



---

**Makale / Research Paper**

---

**Açısal Olarak Değiştirilebilir Dikdörtgen Yamalı Frekans Seçici Yüzeylerle,  
Ayarlanabilir Bant Geçiren Filtre Tasarımı**

**Ömer KASAR<sup>a</sup>, Mustafa GEÇİN<sup>b</sup>, Mahmut Ahmet GÖZEL<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 08110  
Artvin/TÜRKİYE

<sup>b</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 32260  
Isparta/TÜRKİYE

[omerkasar@hotmail.com](mailto:omerkasar@hotmail.com) [mustafagecin@sdu.edu.tr](mailto:mustafagecin@sdu.edu.tr), [mahmutgozel@sdu.edu.tr](mailto:mahmutgozel@sdu.edu.tr)

**Received/Geliş:** 30.04.2018

**Revised/Düzelme:** 25.06.2018

**Accepted/Kabul:** 03.07.2018

**Öz:** Frekans Seçici Yüzey (FSY), bulunduğu ortamdan üzerine gelen elektromanyetik dalgalara karşı filtre özelliği gösterirler. Bu çalışmada mikrodalga frekanslarda bant geçiren özellikte frekans seçici yüzey önerilmiştir. Bu amaçla iletken yüzey üzerinde oluşturulan ve açısal olarak döndürülebilir dikdörtgen yamalar kullanılmıştır. Yamaların yüzeyle arasındaki açı değiştikçe, FSY iletim ve yansıma karakteristiği de değişmekte ve yüzeyin, filtre olarak çalıştığı frekans değeri artmaktadır. Önerilen çalışmada, açısal değişimli FSY için 1x1, 2x1 ve 2x2 diziler tasarlanmış ve hepsinde yaklaşık olarak aynı karakteristiği verdiği görülmüştür. Tasarımda; FSY-yama açısı 0 derece olduğunda 2,0 GHz civarında olan geçirme frekansı; 15 derece için 2,3 GHz'e kadar çıktığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Döndürülebilir dikdörtgen yamalar; ayarlanabilir bant geçiren yüzeyler; frekans seçici yüzeyler.

---

**Tunable Band Pass Filter Design for Frequency Selective Surface with  
Angularly Deformable Rectangular Patches**

**Abstract:** Frequency Selective Surfaces (FSS), presents filter characteristics against ambient electromagnetic waves. In this study, we proposed new design of band pass featured frequency selective surfaces and arrays in microwave frequencies. For this aim; we built rectangular patches, which can rotate around own, on the copper conductive surface. As changing angle of rotation between FSS and patches, transmission and reflection characteristics of the FSS changes and resonance frequency, which is operating as band pass filter, increases as well. In proposed study, 1x1, 2x1 and 2x2 FSS array designed which angular changeable. The results indicated that unit cell and arrays have the same characteristics. While the angle of FSS-patch is 0 degree, the transmission frequency is around 2.0 GHz, moreover the angle 15 degrees, the frequency increased up to 2.3 GHz.

**Keywords:** Angularly Deformable Rectangular Patches; Tunable Band Pass Surfaces; Frequency Selective Surfaces.

---

**1.Giriş**

Belirli frekanslardaki Elektromanyetik (EM) dalgaları geçiren, yansıtan veya soğuran yüzey şeklinde periyodik olarak oluşturulmuş pasif dizilere frekans seçici yüzey denir [1]. Frekans Seçici Yüzey (FSY), bulunduğu ortamdan üzerine gelen elektromanyetik dalgaları, yüzeyin arka tarafına

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Kasar, Ö., Geçin, M., Gözel, M.A., "Açısal Olarak Değiştirilebilir Dikdörtgen Yamalı Frekans Seçici Yüzeylerle, Ayarlanabilir Bant Geçiren Filtre Tasarımı" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2018,5(3); 756-762.

*How to cite this article*

Kasar, Ö., Geçin, M., Gözel, M.A., "Tunable Band Pass Filter Design for Frequency Selective Surface with Angularly Deformable Rectangular Patches" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5.(3); 756-762.

geçirirken EM dalgaya karşı filtre özelliği gösterirler. Bu filtre karakteristiği; bant geçiren, bant durduran alçak geçiren ya da yüksek geçiren özellikte olabilir [2].

