



**APOLLONIUS ÇEMBERLERİYLE FREKANS SEÇİCİ YÜZEY
UYGULAMALARI**

Seda HABERGÖTÜREN ATEŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2018

Seda HABERGÖTÜREN ATEŞ tarafından hazırlanan “APOLLONIUS ÇEMBERLERİYLE FREKANS SEÇİCİ YÜZEY UYGULAMALARI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Erdem YAZGAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, TED Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof. Dr. Erkan AFACAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 28/05/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Seda HABERGÖTÜREN ATEŞ

28/05/2018

APOLLONIUS ÇEMBERLERİYLE FREKANS SEÇİCİ YÜZEY UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)

Seda HABERGÖTÜREN ATEŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2018

ÖZET

Gelişen teknolojiyle birlikte artan veri trafiğini düzenlemek eskisinden daha zordur. Kablosuz iletişimde güvenliği sağlamak, büyük anten sistemlerini en ideal şekilde tasarlamak, girişimleri önlemek çok büyük önem kazanmıştır. Böyle durumlarda yüzeylerde elektromanyetik bir filtre kullanmak etkili bir çözüm olmaktadır. Frekans değerine bağlı olarak seçici karakteristik özellik gösteren bu elektromanyetik filtrelere frekans seçici yüzeyler denir. Geniş kullanım alanına sahip olan frekans seçici yüzeylerin fraktal yapıdaki tasarım örnekleri tek katmanda çok bantlı kullanım yapısıyla ideal bir kullanım sunmaktadır. Ayrıca fraktal frekans seçici yüzeyler kablosuz iletişimde düşük frekanslarda da kullanılırlar. Bu çalışmada Apollonius çemberleriyle iki farklı tasarım önerilmiş ve bunların simülasyon sonuçları incelenmiştir. Sonuçlara göre önerilen yapılardan biri çoklu bant çalışmalarında kullanılabilirken diğeri ise kablosuz iletişimde bant durduran kararlı bir yapıya sahiptir.

Bilim Kodu : 90516

Anahtar Kelimeler : Frekans seçici yüzeyler, fraktal yapılar, Apollonius çemberi.

Sayfa Adedi : 69

Danışman : Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY

FREQUENCY SELECTIVE SURFACES APPLICATION WITH APOLLONIUS
CIRCLES

(M. Sc. Thesis)

Seda HABERGÖTÜREN ATEŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2018

ABSTRACT

It is more difficult to manage the growing data traffic with the developing technology than before. It is very important to provide security in wireless communication, to design large antenna systems in the most ideal way, to prevent interference. In such cases, using an electromagnetic filter on the surfaces is an effective solution. These electromagnetic filters, which have selective characteristics according to the frequency value, are called frequency selective surfaces. The design examples of the fractal structure of the frequency selective surface with wide use area offer an ideal usage with multi-band usage in single layer. In addition, fractal frequency selective surfaces are also used at low frequencies in wireless communications. In this study, two different designs were proposed by the Apollonius circles and their simulation results were examined. According to the results, one of the proposed schemes can be used in multi-band studies while the other has a stable structure that stops the band in wireless communication.

Science Code : 90516

Key Words : Frequency selective surfaces, fractal structures, Apollonius circle

Page Number : 69

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ertuğrul AKSOY

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde, araştırma aşamasında ve tezin tamamlanmasında vizyonuyla, bilgisiyle destek olan öğrencisi olmakla gurur duyduğum sayın hocam Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY'a, üniversitede desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma ve sayın hocalarıma, ayrıca beni her zaman destekleyen eşime ve bu zamana gelmemde en büyük emeğe sahip olan aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR..... | vi |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ..... | ix |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | xii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xiii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLER..... | 3 |
| 2.1. Frekans Seçici Yüzey Parametreleri | 4 |
| 2.1.1. Frekans seçici yüzey elemanlarının şekilleri ve boyutları..... | 4 |
| 2.1.2. Dielektrik alt tabaka..... | 6 |
| 2.1.3. Elemanların iletkenliği..... | 7 |
| 2.1.4. Kutuplanma ve geliş açısı..... | 7 |
| 2.1.5. Frekans seçici yüzey uygulamaları..... | 7 |
| 3. FLOQUET MODEL FONKSİYONU | 11 |
| 3.1. Fourier Dönüşümü | 11 |
| 3.2. Fourier Serisi..... | 12 |
| 3.3. Floquet Serisi | 13 |
| 3.4. İki Boyutlu Floquet Serileri | 14 |
| 3.5. Floquet çıkışları ve Floquet modları..... | 18 |
| 3.6. İki boyutlu floquet Çıkışları..... | 21 |
| 4. FRAKTAL FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLER | 25 |
| 4.1. Fraktal Yapılar | 25 |
| 4.1.1. Koch kar tanesi fraktali..... | 26 |

| | Sayfa |
|---|--------------|
| 4.1.2. Minkowski fraktali..... | 28 |
| 4.1.3. Sierpinski fraktali..... | 29 |
| 4.1.4. Hilbert fraktali | 29 |
| 4.1.5. Apollonius fraktali | 30 |
| 5. APOLLONIUS ÇEMBERLERİYLE FREKANS SEÇİCİ YÜZEY TASARIMI..... | 33 |
| 5.1. Minyatürizasyon Tekniği..... | 33 |
| 5.2. Kutuplayıcı Çoklu Bant Bant Durdurucu Frekans Seçici Yüzey | 50 |
| 5.3. WLAN Bandında Bant Durdurucu Frekans Seçici Yüzey | 54 |
| 6. TARTIŞMA..... | 57 |
| 7. SONUÇ | 59 |
| KAYNAKLAR..... | 61 |
| EK-1..... | 65 |
| EK-2..... | 68 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Frekans seçici yüzeylerin yapısı | 3 |
| Şekil 2.2. Frekans Seçici Yüzey filtre karakteristikleri (a) Alçak geçiren filtre (b)Yüksek geçiren filtre(c)Bant durduran filtre (d)Bant geçiren filtre | 4 |
| Şekil 2.3. Frekans Seçici Yüzey Çeşitleri (a) Birinci Grup Merkez Bağlı ya da N-Kutuplu frekans seçici yüzeyler (b) İkinci Grup Döngü Yapılı frekans seçici yüzeyler (c) Üçüncü Grup Yama Yapılı frekans seçici yüzeyler (d) Dördüncü Grup Hibrit Yapılı frekans seçici yüzeyler..... | 5 |
| Şekil 2.4. Döngü yapıların frekans tepkileri($r=6\text{mm}$ ve $d=10\text{mm}$) (a) Daire döngü yapı (b) Altıgen döngü yapı | 6 |
| Şekil 2.5. Bir Cassegrain Anten sisteminde (a) alt reflektör olarak Frekans seçici yüzey kullanımı (b) konveks şekil yerine düzlemsel alt reflektör frekans seçici yüzey kullanımı | 8 |
| Şekil 2.6. Doğrusal-Dairesel Kutuplayıcıda bir dalganın ilerleyişi | 9 |
| Şekil 3.1. Düzlemsel periyodik bir dizinin genel ızgara yapısı | 15 |
| Şekil 3.2. Spektral noktalar (a) $a \times b$ birim hücreli dikdörtgen ızgara (b) bir kenarı a olan eşkenar üçgen ızgara | 17 |
| Şekil 3.3. y yönlü akım elemanlarının düzlemsel sonlu dizileri..... | 18 |
| Şekil 3.4. Floquet mod genlikleri..... | 21 |
| Şekil 4.1. Doğada bulunan fraktal yapılar | 25 |
| Şekil 4.2. Koch Fraktalinin üçüncü iterasyona kadar olan oluşumu..... | 26 |
| Şekil 4.3. Minkowski Fraktalinin iterasyon örüntüsü..... | 28 |
| Şekil 4.4. Minkowski fraktalinin iterasyonlardaki ölçeklendirmesi | 28 |
| Şekil 4.5. Sierpinski Fraktali..... | 29 |
| Şekil 4.6. Hilbert fraktal örüntüsü..... | 30 |
| Şekil 4.7. Bir AB doğru parçasını harmonik olarak bölen C ve D noktaları | 30 |
| Şekil 4.8. Hareketli bir P noktası tanımlanarak APB üçgeninin ve açılı ortaylarının gösterimi | 31 |
| Şekil 4.9. Apollonius Çemberi | 31 |
| Şekil 5.1. (a) CST-MWS'da eşit yarıçapa sahip çember üçgen ve altıgen modellemesi (b) Altıgen modellemenin düzenleme ekranı | 34 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 5.2. Apollonius Çemberini ifade etmek için kullanılan büyük üçgen dielektrik alt tabaka boyutları $d=8.832$ mm $h=0.51$ mm..... | 35 |
| Şekil 5.3. Büyük yama üçgenin TE ve TM modda transfer karakteristiği | 35 |
| Şekil 5.4. TE modda verilen büyük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi. . | 36 |
| Şekil 5.5. TM modda verilen büyük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi. . | 38 |
| Şekil 5.6. Apollonius çemberlerini ifade edebilmek için kullanılan küçük yama üçgen tasarım..... | 38 |
| Şekil 5.7. Küçük yama üçgenin TE ve TM modda transfer karakteristiği | 39 |
| Şekil 5.8. TE modda verilen küçük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi... | 39 |
| Şekil 5.9. TM modda verilen küçük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi... | 40 |
| Şekil 5.10 Büyük üçgen ve içinde Apollonius çemberi..... | 42 |
| Şekil 5.11. Apollonius çemberi ile minyatürize edilmiş büyük üçgen yapının transfer karakteristiği | 42 |
| Şekil 5.12. Küçük üçgen ve içinde Apollonius çemberi | 45 |
| Şekil 5.13. Apollonius çemberi ile minyatürize edilmiş küçük üçgen yapının transfer karakteristiği | 45 |
| Şekil 5.14. İki iterasyonlu Apollonius fraktali..... | 48 |
| Şekil 5.15 İki iterasyonlu Apollonius fraktalinin transfer karakteristiği | 48 |
| Şekil 5.16. Tek Apollonius çember döngü eklenmiş yapı | 49 |
| Şekil 5.17. Tek Apollonius çember döngü eklenmiş yapının transfer karakteristiği..... | 49 |
| Şekil 5.18. Önerilen Apollonius frekans seçici yüzey birim hücresi..... | 50 |
| Şekil 5.19. Önerilen yapının (a)TE ve (b)TM modda S_{11} parametre grafiği..... | 51 |
| Şekil 5.20. Apollonius Çemberleriyle yapılan frekans seçici yüzeyin farklı geliş açılarıyla TE(a) ve TM(b) modda iletim karakteristiği..... | 53 |
| Şekil 5.21 Apollonius çemberleriyle yeniden tasarlanan frekans seçici yüzey | 54 |
| Şekil 5.22. Yeniden tasarlanan frekans seçici yüzeyin geliş açısı $\theta=0^\circ$ durumunda transfer karakteristiği | 55 |
| Şekil 5.23. $f=5$ GHz rezonans frekansında TE(a) ve TM(b) modda yüzey akım dağılımı | 55 |

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.24. Tasarlanan yapının 0-10 GHz arasında değişik geliş açılara göre TE(a) ve TM (b) modunda transfer karakteristiği..... 56



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 5.1. Büyük yama üçgenin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı..... | 36 |
| Çizelge 5.2. Büyük yama üçgenin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı..... | 37 |
| Çizelge 5.3. Küçük yama üçgenin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı..... | 40 |
| Çizelge 5.4. Küçük yama üçgenin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı..... | 41 |
| Çizelge 5.5. Büyük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı | 43 |
| Çizelge 5.6. Büyük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı | 44 |
| Çizelge 5.7. Küçük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı | 46 |
| Çizelge 5.8. Küçük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı | 47 |
| Çizelge 5.9. Önerilen frekans seçici yüzeyin boyutları(mm) | 50 |
| Çizelge 5.10. Yapının rezonans frekansları, 10 dB ve 20 dB bant genişlikleri | 52 |
| Çizelge 5.11. Apollonius çemberleriyle yeniden tasarlanan frekans seçici yüzeyin boyutları | 54 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

dB

Desibel

Ghz

Giga Hertz

mm

milimetre

λ

Dalga boyu

Kısaltmalar

Açıklamalar

CST MWS

Computer Simulation Technology -Microwave Studio

RF

Radyo Frekans

RCS

Radar Cross Section

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında Apollonius çemberleriyle fraktal frekans seçici yüzeyler tasarlanarak analiz edilmiştir. Frekans seçici yüzeyler, frekans değerine göre bant durduran ya da bant geçiren olarak kullanılabilen elektromanyetik filtrelerdir. Bu tez çalışmasında iki farklı frekans seçici yüzey tasarım önerisi sunulmadan önce Apollonius fraktallerinin minyatürizasyon tekniği ile nasıl oluşturulduğu anlatılmıştır.

Frekans seçici yüzeyler daha önce çeşitli fraktal yapılara uygulanmıştır. Koch fraktalleri dikdörtgen yama şeklinde kullanılarak oluşturulmuştur [1]. Sonuçlar optimize edilerek 10 GHz civarında bant durdurucu bir yüzey elde edilmiştir. Koch fraktalleriyle tek katlı ve çok katlı uygulamalara yer verilmiştir [2]. Çok katlı uygulamalarda bant genişliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Minkowski kare döngü yapılarıyla frekans seçici yüzey tasarlanmıştır [3]. Kare döngü, artı şeklindeki yapı ve Minkowski yapısı karşılaştırılıp sonuçlar verilmiştir [4]. Minkowski yapının daha güçlü bir şekilde frekans durdurduğu gözlemlenmiştir. Minkowski fraktalleriyle farklı rezonans frekanslarında çalışan ince çeşitli soğurucular tasarlanmıştır [5,6]. Minkowski fraktaliyle THz frekans seçici yüzey tasarlanmıştır [7]. TE ve TM modda değişik açılarda kararlı bir durum sergilemiştir. Minkowski fraktalleriyle 4.51 GHz bandında bant durdurucu dalğanın geliş açısıyla kararlı bir durum gösteren frekans seçici yüzey tasarlanmıştır [8].

Sierpinski fraktalleriyle frekans seçici yüzey tasarlanmıştır [9]. Farklı bir teknikle analiz edilip fraktalin tasarım özgürlüğü sunduğu belirtilmiştir. Sierpinski fraktalleriyle farklı boyut parametrelerinde tasarlanan frekans seçici yüzeylerin analizi yapılmış ve çoklu bant bant durdurucu sonuçlar elde edilmiştir [10]. Sierpinski fraktaliyle iki katlı bir frekans seçici yüzey tasarlanmıştır [11]. Bu yüzey dar bantlı bant durdurucu bir filtre özelliği göstermiş bu da gizli uygulamalarda kullanılmak için avantajlı olmuştur.

Hilbert fraktalleri ilk olarak Parker tarafından frekans seçici yüzeylere uygulanmıştır [12]. Hilbert fraktalleriyle WLAN bandında bant durdurucu yeni bir frekans seçici yüzey

tasarlanmıştır [13]. WLAN bandında tek katmanlı olarak iki rezonans frekansını durduran bu yapı ayrıca kararlı bir yapıya sahiptir.

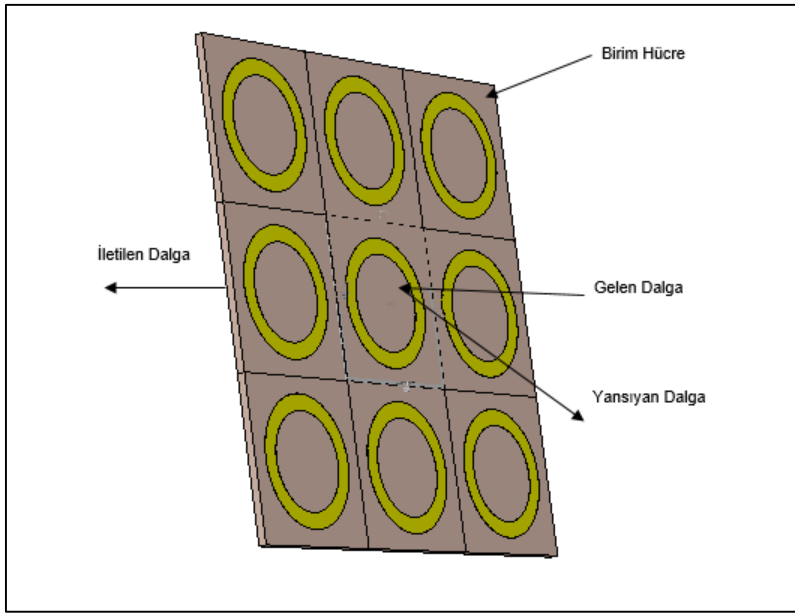
Apollonius çemberlerinden oluşturulan fraktal yapılar daha önce anten dizilerine uygulanmasına rağmen [14], frekans seçici yüzeylerde uygulanmamıştır. Fraktal frekans seçici yüzeyler tek katmanda çoklu bant özelliği göstermelerinden dolayı kullanışlı yapılardır. Çok bantlı frekans seçici yüzey tasarımı gelişen haberleşme teknolojileriyle birlikte gerekliliğini artırmıştır. WLAN (Wireless Local Area Network) bandında çalışan bir frekans seçici yüzey tasarımı da güvenlik ve girişimi önleme gibi konularda çok etkilidir.

Tez çalışmasında Apollonius çemberleriyle fraktal frekans seçici yüzey tasarımı amaçlanmıştır. Tez çalışmasındaki bütün tasarımlar ve simülasyonlarda CST-MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio) programı kullanılmıştır. Bu program Floquet modlarını kullanarak FIT (Finite Integration Technique) yani Sonlu İntegral metoduyla analiz yapmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde frekans seçici yüzeylerin yapısı ve özellikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde Maxwell denklemlerini çözebilmek için CST’de kullanılan Floquet model fonksiyonunun çıkarılması anlatılmıştır. Dördüncü bölümde fraktal yapılar ve frekans seçici yüzeylerin özelliklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde Apollonius çemberi de anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise frekans seçici yüzey tasarımı ve analiz sonuçları verilmiştir.

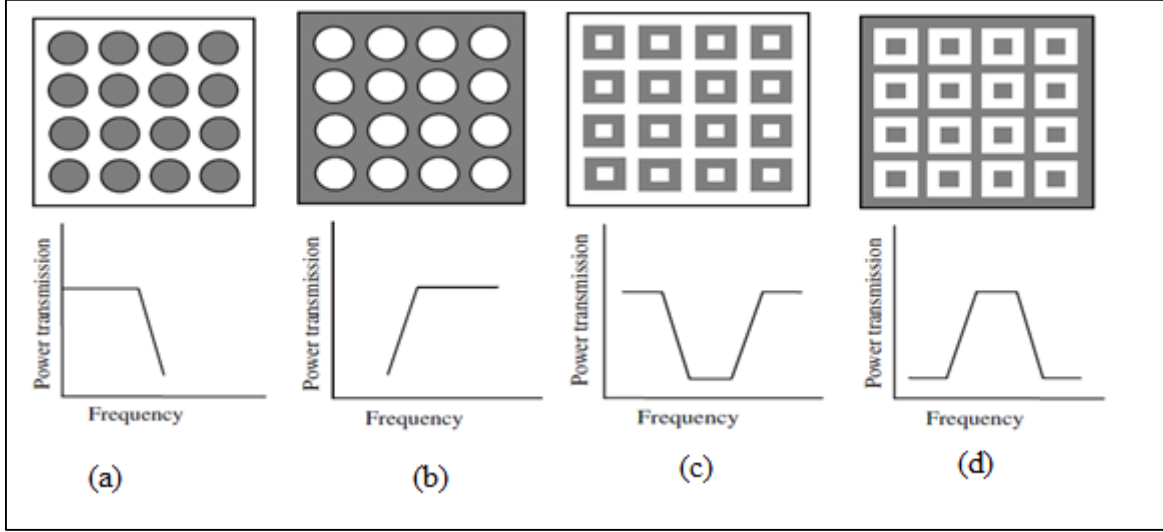
2. FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLER

Frekans seçici yüzeyler, elektromanyetik filtre özelliği gösteren periyodik yapılardır [15]. Gelen elektromanyetik dalganın frekansına bağlı olarak seçici özellik gösterirler. Bir frekans seçici yüzeyin yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. 1960lı yılların ortasından itibaren özellikle askeri alanda kullanılmaya başlamasına rağmen, Frekans seçici yüzeylerle ilgili ilk patent 1919 yılında Marconi ve Franklin tarafından alınmıştır. Frekans seçici yüzeylerin üzerindeki en küçük periyodik yapı birim hücre olarak adlandırılır.



Şekil 2.1. Frekans seçici yüzeylerin yapısı

Frekans seçici yüzeyler, yama (patch) ya da oyuk (aperture) periyodik dizi oluşuna göre bant geçiren ya da bant durduran özellik gösterir [15-17]. Yama şeklinde olan frekans seçici yüzeyler, bir dielektrik alt tabaka üzerine ince iletken elementin periyodik bir biçimde sıralanmasıyla oluşur. Yama şeklindeki Frekans seçici yüzeyler bant durduran filtre özelliği gösterirler ve kapasitif etki meydana getirirler. Oyuk şeklinde olan frekans seçici yüzeylerde dielektrik tabaka üzerinde periyodik biçimde açılan oyuklarla filtreleme sağlanır. Oyuk şeklindeki frekans seçici yüzeyler bant geçiren filtre özelliği gösterirler ve endüktif etki meydana getirirler. Şekil 2.2’de dört farklı filtre karakteristiğinde frekans seçici yüzey gösterilmiştir. Koyu renkli alanlar iletken yüzeyi ifade etmektedir.



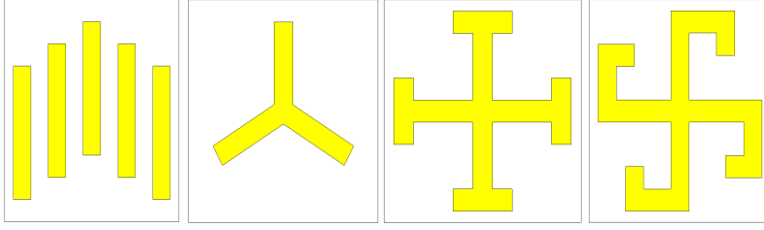
Şekil 2.2. Frekans Seçici Yüzey filtre karakteristikleri (a) Alçak geçiren filtre (b) Yüksek geçiren filtre (c) Bant durduran filtre (d) Bant geçiren filtre

2.1. Frekans Seçici Yüzey Parametreleri

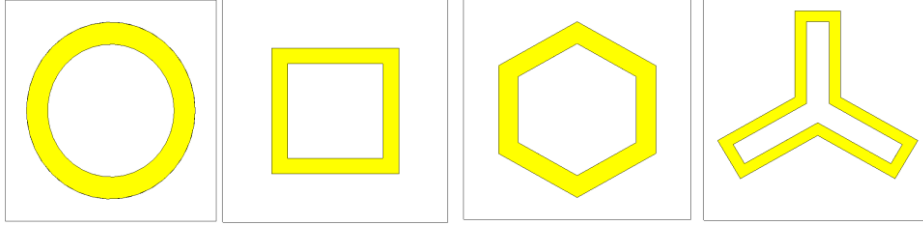
Frekans seçici yüzeylerin karakteristik özellikleri; şekli ve boyutları, dielektrik tabaka, elemanların iletkenliği, elemanlar arası uzaklık, dalğanın geliş açısı, kutuplanma gibi parametrelere bağlıdır [15].

