

# L-ŞEKLİNDEKİ VE BİR DÖNGÜ HELEZON BİÇİMİNDEKİ FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLERİN SAÇILMA KARAKTERİSTİKLERİ

Kemal DELİHACIOĞLU<sup>1</sup>

Savaş UÇKUN<sup>2</sup>

Tuncay EGE<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep

<sup>1</sup>e-posta: kemal@gantep.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: savas@gantep.edu.tr

<sup>3</sup>e-posta: t\_ege@gantep.edu.tr

Anahtar sözcükler: Frekans Seçici Yüzey, L-Şekli, Bir-döngü helezon

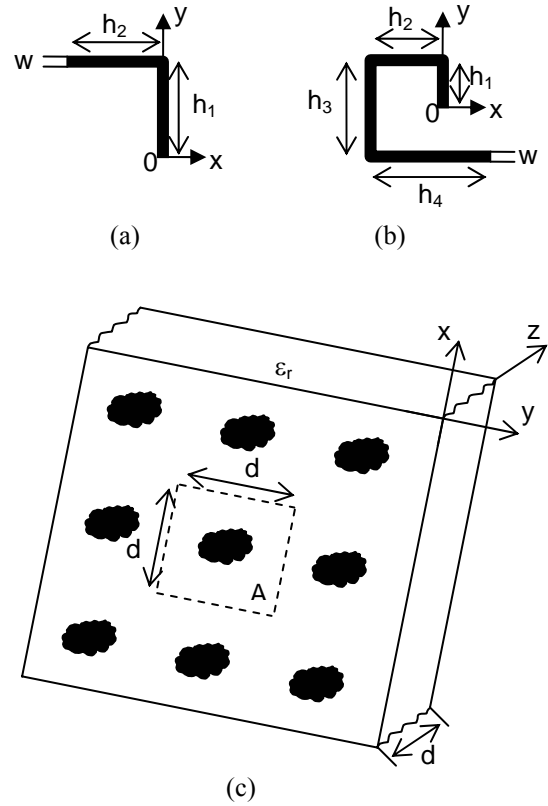
## ÖZET

Bu bildiriye havada duran ve dielektrik levha üzerine periyodik olarak konulan, L-şeklindeki ve bir-döngü helezon biçimindeki Frekans Seçici Yüzeyler (FSY)'in saçılma karakteristikleri Şekli (Modal) analiz metodu kullanılarak TE (Transverse Electric) ve TM (Transverse Magnetic) düzlemsel dalgaları için incelenmiştir. Metal yüzeylerde indüklenen akım katsayıları Moment Metodu kullanılarak hesaplanmıştır. TE ve TM düzlemsel dalgaları için yansıma ve iletim katsayılarının frekansa göre grafikleri çizilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde havada duran periyodik metal şeritlerden oluşan FSY'in deneysel sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

## 1. GİRİŞ

Frekans Seçici Yüzeyler (FSY) frekansa göre değişen yansıma ve iletim özellikleri gösterir. Havada duran yada dielektrik levhaya periyodik olarak yerleştirilen FSY'in, anten ve mikrodalga alanlarında çok çeşitli uygulama alanları vardır. Bazı kullanım alanları kısaca; çok bantlı mikrodalga antenlerinde, hibrid radomlarda, yansıtıcı antenlerin kullanımında ve mikrodalga frekansında bant durdurucu yada bant geçiren filtre tasarımlarında vb. [1,2].

Jerusalem haçı, dairesel halka ve kare halka gibi farklı şekillerden oluşan diziler daha önce deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Yıllardır FSY'le ilgili çalışmalar sürmesine rağmen, sürekli yeni tasarımlar ortaya çıkmaktadır ve şüphesiz çıkmaya da devam edecektir. Bu çalışmada, yeni bir tasarım olarak Şekil 1b'de görülen bir-döngü helezon biçimindeki yapının saçılma karakteristikleri incelenmiştir. Yapılan işin doğruluğunu kontrol için çalışmaya şerit (strip) FSY ile başlanıp, literatürdeki [3] sonuçlarla birebir karşılaştırılmıştır. Kontrolde, Şekil 1a'da görülen L-şeklindeki iletken yapılardan oluşan FSY ile devam edildiğinde, literatürde L-şekilli FSY'e rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan bu çalışmada ilk defa L-şekilli ve bir-döngü helezon biçimindeki FSY'in saçılma karakteristikleri Galerkin Moment Metodu [4] ve Şekli analiz [2] kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 1 a) L-şekli  
b) Bir döngü helezon  
c) FSY'in dielektrik levha üzerinde periyodik olarak gösterimi

## 2. TEORİ

Şekil 1c'de iki boyutlu sonsuz düzlem üzerine periyodik olarak yerleştirilen FSY görülmektedir. FSY'in uzunlukları,  $h_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) ve eni,  $w$  Şekil 1a ve 1b'de gösterilmiştir. Şekil 1c'de  $d_1$ ,  $d_2$  elemanlar arası uzaklıkları,  $A$  birim hücre alanını,  $d$  dielektrik levha kalınlığını ve  $\epsilon_r$  dielektrik sabitini belirtmektedir. Şekli analiz metodu kullanılarak gelen, yansıyan ve geçen elektrik ve manyetik alanlar Floquet teoremi [5] kullanılarak sonsuz düzlemsel dalgaların toplamı şeklinde yazılır [6]. Gelen elektromanyetik dalga FSY üzerinde akım indükler.

