalik dizi

elemanlarına (yama veya delikler) sahip olan, belirli rezonans frekansında iletim ve yansıma sergileyen iki boyutlu periyodik yapılar olan elektromanyetik (EM) biliminin bir konusudur [9]. Dizi elemanı tasarımına bağlı olarak, gelen bir düzlem dalga tamamen veya kısmen iletilecek veya yansıtılacaktır. Bu, düzlem dalgasının frekansı, FSY elemanlarının rezonans frekansıyla eşleştiğinde olur [10]. Bu nedenle, bir FSY, boş uzayda belirli frekanslarda EM dalgalarını geçirebilir veya bloke edebilir; bu yüzden iyi bir uzaysal filtre olarak tanımlanırlar [11]. Frekans seçici yüzeyler, günümüz modern iletişim sistemlerinde kritik bileşenlerden biridir. Son yıllardan beri, Frekans Seçici Yüzeyler (FSY'ler), mikrodalga ve optik sinyaller için elektromanyetik filtreler olarak yaygın uygulamaları nedeniyle dikkat çekici bir ilgi görmüştür. Örneğin: radomlar, dikroik alt reflektörler, bant geçişi ve bant durdurucu filtreler ve soğurucular [12].

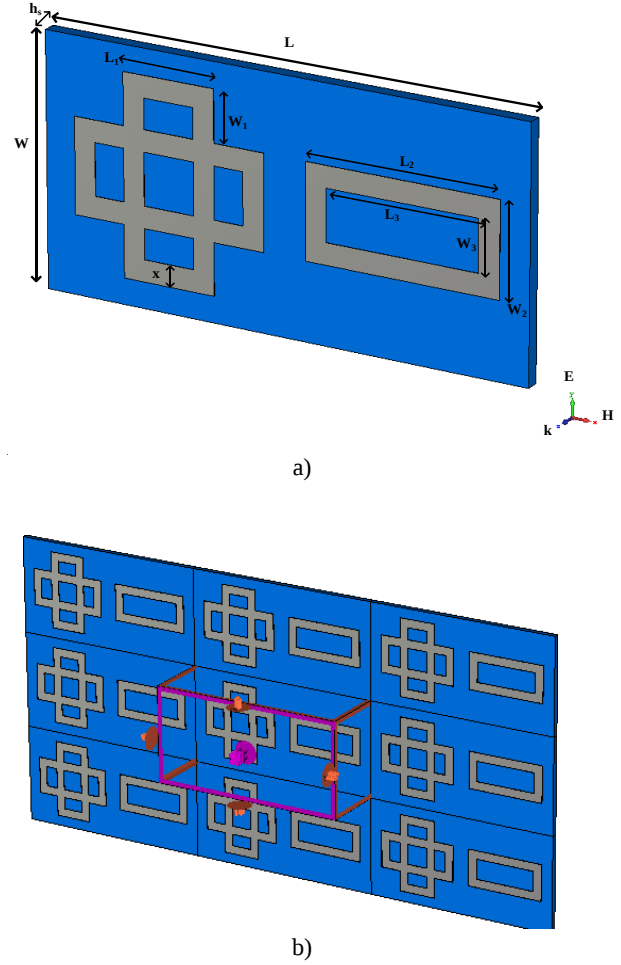
Frekans seçici yüzeylerin performansını etkileyen çok fazla parametre vardır. Bu periyodik yapılar kullanılan malzemenin elektriksel, fiziksel, kimyasal özellikleri ve birim hücrenin geometrisi gibi birçok parametreye bağlı olarak tasarlanıp istenilen özelliklere sahip yapı elde edilmeye çalışılır [13]. FSY'lerde dielektrik malzemenin elektriksel geçirgenliği, dielektrik malzemenin kalınlığı, iletken malzemenin boyutları ve iletken malzemenin yama kalınlığı doğrudan bir frekans seçici yüzeyin performansına etki eder. Yukarıda belirtilen parametreler bir periyodik yapıda rezonans frekansına, bant genişliğine ve zayıflama miktarına etki eder. Bu sebeple belirtilen parametreler değiştirilerek, bir periyodik yapının frekans tepkisi ve zayıflama miktarı belirlenebilir. Farklı frekans bantları için de istenilen tasarım gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada istenilen frekans değerlerine karşılık gelecek olan malzeme boyutları analiz programları sayesinde optimize edilmiştir ve yapılan çalışmalar sonucunda istenilen rezonans frekansları ve bant genişliği elde edilmiştir.