Frekans seçici yüzeyler (FSY), yapılarına bağlı olarak bazı frekanslardaki elektromanyetik dalgaları geçirirken bazı frekanslardakini de durdurabilirler [3,4]. Frekans seçici yüzeyler; elektromanyetik dalgaların bozucu etkilerinden korunmak, GSM vb. kablosuz iletişim sinyallerinin girişim yapmasını önlemek gibi alanlarda oldukça sık kullanılırlar [5,6]. Ayrıca askeri radar tesislerinde, verici-alıcı çalışma frekansı dışındaki sinyalleri engellemek için radar çatısı (Radome) uygulamaları da çok kullanılan uygulamalar arasındadır [7].

Genel olarak frekans seçici yüzeyler, değişik geometrik yapılara sahip birim hücrelerden oluşmaktadırlar [2]. Birim hücre içerisindeki yama ve oyukların şekil ve diziliş yapıları, elektromanyetik ve mikrodalga uygulamalarında çalıştığı frekansa ait dalga boyu ile doğrudan ilişkilidir [3].

Bir frekans seçici yüzeyin üzerine gelen bir EM dalgayı geçirip geçirmediğinin ölçüsü, Saçılma (S) parametreleri ile tespit edilebilir. Saçılma parametreleri iletim (S<sub>21</sub>) ve yansıma (S<sub>11</sub>) miktarlarını değerlendirme mekanizmasıdır. Bir FSY'in iletim frekans bandı, iletim katsayısının -3 dB'nin üstündeki değerleri olarak ifade edilebilir. Bu ifade gelen gücün yarısından fazlasının iletildiğinin ölçüsüdür. Ayrıca yansıma frekans bandı da yansıma katsayısının -10 dB'nin altında olduğu değerlerdir. Bu da FSY'ye gelen elektromanyetik gücün %10'dan daha azının geri yansıdığı anlamına gelir [6].

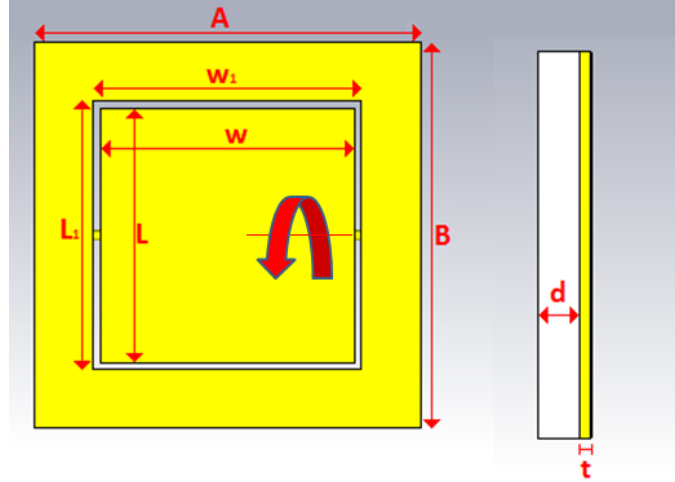
Bu araştırma makalesinde, üzerinde dikdörtgen yamalar bulunan bir FSY'in, yamaların yüzeye yaptığı açının değişimine karşılık iletim ve yansıma karakteristiklerinin nasıl değiştiği değerlendirilmiştir. Birim hücre tasarımı ile çoklu dizi tasarımları karşılaştırılarak bunun bir yüzey olması halinde aynı frekanslarda çalışıp çalışmadığı tartışılmıştır.

## 2. FSY Birim Hücre Tasarımı

Frekans seçici yüzeyler birim hücrelerin iki boyutta (yatay ve dikey) yan yana getirilerek oluşturulduğu sonsuz uzunluktaki yapılardır. Bu çalışmada önerilen tasarım; dikdörtgen şekilli birim hücre içerisine bir boyutta dönecek şekilde birim hücreye bağlanmış yine dikdörtgen şekilli yamadan oluşmaktadır. FSY tasarımı için kullanılan malzeme; üzeri ince bir bakır kaplı Epoksi-FR4 alttaş malzemesidir. Kullanılan FR4 malzemesinin dielektrik katsayısı  $\epsilon_r=4,3$  ve kayıp tanjantı  $\tan\delta=0,025$ 'tir. Alttaş malzemenin kalınlığı  $d=1,5\text{mm}$  ve bakır kalınlığı da  $t=0,035\text{mm}$ 'dir. Önerilen tasarıma ait tüm nümerik analizler üç boyutlu EM tasarım programı olan CST MWS programı üzerinde ve frekans domeni hesaplama modülü ile yapılmıştır.