İndüklenen akımdan dolayı FSY'den saçılmalar olur. Saçılan dalgaların bazıları yayını yaparken bazıları da sönümlüdür. Saçılan elektrik alanlarındaki her bir Floquet modu dielektrik levha ile desteklenen FSY için aşağıdaki sınır şartlarını sağlamalıdır.

1. Elektrik ve manyetik alanların teğetsel bileşenleri  $z=d$ ' de süreklidir.
2. Elektrik alanın teğetsel bileşeni  $z=0$ ' da süreklidir.
3. Manyetik alanın teğetsel bileşeni  $z=0$ ' da yüzeydeki akım yoğunluğuna eşittir.

Hava ortamındaki FSY için ise 2 ve 3 nolu sınır şartlarının sağlanması gerekir. Son sınır şartı da, birim hücredeki iletkenler üzerinde gelen ve saçılan elektrik alanların teğetsel bileşenlerinin toplamı sıfıra eşit olmalıdır. Son sınır şartı kullanılarak Elektrik Alan İntegral Denklemi (EAİD) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\sum_{r=1}^2 (1 + R_r^{\text{levha}}) e^{-jk_{00} \cdot \rho} \kappa_r = \frac{1}{A} \sum_{r=1}^2 \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} e^{-jk_{pq} \cdot \rho} (Y_{rpq}^{\text{eq}})^{-1} \cdot \int_{\text{unitcell}} \kappa_{rpq} \cdot \mathbf{J}(x', y') e^{jk_{pq} \cdot \rho'} dx' dy' \kappa_{rpq} \quad (1)$$

Bu denklemde alt indis  $r=1$  ve  $r=2$  sırasıyla TM ve TE düzlemsel dalgayı belirtmektedir.  $R_r^{\text{levha}}$  FSY'in olmadığı durumda TE veya TM yansıma katsayılarını, alt indis  $p, q$  Floquet modlarını,  $\kappa_{pq}$  teğetsel yöndeki yayını vektörünü,  $\rho$  pozisyon vektörünü,  $Y_{rpq}^{\text{eq}}$  eşdeğer admitansı,  $\kappa_{rpq}$  TE veya TM birim vektörünü,  $\mathbf{J}$  ise akım yoğunluğunu göstermektedir. Akım yoğunluğu bilinmeyen akım katsayıları ve bilinen temel fonksiyonlar cinsinden aşağıdaki gibi yazılır.

$$\mathbf{J}(x, y) = \sum_{n=1}^N c_n \mathbf{f}_n(x, y) \quad (2)$$

Temel fonksiyonlar iletken yüzeylerde üst üste çakışan parçalı sinüsler olarak alındığında değişken  $\mathbf{a}_s$  yönünde, aşağıdaki gibi seçilebilir.

$$f_n(s) = \mathbf{a}_s \begin{cases} \frac{\sin\beta(s-s_{n-1})}{\sin\beta(s_n-s_{n-1})} & s_{n-1} \leq s < s_n \\ \frac{\sin\beta(s_{n+1}-s)}{\sin\beta(s_{n+1}-s_n)} & s_n \leq s < s_{n+1} \end{cases} \quad (3)$$

Bu denklemde  $\beta$  hava ortamındaki faz sabitini belirtmektedir.  $\mathbf{a}_s$  yönündeki birim vektör ya  $\mathbf{a}_x$

yada  $\mathbf{a}_y$  yönünü göstermektedir. FSY eni dalga boyuna göre çok küçük olduğundan, akımın iletken şeritlerin uzunluğu boyunca aktığı düşünülmüştür. Temel fonksiyonlar orijinden başlayarak şerit boyunca devam ederler. Denklem (3), (2)'de ve denklem (2)'de (1)'de yerine konulduğunda, N-bilinmeyenli lineer sistem denklemi elde edilir. EAİD aynı temel fonksiyonlarla test edilerek  $N \times N$  matris denkleme dönüşür. Bilinmeyen akım katsayıları matrisin tersinin alınmasıyla bulunur. İndüklenen akım katsayıları bulunduktan sonra yansıma ve iletim katsayıları dielektrik levha ile desteklenen FSY için aşağıdaki denklemlerden hesaplanır.