2.1.1. Frekans seçici yüzey elemanlarının şekilleri ve boyutları

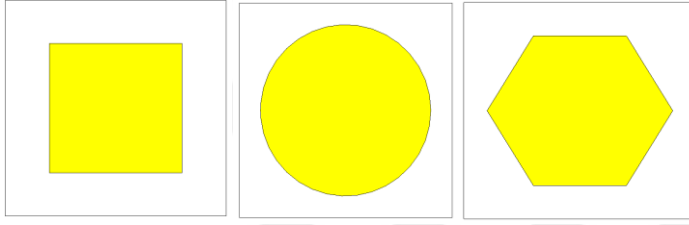
Frekans seçici yüzey şekilleri çeşitlerine göre dört ayrı grupta incelenebilir [15]. Birinci grup merkez bağlantılı (center connected) ya da N-kutuplu (N-Poles) olarak adlandırılır. İkinci grup döngü yapılar olarak adlandırılır. Üçüncü grup yama yapılar olarak adlandırılır. Dördüncü grup ise hibrit yapılarıdır. Tüm frekans seçici yüzey şekillerinin birim hücre yapıları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



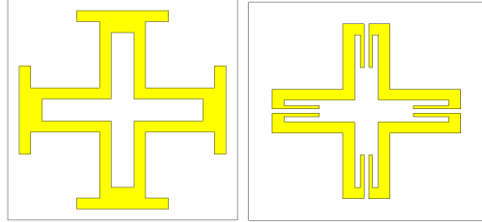
(a)



(b)



(c)

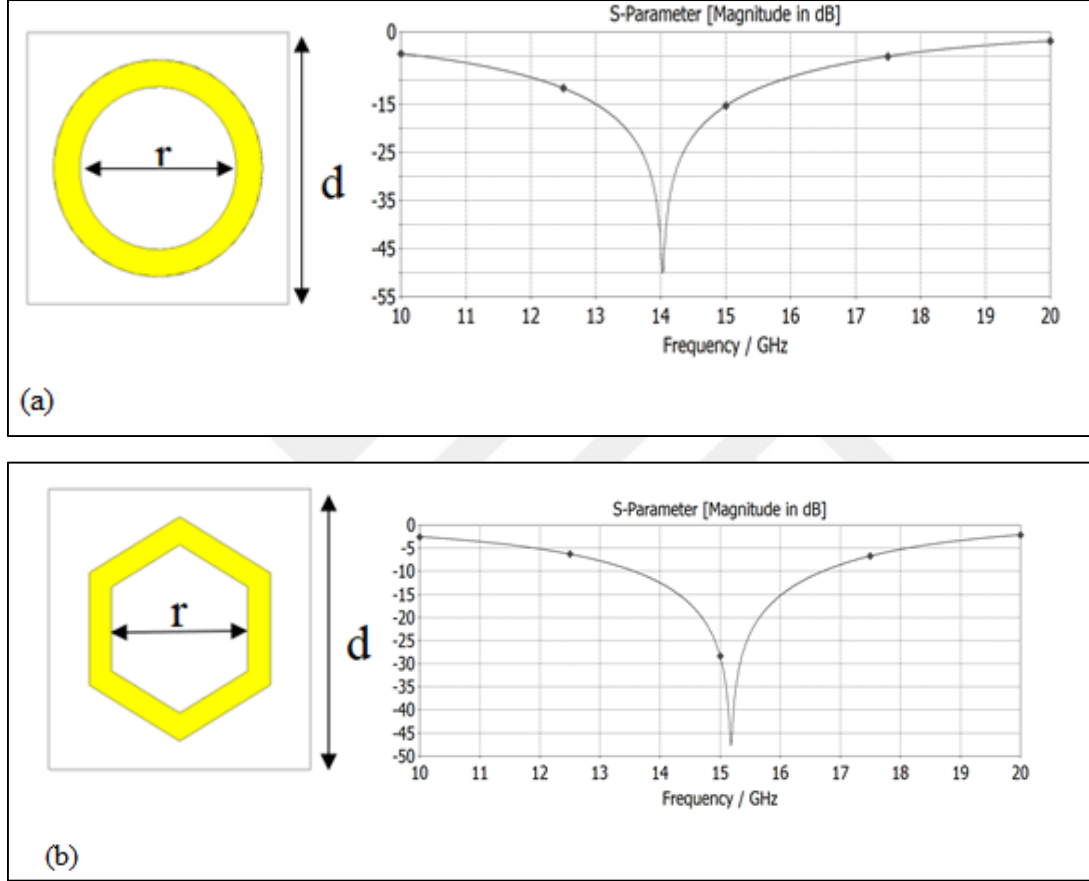


(d)

Şekil 2.3. Frekans Seçici Yüzey Çeşitleri (a) Birinci Grup Merkez Bağlı ya da N-Kutuplu frekans seçici yüzeyler (b) İkinci Grup Döngü Yapılı frekans seçici yüzeyler (c) Üçüncü Grup Yama Yapılı frekans seçici yüzeyler (d) Dördüncü Grup Hibrit Yapılı frekans seçici yüzeyler

Frekans seçici yüzeylerin bu farklı geometrileri farklı filtre karakteristiklerine neden olurlar. Örneğin birinci gruptaki N-kutuplu frekans seçici yüzeylerin uçtan uca uzunlukları yaklaşık dalga boyunun yarısına ($\lambda/2$) eşit olduklarında rezonans durumuna geçerler [15]. İkinci gruptaki döngü yapıların çevre uzunlukları yaklaşık olarak dalga boyuna eşit olduklarında rezonans durumuna geçerler [15]. Üçüncü gruptaki yama yapıların rezonans durumuna geçebilmesi için uç uca uzaklığı dalga boyunun yarısı ($\lambda/2$) olmalıdır ancak bu durumda etkili çok fazla parametre vardır [15]. Dördüncü gruptaki hibrit yapıların rezonans frekanslarının basitçe özetlenmesi mümkün değildir [15].

Şekil 2.4'te aynı alt tabaka yüzeyine sahip şekillerden çember ve altıgen frekans seçici yüzeyin farklı frekans tepkileri gösterilmiştir. Ayrıca aynı geometrik şeklin farklı boyutları da rezonans frekansı, bant genişliği gibi sonuçları önemli ölçüde değiştirebilir. Genellikle başka bir parametre değiştirilmeden sadece boyutu artırılan frekans seçici yüzeylerin rezonans frekansı düşer.



Şekil 2.4. Döngü yapıların frekans tepkileri($r=6\text{mm}$ ve $d=10\text{mm}$) (a) Daire döngü yapı (b) Altıgen döngü yapı

2.1.2. Dielektrik alt tabaka

Yapının rezonans frekansı dielektrik alt tabakaya büyük oranda bağlıdır [15]. Örneğin bir yama yapının her iki tarafında da dalga boyunun 0.05 katı kalınlıktan daha büyük bir dielektrik alt tabaka en az dielektrik sabitinin oranı kadar etkiler. Yarık tipinde ise durum daha karmaşıktır. Dielektrik alt tabakanın kalınlığı azaltıldığında rezonans frekansı serbest alan rezonans frekansına doğru sürünmeye başlar. Bu da rezonans frekansı tahminini güçleştirir.

Bununla birlikte rezonans frekansının kalınlıkla nasıl değiştiğine dair ϵ_r alt tabakanın dielektrik sabiti yerine ϵ_{eff} kullanılan bir yaklaşım vardır. ϵ_{eff} temel olarak iki yama arasındaki statik kapasitans değişimidir.

2.1.3. Elemanların iletkenliği

Frekans seçici yzey tasarımında seğilen iletken yzeyin farklılığı yapının eşdeğer devre modelindeki direncinin değişimine neden olur [18]. Bu da frekans seçici yzeyin farklı karakteristik yapıda olmasını sağlar.

2.1.4. Kutuplanma ve geliş açısı

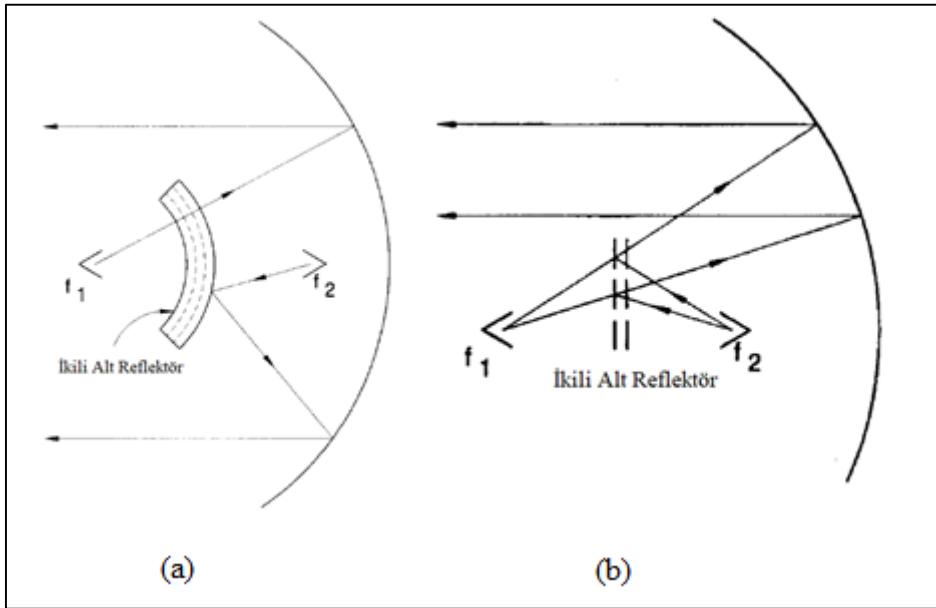
Özellikle tam simetrik olmayan yapılarda kutuplanma, TE (Transverse Electric) ve TM (Transverse Magnetic) modlarda farklı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Gelen dalğanın kutuplanmasına göre rezonans frekansları değişkenlik gösterir. Ayrıca dalğanın geliş açısı da rezonans frekansını değiştirir.

2.2. Frekans seçici yzey uygulamaları

Frekans Seçici Yzeyler, kullanışlı elektromanyetik filtreleme özelliği sayesinde çok farklı alanlarda yaygın kullanıma sahiptir. Frekans seçici yzeyler, radom uygulamalarında, bant durdurucu ya da bant geçiren filtrelerde, Cassegrain antenlerde alt yansıtıcı ve temel yansıtıcı olarak, emici yzey tasarımlarında, kutuplayıcı yapılarda, güneş enerjisi depolama sistemlerinde, uzay araçlarında güneş kalkanlarında, frekans tarama uygulamalarında, haberleşme ve biyomedikalde elektromanyetik kalkan olarak kullanılır. [15-18]

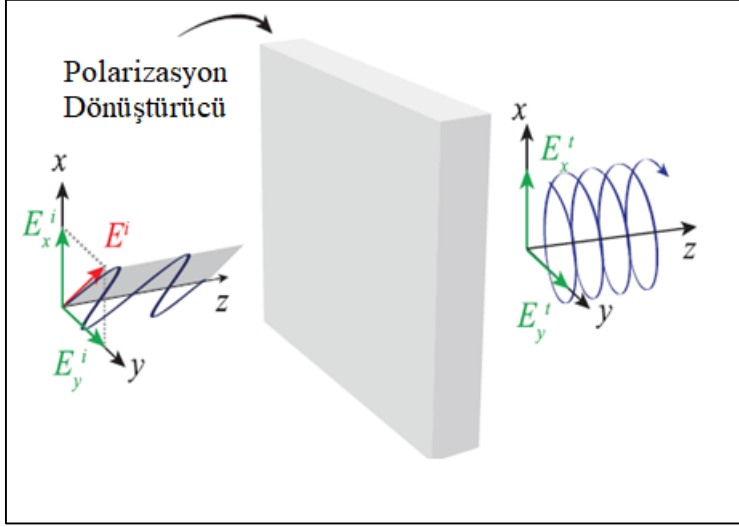
Frekans seğici yzeyler, radar sistemlerinin üzerinde koruyucu bir yapı olan radom yapılarında ęalıřma frekansı iğinde olan dalgalar ięin bant geğiren diğerleri ięin bant durduran filtre olarak kullanılarak kayıpları minimuma indirir [15,17]. Frekans seğici yzeyin bu filtre karakteristiği radarın kesit alanını (RCS) dūřürür. Ayrıca frekans seğici yzeyler, anten teknolojilerindeki radomlarda bant durdurucu filtre olarak kullanılarak istenmeyen frekanslardaki geğirgenliği önleyerek RCS'yi dūřürürler.

Anten teknolojilerinde Cassegrain sistemlerde alt reflektör yüzeyi, herhangi bir f_1 frekansı için geçirgen, diğer f_2 frekansı için durdurucu bir frekans seçici yüzey ile oluşturulduğunda f_1 ve f_2 frekanslarında çalışan iki anten için tek bir reflektör kullanılarak sistemdeki ikinci bir reflektör için gerekli olan yerden ve ağırlıktan tasarruf sağlanır [15,17]. Ayrıca reflektörün konveks üretimine gerek kalmadan düzlemsel de üretilerek üretim aşamalarındaki karmaşıklığı azaltır. Şekil 2.5'te Cassegrain anten sistemlerindeki frekans seçici yüzey uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bir Cassegrain Anten sisteminde (a) alt reflektör olarak Frekans seçici yüzey kullanımı (b) konveks şekil yerine düzlemsel alt reflektör frekans seçici yüzey kullanımı [15]

Frekans seçici yüzeyler, kutuplayıcı yapılarda kutuplanma dönüştürücü olarak kullanılabilir. Doğrusal kutuplanmayı dairesel kutuplanmaya ya da dairesel kutuplanmayı doğrusal kutuplanmaya çevirebilir. Doğrusal kutuplanmada gelen dalganın her iki dik bileşeni aynı anda frekans seçici yüzeyin üst kısmına yansır. Eğer uygun tasarım yapıldıysa dalganın dik bileşenlerinden birisi 90° faz farkıyla iletilir. Böylece frekans seçici yüzeyler kutuplayıcı olarak kullanılmış olur. Şekil 2.6'da bir dalganın doğrusal-dairesel kutuplayıcıda ilerleyişi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Doğrusal-Dairesel Kutuplayıcıda bir dalganın ilerleyişi [19]

Güneş pillerinde güneş enerjisi depolarken istenen aralıkta filtreleme yapan frekans seçici yüzeyler tasarlanır [17]. Böylece enerji kullanmadan sistem etkinliği en uygun hale gelmiş olur. Aynı durumun tam tersi işleyişte uzay araçlarında ısı kontrolü amaçlı güneş kalkanı olarak kullanılırlar [17]. Bu tasarımla yalnızca güneş ışınlarını önleyip diğer RF (radyo frekans) dalgalarını geçirerek sistemde etkinliği artırılırlar.

Frekans seçici yüzeyler, haberleşme ve biyomedikal sektöründe de kalkanlama yapmak ve girişimi önlemede kullanılır. Kablosuz haberleşmede birden fazla sistem aynı alan içerisinde kontrol edilirken sistemler arası istenmeyen girişimler meydana gelebilir. Bu girişimleri önlemek için bir frekans seçici yüzey tasarlanarak girişimin olduğu frekansların geçişi önlenir. Biyomedikalde görüntüleme cihazlarından yayılan elektromanyetik dalgaların insan vücudundaki zararlı etkilerini en aza indirme amaçlı frekans seçici yüzeylerden faydalanılır. Zararlı düzeydeki elektromanyetik dalgalar durdurularak, görüntüleme işlemi gerçekleştirilir.



3. FLOQUET MODEL FONKSİYONU

Bu bölümde Maxwell denklemlerini çözebilmek için kullanılan Floquet modları sonsuz periyodik yapılara uygulanarak incelenecektir. Uygulamada sonsuz periyodik yapı kavramı mümkün olmasa da periyodik yapı analizleri, yapı sonsuz olarak kabul edilip gerçekleştirilir. Çünkü bir periyodik yapıda elektriksel olarak geniş bir dizinin orta bölgesindeki elemanların aktif empedans özellikleri sonsuz bir periyodik yapıdaki elemanın özellikleriyle aynıdır [16].

Sonsuz periyodik bir yapıdan ilerleyen bir dalganın analizini yapabilmek için Maxwell denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Maxwell denklemlerinin çözümündeki en güçlü yol Fourier dönüşümüdür [16]. O yüzden öncelikle Fourier dönüşümü tanımlanacaktır. Fourier serilerinde genlik ve faz aynı periyodikliğe sahiptir. Floquet serileri farklı periyodikliğe sahip genlik ve faz içerirler. Floquet serilerini içeren temel fonksiyon Floquet model fonksiyonu olarak adlandırılır. Floquet model fonksiyonunu kullanmanın avantajı Maxwell eşitliklerinin hemen hemen elde ediliyor oluşudur [16]. Floquet model analizini yapabilmek için sırayla Fourier dönüşümü, Fourier serileri, Floquet serileri, iki boyutlu Fourier serileri, Floquet uyarım fonksiyonu ve iki boyutlu Floquet uyarım fonksiyonu tanımlanacaktır [16].

3.1. Fourier Dönüşümü

$f(x)$ fonksiyonun tek boyutlu Fourier dönüşümü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\tilde{f}(k_x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(jk_x x) dx \quad (3.1)$$

$\tilde{f}(k_x)$ fonksiyonu $f(x)$ 'in Fourier dönüşümü ya da Fourier spektrumu olarak adlandırılır. Zaman alanlı fonksiyonlardaki w değişkenine benzer şekilde, k_x değişkeni spektral frekanstır. $f(x)$ fonksiyonu ters dönüşüm integrali kullanılarak şu şekilde tanımlanabilir:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}(k_x) \exp(-jk_x x) dk_x \quad (3.2)$$

Eş.(3.1) ve Eş.(3.2)'yi kullanarak aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\delta(x - x_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{\pm jk_x(x - x_0)\} dk_x \quad (3.3)$$

Burada $\delta(x)$ dirac delta fonksiyonunu ifade eder. Bu fonksiyon $x=0$ değeri için sonsuza giderken diğer x değerleri için sıfırdır.

3.2. Fourier Serisi

Periyodikliği a olan periyodik bir $g(x)$ fonksiyonu düşünüldüğünde, bu fonksiyon:

$$g(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x - na) \quad (3.4)$$

$g(x) = g(x + ma)$ ifadesi m 'in tam sayı olduğu yerlerde tanımlıdır. Eş.(3.1)'i kullanarak şu ifade yazılabilir:

$$\tilde{g}(k_x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \exp(jk_x x) dx \quad (3.5)$$

Eş.(3.4)'teki $g(x)$ ifadesini Eş. (3.5)'te yerine yazarak, toplam ve integral işaretlerini yer değiştirdiğimizde şu ifade elde edilir:

$$\tilde{g}(k_x) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x - na) \exp(jk_x x) dx \quad (3.6)$$

Eş.(3.6)'da $x' = x - na$ şeklinde değişken değiştirme yaptığımızda şu ifade elde edilir:

$$\tilde{g}(k_x) = \tilde{f}(k_x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(jnk_x a) \quad (3.7)$$

Eş.(3.7)'deki sonsuz seri dirac delta fonksiyonunun bir sonsuz serisiyle yer değiştirebilir.(Ek 2)

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(jnk_x a) = \frac{2\pi}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(k_x - \frac{2n\pi}{a}) \quad (3.8)$$

Eş.(3.8)'i Eş.(3.7)'de yerine yazarsak şu ifade elde edilir:

$$\tilde{g}(k_x) = \frac{2\pi}{a} \tilde{f}(k_x) \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(k_x - \frac{2n\pi}{a}) \quad (3.9)$$

Dirac delta fonksiyonunun $\delta(\alpha)$ için $\alpha = 0$ değeri dışındaki tüm değerler için sifıra eşit olduğu bilindiğine göre, eşitlik (3.9)'daki $\tilde{g}(x)$ fonksiyonu $k_x = 0, \pm(2\pi/a), \pm(4\pi/a), \dots$ gibi değerler dışında sıfır değerini alır. Eş. (3.2)'yi ele alarak şu denklem yazılabilir:

$$g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{g}(k_x) \exp(-jk_x x) dk_x \quad (3.10)$$

Dirac delta fonksiyonunun kaydırma özelliğini de kullanarak Eş.(3.9) Eş.(3.10)'da yerine yazılırsa:

$$g(x) = \frac{2\pi}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{f}(\frac{2n\pi}{a}) \exp(-\frac{j2n\pi x}{a}) \quad (3.11)$$

elde edilir. Eş.(3.11)'in sağ tarafı $g(x)$ periyodik fonksiyonunun Fourier seri açılımını ifade eder. Periyodik fonksiyonun bu alternatif gösterimi elektromanyetik alanındaki pek çok fiziksel olayın açıklanmasına yardım eder.

3.3. Floquet Serisi

Fourier serilerini kullanarak aynı a genlik ve faz periyodikliğine sahip olan bir $g(x)$ fonksiyonunun alternatif formatı gösterildi. Genlik ve fazı farklı periyodiklikte olan genel ve kompleks bir $h(x)$ fonksiyonu için çıkarılacak alternatif format, tarayıcı ışın dizilerinde kullanışlı uygulamalara sahiptir. Bu tür fonksiyonlar Fourier benzeri bir dizi olan Floquet serileri ile ifade edilebilir. Böyle bir $h(x)$ fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$h(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x - na) \exp(-jn\varphi) \quad (3.12)$$

Burada $f(x)$, x gerçel değişkeninin kompleks bir fonksiyonudur ve φ gerçel bir sabittir. $h(x)$ genlik periyodikliği a olan periyodik bir fonksiyondur:

$$h(x + a) = \exp(-j\varphi) h(x) \quad (3.13)$$

$h(x)$ 'in fazı farklı periyodikliğe sahiptir. Ayrıca her $\Delta x = a$ aralığında $h(x)$ sabit φ miktarı kadar azalır. $h(x)$ fonksiyonunun Fourier seri gösterimini incelemek için Fourier dönüşümü açılımı Eş.(3.6)'ya benzer şekilde şu şekilde gösterilebilir:

$$\tilde{h}(k_x) = \frac{1}{2\pi} \sum_{-\infty}^{\infty} \exp(-jn\varphi) \int_{-\infty}^{\infty} f(x - na) \exp(jk_x x) dx \quad (3.14)$$

Eş.(3.14)'te $x' = x - na$ şeklinde değişken değiştirme yapıldığında

$$\tilde{h}(k_x) = \frac{2\pi}{a} \tilde{f}(k_x) \sum_{-\infty}^{\infty} \exp(jn(k_x a - \varphi)) \quad (3.15)$$

Eş.(3.8)'teki tanım Eş.(3.15)'te yerine yazılırsa:

$$\tilde{h}(x) = \frac{2\pi}{a} \tilde{f}(k_x) \sum_{-\infty}^{\infty} \delta\left(k_x - \frac{2n\pi}{a} - \frac{\varphi}{a}\right) \quad (3.16)$$

bulunur. Eş.(3.16)'nın sağ tarafı $h(x)$ fonksiyonunun Fourier dönüşümünü ifade eder. $h(x)$ fonksiyonunun spektrumu $g(x)$ fonksiyonu gibi ayırık aralıklar oluşturur. Ancak $h(x)$ 'in spektral çizgilerinin yeri φ/a kadar sapma gösterir. Eş.(3.16)'yı kullanarak $h(x)$ kompleks üstel fonksiyonun serileri şeklinde yazılabilir:

$$h(x) = \frac{2\pi}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{f}\left(\frac{2n\pi + \varphi}{a}\right) \exp\left(-\frac{j(2n\pi + \varphi)x}{a}\right) \quad (3.17)$$

Eş.(3.17)'nin sağ tarafı $h(x)$ 'in Floquet serileriyle açılımını ifade eder. $\varphi = 0$ olduğu durumda Fourier serisine dönmesi beklenir.

3.4. İki Boyutlu Floquet Serileri

İki değişkenli bir $h(x, y)$ kompleks fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir:

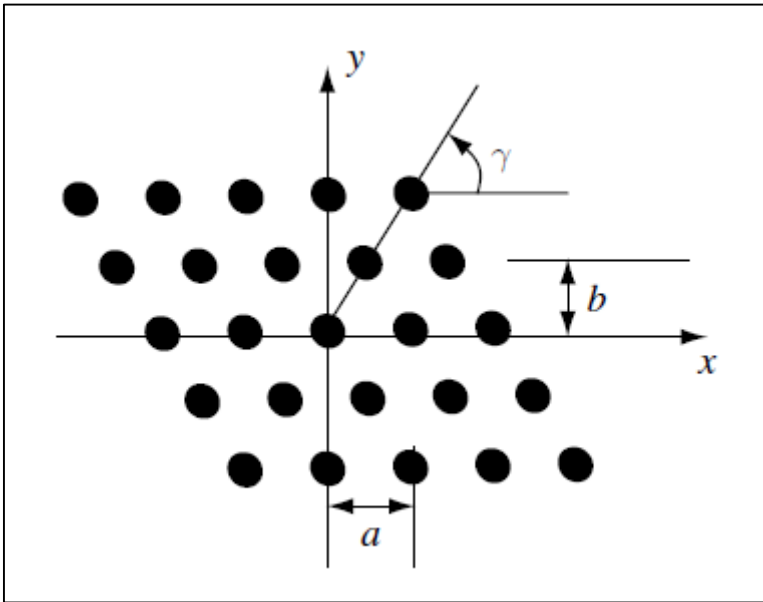
$$h(x, y) = \sum_m \sum_n f(x - x_{mn}, y - y_{mn}) \exp(-jk_{x0}x_{mn} - jk_{y0}y_{mn}) \quad (3.18)$$

$$-\infty < m < \infty \quad -\infty < n < \infty$$

Burada x_{mn} ve y_{mn} ayrıık ızgara noktalarıdır; k_{x0} ve k_{y0} ise iki komşu hücre arasındaki faz kaymalarını belirleyen sabitlerdir. Dikdörtgen bir ızgara için $x_{mn} = ma$ ve $y_{mn} = nb$ olarak gösterilir. m ve n $-\infty$ 'dan ∞ 'a giden tam sayılardır. Şekil 3.1'de gösterilen genel ızgara formunu ele alarak x_{mn} ve y_{mn} değerleri şu şekilde yazılabilir:

$$x_{mn} = ma + \frac{nb}{\tan \gamma} \quad y_{mn} = nb \quad (3.19)$$

Burada γ ızgara açısıdır. Dikdörtgen için $\gamma = 90^\circ$ 'dir.