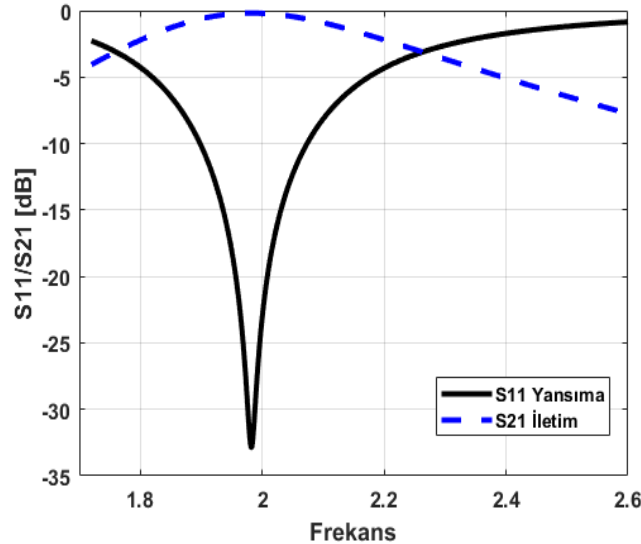
Frekans seçici yüzeylerde temel tasarımın birim hücreden oluşmasının nedeni; elektromanyetik dalgaya karşı gösterdiği filtre karakteristiğinin test edilmesidir. Çünkü birim hücrenin elektromanyetik dalgaya karşı sergilediği iletim-yansıma performansı, çoklu dizilerde de görülecektir [8]. Bu amaçla tasarlanan birim hücre, dalga kılavuzu benzetimi ile simüle edilmiştir. WR430 dalga kılavuzunun boyutlarında uyartım portları oluşturularak birim hücre kılavuz içine yerleştirilmiş ve frekans seçiciliği (FSY olması) karakterize edilmiştir. WR430 dalga kılavuzunun özelliği boyutlarının yeterince büyük olması (109,2x54,6 mm) dolayısıyla çalıştığı frekans aralığı (1,72 Ghz-2,6 GHz arası) iletişim frekanslarını kapsamaktadır (GSM1800, 3G, Wi-Fi, ISM vs.) [5,9,10].

Önerilen FSY birim hücre tasarımı için boyut ve uzunluklar Şekil-1’de gösterilmiştir. Şekildeki parametrik uzunluklara ait değerler dalga kılavuzu içine yerleşebilecek ve dalga kılavuzunun çalıştığı temel modların dışına çıkmayacak şekilde seçilmiştir. Burada alttaş malzeme kenarları  $A=B=54,6$  mm, ücre içindeki oyuk uzunlukları  $W_1=L_1=38$ mm ve birim hücre içindeki yama boyutları da  $W=L=36$ mm’dir. Yama iki kenarından, tek boyutta dönecek şekilde, bakır bir çivi ile tutturulmuştur.



Şekil 1. Birim Hücre Boyutları

Tasarlanan birim hücre ön görünüşte; bir yüzey üzerine dikdörtgen oyuk olarak görülmektedir. Bu yönüyle literatürdeki FSY’ler arasında ‘bant geçiren filtre’ karakteristiğine sahiptir. İletim ve yansıma alt kesim frekansları birbirine yakındır  $f_{alt} \approx 1,9$  GHz, üst kesim frekansı da  $f_{üst} \approx 2,1$  GHz’dir. Bu durumda bant genişliği  $BG = f_{üst} - f_{alt} = 200$ MHz’dir. Şekil 2’de birim hücrenin frekansa göre yansıma ve iletim ( $S_{11}$  ve  $S_{21}$ ) grafiği verilmiştir.