$$R^{\text{TE}} = R_2^{\text{levha}} - R_{s00}^{\text{TE}} \quad (4)$$

$$R^{\text{TM}} = R_1^{\text{levha}} - R_{s00}^{\text{TM}} \quad (5)$$

$$T^{\text{TE}} = T_2^{\text{levha}} - T_{s00}^{\text{TE}} \quad (6)$$

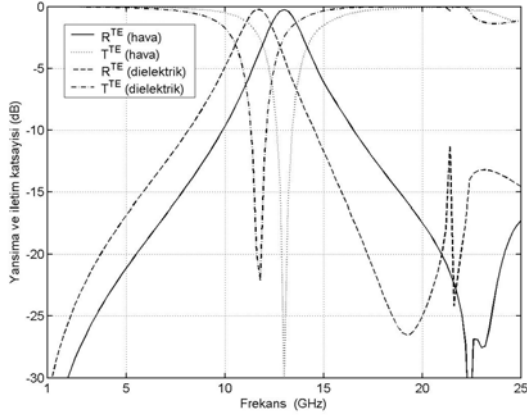
$$T^{\text{TM}} = T_1^{\text{levha}} - T_{s00}^{\text{TM}} \quad (7)$$

Bu denklemlerde  $T_{1,2}^{\text{levha}}$  FSY' in olmadığı durumdaki iletim katsayısını gösterir.  $R_{s00}^{\text{TE, TM}}$  ve  $T_{s00}^{\text{TE, TM}}$  ise FSY'in olduğu durumda yayını yapan 0'ncı moddan dolayı eklendi. Havada duran FSY için (4)–(7) denklemleri geçerli olup bu denklemlerde  $R_{1,2}^{\text{levha}} = 0$  ve  $T_{1,2}^{\text{levha}} = 1$  olmaktadır.

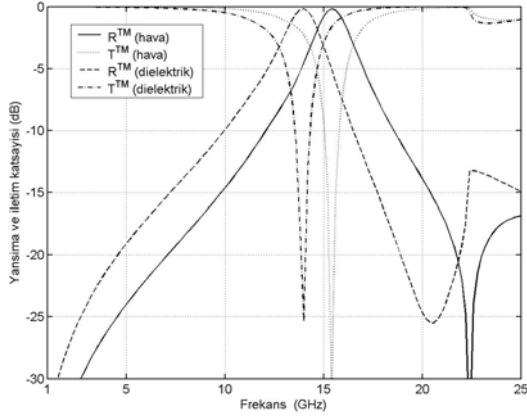
### 3. SAYISAL DEĞERLER

Bu bölümde Şekil 1a ve 1b'deki her iki FSY için yansıma ve iletim katsayıları frekansa göre grafikleri çizilmiştir. Matris elemanları için göreceli yakınsama fenomeni kullanılmıştır [7]. Floquet modları kullanılan temel fonksiyonların sayısı ile orantılıdır. Floquet modları sonuçlarda çok az fark elde edilinceye kadar yakınsamanın sağlandığı değere kadar artırılmıştır. Her iki FSY için de yayını yapan mod 0'ncı moddur. Kullanılan temel fonksiyonların sayısı, L-şeklindeki FSY için 19 ve bir-döngü helezon biçimindeki FSY için 25'dir. Gelme açısı küresel koordinatlarda  $\theta = \phi = 0^\circ$  olarak alınmıştır. Hava ortamında dielektrik levha kalınlığı,  $d=0$  cm ve dielektrik sabiti,  $\epsilon_r=1$ 'dir. Dielektrik levha için  $d=0.1$ cm ve  $\epsilon_r=1.6$  olarak seçilmiştir. FSY'deki şeritlerin uzunlukları L-şeklinde  $h_1=h_2=0.9$ cm ve birim hücre uzunlukları  $d_1=d_2=1.34$ cm'dir. Bir-döngü helezon biçimindeki FSY'de  $h_1=0.2$  cm,  $h_2=0.4$  cm,  $h_3=0.8$  cm ve  $h_4=1.2$ cm iken birim hücre uzunlukları  $d_1=d_2=1.55$  cm'dir. Program hava ortamında şerit FSY için çalıştırılıp, literatürde bulunan deneysel sonuçları ile karşılaştırılmış ve uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 2 ve 3'de sırasıyla TE ve TM düzlemsel dalgaları için L-şeklindeki FSY' in yansıma ve iletim katsayılarının frekansa göre grafikleri görülmektedir.