Farklı WLAN kanalları olduğundan, birçok uygulama için geniş bant veya çok bantlı çalışma gereklidir. Geniş bant veya çoklu bant yanıtı elde etmek için çift veya çoklu kademeli FSS katmanları kullanılabilir. Bu çalışmada, düşük frekanslı hücresel frekans bantlarını (900 MHz ve 1.8 GHz) iletirken, iki WLAN bandını, 3.6 GHz ve 4.9 GHz'i korumak için FR-4 üstünde gerçekleştirilmiş, tek katmanlı bir FSS yapısı önerilmiştir.

Tek katmanlı FR-4 üzerinde dikdörtgen şeklinde farklı bir konfigürasyon yapılarak verilen WLAN frekans bantlarını durduracak FSY tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımın çizimleri CST programında gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında belirlenen frekans bandı ve malzeme boyutu için uygun olan WR229 dalga kılavuzu kullanılarak, network analizör cihazında ölçümler yapılmıştır. Ardından gerçekleştirilen çalışma elektromanyetik analiz ve benzetim programı CST Studio Suite®'de analiz edilmiştir. Analiz sonuçları benzetim sonuçları ile kıyaslanmıştır.

2. Önerilen FSS Tasarımı

Çalışmada önerilen tasarım uyarım yönleri, sınır koşulları ile birlikte aşağıdaki şekilde sunulmuştur. L alt taşa ait boy değerini ifade ederken W alt taş en kalınlığını göstermektedir.



Şekil 1: Önerilen Tasarıma ait a) CST tasarımı ve uyarımı b) sınır koşulları.

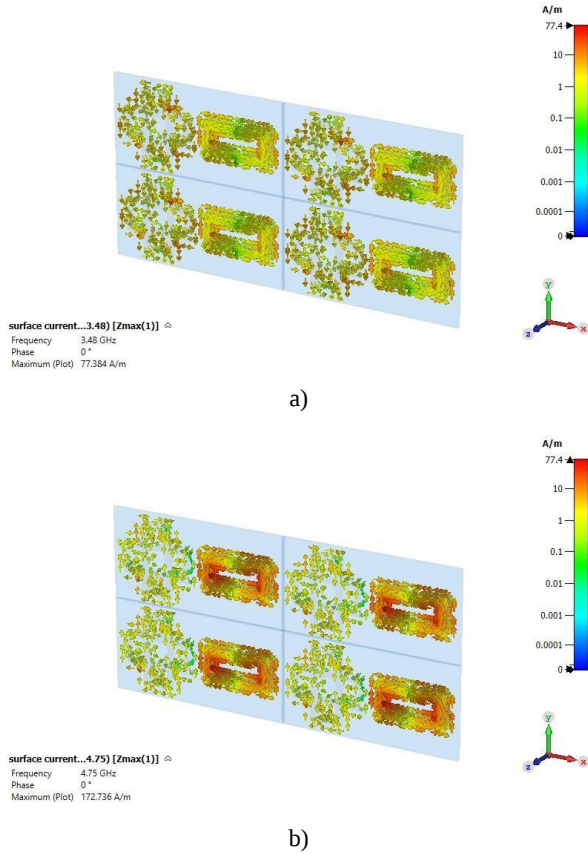
Alt taş olarak kullanılan malzeme kalınlığı h_s ile ifade edilirken bu kalınlık 1.58mm olarak belirlenmiştir. Söz konusu malzeme rölatif elektriksel geçirgenlik değeri 4.3 olan FR-4 olarak tasarlanmıştır. Kullanılan FR-4 malzemedeki iletken kalınlığı 35 mikrondur. Tasarımda kullanılan diğer parametreler ise aşağıdaki çizelgede sunulmuştur. FR-4 malzeme kullanımı tasarım maliyetini düşürmüştür. Diğer mikrodalga frekans uygulamaları için kullanılan Rogers tipi malzemelere kıyasla üretim maliyeti oldukça uygundur. Şekil 1 a'da sunulan dikdörtgen şekillerde bulunan bakır kalınlığı her kısımda aynı olup çizelgede x değeri ile ifade edilmiştir.