Şekil 3.1. Düzlemsel periyodik bir dizinin genel ızgara yapısı [16]

$h(x, y)$ 'nin Floquet seri açılımını elde etmek için, öncelikle Fourier dönüşümünü bulmak gerekir. İki boyutlu Fourier dönüşümü şu şekilde tanımlanabilir:

$$\tilde{h}(k_x, k_y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \exp(jk_x x, jk_y y) dx dy \quad (3.20)$$

Tek boyutlu fonksiyonda olduğu gibi, iki boyutlu fonksiyonda da $h(x, y)$ Fourier dönüşümünden elde edilebilir:

$$h(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{h}(k_x, k_y) \exp(-jk_x x - jk_y y) dk_x dk_y \quad (3.21)$$

Eş.(3.18)'deki denklemdaki eşitlik Eş.(3.20)'de yerine yazılırsa şu denklem elde edilir:

$$\begin{aligned} \tilde{h}(k_x, k_y) &= \frac{1}{4\pi^2} \sum_m \sum_n \{ \exp(-jk_{x0}x_{mn} - jk_{y0}y_{mn}) \\ &\quad \times \int_x \int_y f(x - x_{mn}, y - y_{mn}) \exp(jk_x x + jk_y y) dx dy \} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Eş. (3.22)'de $x' = x - x_{mn}$ ve $y' = y - y_{mn}$ değişken değiştirmesi yapıldığında şu denklemi elde ederiz:

$$\tilde{h}(k_x, k_y) = \tilde{f}(k_x - k_{x0}) \sum_m \sum_n \exp(jx_{mn}(k_x - k_{x0}) + jy_{mn}(k_y - k_{y0})) \quad (3.23)$$

Eş.(3.19)'daki x_{mn} ve y_{mn} değerlerini kullanarak, Eş.(3.23)'teki çift toplam kısmı yeniden ele alınırsa:

$$\begin{aligned} S &= \sum_m \sum_n \exp(jx_{mn}(k_x - k_{x0}) + jy_{mn}(k_y - k_{y0})) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \exp(jma(k_x - k_{x0})) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(jnb((k_y - k_{y0}) + \frac{k_x - k_{x0}}{\tan \gamma})) \end{aligned} \quad (3.24)$$

bulunur. Eş.(3.8)'deki kural Eş.(3.24)'e uygulandığında:

$$S = \frac{2\pi}{a} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(k_x - k_{x0} - \frac{2m\pi}{a}) \frac{2\pi}{b} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(k_y - k_{y0} + \frac{k_x - k_{x0}}{\tan \gamma} - \frac{2n\pi}{b}) \quad (3.25)$$

elde edilir. Delta fonksiyonu yalnızca 0 değeri verildiğinde sıfırdan farklı bir değer aldığı için $k_x = k_{x0} + 2m\pi/a$ eşitliği Eş.(3.25)'teki sağ toplamda yerine yazılırsa:

$$S = \frac{2\pi}{a} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(k_x - k_{x0} - \frac{2m\pi}{a}) \frac{2\pi}{b} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(k_y - k_{y0} + \frac{2m\pi}{a \tan \gamma} - \frac{2n\pi}{b}) \quad (3.26)$$

bulunur. Eş.(3.26)'da elde edilen toplam kısmını Eş.(3.23)'de yerine yazarak şu eşitliği elde edilir:

$$\tilde{h}(k_x, k_y) = \frac{4\pi^2}{ab} \tilde{f}(k_x, k_y) \sum_m \sum_n \delta(k_x - k_{x0} - \frac{2m\pi}{a}) \delta(k_y - k_{y0} + \frac{2m\pi}{a \tan \gamma} - \frac{2n\pi}{b}) \quad (3.27)$$

Burada $h(k_x, k_y)$ 'nin Fourier spektrumu yalnızca delta fonksiyonuna 0 değeri verildiği köklerinde tanımlıdır. Bu değerler şunlardır:

$$k_x = k_{xmn} = k_{x0} + \frac{2m\pi}{a} \quad k_y = k_{ymn} = k_{y0} - \frac{2m\pi}{a \tan \gamma} + \frac{2n\pi}{b} \quad (3.28)$$

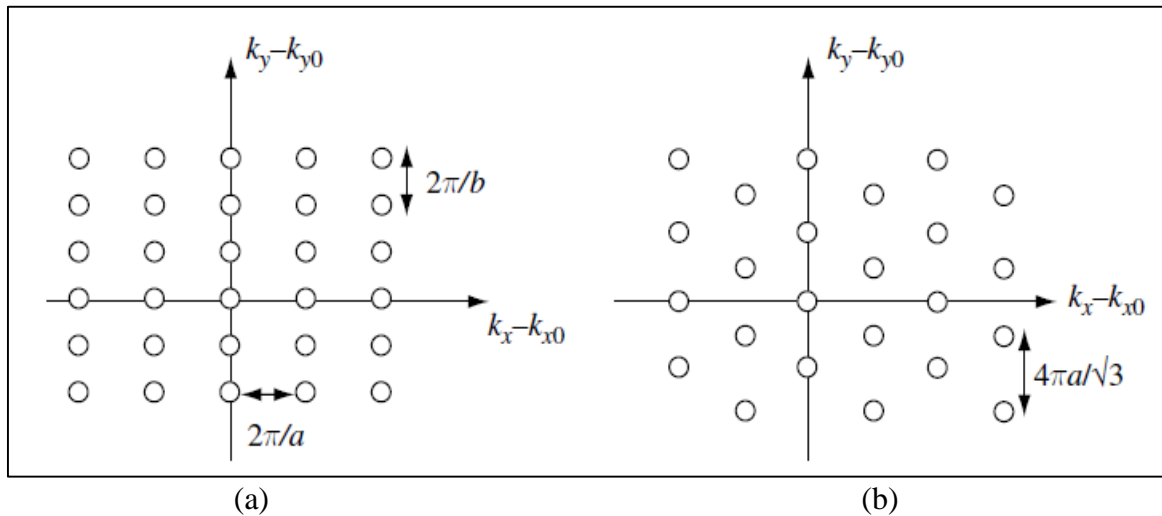
$h(x, y)$ 'nin Floquet serisi Eş.(3.21)'de Eş.(3.27) yerine yazılarak bulunabilir:

$$h(x, y) = \frac{4\pi^2}{ab} \sum_m \sum_n \tilde{f}(k_{xmn}, k_{ymn}) \exp(-jk_{xmn}x - jk_{ymn}y) \quad (3.29)$$

Bu denklemler için iki özel durum incelendiğinde; ilk olarak dikdörtgen ızgara için $\gamma = 90^\circ$ 'dir. (3.28)'deki denklemde yerine yazıldığında nokta aralıkları k_x ve k_y yönünde sırasıyla $2\pi/a$ ve $2\pi/b$ olarak bulunur. Eşkenar üçgen bir ızgara incelendiğinde ise $\gamma = 60^\circ$ ve $b = a \sin 60^\circ = a\sqrt{3}/2$ eşitlikleri Eş.(3.28)'de yerine yazılarak şu noktalar elde edilir:

$$k_{xmn} = k_{x0} + \frac{2m\pi}{a} \quad k_{ymn} = k_{y0} - \frac{2m\pi}{a\sqrt{3}} + \frac{4n\pi}{a\sqrt{3}} \quad (3.30)$$

Eşkenar üçgen ızgara için noktalar arası aralık ise $4\pi/a\sqrt{3}$ olarak hesaplanır. Bu özel durumlar için spektral noktalar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

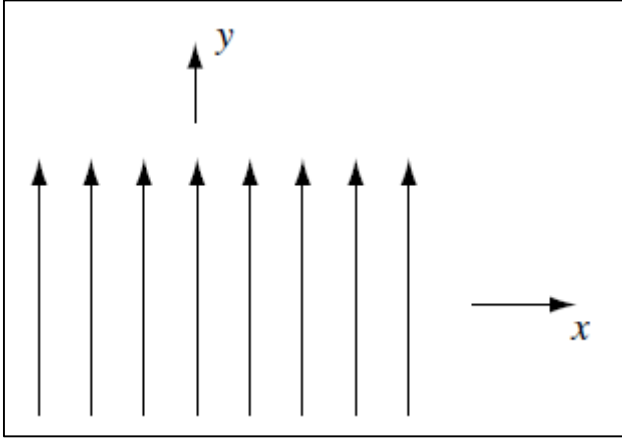


Şekil 3.2. Spektral noktalar (a) $a \times b$ birim hücreli dikdörtgen ızgara (b) bir kenarı a olan eşkenar üçgen ızgara [16]

3.5. Floquet çıkışları ve Floquet modları

Periyodik fonksiyonların Floquet serileri Eş.(3.12)'de ve Eş.(3.18)'de sırasıyla tek boyutlu ve iki boyutlu olarak verilmiştir. Bu bölümde yukarıdaki eşitliklerle ifade edilen akım kaynağının bir dizisi tarafından üretilen elektromanyetik alanlar incelenecektir. Bu akım kaynakları ürettikleri elektromanyetik alanlar Floquet model fonksiyonları ile gösterilebildiğinden, Floquet kaynakları olarak bilinir. Şekil 3.3'teki gibi y yönünde bir akım vektörü düşünelim ve akım dağılımı da öncelikle tek boyutlu inceleme yapabilmek için y yönünde olsun. Ayrıca bu akımı $\hat{z} = 0$ yüzeyinde bir yüzey akımı olduğunu varsayalım. Yüzey akım fonksiyonunun çıkışı şu şekilde olacaktır:

$$\vec{I} = \hat{y} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x - na) \exp(-jn\varphi) \quad (3.31)$$



Şekil 3.3. y yönlü akım elemanlarının düzlemsel sonlu dizileri [16]

Eş.(3.31)'deki yüzey akımı bir vektör potansiyelinden TM_y alanlarını üretecektir. $\vec{A} = \hat{y}A_y$ vektör potansiyeli skalar Helmholtz denklemini sağlar.

$$\nabla^2 A_y + k_0^2 A_y = -J_y \quad (3.32.a)$$

Eş.(3.32.a)'da J_y akım hacim yoğunluğunun y yönündeki bileşenini temsil eder. Eş.(3.31)'deki yüzey akım yoğunluğunu Dirac delta fonksiyonları ile ifade ederek hacim akım yoğunluğu şu şekilde belirtilir:

$$\nabla^2 A_y + k_0^2 A_y = -\delta(z) \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x - na) \exp(-jn\varphi) \quad (3.32.b)$$

Yukarıdaki denklemde k_0 serbest uzaydaki dalga numarasını ifade eder:

$$k_0^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \quad (3.33)$$

Burada ω açısal frekansı, μ_0 ve ε_0 ise sırasıyla geçirgenliği ve dielektrik sabitini ifade eder. Analiz boyunca zamana bağlı faktör $\exp(j\omega t)$ olarak varsayılır.

Eş. (3.32.b)'de A_y 'nin çözümünü bulmak için, Eş.(3.32.b)'nin sağ tarafı Eş.(3.17)'deki Floquet serisine dönüştürülür.

$$\nabla^2 A_y + k^2 A_y = -\delta(z) \frac{2\pi}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{f}\left(\frac{2n\pi+\varphi}{a}\right) \exp\left(\frac{-j(2n\pi+\varphi)x}{a}\right) \quad (3.34)$$

Eş.(3.34)'ün sağ tarafı incelendiğinde A_y 'nin çözümü şu formatta yazılabilir:

$$A_y = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n(z) \exp\left(\frac{-j(2n\pi+\varphi)x}{a}\right) \quad (3.35)$$

Üstteki denklemde y 'ye bağlı herhangi bir terim bulunmaz. Eş.(3.35)'deki A_y 'yi Eş.(3.34)'te yerine yazar ve sonra terimleri tek tek karşılaştırırsak şu elde edilir:

$$\frac{\partial^2 F_n(z)}{\partial z^2} + k_{zn}^2 F_n(z) = -\delta(z) \frac{2\pi}{a} \tilde{f}(k_{xn}) \quad (3.36)$$

Burada k_{xn} ve k_{zn} değerleri şu şekildedir:

$$k_{xn} = \frac{2n\pi+\varphi}{a} \quad k_{zn}^2 = k_0^2 - k_{xn}^2 \quad (3.37)$$

Eş.(3.36)'daki $F_n(z)$ 'nin çözümü aşağıdaki gibi yazılır:

$$F_n(z) = \begin{cases} \frac{\pi}{jak_{zn}} \tilde{f}(x_n) \exp(-jk_{zn}z) & z > 0 \\ \frac{\pi}{jak_{zn}} \tilde{f}(x_n) \exp(jk_{zn}z) & z < 0 \end{cases} \quad (3.38)$$

Yukarıdaki denklem akım kaynağı serbest uzayda simetrik olduğu sürece geçerlidir. Bu durum sağlanmadığında örneğin yer düzlemi $\hat{z} = -d$ gibi tanımlandığında çözüm farklı bir forma dönüşür. $z > 0$ koşulu için son çözüm şu şekilde olur:

$$A_y = \frac{\pi}{ja} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\tilde{f}(k_{xn})}{k_{xn}} \exp(-jk_{xn}x - jk_{zn}z) \quad z > 0 \quad (3.39)$$

Elektromanyetik alan bileşenleri şu eşitlikleri kullanarak bulunabilir:

$$\vec{H} = \nabla \times (\hat{y}A_y) \quad \vec{E} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \nabla \times \vec{H} \quad (3.40)$$

Eş.(3.40)'dan $E_x = E_z = 0$ ve $E_y = -j\omega\mu_0 A_y$ olarak bulunur. Sıfırdan farklı olan elektrik alanın bileşenleri akım kaynağı tarafından üretilir:

$$E_y = -\frac{\pi\omega\mu_0}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\tilde{f}(k_{xn})}{k_{zn}} \exp(-jk_{xn}x - jk_{zn}z) \quad z > 0 \quad (3.41)$$

Elektromanyetik alanlar Eş.(3.31)'deki akım kaynağından üretildiği için sonlu bir seriye eşitlenir. Yukarıdaki denklemin her bir terimi dalga denklemini sağlar. Zaman faktörünü $\exp(j\omega t)$ 'yi içeren E_y 'nin çözümü şu şekle dönüşür:

$$E_y(x, y, z, t) = -\frac{\pi\omega\mu_0}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\tilde{f}(k_{xn})}{k_{zn}} \exp(j\omega t - jk_{xn}x - jk_{zn}z) \quad z > 0 \quad (3.42)$$

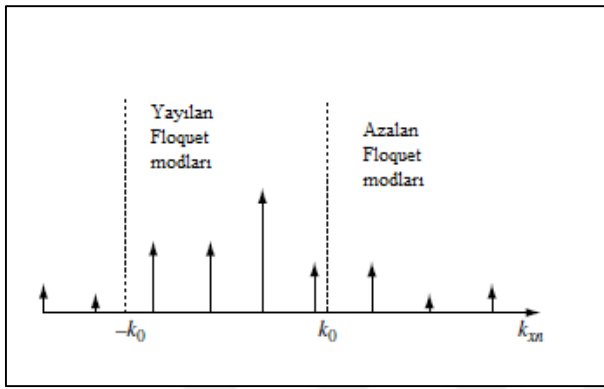
Bu sonuçlar anten ışınmasında yorumlanabilir. Toplama işareti içerisindeki üstel terim Floquet model fonksiyonu ya da Floquet modu olarak bilinir. n . Floquet modunun yayılma vektörü şu vektörle ifade edilir:

$$\vec{p}_n = \hat{x}k_{xn} + \hat{z}k_{zn} \quad (3.43)$$

n . Floquet modu ile ilgili olan yayılma vektörü z eksenine bir θ_n açısı oluşturur:

$$\tan \theta_n = \frac{k_{xn}}{k_{zn}} = \frac{k_{x0} + 2n\pi/a}{\sqrt{k_0^2 - (k_{x0} + 2n\pi/a)^2}} \quad (3.44)$$

Burada $k_{x0} = \varphi/a$ 'dır. $n = 0$ 'a karşılık gelen Floquet modu baskın mod olarak adlandırılır, çünkü bu mod verilen tarama açısı $\theta_0 = \sin^{-1}(\varphi/k_0a)$ boyunca yayılır. Gerçek k_{zn} değerine sahip diğer modlar ızgara ışınlarıdır. Bir Floquet modu eğer $k_0 \geq \left| \frac{\varphi + 2n\pi}{a} \right|$, $n \neq 0$ şartını sağlarsa ızgara ışına dönüşür. Sanal bir k_{zn} değeri için, model alanı bileşenleri z ile bozunur. Böyle bir mod azalan Floquet modu olarak bilinir. Azalan Floquet modu için yayılma açısı θ_n sanaldır. Şekil 3.4'te çeşitli Floquet modlarının taslakları gösterilmiştir. Tipik olarak, yalnızca Floquet modunun sonlu eleman sayıları yayılıyor ve geri kalan kısmı azalıyor.



Şekil 3.4. Floquet mod genlikleri [16]

3.6. İki boyutlu Floquet Çıkışları

İki boyutlu Floquet çıkışları için yüzey akımı şu şekilde olmalıdır:

$$\vec{I}(x, y) = \hat{y} \sum_m \sum_n f(x - x_{mn}, y - y_{mn}) \exp(-jk_{x0}x_{mn} - jk_{y0}y_{mn}) \quad (3.45)$$

Genel ızgara yapısı için, Eş.(3.19)'da verildiği gibi x_{mn} ve y_{mn} şu şekildedir:

$$x_{mn} = ma + \frac{nb}{\tan \gamma} \quad y_{mn} = nb \quad (3.46)$$

Burada γ ızgara açısıdır. Yukarıdaki yüzey akımı denklemi Floquet serisine genişletildiğinde, Eş.(3.29)'dakine benzer şekilde şu ifade elde edilir:

$$\vec{I}(x, y) = \hat{y} \frac{4\pi^2}{ab} \sum_m \sum_n \tilde{f}(k_{xmn}, k_{ymn}) \exp(-jk_{xmn}x - jk_{ymn}y) \quad (3.47)$$

Burada:

$$k_{xmn} = k_{x0} + \frac{2m\pi}{a} \quad k_{ymn} = k_{y0} - \frac{2m\pi}{a \tan \gamma} + \frac{2n\pi}{b} \quad (3.48)$$

Tek boyutlu Floquet çıkışında uygulanan işlemleri aynı şekilde uygulandığında, $z > 0$ bölgesinde elektrik alan bileşenlerini şu şekilde elde ederiz:

$$E_x = \frac{2\pi^2}{ab\omega\varepsilon_0} \sum_m \sum_n \frac{k_{xmn}k_{ymn}}{k_{zmn}} \tilde{f}(k_{xmn}, k_{ymn}) \exp\{j(-k_{xmn}x - k_{ymn}y - k_{zmn}z)\} \quad (3.49.a)$$

$$E_y = \frac{2\pi^2}{ab\omega\varepsilon_0} \sum_m \sum_n \frac{k_0^2 - k_{ymn}^2}{k_{zmn}} \tilde{f}(k_{xmn}, k_{ymn}) \times \exp\{j(-k_{xmn}x - k_{ymn}y - k_{zmn}z)\} \quad (3.49.b)$$

$$E_z = \frac{2\pi^2}{ab\omega\varepsilon_0} \sum_m \sum_n k_{ymn} \tilde{f}(k_{xmn}, k_{ymn}) \exp\{j(-k_{xmn}x - k_{ymn}y - k_{zmn}z)\} \quad (3.49.c)$$

Yukarıdaki sonlu serilerde (m, n) terimleri TM_{ymn} (enine manyetik alan) Floquet moduyla ilgilidir. k_{zmn} gerçel ise, ilgili Floquet modu basitçe $\vec{p}_{mn} = \hat{x}k_{xmn} + \hat{y}k_{ymn} + \hat{z}k_{zmn}$ vektörüne paralel bir yönde yayılan bir düzlem dalgaya dönüşür. Küresel koordinat sisteminde karşılık gelen yayılma açıları $(\theta_{mn}, \varphi_{mn})$ şu şekilde verilir:

$$\begin{aligned} k_{xmn} &= k_0 \sin \theta_{mn} \cos \varphi_{mn} \\ k_{ymn} &= k_0 \sin \theta_{mn} \sin \varphi_{mn} \\ k_{zmn} &= k_0 \cos \theta_{mn} \end{aligned} \quad (3.50.a)$$

Özellikle baskın mod olarak bilinen $(0,0)$ Floquet modu, (θ_0, φ_0) belirli açıları boyunca yayılır. Bu yüzden, Eş.(3.48) ve Eş.(3.50.a)'dan $m = n = 0$ yaparak şunlar elde edilir:

$$\begin{aligned} k_{x0} &= k_0 \sin \theta_0 \cos \varphi_0 \\ k_{y0} &= k_0 \sin \theta_0 \sin \varphi_0 \end{aligned} \quad (3.50.b)$$

Eş.(3.50.b), faz ilerleme faktörleri (k_{x0}, k_{y0}) arasındaki ilişkiyi ve belirli yayılım yönünü (θ_0, φ_0) verir.

Bir Floquet modu yalnızca şu koşulları sağladığında yayılan bir düzlem dalgaya dönüşür:

$$k_{xmn}^2 + k_{ymn}^2 \leq k_0^2 \quad (3.51)$$

Yukarıdaki koşul sağlanamazsa, karşılık gelen Floquet modu bir azalan mod olarak z yönünde bozunur.





4. FRAKTAL FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLER

Anten dizilerinde yaygın bir biçimde kullanılan fraktal yapılar ilk olarak Parker ve Sheikh tarafından frekans seçici yüzeylere uygulanmıştır [12]. Fraktal yapılar kendilerine benzer yapıda farklı ölçüde elemanlar içerdiğinden frekans seçici yüzeylerde çoklu bant ve ikili bant uygulamalarında sıklıkla kullanılır [20,21]. Çoklu bant karakteristiğine sahip olan frekans seçici yüzey tasarlayabilmek için çok katmanlı bir yapı kullanmak gerekir. Ancak fraktal yapılar sayesinde üretimdeki boyut ve karmaşıklık azaltılarak çoklu bant karakteristiğine sahip frekans seçici yüzey tasarlanabilir [22].

Çok bilinen Koch, Sierpinski, Minkowski ve Hilbert fraktal yapıları önceden frekans seçici yüzeylere uygulanmasına rağmen, bu tezde Apollonius çemberleriyle oluşturulan fraktal yapılar ilk defa frekans seçici yüzeylere uygulanmıştır.

4.1. Fraktal Yapılar

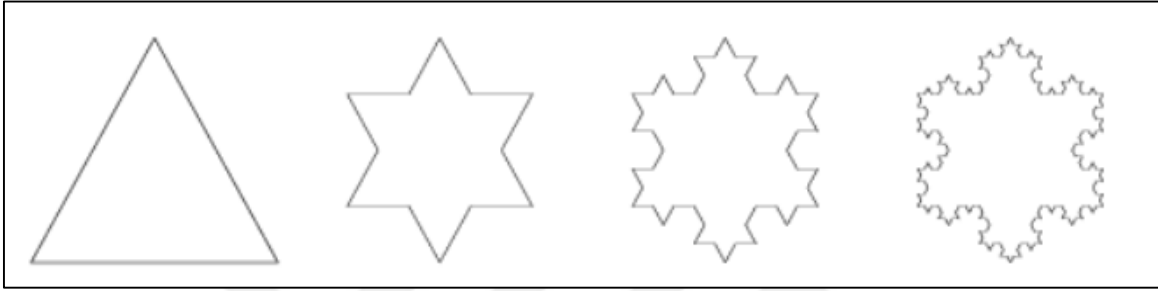
Doğada bulunan olaylar ve yapılar genellikle standart geometrik şekillerle temsil edilemezler. Örneğin Şekil 4.1’de gösterilen kar taneleri, kaktüsler, salyangoz kabuğu, ağaçların dalları, bir tavus kuşunun tüyleri geleneksel geometrik terimlerle ifade edilemez. Doğada düzenli ya da düzensiz ölçekli parçalı yapılara rastlanır. Bu yapılar 1975 yılında Benoit B. Mandelbrot’un bulduğu “fraktal” terimiyle açıklanabilir [23]. Fraktal terimi, içerisinde ölçekli bir şekilde kendini tekrar eden düzenli veya düzensiz yapıları ifade etmek için kullanılır.



Şekil 4.1. Doğada bulunan fraktal yapılar

4.1.1. Koch kar tanesi fraktali

Koch fraktali 1904 yılında İsveçli matematikçi Helge Von Koch tarafından bulunmuştur. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi fraktale öncelikle eşkenar üçgenlerle başlanır. Daha sonra üçgenin her bir kenarı üçe bölünerek yeniden eşkenar üçgenler çizilir. Yeni çizilen eşkenar üçgenin kenarları tekrar üçe bölünerek eşkenar üçgen çizimine devam edilir. Bu iterasyon sonsuza kadar tekrarlanarak fraktal elde edilmiş olur.