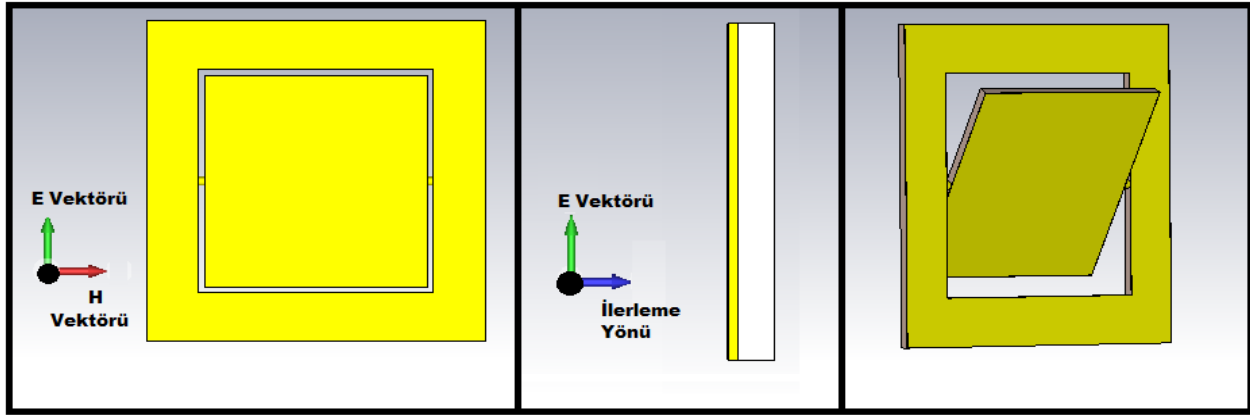


Şekil 2. Birim hücreye ait iletim ve yansıma özellikleri

### 3. Birim Hücrenin Açısal Olarak Döndürülmesi ve Frekans Değişimi

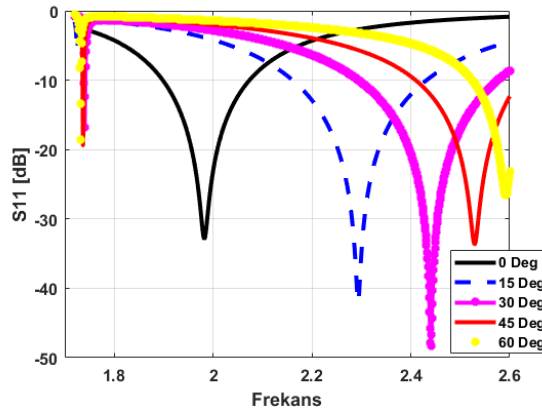
Önerilen FSY tasarımının temeli; yamayı döndürme açılarına göre iletim ve yansıma karakteristiğinin gözlenmesidir. İki tarafından bakır bir çivi ile tutturulmuş yama, destek noktalarından döndürerek elektromanyetik (EM) dalganın, yamaya farklı gelme açılarında göre farklı filtre özelliği sergileyecektir. Şekil 3’te birim hücrenin üzerine gönderilen elektrik alan vektörü,

manyetik alan vektörü ve dalganın ilerleme yönü gösterilmiştir, ayrıca yamanın açısız olarak döndürüldüğü gösterilmiştir. Bu şekilde geliş açısı  $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye kadar  $15^\circ$ 'er derece aralıklarla döndürülmüştür.



Şekil 3. Birim hücre üzerindeki elektrik alan (E), manyetik alan (H) vektörleri ve yamanın döndürülmesi

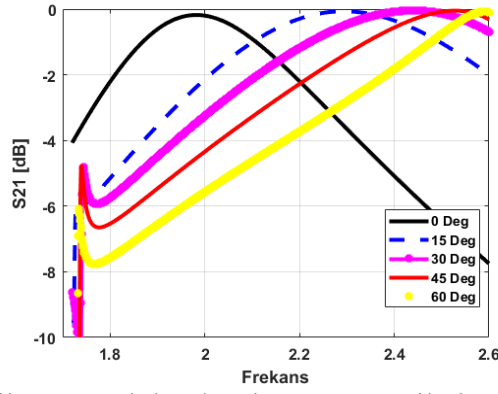
Döndürme işlemi boyunca iletim bandına ait rezonans frekansının değiştiği görülmüştür. Hatta  $60^\circ$ 'den sonra kullanılan dalga kılavuzu frekanslarının dışına çıkmıştır.  $0^\circ$ - $60^\circ$  arasında döndürülen yamanın  $15^\circ$ 'er derece aralıklarla yansıma ve iletim grafikleri Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi açısız değişim rezonans frekansı değişimini de getirmektedir.