Çizelge 1: Tasarım parametreleri

Parametre	Değer
x	2.5 mm
h _s	1.58 mm
W	29.083 mm
W ₁	6 mm
W ₂	11 mm
W ₃	6 mm
L	58.166 mm
L ₁	11 mm
L ₂	23 mm
L ₃	18 mm

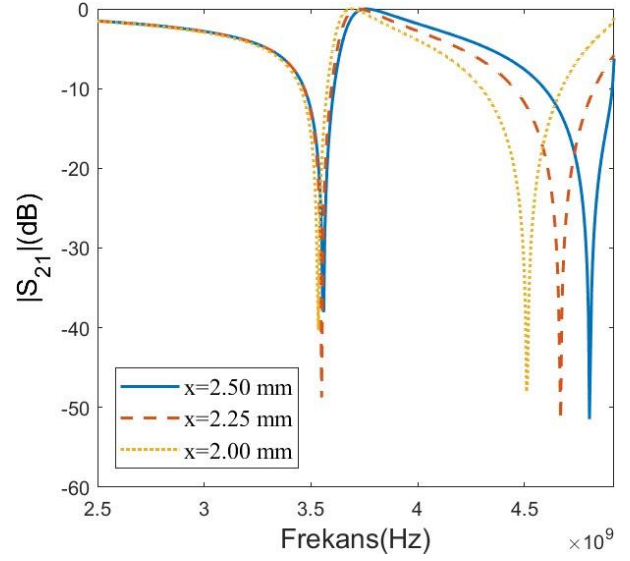
2.1. Tam dalga simülatörü CST Studio Suite®

Benzetim çalışmaları gerçekleştirilirken tasarım alt taş boyutları WR229 dalga kılavuzuna sığacak şekilde b 58.166 mm en ve 29.083mm boy olacak şekilde belirlenmiştir. Dalga kılavuzunun kesim frekansları 2.557 GHz ile 5.154GHz aralığındadır. Bu kısıtlar ile tasarımlar CST Studio Suite® ile gerçekleştirilmiştir. CST ile elde edilen yüzey akım dağılımları aşağıda sunulmuştur.



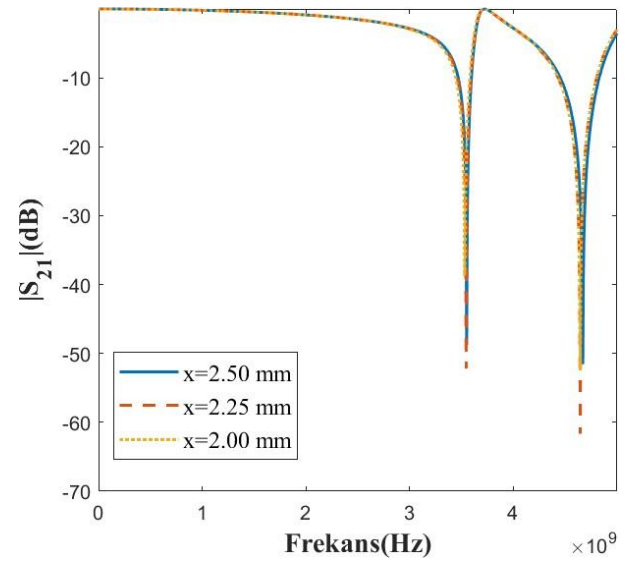
Şekil 2: Önerilen Tasarıma ait yüzey akım dağılımlarına a) alt frekans için b) üst frekans için

Yüzey akım dağılımlarından da anlaşıldığı üzere üst frekans değeri için dikdörtgen şekilli rezonatör etkisi fark edilir seviyededir. Bu bağlamda yapılan parametrik analizlerde her iki rezonatör için de bakır yama kalınlığı eşit alındığında bu değerinin üst frekanslara etkisi Şekil 3'te sunulmuştur. Bakır yama kalınlığının artışı ile artış gösteren üst frekans değeri uygulamaya ve ilgilenilen frekansa göre ayarlanabilir olmuştur.