Şekil 4.2. Koch Fraktalinin üçüncü iterasyona kadar olan oluşumu [24]

Fraktallerin boyutları Öklid geometrisinde olduğu gibi tam sayılarla ifade edilmez. Koch fraktali için boyut hesaplaması yapılmak istenildiğinde Hausdorff boyutu denilen bir denklemden yararlanılır [23].

$$D = \frac{\log(N)}{\log(1/s)} \quad (4.1)$$

Eş.4.1’de N her bir iterasyondaki kenar sayısını, s ölçek faktörünü D ise fraktalin boyutlarını gösterir. Bu denklem Koch fraktaline uygulandığında:

$$N = 3 \cdot 4^n \quad (4.2)$$

$$s = \left(\frac{1}{3}\right)^n \quad (4.3)$$

Burada n iterasyon sayısıdır. N değeri sıfıncı iterasyonda 3’e eşit olacaktır. İlk aşamada 3 kenar olduğu görülmektedir. Birinci iterasyonda da 12 kenar olduğu şekilden gözlemlenmektedir. Ayrıca üçgenler her bir iterasyonda üçe bölünükleri için ölçeklendirme de $1/3$ ’tür. Bu değerlere göre n sonsuza giderken Hausdorff boyutu şu şekildedir:

$$D = \frac{\log(4)}{\log(3)} \cong 1.261859507 \dots \quad (4.4)$$

Fraktalin N değeri göz önüne alınarak iterasyon miktarı n sonsuza giderken çevresinin de sonsuza gittiği görülebilir. Ancak bu aynı zamanda alanının da sonsuza gittiği anlamına gelmez. Fraktalin alanı sınırlıdır. Bir kenarı s olan bir eşkenar üçgenin alanını sıfıncı iterasyon için $A_0 = \Delta$ olarak alalım. Burada alan ifadesi:

$$\Delta = \frac{\sqrt{3}}{4} s^2 \quad (4.5)$$

olarak bulunabilir. Birinci iterasyonda toplam alan şu şekilde yazılabilir:

$$A_1 = A_0 + 3 \frac{\sqrt{3}}{4} \left(\frac{s}{3}\right)^2 \quad (4.6)$$

Alanın genel ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$A_n = A_{n-1} + \frac{1}{4} N s^2 \Delta = A_{n-1} + \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9}\right)^{n-1} \Delta \quad (4.7)$$

Yukarıdaki ifade Δ cinsinden yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$A_n = \frac{1}{5} \left[8 - 3 \left(\frac{4}{9}\right)^n \right] \Delta \quad (4.8)$$

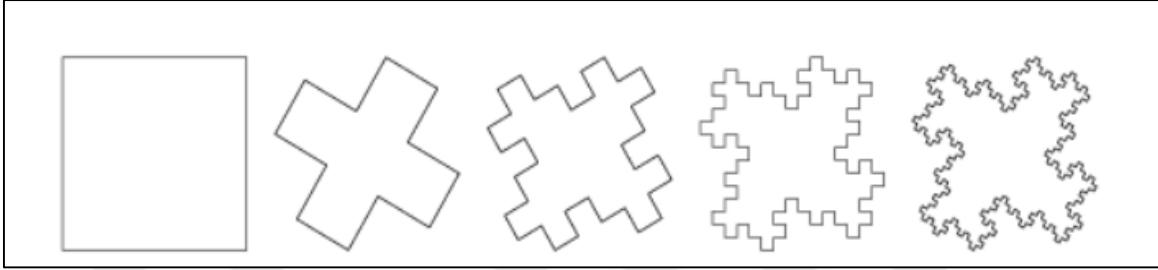
Eş.4.8'de $n \rightarrow \infty$ olduğunda ifade şu şekilde olur:

$$A_\infty = \frac{8}{5} \Delta \quad (4.9)$$

Yukarıdaki denkleme göre iterasyonlar sonsuza giderken yani şekillerin çevreleri sonsuza giderken alan ifadesi ilk iterasyondaki üçgenin alanının $8/5$ katına eşit olur.

4.1.2. Minkowski fraktali

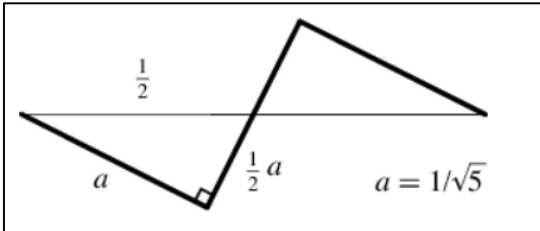
Minkowski fraktali Litvanyalı matematikçi Hermann Minkowski tarafından 1901 yılında bulunmuştur. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi bir kare ile iterasyona başlanır. Her bir kare dört farklı kareyi oluşturacak şekilde iterasyona sonsuza kadar devam edilir.



Şekil 4.3. Minkowski Fraktalinin iterasyon örüntüsü [25]

Fraktalin iterasyon edilme kuralı ve boyutları şekil 4.4'te gösterilmiştir. Karenin her bir kenarı tam ortadan iki benzer dik üçgenle bölünür. Karenin kenarını bölen uzunluklar eşittir. Karenin kenarının orta noktasından yeni iterasyonun bir kenarının orta noktası geçer. s ölçek faktörü şu şekildedir:

$$s = \left(\frac{1}{\sqrt{5}}\right)^n \quad (4.10)$$



Şekil 4.4. Minkowski fraktalinin iterasyonlardaki ölçeklendirmesi [25]

Her bir iterasyondaki kenar sayısı N , Hausdorff boyutu D ve iterasyon miktarı n olarak alındığında:

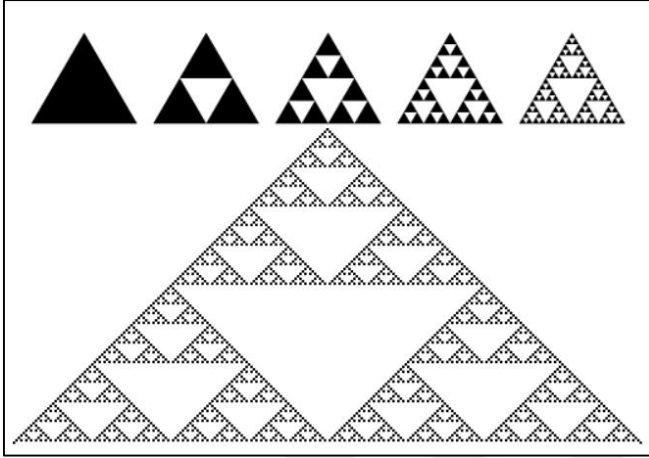
$$N = 4 \cdot 3^n \quad (4.11)$$

$$D = \frac{\log N}{\log 1/s} = \frac{\log 3}{\log \sqrt{5}} \cong 1.36521 \quad (4.12)$$

olur.

4.1.3. Sierpinski fraktali

Sierpinski fraktali Polonyalı matematikçi Waclaw Sierpinski tarafından bulunmuştur. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi fraktale öncelikle bir üçgenle başlanır. Bu üçgen dört eşit üçgene bölünür ve ortasındaki üçgen çıkarılır. Bu işlem sonsuza kadar tekrarlanır.



Şekil 4.5. Sierpinski Fraktali [26]

Sierpinski fraktali için iterasyondaki kenar sayısı N , Hausdorff boyutu D , iterasyon miktarı n , alan ifadesi A_n ve ölçek faktörü s olarak kabul edilerek aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$N = 3^n \quad (4.13)$$

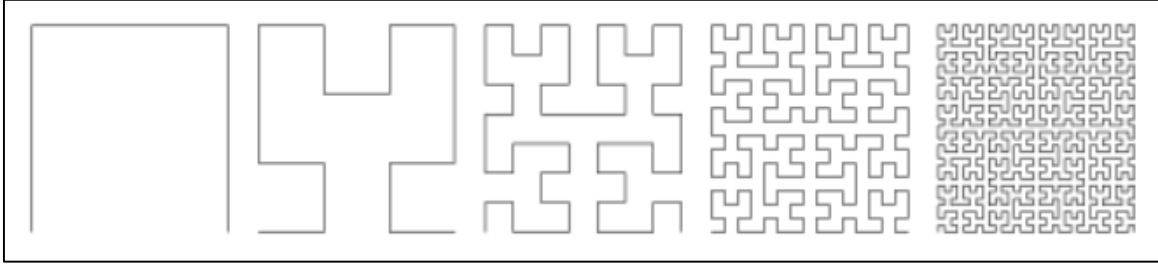
$$s = \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad (4.14)$$

$$A_n = s^2 N = \left(\frac{3}{4}\right)^n \quad (4.15)$$

$$D = \frac{\log 3}{\log 2} \cong 1.584962500.. \quad (4.16)$$

4.1.4. Hilbert fraktali

Hilbert fraktali ilk olarak Alman matematikçi David Hilbert tarafından 1891 yılında tanımlanmıştır. Şekil 4.6'daki gibi alt kenarı alınmış bir kare ile başlanır. Her kenar üç eşit parçaya ayrılarak yeni kareler oluşturulur. Daha sonra üst ortasından, alt sağ ve solundan birer kare çıkartılmış şekle dönüşür. Bu işlem sonsuza kadar tekrar edilerek Hilbert fraktali elde edilir.



Şekil 4.6. Hilbert fraktal örüntüsü [27]

Hilbert fraktalinde küçük bağlantılar göz ardı edilerek $N = 4$ ve $s = 1/2$ alınır.

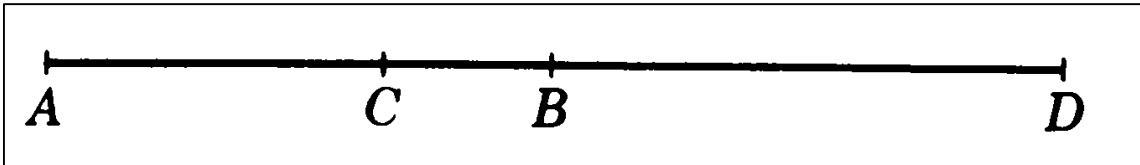
Dolayısıyla Hausdorff boyutu $D = 2$ olarak bulunabilir.

4.1.5. Apollonius fraktali

Apollonius çemberini ünlü Yunan matematikçi Apollonius Perga keşfetmiştir [28].

Apollonius çemberini açıklayabilmek için öncelikle Şekil 4.7'deki gibi bir AB doğru parçası ele alınır. Bu doğru parçası sırasıyla üzerinde ve dışında C ve D noktalarından aynı oranda bölündüğünde AB doğru parçası harmonik olarak bölünmüştür denilir [28].

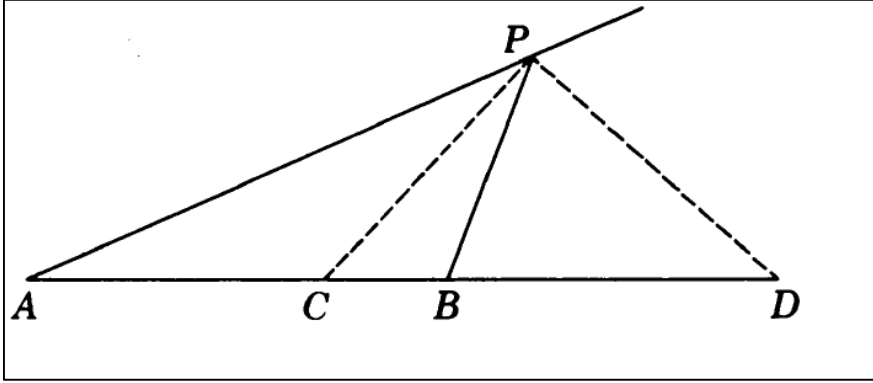
Eş.4.17'de bu oran gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Bir AB doğru parçasını harmonik olarak bölen C ve D noktaları [28]

$$\frac{AC}{CB} = \frac{AD}{BD} \quad (4.17)$$

Bu doğrunun dışında hareketli bir P noktası tanımlanır. AP uzunluğunun BP uzunluğuna oranı k pozitif sayısını verir. Bu sayı 1'den küçük ya da büyük olabilir daima pozitif bir sayıdır. Bu P noktasıyla A ve B birleştirilerek APB üçgeni elde edilir. Bu üçgenin P açısının iç açıortay ve dış açıortayları Şekil 4.3'te gösterildiği gibi C ve D noktalarına denk gelmektedir. Üçgendeki iç açıortay ve dış açıortay durumundan dolayı gelen oran sırasıyla Eş.4.18 ve Eş.4.19'da gösterilmiştir. Eş.4.18 ve Eş.4.19 birleştirildiğinde Eş.4.20 elde edilir. Bu da harmonik oranın k olduğunu gösterir.



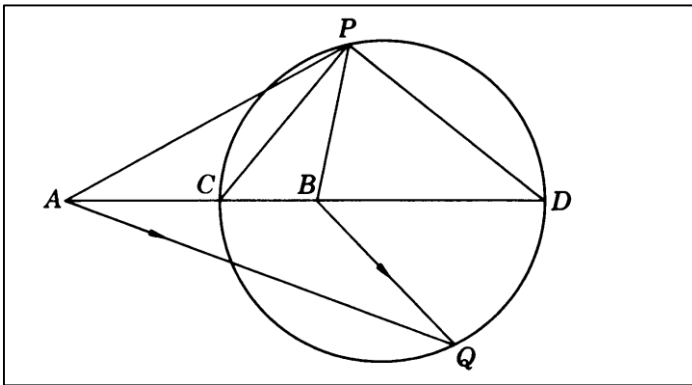
Şekil 4.8. Hareketli bir P noktası tanımlanarak APB üçgeninin ve açıortaylarının gösterimi [28]

$$\frac{AC}{CB} = \frac{AP}{BP} = k \quad (4.18)$$

$$\frac{AD}{BD} = \frac{AP}{BP} = k \quad (4.19)$$

$$\frac{AC}{CB} = \frac{AD}{BD} = k \quad (4.20)$$

Şekil 4.8'de \widehat{CPB} ve \widehat{BPD} açılarının açıortay durumundan dolayı tümler olduğu görülmektedir. Bu yüzden \widehat{CPD} açısı dik açıdır. Dik açının her zaman bir yarım daireyi gördüğü bilinmektedir. Öyleyse çapı CD olan bir çember Şekil 4.9'daki gibi çizilebilir. Bu çember üzerinde herhangi bir Q noktası alındığında bu noktanın A ve B noktalarına olan uzaklıklarının oranı her zaman k 'ya eşit olacaktır. Q noktasının çember üzerindeki yerinden bağımsız bir sonuç çıkmaktadır. İşte verilen bu çember Apollonius çemberi olarak bilinir. Bu çemberlerin belli sayıdaki iterasyonlarla iç içe kullanımı da Apollonius fraktallerini ifade eder.



Şekil 4.9. Apollonius Çemberi [28]



5. APOLLONIUS ÇEMBERLERİYLE FREKANS SEÇİCİ YÜZEY TASARIMI

Apollonius çemberleri önceki bölümde anlatıldığı gibi her zaman harmonik orana sahip bir üçgenle tanımlanır. Apollonius çemberlerinden fraktal yapılar elde etmek için çember ve üçgenler iç içe iterasyonlarla kullanılmıştır. Bu tezde frekans seçici yüzey tasarlarken CST-MWS (Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi-Mikrodalga Stüdyosu) kullanılmıştır.

5.1. Minyatürizasyon Tekniği

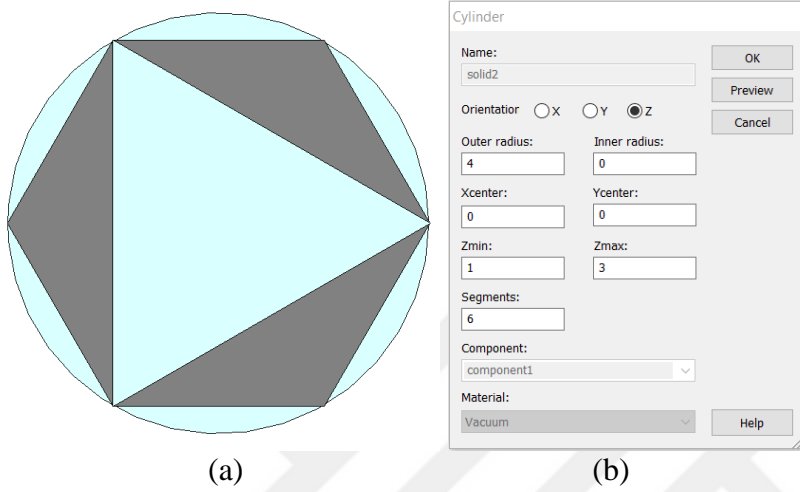
Son yıllarda hızla gelişen haberleşme teknolojisiyle birlikte yakın WLAN'lar arasında kablosuz haberleşme güvenliğini sağlama ve elektromanyetik girişimi önleme gibi çalışmalarda frekans seçici yüzeylerin kullanımı oldukça artmıştır. WLAN bantlarının alçak frekans çalışma düzeyi gereksiniminden dolayı frekans seçici yüzey tasarımları da bu yönde olmaktadır. İkinci bölümde anlatıldığı gibi frekans seçici yüzeylerin alçak frekanslarda çalışması için büyük boyutlar gerekmektedir. Ancak üretim aşamasında bu boyutlar sınırlıdır.

İdeal sonuçlar elde edilen simülasyon programlarında birim hücre sayısı sonsuz olarak ele alınmaktadır. İdeal frekans seçici yüzeyler dizisinin sonsuz olarak alınmasının nedeni kenarlardan oluşabilecek yüzey akımı yansımalarının önlenmesidir [15]. Frekans seçici yüzey tasarımında ideale yaklaşmak için maksimum sayıda birim hücre gerekirken, birim hücre boyutlarını küçültmek de üretimde kolaylık sağlar.

Frekans seçici yüzeyi minyatürize etmek eşdeğer indüktans ve kapasitans değerlerini artırmakla ilgilidir [29]. Frekans seçici yüzeyin boyutlarını azaltmak için pek çok teknik kullanılmıştır. Fraktal yüzeyler kullanmak ya da iç içe şekilleri kullanmak minyatürizasyon tekniklerinden biridir. İletken uzunluğunu artırmak eşdeğer indüktansı artırırken, iletken bölümlerin yaklaşmasından dolayı eşdeğer kapasitans değeri de artmış olur [29].

Bu tez çalışmasında Apollonius çemberleri ve onları ifade etmek için kullanılan eşkenar üçgenler fraktal olarak kullanılıp, frekans seçici yüzey minyatürize edilmiştir. Bütün minyatürizasyon aşamaları ve parametrik analiz sonuçları gösterilmiştir.

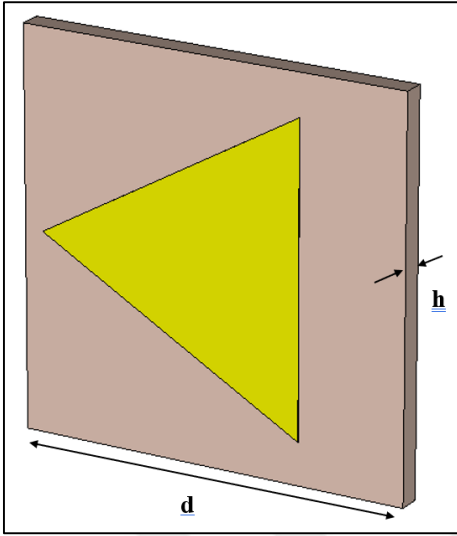
CST-MWS programı ile modelleme yapılırken kolaylıkla temel olarak bir çember üzerinden modelleme yapıp segment sayısı ile kenar sayısı belirlenerek çokgenlere geçiş yapılabilir. Yani çemberle aynı sınırlar içerisinde kalan istenilen sayıda kenarı olan çokgen elde edilebilir. Şekil 5.1’de dış yarıçapı 4 olan çember üçgen ve altıgen görülmektedir. Üçgen ve altıgen şekli yalnızca segment sayısı değiştirilerek elde edilmiştir.



Şekil 5.1. (a) CST-MWS’da eşit yarıçapa sahip çember üçgen ve altıgen modellemesi. (b) Altıgen modellemenin düzenleme ekranı

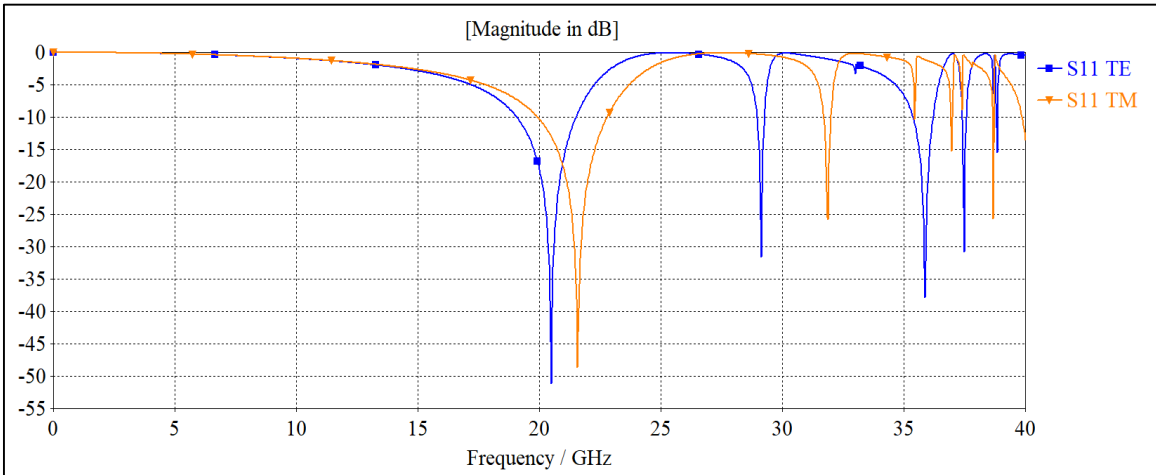
İlk olarak Apollonius Çemberini ifade etmek için kullanılan üçgen yama tasarlandı. Şekil 5.2’de gösterilen tasarımın boyutlarının küçük olması sebebiyle yüksek rezonans frekanslarında çalışması beklenir. Ayrıca x ve y ekseninde simetrik olmamasından dolayı TE ve TM modda farklı transfer karakteristiği göstermesi beklenir. Bütün minyatürizasyon tekniğinin uygulandığı analizlerde aynı boyutlardaki dielektrik tabaka kullanılmıştır.