Şekil 4. Açısız döndürülen yamanın yansıma grafiği

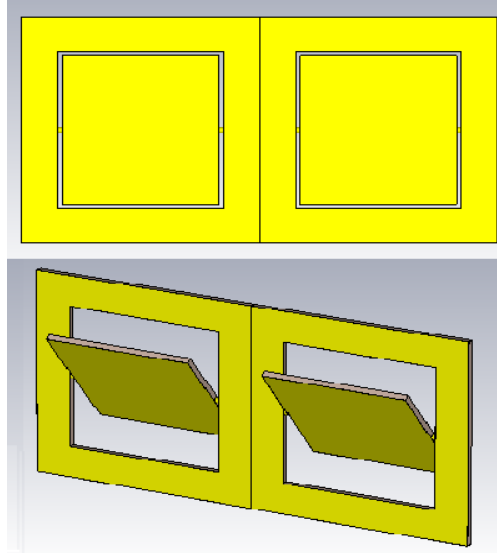
#### 4. Dizi Tasarımı

FSY yapılarında birim hücrenin frekans tepkisi (bant geçiren) ile, birden fazla birim hücrenin yan yana ve alt alta gelmesi ile oluşturulan dizilerin de frekans tepkisini yaklaşık olarak aynı olmalıdır. Bu amaçla önce  $2 \times 1$  yani iki birim hücre yan yana getirilerek ikili dizi oluşturulmuştur. Birim hücre ile aynı dalga kılavuzu yapısında tasarlanan ikili dizi WR430 boyutlarının içine tam olarak sığmaktadır.



Şekil 5. Açısal döndürülen yamanın iletim grafiği

Şekil 6'da ikili dizi FSY'nin önden ve perspektiften (açılı) görünüşü verilmiştir. İkili dizi; birim hücre ile aynı şekilde 15'er derece aralıklarla döndürülmüş ve en iyi iletim karakteristiği belirlenmiştir.

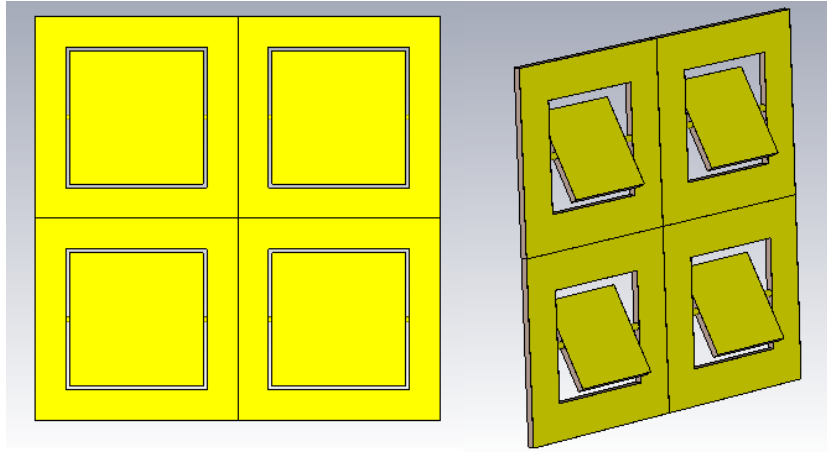


Şekil 6. 2x1 Dizinin önden ve perspektiften (açılı) görünüşü

Daha büyük FSY yapıları oluşturulması için daha fazla birim hücre bir araya getirilerek daha büyük yüzeyler oluşturulmalıdır [11]. İdeal bir FSY, sonsuz sayıda birim hücrelerden oluşur. Fakat pratikte böyle bir durum mümkün olmayacağı için benzetim yöntemleri üzerinden mümkün olan en fazla sayıda birim hücre bir araya getirilir [12]. Fakat bu birim hücre benzetimini belirleyen sınırlar vardır. Bunlardan birisi nümerik benzetim teknikleri (nümerik metodların çalışması ve mesh sayısı vs.) bir diğeri, kullanılan işlemcinin hızı ve işlem performansındır. Bir diğerk faktör de simülasyon aşaması için gerekli süredir [13-14].