Şekil 3: Dikdörtgen rezonatör bakır yama kalınlığının üst frekansa etkisi

Artı şekilli rezonatör bakır yama kalınlığı değişimi ise her hangi bir frekans için kayda değer bir değişikliğe sebep olmamış ilgili benzetim sonuçları Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4: Artı şekilli rezonatör bakır yama kalınlığının üst frekansa etkisi

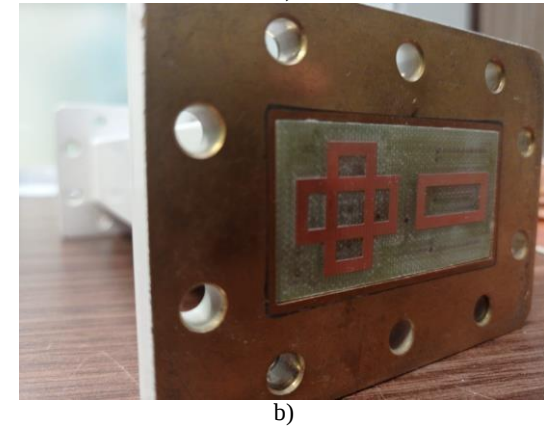
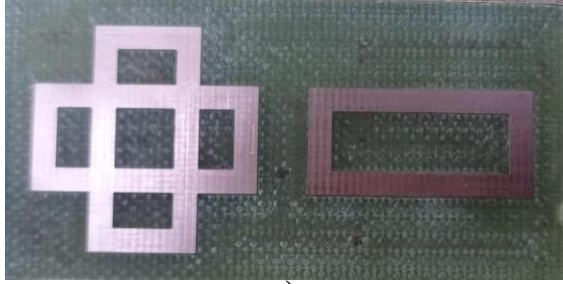
2.2. Prototip ve üretim

Tasarım CST Studio Suite® benzetim ile elde edilen veriler doğrultusunda WR229 dalga kılavuzu boyutlarında LPKF S63

cihazı kullanılarak üretilmiştir. LPKF S63 cihazının görüntüsü Şekil 3’de verilmektedir.



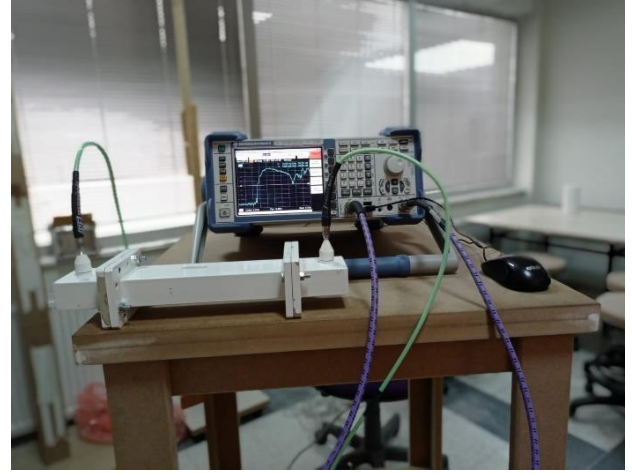
Şekil 5: LPKF S63 üretim aşaması görüntüsü.



Şekil 6: Prototipe ait a) görüntü b) dalga kılavuzla ölçüm görüntüsü.

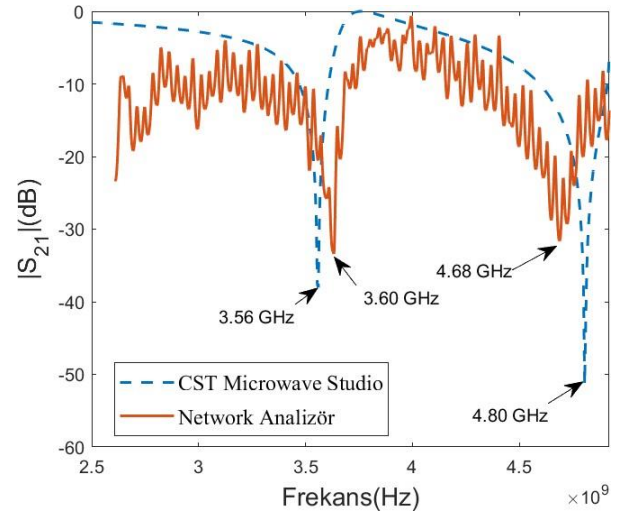
2.3. DeneySEL Sonuçlar

Ölçümler Rohde Schwarz Network R&S®ZVL13 analizatörü kullanılmıştır. Ölçüm cihazının frekans aralığı 9 kHz ile 13.6 GHz’dir. Dalga kılavuzu olarak WR229 kullanılmıştır. Dalga kılavuzuna ait kesim frekansları cihazın ölçüm aralığında bulunmaktadır. Cihaz iki port kullanarak ölçüm yapma imkânı sağlamaktadır. Cihazda kalibrasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra gerçekleştirilen ölçüme ait ölçüm cihazı ve ölçüm düzeneğine ait görüntü Şekil 5’te verilmektedir.