Büyük yama üçgen



Şekil 5.2. Apollonius Çemberini ifade etmek için kullanılan büyük üçgen dielektrik alt tabaka boyutları $d=8.832$ mm $h=0.51$ mm

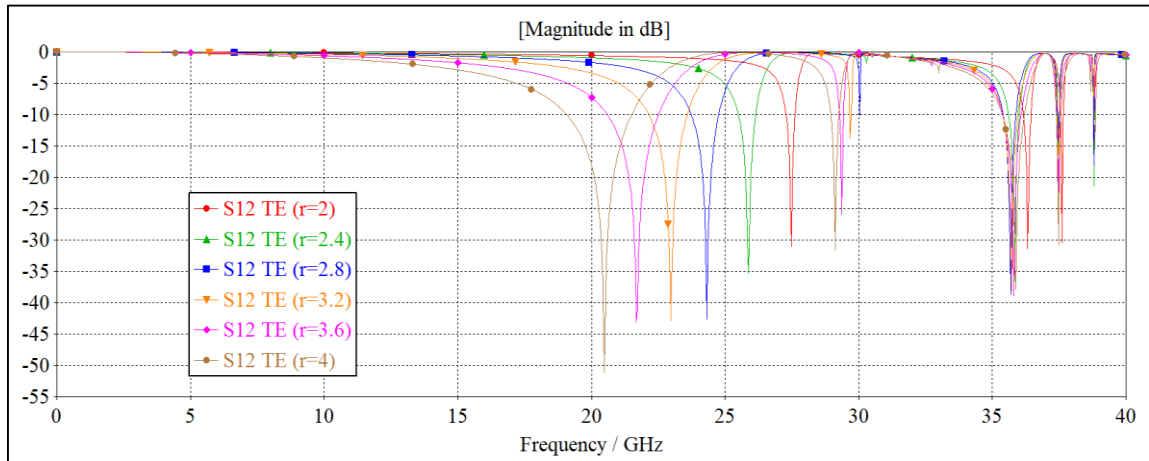
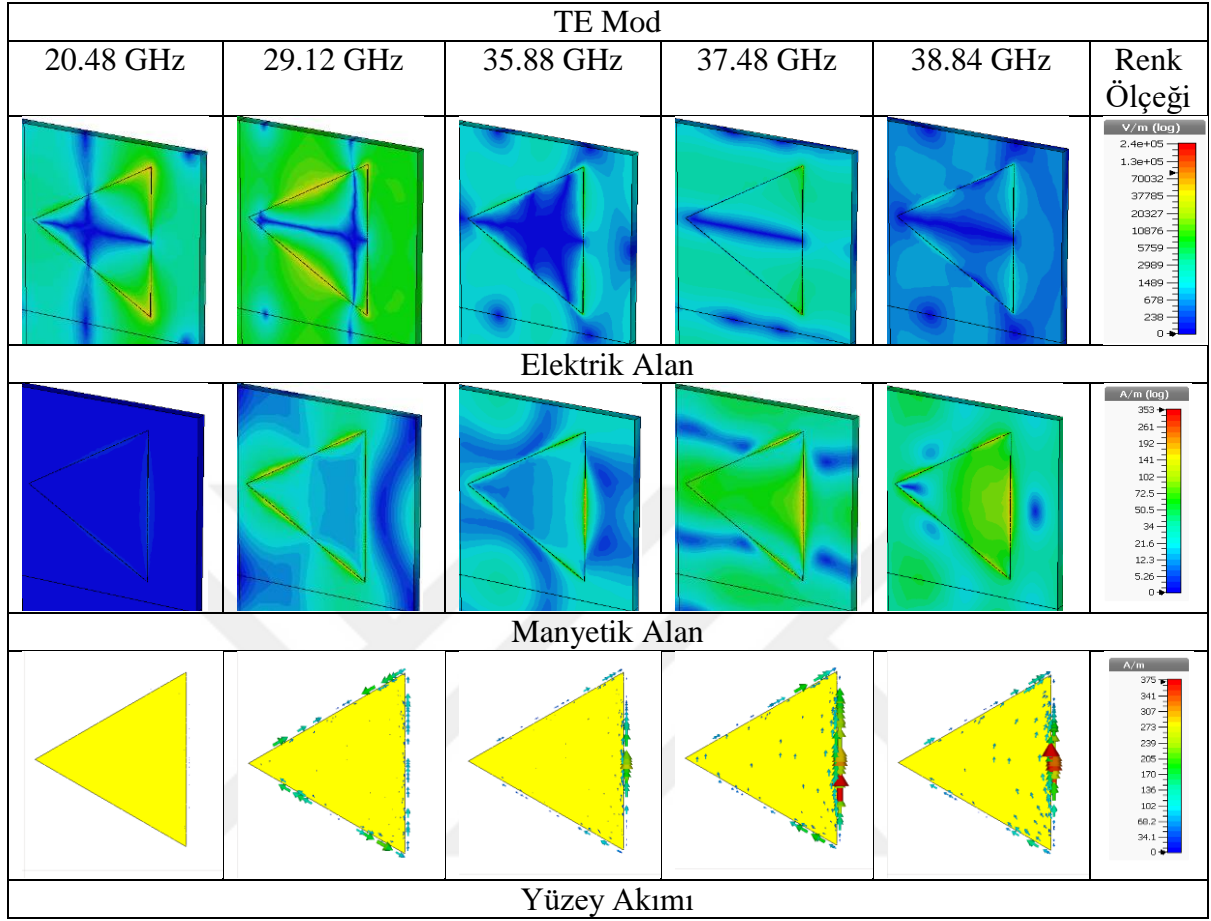
Şekil 5.2'deki üçgen yamanın dış yarıçapı 4 mm'dir. Sarı ile belirtilen alan iletken bakır, gri alan Taconic RF-35 maddesi kullanılan dielektrik alt tabakayı gösterir. İletken bakır 0.01 mm kalınlığında kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Büyük yama üçgenin TE ve TM modda transfer karakteristiği

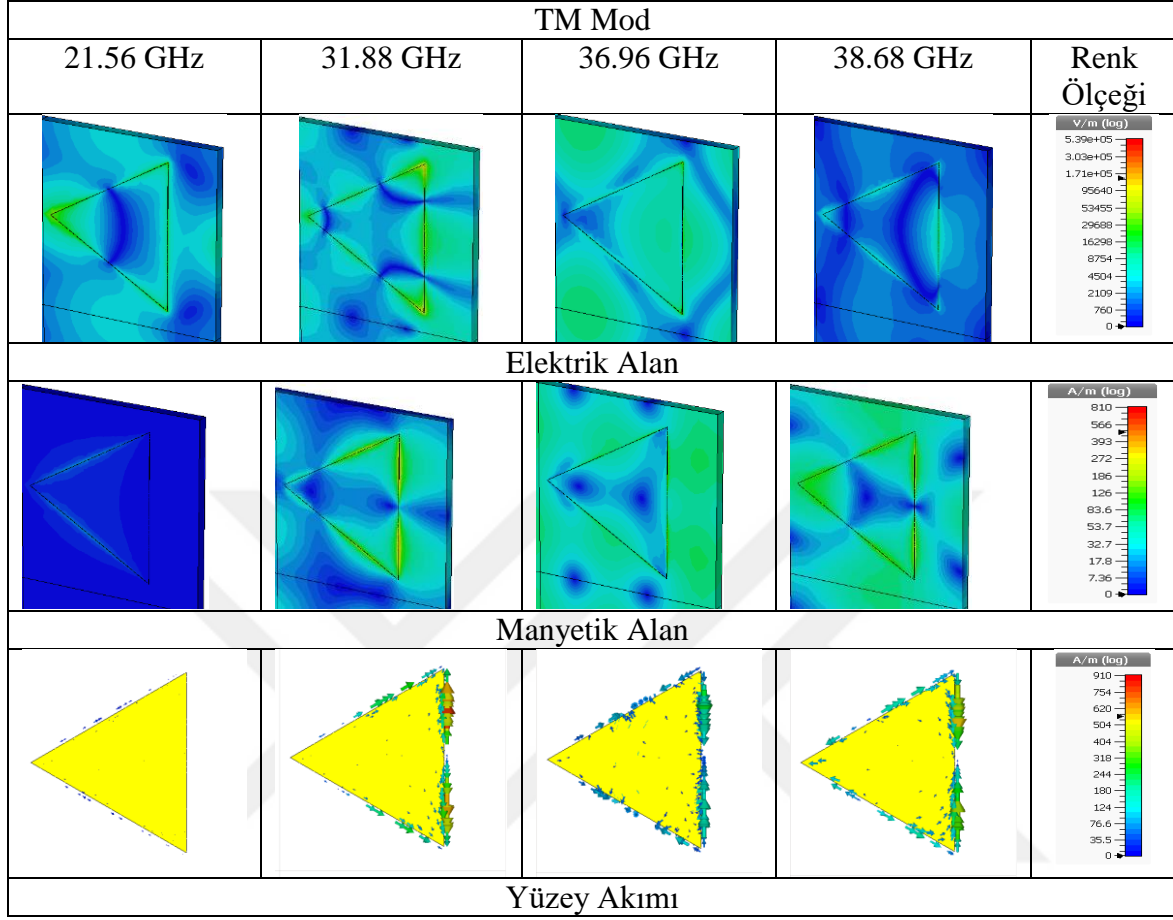
Şekil 5.3'de büyük yama üçgenin transfer karakteristiği verilmiştir. Beklenildiği gibi TE ve TM modda farklı cevaplar göstermiştir. TE modda beş, TM modda ise dört farklı frekansı durdurduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Büyük yama üçgenin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı

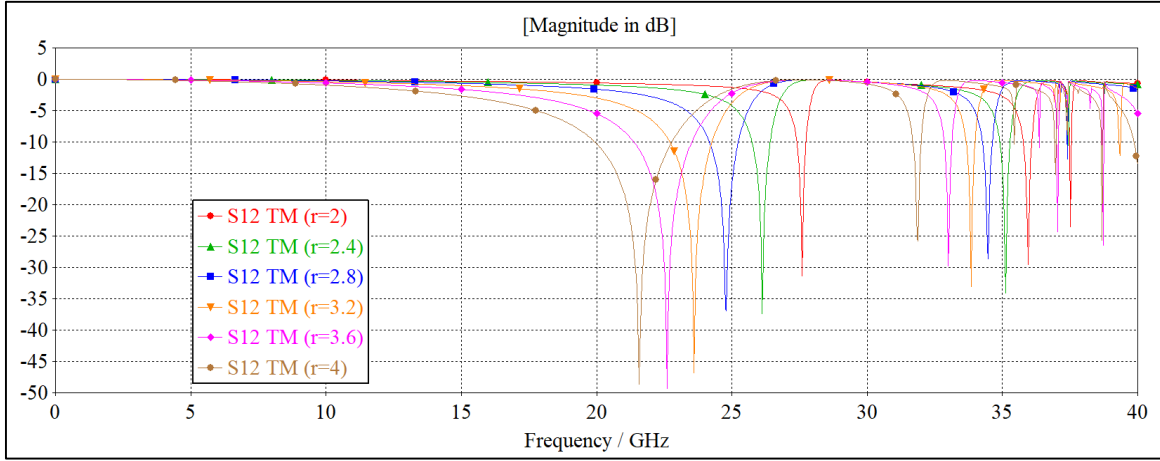


Şekil 5.4. TE modda verilen büyük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi.

Çizelge 5.2. Büyük yama üçgenin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı



Çizelge 5.1’de ve Çizelge 5.2’de verilen sonuçlar TE ve TM moddaki rezonans frekanslarına göre elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı sonuçlarını göstermektedir. Biot-Savart yasasına göre hareketli elektrik akımını oluşturan hareketli elektrik yükleri manyetik alan oluşturur. Bu yüzden Manyetik alan ve yüzey akımı sonuçlarının da paralel olduğu gözlemlenmiştir.

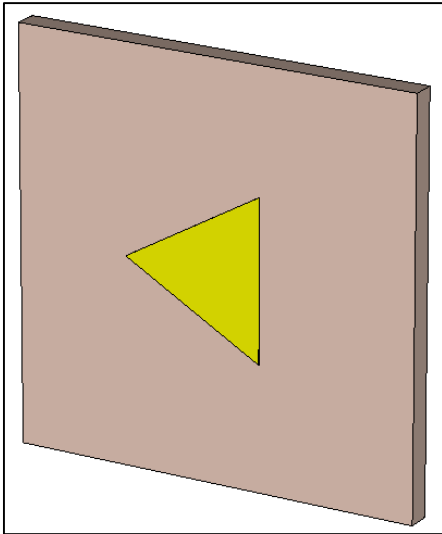


Şekil 5.5. TM modda verilen büyük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi.

Parametrik analize göre üçgeni modelleyen çemberin yarıçapı 0.4mm aralıklarla azaltılmıştır. Şekil 5.4'e göre TE modda verilen üçgenin boyutları azaldıkça ilk iki rezonans frekansı daha büyük frekanslara doğru ilerlerken, diğer rezonans değerleri neredeyse karardır. Şekil 5.5'teki TM modda verilen üçgenin boyutları azaldıkça tüm rezonans frekanslarının büyük frekanslara doğru ilerlediği gözlemlenmiştir.

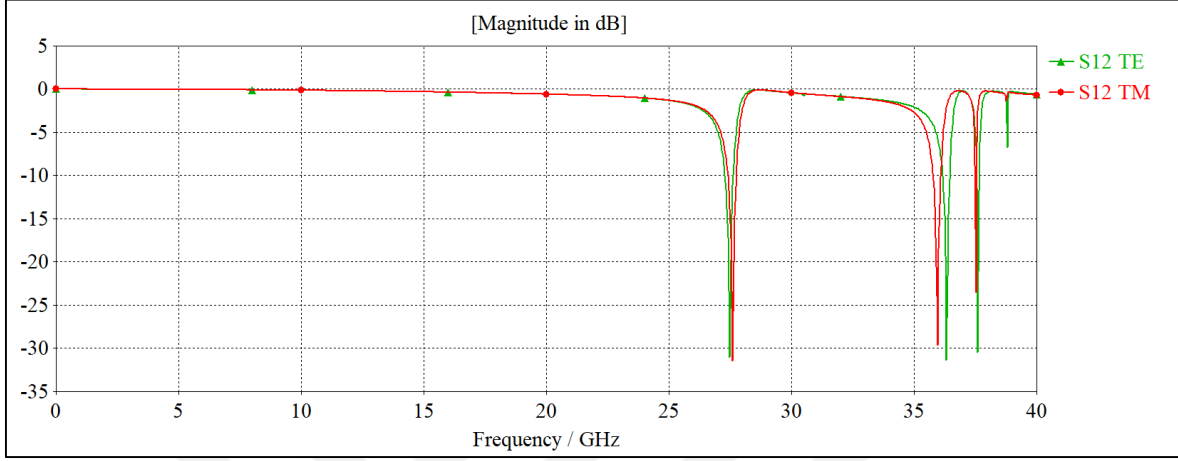
Küçük Yama Üçgen

Apollonius çemberlerini ifade edebilmek için kullanılan Şekil 5.6'daki küçük yama üçgen tasarımında da aynı boyutlarda dielektrik alt tabaka kullanılmıştır. Küçük yama üçgeni modelleyen çemberin yarıçapı 2 mm'dir.

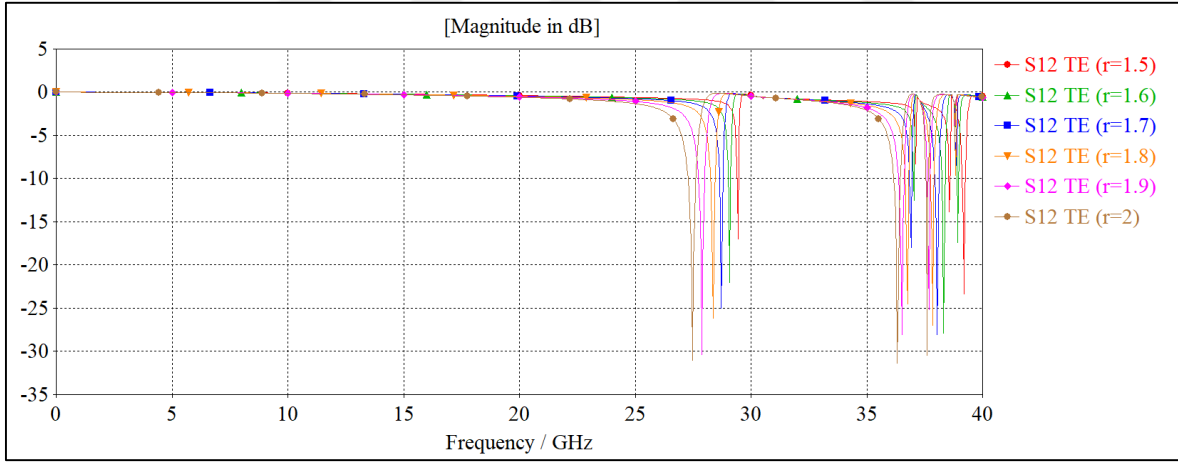


Şekil 5.6. Apollonius çemberlerini ifade edebilmek için kullanılan küçük yama üçgen tasarım

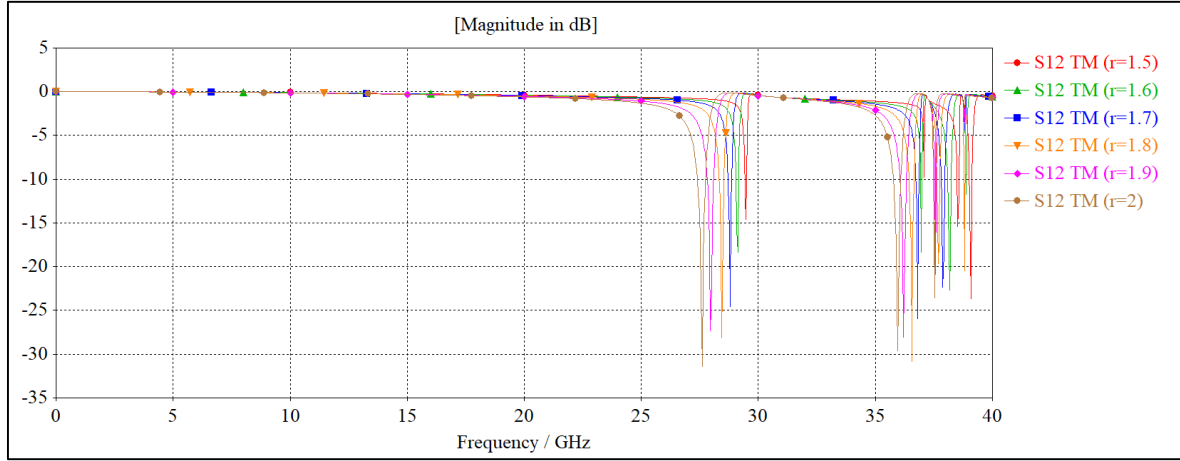
Şekil 5.7'deki grafiğe göre TE ve TM modunda üçer farklı rezonans frekansı gözlemlenir. İlk ve son rezonans neredeyse aynı frekans düzeyini ifade etmektedir. Büyük yama üçgene göre asimetri durumundan daha az etkilendiği görülmektedir.



Şekil 5.7. Küçük yama üçgenin TE ve TM modda transfer karakteristiği

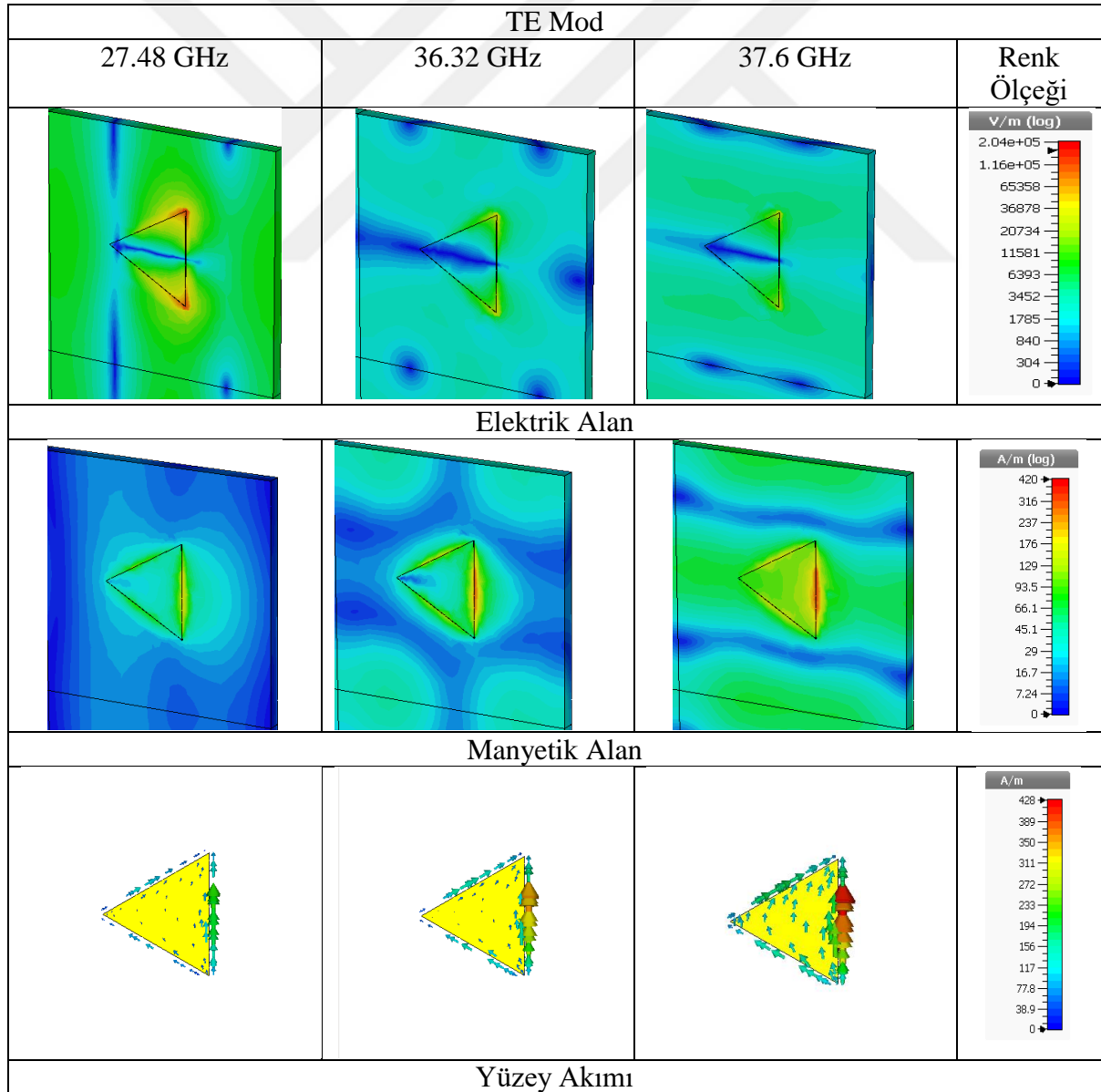


Şekil 5.8. TE modda verilen küçük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi



Şekil 5.9. TM modda verilen küçük üçgen yamanın boyutlarının parametrik değişimi

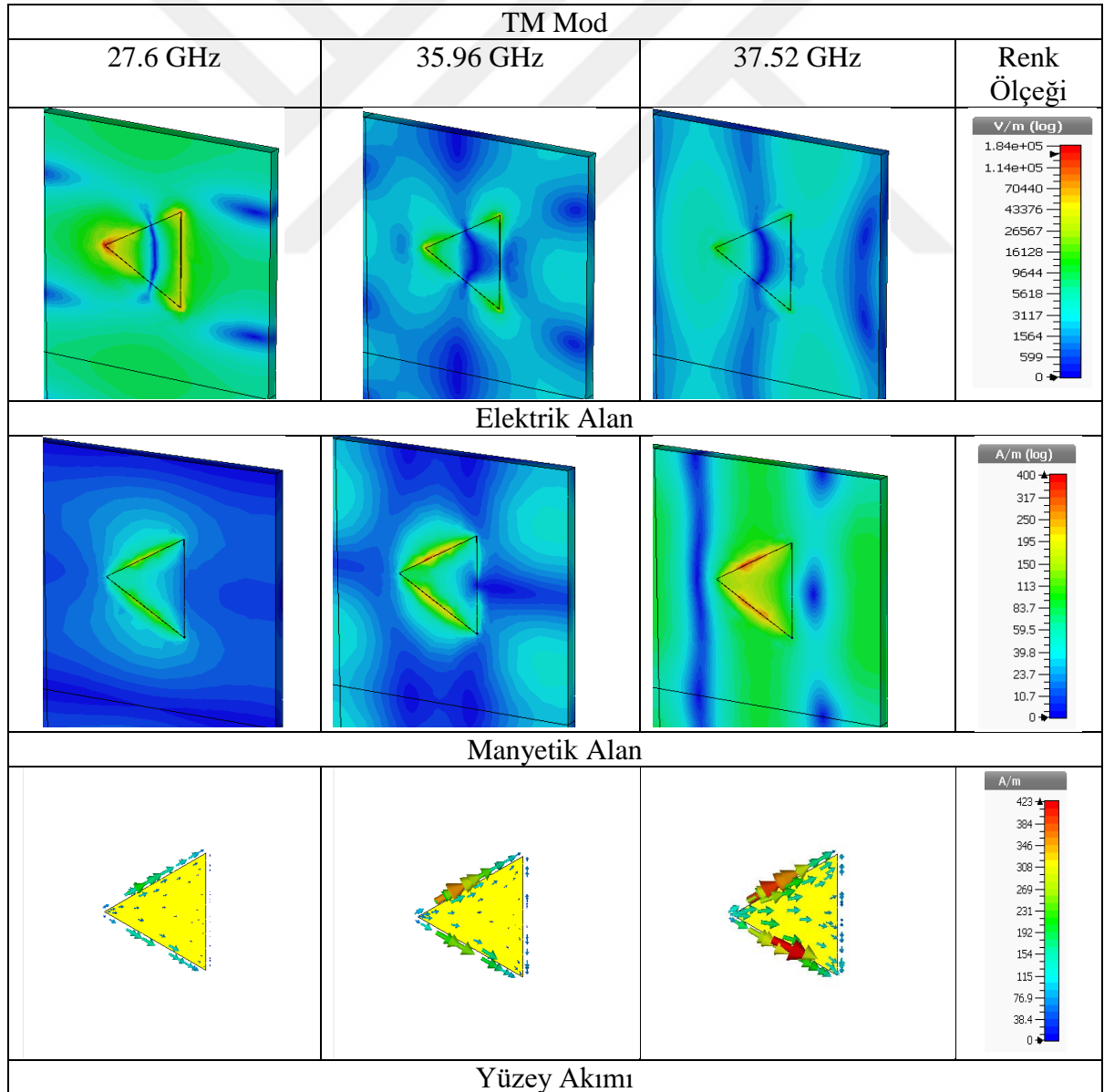
Çizelge 5.3. Küçük yama üçgenin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı



Parametrik analizde küçük yama üçgeni modelleyen çemberin yarıçapı 0.1 mm aralıklarla azaltılmıştır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da küçük üçgen yamanın boyutları azaltılarak parametrik analiz sonuçları verilmiştir. Boyut azaltıldığında tüm rezonans frekansları büyük rezonanslara doğru kaymaktadır.