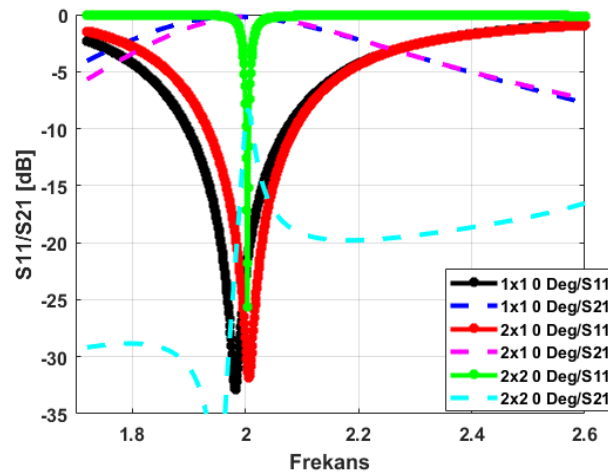
FSY tasarımının sınırlayıcı faktörleri göz önüne alınarak daha büyük bir dizi yapılmıştır. 2x2 boyutlarında tasarlanan bu yüzeyin 0°-60° arasında benzetimi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda dizilerin bant geçirme performansları değerlendirilmiştir. Şekil 7'de 2x2 dizinin önden ve perspektif (açılı) görünümü verilmiştir.

Birim hücre ve dizi tasarımları iletim ve yansıma karakteristikleri bakımından karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. 2x2 dizinin önden ve perspektif (açılı) görünümü

Birim hücre, 2x1 ve 2x2 dizinin aynı iletim karakteristiğini gösterdiği açı dereceleri belirlenmiştir. Buna göre  $0^\circ$  ve  $15^\circ$  için tüm tasarımlar benzer filtre özelliği göstermektedir. Şekil 8’de birim hücre(1x1), 2x1 ve 2x2 dizilerinin yama açısı  $0^\circ$  iken (döndürmenin olmadığı durum) iletim ve yansıma karakteristiği görülmektedir. Görüldüğü gibi üç tasarımda da yaklaşık 2,0 GHz civarında iletim grafiği -3 dB’nin üstünde ve yansıma grfiği de -10 dB’nin altındadır.



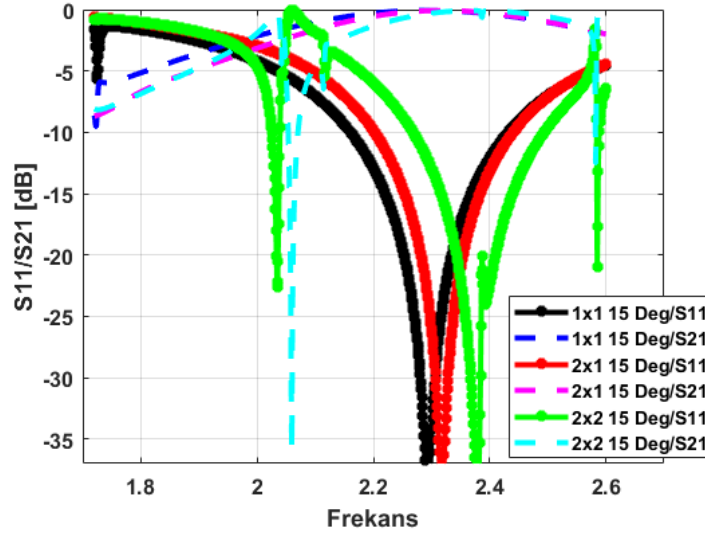
Şekil 8. 1x1, 2x1 ve 2x2 dizilerinin yama açısı  $0^\circ$  iken iletim ve yansıma karakteristikleri

Şekil 9’da 1x1, 2x1 ve 2x2 dizilerinin yama açısı  $15^\circ$  iken (döndürülmüş durum) iletim ve yansıma karakteristiği görülmektedir. Görüldüğü gibi üç tasarımda da (birim hücre ve diziler) yaklaşık 2,3 GHz civarında iletim grafiği -3 dB’nin üstünde ve yansıma grfiği de -10 dB’nin altındadır.