Şekil 2’de hava ortamında rezonans frekansı 12.8 GHz civarında iken FSY dielektrik levha ile desteklendiğinde rezonans frekansı 11.6 GHz değerine düşmektedir. Şekil 3’te L-şeklindeki FSY hem hava hem de dielektrik ortamında yaklaşık olarak 10 GHz’e kadar tamamen geçirgen özellik gösterirken 13.8 ve 15.4 GHz civarlarında ise bant durdurucu filtre gibi davranmaktadır.



Şekil 2. TE düzlemsel dalga için L-şeklindeki FSY’lerin yansımaya ve iletim katsayıları



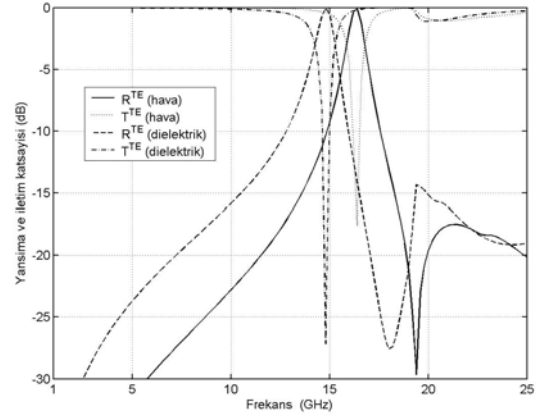
Şekil 3. TM düzlemsel dalga için L-şeklindeki FSY’lerin yansımaya ve iletim katsayıları

Şekil 4 ve 5’te sırasıyla TE ve TM düzlemsel dalgaları için bir-döngü helezon biçimindeki FSY’lerin yansımaya ve iletim katsayılarının frekansa göre grafikleri çizilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü gibi bir-döngü helezon biçimindeki FSY yaklaşık olarak 12.5 GHz’e kadar tamamen geçirgen özellik gösterirken, rezonans frekansı hava ve dielektrik ortamları için sırasıyla 16.4 ve 14.8 GHz civarlarındadır. Şekil 4’te TE düzlemsel dalga için elde edilen yansımaya katsayısının bant aralığı (bandwidth, -3dB), Şekil 5’te TM düzlemsel dalga için elde edilenden daha dardır. Şekil 5’te rezonans frekansları hava ve dielektrik levha için sırasıyla 12 ve 10.8 GHz’dir.

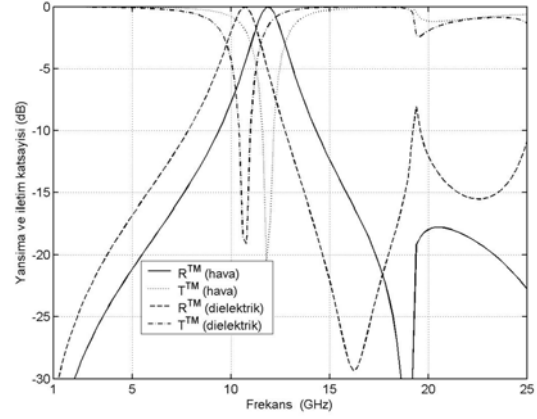
#### 4. SONUÇ

İki farklı FSY için iki farklı ortamda yansımaya ve iletim katsayıları incelenmiştir. Seçilen frekans bandında (1–25 GHz) sadece bir rezonans frekansı

vardır. FSY dielektrik levha ile desteklendiği durumda rezonans frekansı yaklaşık olarak 1.6 GHz daha küçük frekans değerine kaymaktadır. Her iki FSY’in beklendiği gibi bant durdurucu filtre özelliği gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 4 TE düzlemsel dalga için bir-döngü helezon biçimindeki FSY’lerin yansımaya ve iletim katsayıları



Şekil 5 TM düzlemsel dalga için bir-döngü helezon biçimindeki FSY’lerin yansımaya ve iletim katsayıları

#### KAYNAKLAR

- [1] Munk B.A. Frequency Selective Surfaces: Theory and Design, Wiley, New York, 2000.
- [2] Vardaxoglou J.C. Frequency Selective Surfaces: Analysis and Design, Wiley, New York, 1997.
- [3] Ott R.H., Kouyoumjian R.G., and Peters J., Scattering by a two dimensional periodic array of narrow plates, RAIDO SCI., Vol 2, pp. 1347-1349, 1967.
- [4] Harrington R. F., Field computation by moment methods, MacMillan, New York, 1968.
- [5] Amitay N., Galindo V., and Wu C.P., Theory and analysis of phased array antennas, Wiley-Interscience, New York, 1972.
- [6] Montgomery J.P., Scattering by an infinite periodic array of thin conductors on a dielectric sheet, IEEE TRANS. AP, Vol 23, pp.70-75, 1975.
- [7] Poulsen S., Scattering from frequency selective surfaces: An efficient set of V-dipole basis functions, IEEE TRANS. AP, Vol 51, pp. 540-548, 2003.