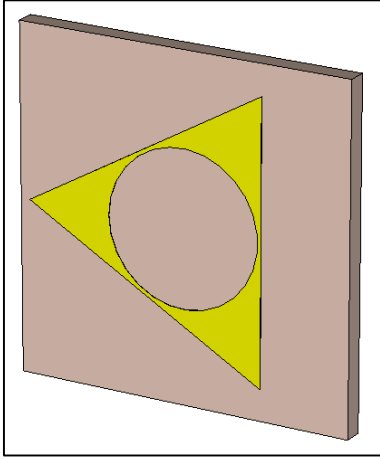
Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de verilen sonuçlar TE ve TM moddaki rezonans frekanslarına göre elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı sonuçlarını göstermektedir. Şeklin köşe kısımlarının keskinliği orada yüksek elektrik alan oluşturmuştur. Ayrıca TE modda bir kenarda yüzey akımı yoğunluğu oluşurken , TM modda diğer iki kenarda yüzey akımı yoğunluğu oluşmuştur.

Çizelge 5.4. Küçük yama üçgenin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı

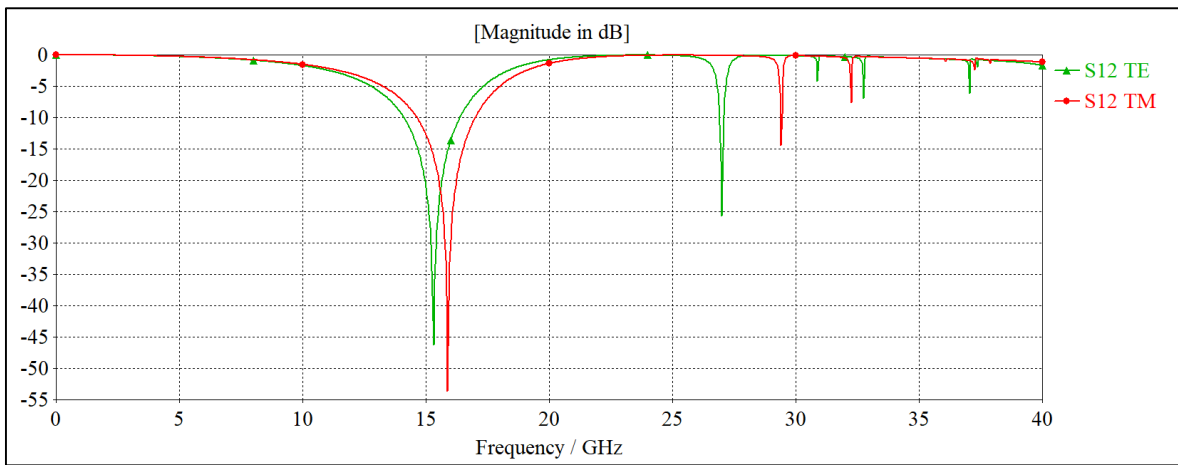


Apollonius Çemberli Büyük Üçgen

Şekil 5.10'da modellendiği çemberin yarıçapı 4 mm olan büyük yama üçgenin içerisine yarıçapı 2 mm olan Apollonius çemberi çizilir. Apollonius çemberi büyük yama üçgenin içerisinden çıkarılır. Böylelikle yapı minyatürize edilmiştir. Şekil 5.11'de yapının transfer karakteristiği gösterilmiştir. TE ve TM modda ikişer farklı rezonans değerine sahiptir. İlk rezonans değerine bakıldığında minyatürize edilmemiş halinde Şekil 5.3'de verilen TE modunda 20.48 GHz değerinin azalarak 15.32 GHz değerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu da boyutlarını değiştirmeden rezonans frekansının değiştirebileceğini gösterir.

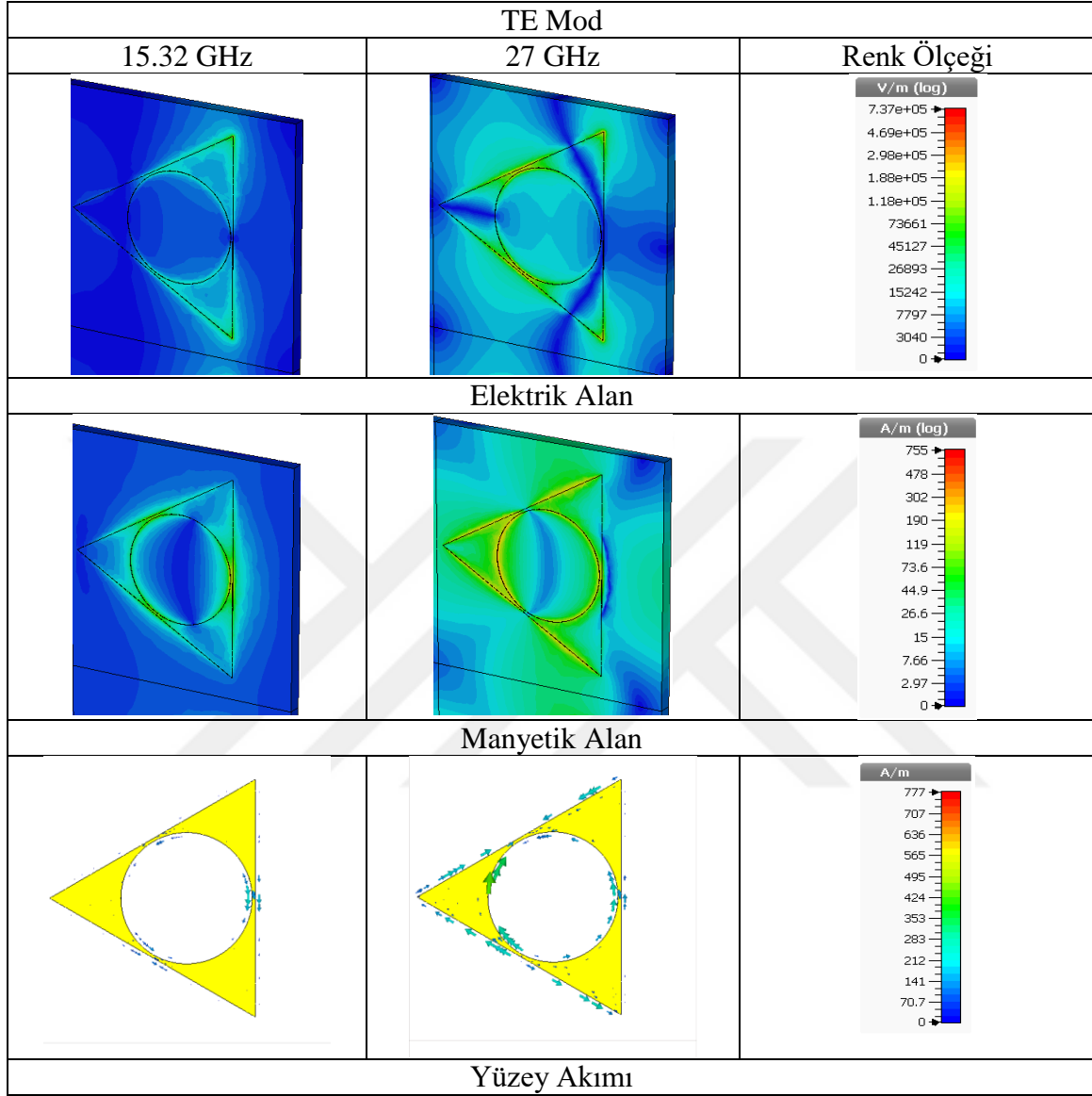


Şekil 5.10 Büyük üçgen ve içinde Apollonius çemberi



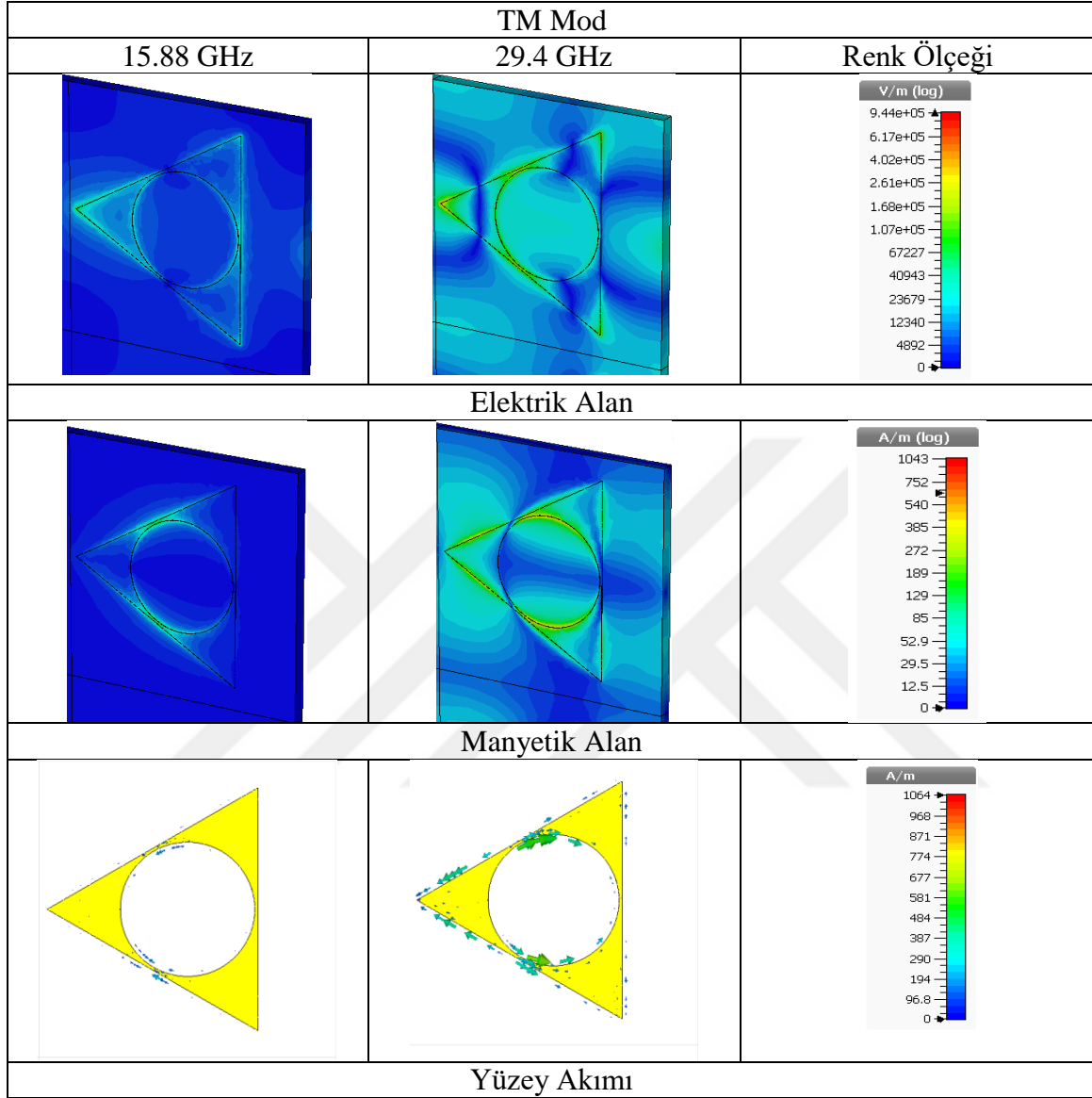
Şekil 5.11. Apollonius çemberi ile minyatürize edilmiş büyük üçgen yapının transfer karakteristiği

Çizelge 5.5. Büyük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı



Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilen sonuçlar TE ve TM moddaki rezonans frekanslarına göre elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlara göre çemberin üçgene teğet olarak geçtiği keskin kenarlarda ve üçgenin uçlarında elektrik alanın yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca akım artık hem çemberin içinde hem de üçgenin dış kısmında ilerlemektedir.

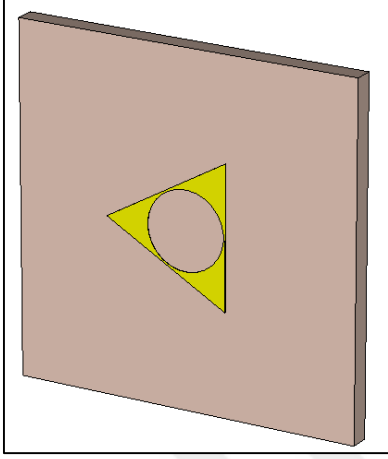
Çizelge 5.6. Büyük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı



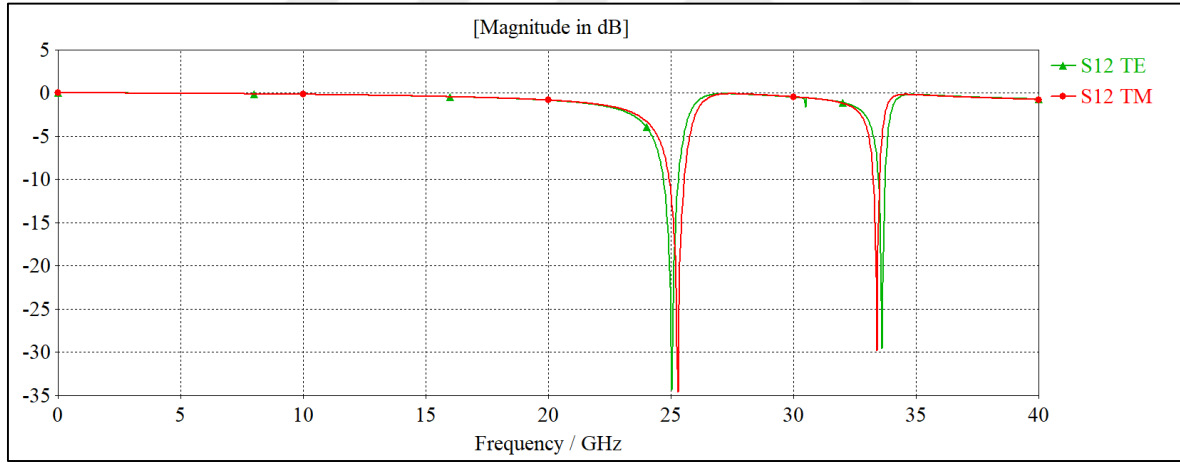
Apollonius Çemberli Küçük Üçgen

Büyük üçgende yapılan minyatürizasyon işlemi aynı şekilde küçük üçgene de uygulanmıştır. Modellendiği çemberin yarıçapı 2 mm olan üçgen yamanın içerisine yarıçapı 1 mm olan çember çizilmiştir. Çemberin bakır tabakası şekilden ayrılmıştır. Böylelikle yapı minyatürize edilmiş olur. Şekil 5.7’de minyatürize edilmeden önce yapının ilk rezonans frekansı TE modda 27.48 GHz olarak verilmiştir. Minyatürizasyon işleminden sonraki ilk rezonans frekansı 25.04 GHz olmuştur. Yani boyutları değiştirilmeden rezonans frekans değeri düşürülmüştür.

Şekil 5.13'e göre TE ve TM modda neredeyse birbirine çok yakın olan ikişer rezonans frekans değerine sahiptir. Minyatürize edilmeden önce de TE ve TM modunun yakın olduğu gözlemlenebilir.

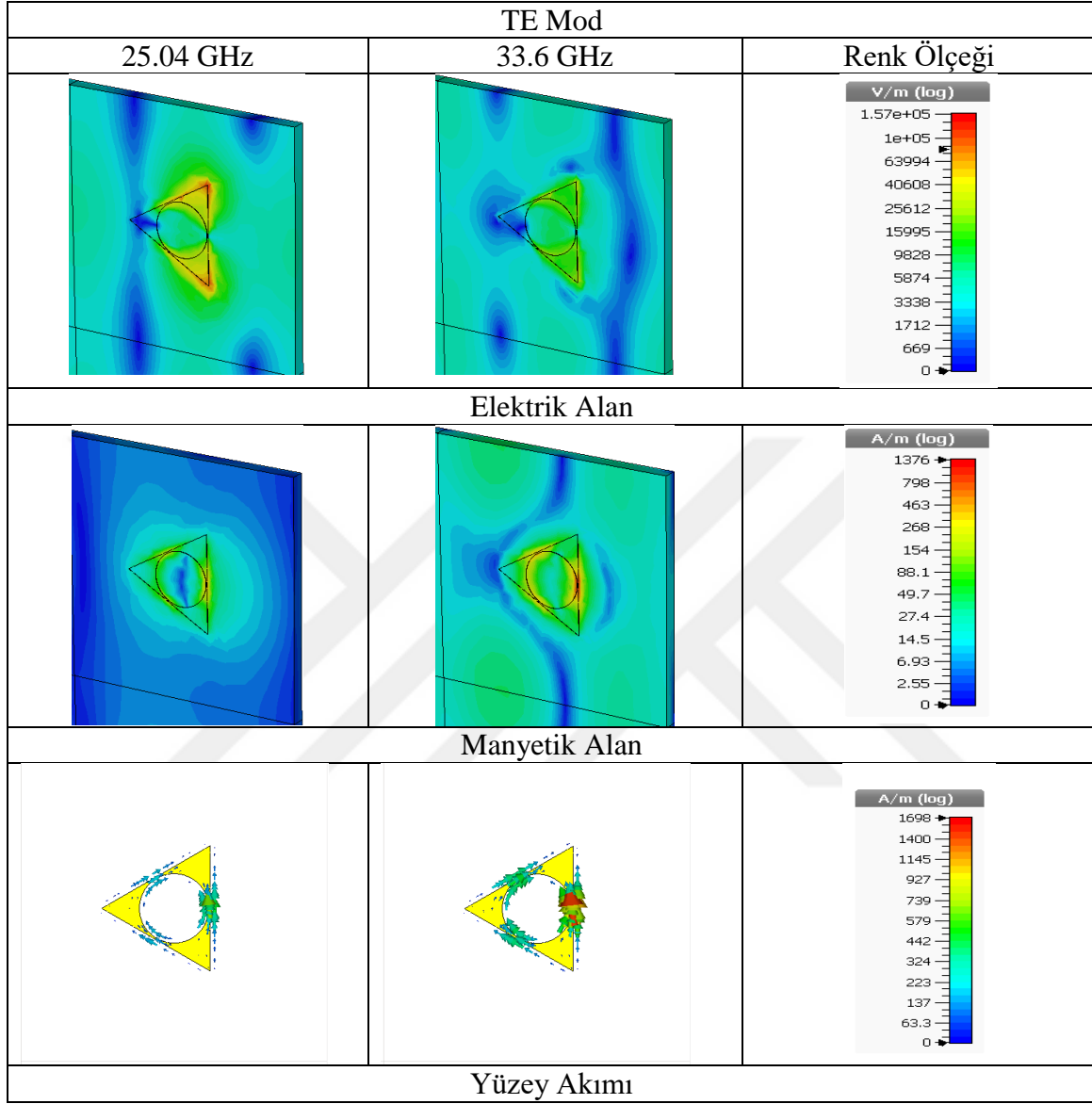


Şekil 5.12. Küçük üçgen ve içinde Apollonius çemberi



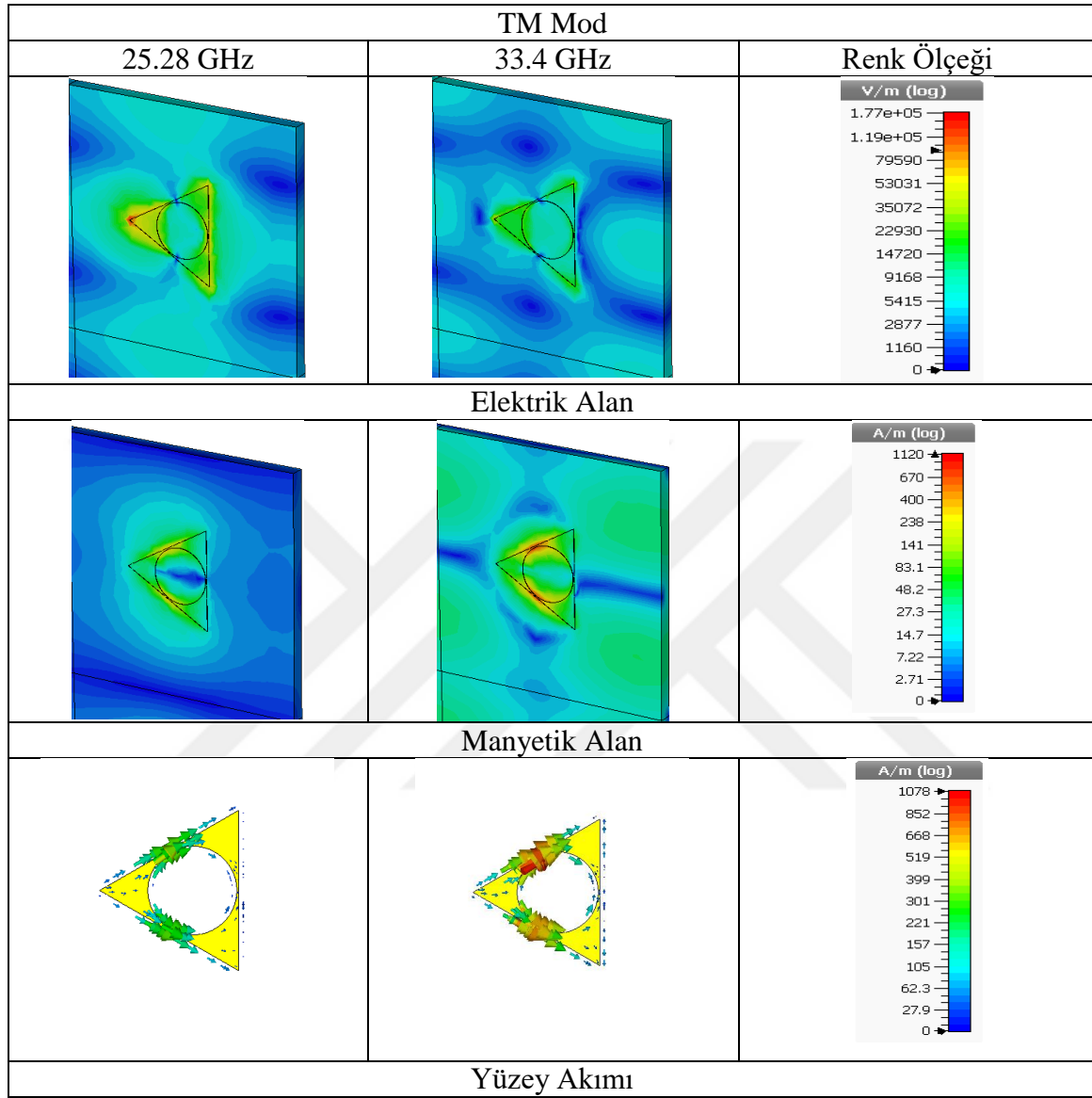
Şekil 5.13. Apollonius çemberi ile minyatürize edilmiş küçük üçgen yapının transfer karakteristiği

Çizelge 5.7. Küçük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TE modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı

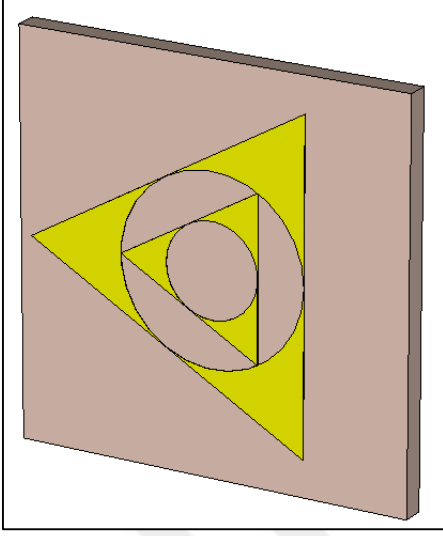


Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de verilen sonuçlar TE ve TM moddaki rezonans frekanslarına göre elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlara göre TE modda ilk rezonans frekansında elektrik alan sağ iki uça yoğunluk gösterirken TM modda kalan uça yoğunluk oluşmuştur. TE modda ikinci rezonansa yüzey akımı sağ kenarda yoğunlaşırken TM modda sol iki kenardan iki farklı yöne doğru yoğun yüzey akımı oluşmuştur.