Şekil 7: Rohde Schwarz Network analizör ve ölçüm düzeneğinin görüntüsü

Bu tasarıma ait sonuçlar CST Studio Suite® ve ölçüm sonuçları olarak düzenlenmiş S_{21} grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 8: FSY S_{21} grafiği

Şekil 8’de verilen benzetim ve ölçüm sonuçlarındaki rezonans frekansları ve zayıflama oranları görülmektedir. Benzetim sonucundaki FSY tasarımının alt frekansındaki rezonans frekansı 3.56 GHz, bant genişliği ise 0.12 GHz’dir. Üst frekans bölgesinde ise rezonans frekansı 4.80 GHz, bant genişliği ise 0.30 GHz’dir. Network analizör ile gerçekleştirilen ölçümlerde alt frekans bölgesinde rezonans frekansı 3.60 GHz, bant genişliği ise 0.19 GHz olarak belirlenmiştir. Üst frekans bölgesinde yapılan ölçümlerde rezonans frekansının 4.68 GHz, bant genişliği ise 0.30 GHz olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen benzetim ve ölçüm değerleri kıyaslanmıştır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada WLAN frekans bantları olan 3.60 GHz ve 4.90 GHz frekans bantlarını engellemeye yönelik, çift bant dikdörtgen şekillerle oluşturulan frekans seçici yüzey tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aynı anda iki farklı WLAN frekans bandı için gerçekleştirilen frekans seçici yüzeyin benzetim ve ölçüm

sonuçları karşılaştırıldığında tutarlı olduğu görülmektedir. Ölçüm sonuçlarındaki dalgalanmaların VNA kaynaklı farklılıklar olduğu öngörülmektedir. Bu dalgalanmaların haricinde deneysel sonuçların benzetim sonuçları uyumlu olduğu görülmektedir.

4. Kaynaklar

- [1] Rafique, U., Kiani, G. I., Ahmed, M. M., & Habib, S. (2011, April). Frequency selective surface absorber for WLAN security. In Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP) (pp. 872-875). IEEE.
- [2] Clark, D. D., Pograd, K. T., & Reed, D. P. (1978). An introduction to local area networks. Proceedings of the IEEE, 66(11), 1497-1517.
- [3] Köksal, A. S. (2007). 802.11 kablosuz yerel alan ağlarında güvenlik sorunu (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [4] AlShourbaji, I. (2013). An overview of wireless local area network (WLAN). arXiv preprint arXiv:1303.1882.
- [5] Bağcı, F., Mulazimoglu, C., Can, S., Karakaya, E., Yilmaz, A. E., & Akaoglu, B. (2017). A glass based dual band frequency selective surface for protecting systems against WLAN signals. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 82, 426-434.
- [6] Dahiya, M. (2017). Evolution of wireless LAN in wireless networks. International Journal on Computer Science and Engineering, 9, 109-113.
- [7] Seng, L. Y., Abd Malek, M. F., Hoon, W. F., Leong, L. W., Saudin, N., Mohamed, L., ... & binti Ali, A. (2012, September). Frequency selective surface for enhance WLAN applications. In 2012 IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA) (pp. 81-84). IEEE.
- [8] Munk, B. A. (2005). Frequency selective surfaces: theory and design. John Wiley & Sons.
- [9] Sarabandi, K., & Behdad, N. (2007). A frequency selective surface with miniaturized elements. IEEE Transactions on Antennas and propagation, 55(5), 1239-1245.
- [10] Dalkılıç, A. (2014). Analysis and design of conformal frequency selective surfaces (Master's thesis, Middle East Technical University).
- [11] Bayatpur, F. (2009). Metamaterial-Inspired Frequency-Selective Surfaces (Doctoral dissertation).
- [12] Fallah, M., Nazeri, A. H., & Azadkhah, M. R. (2019). A novel fractal multi-band frequency selective surface. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, 18, 276-285.
- [13] Anwar, R. S., Mao, L., & Ning, H. (2018). Frequency selective surfaces: a review. Applied Sciences, 8(9), 1689.