Döndürülmüş durum için rezonans frekansı kayması tüm tasarımlarda aynı olduğu görülmektedir. Bu da birim hücre ve dizilerin aynı filtre karakteristiğine sahip olduğu anlamına gelmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada 2,0 GHz civarında bant geçiren özellikle frekans seçici yüzey tasarımı önerilmiştir. Yüzey üzerinde, dikdörtgen birim hücre şeklinde oyuklar oluşturulmuş vebu oyuklara açısız olarak döndürülebilen dikdörtgen yamalar yerleştirilmiştir. Önerilen çalışmada, açısız değişimli FSY için 1x1, 2x1 ve 2x2 diziler tasarlanmış ve hepsinde yaklaşık olarak aynı filtre karakteristiği elde edilmiştir. Temel FSY-yama açısı 0 derece olduğunda 2,0 GHz civarında olan geçirme frekansı; 15 derece için 2,3 GHz’e kadar çıktığı görülmüştür.



Şekil 9. 1x1, 2x1 ve 2x2 dizilerinin yama açısı  $15^\circ$  iken iletim ve yansıma karakteristikleri

Sonuç olarak yamaların yüzeyle arasında  $15^\circ$ 'lik fark olması durumunda FSF filtre karakteristiği değişmekte ve geçirme frekansının değeri artmaktadır. Bu çalışma; literatürdeki düşük profilli FSF yapılarına alternatif ve yeni bir bakış açısı getirerek istenilen sadece yamanın açısı değiştirilerek iletim frekansına müdahale edilebileceğini göstermektedir.

## Kaynaklar

- [1] Wu T.K., "Frequency selective surface and grid array", Wiley, New York, USA, 1995
- [2] Munk B. A., "Frequency Selective Surfaces - Theory and Design", John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 2000
- [3] Munk B. A., "Finite Antenna Arrays and FSS", John Wiley and Sons, USA, 2003
- [4] Güneş F., Sharipov Z., Belen M.A., Mahouti P., "GSM Filtering of Horn Antennas using modified double square frequency selective surface", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2017 27(9):1-8
- [5] Mahouti P., Güneş, F. Belen M.A., Çalışkan A., Sharipov Z., Demirel S., "Horn Antennas with Enhanced Functionalities Through The Use of Frequency Selective Surfaces", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2016, 26(4): 283-284
- [6] Pozar D., "Microwave Engineering 3e. 3rd", John Wiley and Sons, Inc, USA, 2005
- [7] Zhu H., Huang J., vd., "Tunable Frequency Selective Radome with Broadband Absorbing Properties" Progress in Electromagnetics Research Symposium, St. Petersburg RUSSIA, 2478-2482, (2017)
- [8] Marcuvitz N., "Waveguide Handbook", Boston Technical Publishers, USA, 1964
- [9] Mittra R., Chan C. H. and Cwik T., "Techniques for Analyzing Frequency Selective Surfaces - A Review", IEEE Proceedings, 1988, 76(12):1593- 1615
- [10] Unal S., Çakır G., Cimen S., "İnce Tabakalı Dar-Dual Bant Frekans Seçici Yüzey Tasarımı" ELECO, Bursa, 487-490, (2014)
- [11] Delihacıoğlu K., Karaaslan M., Unal E., "U-şekilli frekans seçici yüzeylerle band durduran filtre tasarımı", URSI-TR Scientific Congress, Elazığ, 1-3, (2014)
- [12] Balanis C. A., "Antenna Theory: Analysis and Design", John Wiley and Sons, USA 2005.
- [13] Chen X., vd. "Deformable frequency selective surface structure with tuning capability through thermoregulating." Optics Express, 2015, 23(12): 16329-38
- [14] Bayatpur F. and Sarabandi K., "A tunable metamaterial frequency-selective surface with variable modes of operation," IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2009, 57(6): 1433–1438.