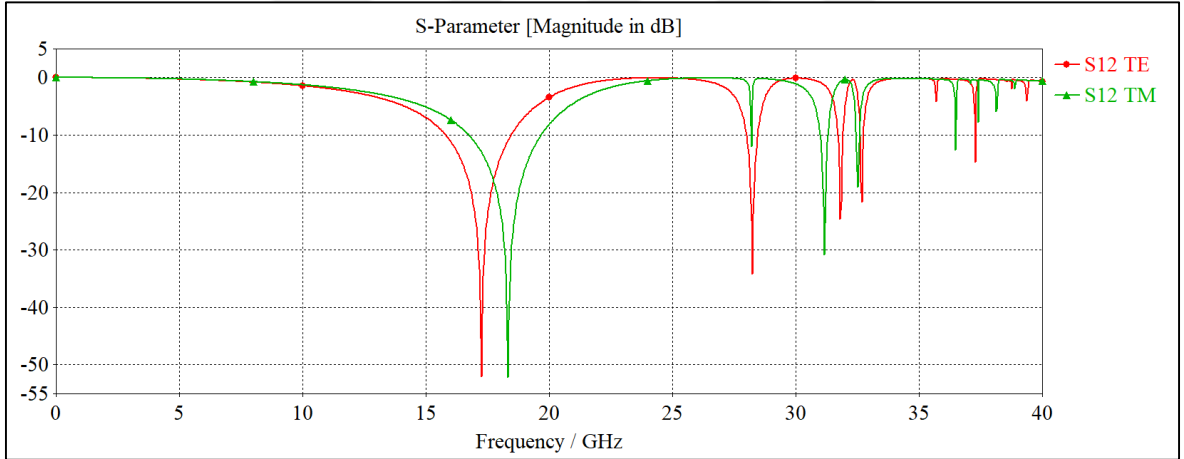
Çizelge 5.8. Küçük yama üçgen ve içinde Apollonius çemberinin TM modda elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı



İki İterasyonlu Apollonius Fraktali



Şekil 5.14. İki iterasyonlu Apollonius fraktali

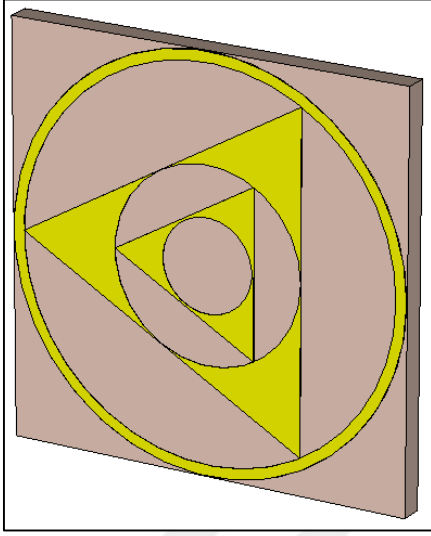


Şekil 5.15 İki iterasyonlu Apollonius fraktalinin transfer karakteristiği

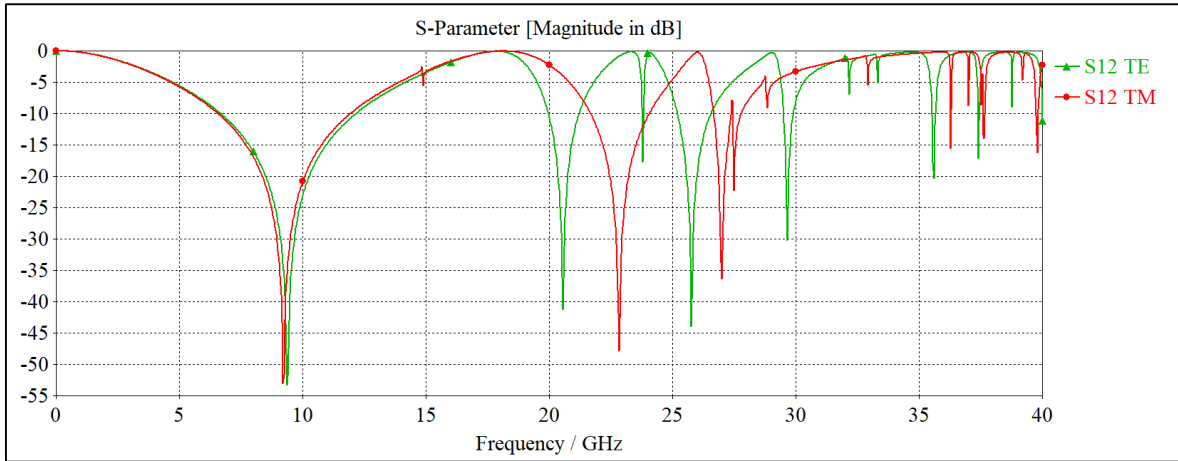
Şekil 5.10 ve Şekil 5.12 birleştirilerek Şekil 5.14'teki gibi iki iterasyonlu Apollonius fraktali elde edilir. Bu yapının transfer karakteristiği Şekil 5.15'te verilmiştir. Buna göre TE ve TM modda yapısındaki asimetriden dolayı farklı rezonans frekanslarını durdurduğu gözlemlenmiştir. Bu yapı dalganın kutuplanmasına bağlıdır. TE modda bir frekansı durdururken TM modda geçirebilir. Bu da gerekli düzenlemeler yapılarak kutuplayıcı olarak kullanılabilceğini gösterir. Ayrıca çoklu bant uygulamalarında da kullanılabilir.

Tek Apollonius çember döngü eklenmiş yapı

Şekil 5.14'e tek bir Apollonius çember döngüsü eklenerek iterasyon tamamlanır. İç yarıçapı 4 mm olan bu yapı Şekil 5.17'de transfer karakteristiğinde düşük rezonansta yeni bir rezonans frekansı oluştururken yapının kutuplayıcı olarak kullanılmasını daha fazla rezonans frekansında sağlamaktadır.



Şekil 5.16. Tek Apollonius çember döngü eklenmiş yapı



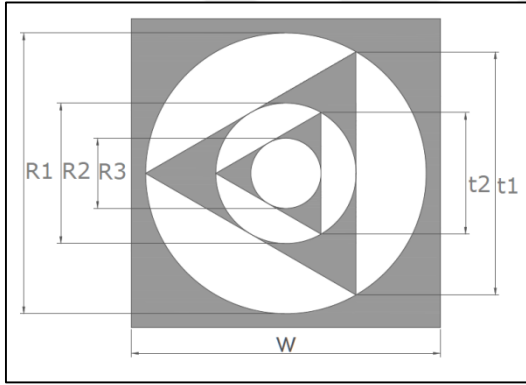
Şekil 5.17. Tek Apollonius çember döngü eklenmiş yapının transfer karakteristiği

5.2. Kutuplayıcı Çoklu Bant Bant Durdurucu Frekans Seçici Yüzey

Öncelikle daha önce anten dizilerinde uygulanan Apollonius fraktal yapısı [14], frekans seçici yüzeylere uygulanarak analiz edilmiştir. Şekil 5.18’de gösterilen bu yapıda gri alanlar iletken bakırı temsil etmektedir. Beyaz alanlar yapının alt katmanını göstermektedir. Bu alt katmanda dielektrik sabiti 3.5 olan Taconic RF-35(Lossy) maddesi kullanılmıştır. Yapının kalınlığı 0.51mm’dir. Uygulanan fraktal yapının boyutları Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

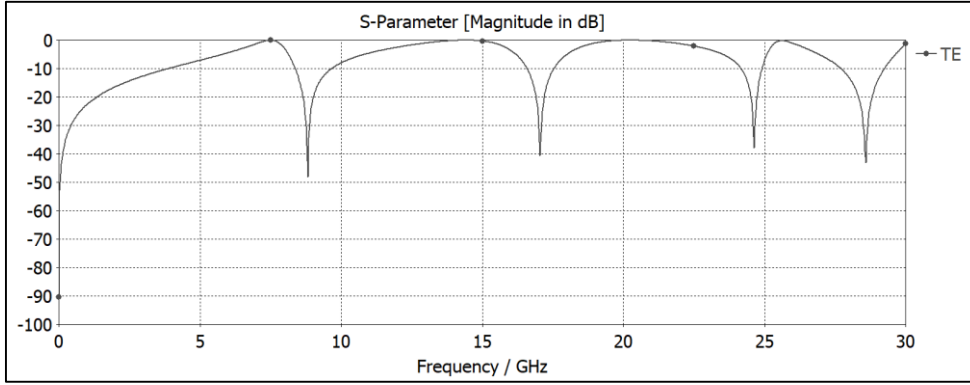
Çizelge 5.9. Önerilen frekans seçici yüzeyin boyutları(mm)

| W | t1 | t2 | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8.832 | 7.226 | 3.614 | 8.346 | 4.173 | 2.086 |

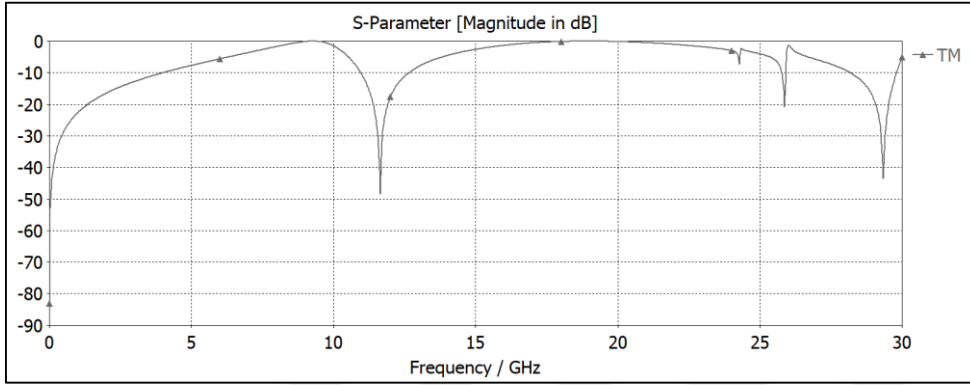


Şekil 5.18. Önerilen Apollonius frekans seçici yüzey birim hücresi

Önerilen yapı CST-MWS’da Floquet modları kullanılarak FIT (Sonlu İntegral Tekniği) yöntemiyle analizi yapılmıştır. Simulasyonda yapının birim hücresi tasarlanarak, sonsuz birim hücreye sahip aynı periyodiklikte homojen bir yüzeye göre analiz tamamlanır. Yani program sonuçları sonsuz bir diziye göredir. Programdan saçılma parametreleri analizi, istenilen frekanstaki elektrik manyetik alanlar ve yüzey akımları incelenebilir. Şekil 5.19’da TE ve TM modunda S_{11} saçılma parametresi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.19. Önerilen yapının (a)TE ve (b)TM modda S₁₁ parametre grafiği

Önerilen yapının fraktal olması sebebiyle çoklu bant, bant durdurucu bir frekans karakteristiği beklenmektedir. Yukarıdaki grafiklere göre önerilen fraktal yapı TE modunda 0-30 GHz arasında dört bantlı bant durdurucu olarak kullanılabilir. TE modunda geliş açısı $\theta = 0$ iken; 8.82GHz, 17.04 GHz, 24.66GHz ve 28.59 GHz frekansları yapının rezonans frekanslarıdır. Bu frekanslarda 10 dB bant genişliği sırasıyla 1.27 GHz, 0.97 GHz, 0.77 GHz ve 1.53 GHz olarak bulunmuştur.

TM modunda geliş açısı $\theta = 0$ iken, 0-30 GHz arasında iki bantlı bant durdurucu olarak kullanılabilir. TM modunda 11.61 GHz and 29.34 GHz frekansları yapının rezonans frekanslarıdır. Bu frekanslarda 10 dB bant genişliği sırasıyla 1.76 GHz ve 1.69 GHz olarak bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Yapının rezonans frekansları, 10 dB ve 20 dB bant genişlikleri

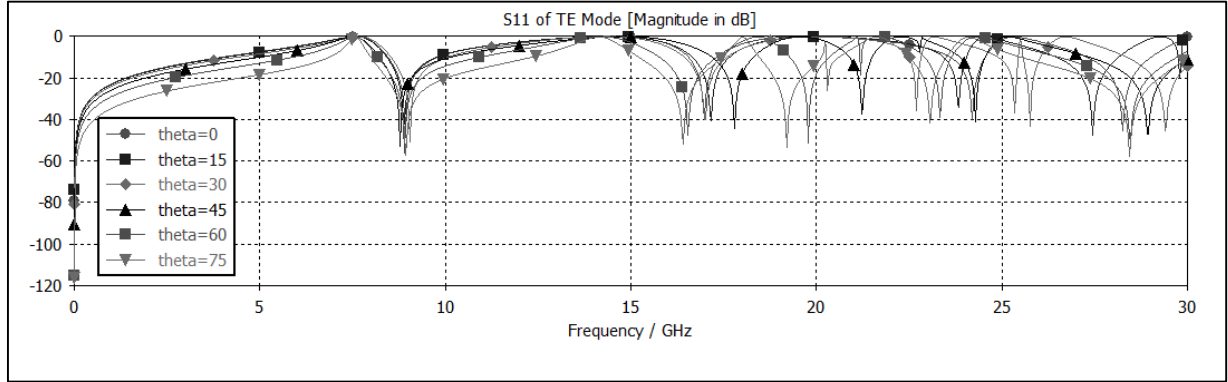
| Rezonans Frekans | Mod | 10dB Bant Genişliği | 20dB Bant Genişliği |
|------------------|-----|---------------------|---------------------|
| 8.82 GHz | TE | 1.2719 GHz | 0.3716 GHz |
| 17.04 GHz | TE | 0.97657 GHz | 0.2966 GHz |
| 24.66 GHz | TE | 0.7689 GHz | 0.21987 GHz |
| 28.59 GHz | TE | 1.5328 GHz | 0.5186 GHz |
| 11.61 GHz | TM | 1.7606 GHz | 0.50715 GHz |
| 29.34 GHz | TM | 1.6931 GHz | 0.44989 GHz |

Sonuçlar incelendiğinde TE ve TM modda aynı frekans karakteristiğini göstermediği gözlenir. Bunun sebebi yapının eksenleri üzerinde simetrik olmayışıdır. Yapıda gelen dalganın kutuplanmasına göre farklı bir şekilde karşılaşıldığı için, kutuplanmaya bağlıdır denilebilir. Bu sonuçlarla birlikte, önerilen yapının 0-30 GHz arasında yalnızca doğrusal polarize dalgalar için bant durdurucu filtre olarak kullanılabilceği söylenebilir.

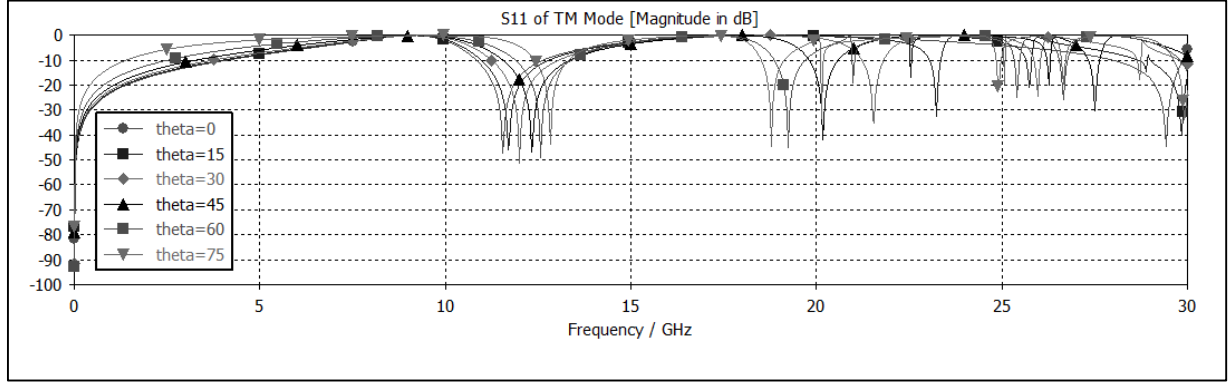
Ayrıca Şekil 5.19'a göre TE ve TM modlarında rezonans frekansının çakıştığı gözlemlenmektedir. Bu da yapının kutuplanmadan bağımsız olarak kullanılabilceğini gösterir. Geliş açısı $\theta = 0^\circ$ durumunda 28-29 GHz frekansları arasında kutuplanmadan bağımsız bant durdurucu filtre olarak da kullanılabilir.

Önerilen frekans seçici yüzeye gelen dalgaların farklı geliş açıları göz önüne alındığında, 0° - 75° geliş açısı aralığında 15° aralıklarıyla geliş açısına bağlı iletim karakteristiği Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Şekil 5.20'ye göre yapının tepkisinin düşük frekanslarda çok değişmediği gözlemlenebilir. TE modda 15 GHz frekansının altındaki değerler için karardır. Bununla birlikte 0-30 GHz bant aralığında yüksek frekanslar için yapının kararlılığı bozulmuştur. Uygulamalarda 15 GHz üzerinde geliş açısı kararlılığı isteyen durumlarda kullanımı sınırlandırılmıştır.

Şekil 5.20'ye göre TM modunda ilk rezonans frekansında bile geliş açısına bağlı olarak bozulma gözlemlenmektedir. Bu da yapının TM modunda farklı geliş açılarında uygulanmasını sınırlar.



(a)



(b)

Şekil 5.20. Apollonius Çemberleriyle yapılan frekans seçici yüzeyin farklı geliş açılarıyla TE(a) ve TM(b) modda iletim karakteristiği

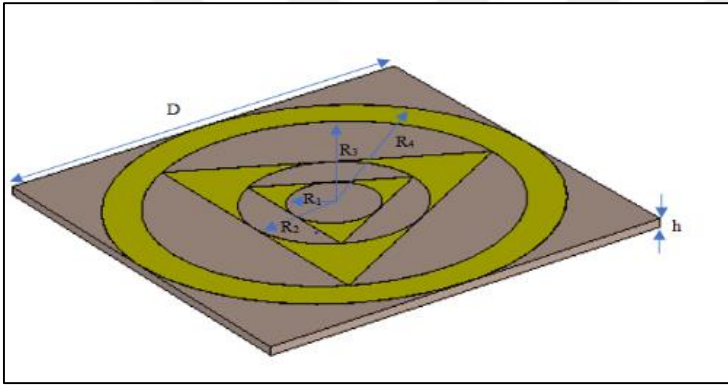
Ayrıca Şekil 5.20 incelendiğinde bazı özel noktalarda bir modun maksimum değeri diğer modun minimum değerine karşılık gelmektedir. Başka bir deyişle aynı frekansta bir mod iletilirken diğeri yansıtılır. TE modunda ilk iki rezonans frekansı için TM modu iletilirken, TE modu yansıtılır. Bu durum doğrusal olmayan kutuplu bir dalga için iki dikey bileşeninden birinin yansıtıldığını ifade eder. Bu koşullar altında yapının doğrusal bir kutuplayıcı görevi olduğu söylenebilir. Şekil 5.20'ye göre TE modda 8.8 GHz civarında gelen dalganın, 75° eğim açısına kadar yapının silindirik/eliptik kutuplayıcıdan doğrusal kutuplayıcıya çevrildiği söylenebilir.

5.3. WLAN Bandında Bant Durdurucu Frekans Seçici Yüzey

Şekil 5.18’de önerilen Apollonius çemberleriyle oluşturulan fraktal frekans seçici yüzey 0-30 GHz arasında genelde 8.8 GHz üstünde bant durdurucu özellik göstermektedir. Günümüzde hızla gelişen kablosuz iletişim teknolojilerinde daha düşük frekanstaki bantlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yüzden önceden önerilen yapı, daha düşük frekanslarda WLAN bandında kutuplanmadan bağımsız çalışabilmesi için yeniden tasarlanmıştır.

Çizelge 5.11. Apollonius çemberleriyle yeniden tasarlanan frekans seçici yüzeyin boyutları

| D | h | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
|--------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 20.174 | 0.51 | 2.086 | 4.173 | 8.346 | 10.072 |

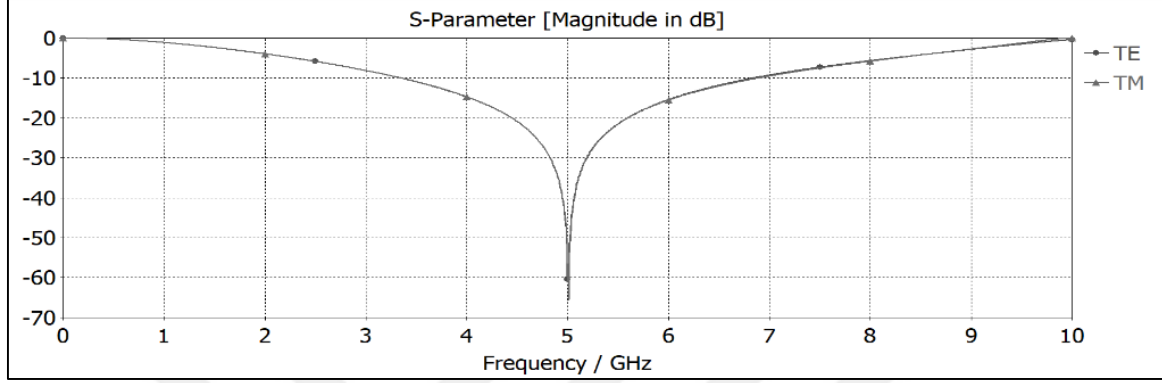


Şekil 5.21 Apollonius çemberleriyle yeniden tasarlanan frekans seçici yüzey

Tasarlanan frekans seçici yüzey Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Sarı alanlar iletken bakır temsil ederken, gri alanlar yarıiletken alt tabaka Taconic RF-35(Lossy) maddesini göstermektedir. Tasarlama aşamalarında kutuplanmadan bağımsız bir yapı kullanılmak amaçlandığından eksenleri etrafında simetrik bir yapı tercih edilmiştir. İki iterasyonlu Apollonius çemberi ve üçgenleri kullanıldıktan sonra, en dışardaki Apollonius çemberi halka döngü yapıda tercih edilmiştir. Halka döngü yapıdaki Apollonius çemberinin yarıçapı ve dolayısıyla alt katmanın kenar uzunluğu 5 GHz WLAN bandında bant durdurucu olacak şekilde ayarlanmıştır. Tasarımın boyutları Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

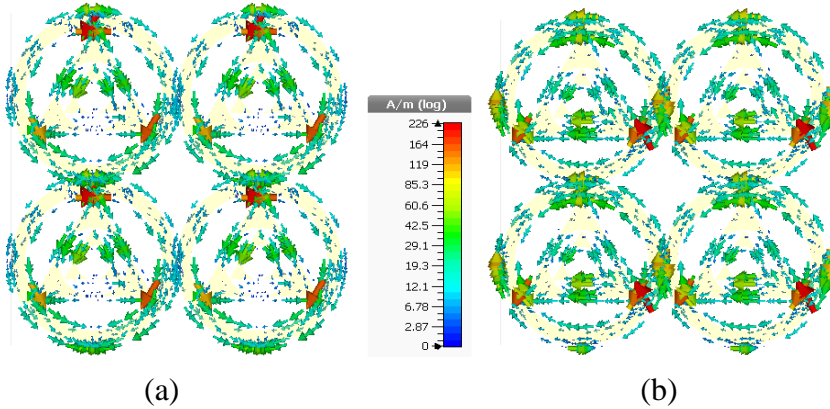
Şekil 5.21’deki 0-10 GHz arasındaki yapının iletim karakteristiği Şekil 5.52’de gösterilmiştir. Yapının bu rezonansını oluşturan halka döngü elemanı kendi eksenleri çevresinde simetrik olduğundan TE ve TM modda aynı sonucu vermesi beklenen bir

durumdur. Yapının rezonans frekansı 5 GHz olarak gözlemlenmektedir. 10 dB bant genişliğinde 3.3 GHz-6.8 GHz frekansları arasında bant durdurucudur. IEEE 802.11 protokolündeki beş frekans bandından 2.4 GHz, 3.6 GHz, 4.9 GHz, 5 GHz, and 5.9 GHz dört tanesini durdurur.



Şekil 5.22. Yeniden tasarlanan frekans seçici yüzeyin geliş açısı $\theta=0^\circ$ durumunda transfer karakteristiği

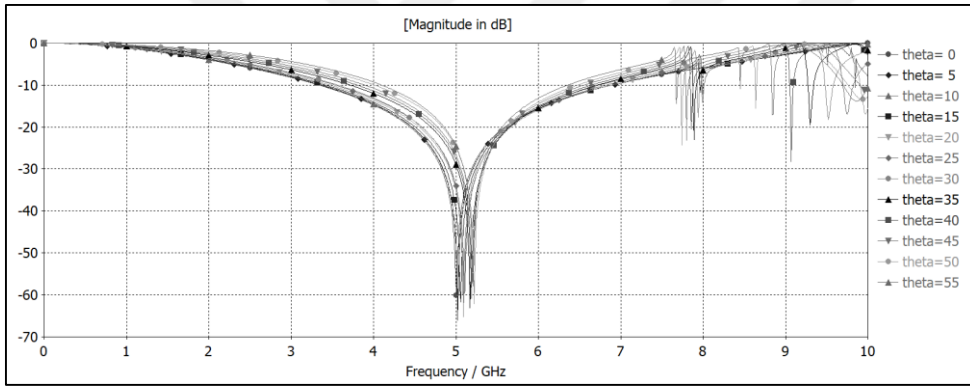
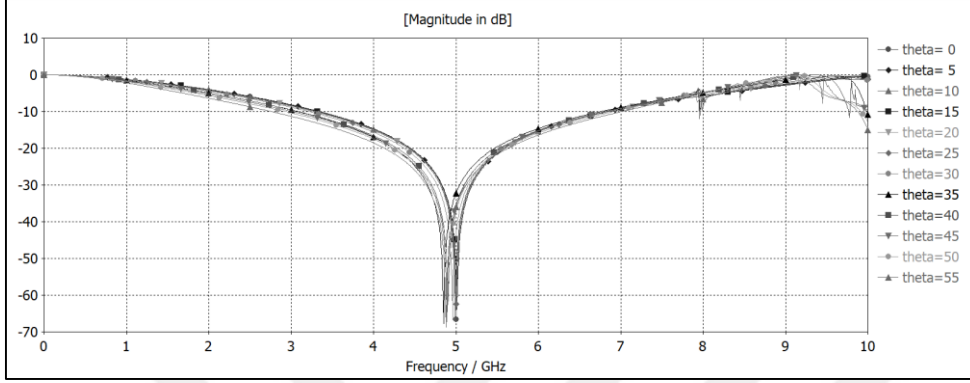
Tasarlanan yapının $f=5$ GHz rezonans frekansında TE ve TM modda yüzey akım dağılımı Şekil 5.23'de gösterilmiştir. Üçgen yapılar x eksenine göre simetrik olmadığından TE ve TM modda akım yoğunlukları farklılık göstermektedir. Ayrıca üçgen yapıların köşelerinde akımların en fazla değeri aldığı görülmektedir.



Şekil 5.23. $f=5$ GHz rezonans frekansında TE(a) ve TM(b) modda yüzey akım dağılımı

TE ve TM modunda farklı geliş açlarına bağlı olarak transfer karakteristikleri Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Tasarlanan yapı, 0° - 55° geliş açısı aralığında TE ve TM modda kararlı bir performans göstermektedir. Gelen dalga açısı arttıkça TE modunda rezonans frekansı azalırken TM modunda arttığı gözlemlenmektedir. TE modunda $\theta = 30^\circ$ 'de

rezonans frekansı 4.96 GHz iken aynı açıda TM modunda rezonans frekansı 5.09 GHz'dir. Ancak yine de 0° - 55° arasındaki geliş açılarında IEEE 802.11 protokolündeki 3.6 GHz, 4.9 GHz, 5 GHz, and 5.9 GHz bantları için bant durdurucu filtre olarak kullanılabilir.



Şekil 5.24. Tasarlanan yapının 0-10 GHz arasında değişik geliş açılarında göre TE(a) ve TM (b) modunda transfer karakteristiği

6. TARTIŞMA

Bu tezde frekans seçici yüzeyler için Apollonius çemberleriyle fraktal yapıda tasarlanmış iki adet tasarım önerisi sunulmuştur. Bunlardan önerilen ilk yapı daha önce anten dizilerinde uygulanan bir fraktal yapıdır [14]. Anten dizilerinde de fraktal yapısından dolayı çoklu bant karakteristik gösteren bu yapı, frekans seçici yüzeylere uygulandığında farklı rezonans frekanslarında yine çoklu bant bant durdurucu karakteristik göstermiştir.

İlk tasarımın değiştirilerek yeniden tasarlandığı ikinci yapıda WLAN bandında çalışma özelliği amaçlanarak düzenlemeler yapılmıştır. Daha önce çok sayıda bant durdurucu ya da bant geçiren frekans seçici yüzey tasarlanmıştır [15,30]. Ayrıca WLAN bandında yalnızca 5 GHz bandını geçirip diğer bantları engelleyen bir bant geçiren filtre tasarlanmıştır [31]. Bu tasarımda ise 5 GHz bandı engellenip bunun yanı sıra WLAN'daki 4 bant daha engellenip yalnızca 2.4 GHz bandının geçişine izin verilmiştir.



7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında iki adet Apollonius çemberleriyle tasarlanan fraktal frekans seçici yüzey tasarım önerisi verilmiştir. İlk tasarımda çok bantlı yapının transfer karakteristiği sonuçlarına göre bazı frekanslarda kutuplanmadan bağımsız olduğu bazılarındaysa dairesel kutuplayıcı olarak kullanılabilceği görülmüştür. Ayrıca geliş açlarına göre düşük frekanslarda kararlı yapıdadır. Bu tasarım anten sistemlerinde kullanılabilir. Tasarım parametrelerinde yapılan değişikliklerle daha kararlı yapılar elde edilebilir. İkinci önerilen tasarımdaysa WLAN bandında bir bant durdurucu yapı tasarlanmıştır. IEEE 802.11 protokolündeki dört bandı da durduran bir sistem tasarlanmıştır. Yalnızca 2.4 GHz bandındaki iletişimin kullanılması istenen durumlarda rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca geliş açısına göre TE ve TM modda kararlı yapıdadır.



KAYNAKLAR

1. Silva, P. H. D. F., Cruz, R. M. S., and d'Assuncao, A. G. (2010). Blending PSO and ANN for Optimal Design of FSS Filters. *IEEE Transactions on Magnetics*,46(8), 3010-3013.
2. Maniçoba, R. H., d'Assunção, A. G., and Campos, A. L. (2010). *Improving Stop-Band Properties of Frequency Selective Surfaces with Koch Fractal Elements*. Antenna Technology (iWAT), International Workshop, Lisbon, Portugal.
3. Luo, Y., Zhuang, Y., and Zhu, S. (2009). *Thin and Broadband Salisbury Screen Absorber Using Minkowski Fractal Structure*. In Microwave Conference Asia Pacific, Singapore, Singapore.
4. Singh, A., Panwar, R., Puthucheri, S., Singh, D., and Agarwala, V. (2015). *Parametric Analysis of Frequency Selective Surfaces Over Radar Absorbing Nanocrystalline Structures*. In Recent Advances in Electronics & Computer Engineering (RAECE) National Conference, Roorkee, India.
5. Niaz, M. W., Bhatti, R. A., and Majid, I. (2013). *Design of Broadband Electromagnetic Absorber Using Resistive Minkowski Loops*. Applied Sciences and Technology (IBCAST) 10th International Bhurban Conference, Islamabad, Pakistan.
6. Yue-Nong, F., Yong-Zhi, C., Yan-Ming, D., and Rong-Zhou, G. (2012). *Absorbing Performance of Ultrathin Wide-Band Planar Metamaterial Absorber*. Antennas, Propagation & EM Theory (ISAPE) 10th International Symposium, Xian, China.
7. Wu, T. K. (2016). *Improved THz/Infrared Frequency Selective Surface with Minkowski Fractal Elements*. In Wireless Information Technology and Systems (ICWITS) and Applied Computational Electromagnetics (ACES), 2016 IEEE/ACES International Conference, Honolulu, HI, USA.
8. Brito, D. B., Araújo, L. M., D'Assunção, A. G., and Maniçoba, R. H. (2013). *A Minkowski Fractal Frequency Selective Surface with High Angular Stability*. Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC), 2013 SBMO/IEEE MTT-S International, Rio de Janeiro, Brazil.
9. Romeu, J., and Rahmat-Samii, Y. (2002). *Fractal Elements and Their Applications to Frequency Selective Surfaces*. Aerospace Conference Proceedings 2000, Big Sky, MT, USA, USA.
10. Palange, A. K., Sonker, A., and Yadav, S. S. (2016). *Designing of Multiband Frequency Selective Surfaces*. Communication and Signal Processing (ICCSP), 2016 International Conference, Melmaruvathur, India.
11. Panwar, R., Puthucheri, S., Singh, A., Singh, D., and Agarwala, V. (2015). *Critical Analysis of Fractal FSS with Heterogeneous*. International Microwave and RF Conference (IMaRC) Hyderabad, India.

12. Parker, E. A. (1991). Convolved Array Elements and Reduced Size Unit Cells for Frequency-Selective Surfaces. *Microwaves Antennas and Propagation*, 138(1),19-22.
13. Hussain, T., Yang, , C., Cao, Q., and Majid, I. (2016). *Electromagnetic Shielding for WLAN Using Modified-Hilbert Fractals*. Computational Electromagnetics (ICCEM) 2016 IEEE International Conference, Guangzhou, China.
14. Kuzu, S., and Akcam, N. (2016). Array Antenna Using Defected Ground Structure Shaped With Fractal Form Generated by Apollonius Circle. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 1020 - 1023.
15. Munk, B. (2000). *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*. New York: John Wiley.
16. Bhattacharyya, A. (2006). *Phased Array Antennas: Floquet Analysis, Synthesis, BFNs and Active Array Systems*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
17. Wu, T. K. (1995). *Frequency Selective Surface and Grid Array* . NY: Wiley-Interscience.
18. Güngör, İ. (2012). *Frekans Seçici Yüzeyler Kullanarak İki Farklı Frekansta İstenilen Işıma Desenlerine Sahip Reflektör Anten Tasarımı* . Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
19. Abadi , S., and Behdad, N. (2016). Wideband Linear-to-Circular Polarization Converters Based on Miniaturized-Element Frequency Selective Surfaces. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(2),525-534.
20. Ohira, M., Deguchi, H., Tsuji, M., and Shigesawa, H. (2004). Multiband Single-Layer Frequency Selective Surface Designed by Combination of Genetic Algorithm and Geometry-Refinement Technique. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*,52(11), 2925-2931.
21. Romeu, J., and Rahmat-Samii, Y. (2000). Fractal FSS: A Novel Dual-Band Frequency Selective Surface. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 48(7),1097-1105.
22. Li, Y., Li, L., Zhang, Y., and Zhang , C. (2015). Design and Synthesis of Multilayer Frequency Selective Surface Based on Antenna-Filter-Antenna Using Minkowski Fractal Structures. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*,63(1), 133-141.
23. Mandelbrot, B. B. (1977). *Fractal Geometry of The Nature*. NY: WH.Freeman and Company.
24. İnternet: Wolfram Mathworld, Koch Snowflake
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmathworld.wolfram.com%2FKochSnowflake.html&date=2018-04-20> Son Erişim Tarihi: 20.04.2018

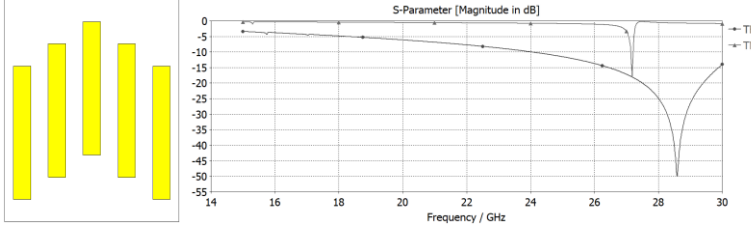
25. İnternet: Wolfram Mathworld, Minkowski Sausage URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmathworld.wolfram.com%2FMinkowskiSausage.html&date=2018-04-20> Son Erişim Tarihi: 20.04.2018
26. İnternet: Wolfram Mathworld, Sierpinski Sieve URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmathworld.wolfram.com%2FSierpinskiSieve.html&date=2018-04-20> Son Erişim Tarihi: 20.04.2018
27. İnternet: Wolfram Mathworld, Hilbert Curve URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmathworld.wolfram.com%2FHilbertCurve.html&date=2018-04-20> Son Erişim Tarihi: 20.04.2018
28. Ogilvy, C. S. (1990). *Excursions in Geometry*. . NY: Courier Corporation
29. Hussain, T., Cao, Q., Kayani, J. K., and Majid, I. (2017). Miniaturization of Frequency Selective Surfaces Using 2.5-D Knitted Structures: Design and Synthesis. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*,65(5) 2405-2412
30. Celozzi, S., Lovat, G., and Araneo, R. (2008). *Electromagnetic Shielding*. Hoboken,NJ: John Wiley & Sons, Inc.
31. Natarajan, R., Kanagasabai, M., Baisakhiya, S., Sivasamy, R., Palaniswamy, S., and Pakkathillam, J. (2013). A Compact Frequency Selective Surface with Stable Response for WLAN Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*,12, 718-720.



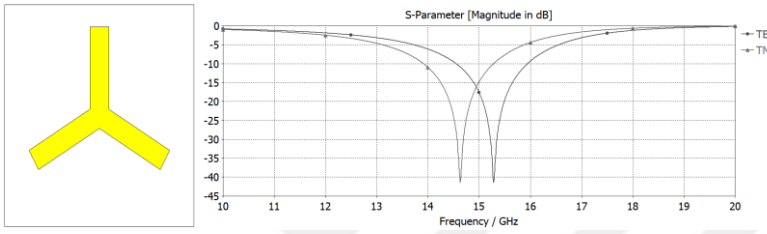
EKLER

EK-1. Frekans seçici yüzey tiplerinin iletim karakteristikleri

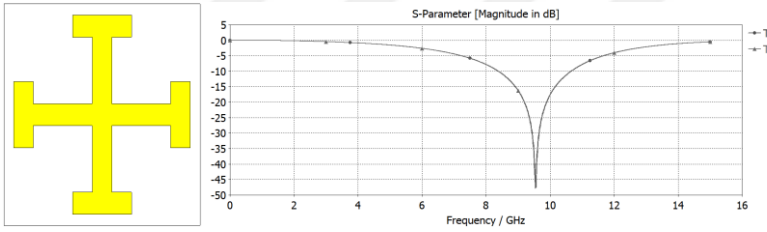
Bütün tipteki yapılarda aynı dielektrik alt tabaka Arlon AD-300 (Lossy) kullanılmıştır. Boyutları 10x10 mm'dir. Kalınlığı 0.51 mm'dir.



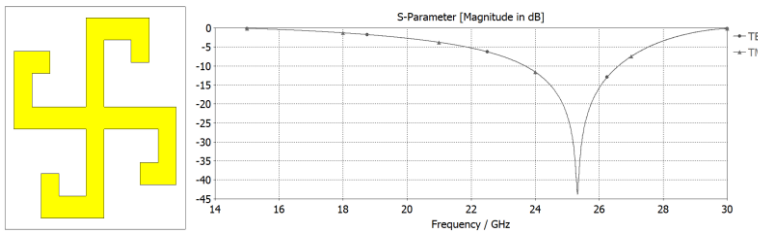
Şekil 1.1. Gangbuster tip için iletim karakteristiği.



Şekil 1.2. Çapa tip için iletim karakteristiği

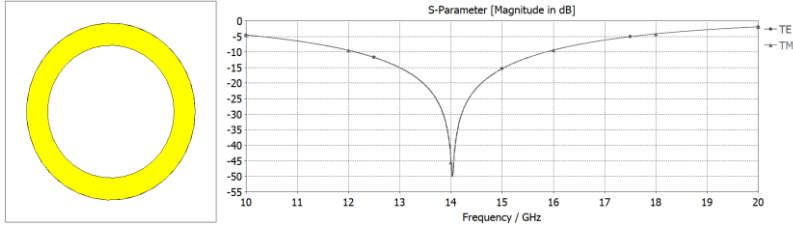


Şekil 1.3. Kudüs haçı tip için iletim karakteristiği

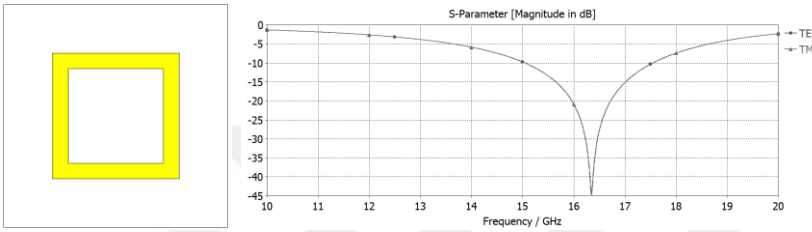


Şekil 1.4. Kare spiral tip için iletim karakteristiği

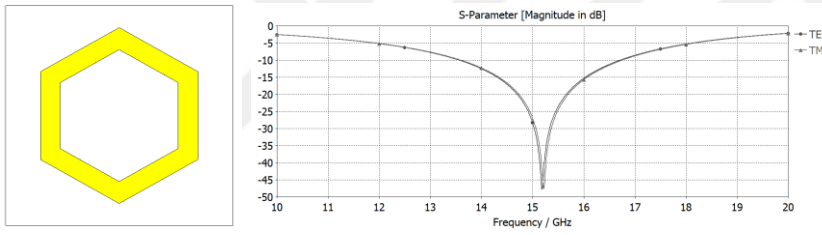
EK-1(devam). Frekans seçici yüzey tiplerinin iletim karakteristikleri



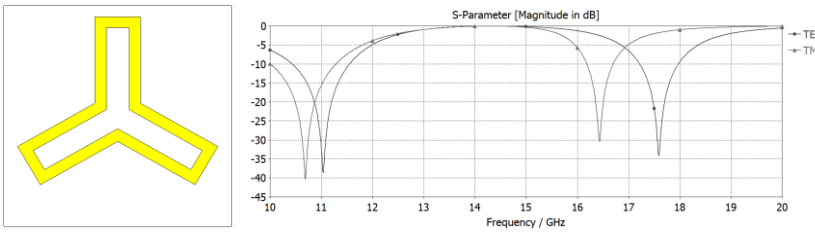
Şekil 1.5. Halka tip için iletim karakteristiği



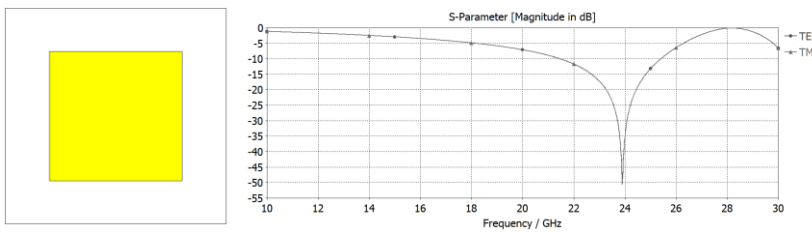
Şekil 1.6. Dikdörtgen tip için iletim karakteristiği



Şekil 1.7. Altıgen tip için iletim karakteristiği

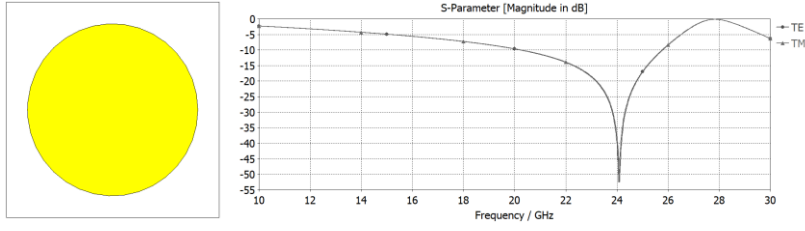


Şekil 1.8. Üçlü döngü tip için iletim karakteristiği

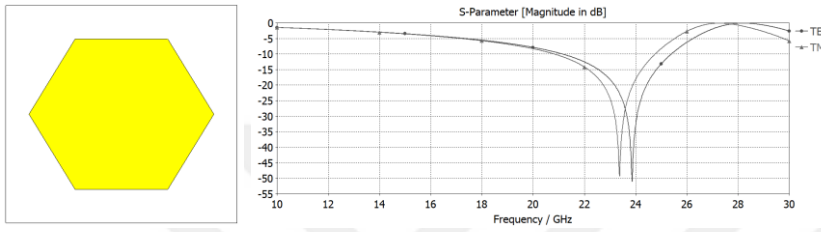


Şekil 1.9. Dikdörtgen yama tip için iletim karakteristiği

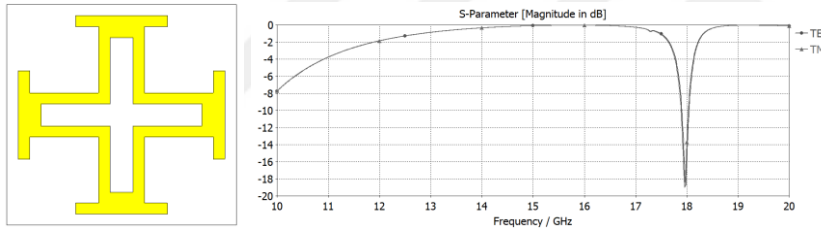
EK-1.(devam) Frekans seçici yüzey tiplerinin iletim karakteristikleri



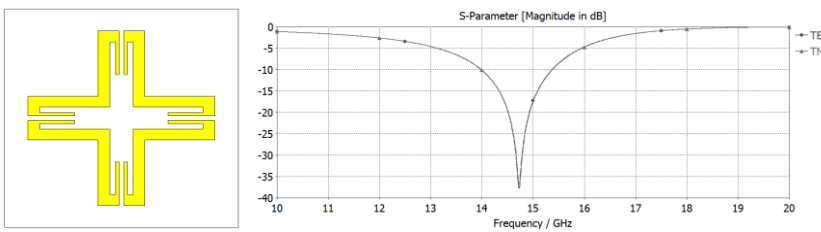
Şekil 1.10. Dairesel yama tip için iletim karakteristiği



Şekil 1.11. Altıgen yama tip için iletim karakteristiği



Şekil 1.12. Hibrit tip için iletim karakteristiği



Şekil 1.13. Hibrit 2 tip için iletim karakteristiği

EK-2. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - na) = \frac{1}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(j2nx\pi/a)$ denkleminin ispatı.

Periyodikliği a olan bir periyodik fonksiyon olan $g(x)$ Fourier serisinin terimleriyle şu şekilde ifade edilebilir:

$$g(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_m \exp\left(\frac{j2nx\pi}{a}\right) \quad (2.1)$$

Bilinmeyen A_m katsayısı her iki tarafı $\exp\left(\frac{j2mx\pi}{a}\right)$ ile çarpılarak bulunabilir. Daha sonra $g(x)$ fonksiyonunun tam periyotta integrali alınır:

$$\int_{-a/2}^{a/2} g(x) \exp\left(\frac{-j2mx\pi}{a}\right) dx = a A_m \quad (2.2)$$

$g(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - na)$ tanımlanır. $-a/2 < x < a/2$ için $g(x) = \delta(x)$ 'tir. E.2.2 kullanılarak:

$$A_m = \frac{1}{a} \int_{-a/2}^{a/2} \delta(x) \exp\left(\frac{-j2mx\pi}{a}\right) dx = \frac{1}{a} \quad (2.3)$$

bulunur. E.2.1 ve E.2.2 kullanılarak şu denklem yazılabilir:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - na) = \frac{1}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{j2nx\pi}{a}\right) \quad (2.4)$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HABERGÖTÜREN ATEŞ, Seda
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.05.1991, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 582 33 22
 e-mail : sedahabergoturen@gazi.edu.tr



Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|--|------------------|
| Yüksek Lisans | Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği | Devam ediyor |
| Lisans | Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği | 2013 |
| Lise | Mustafa Kaya Anadolu Lisesi | 2009 |

İş Deneyimi

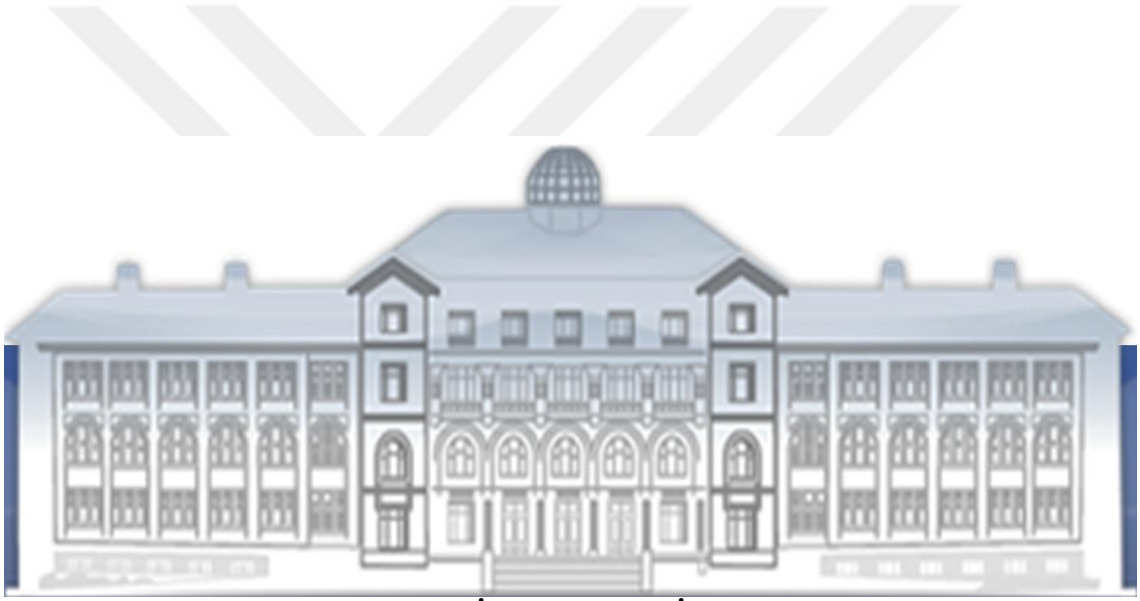
| Yıl | Yer | Görev |
|------------|-------------------|---------------------|
| 2014-Halen | Gazi Üniversitesi | Araştırma Görevlisi |
| 2013-2014 | Uneco ÜNA Enerji | Üretim Mühendisi |

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Ates, S. H., Aksoy, E., Kuzu, S., and Akcam, N. (2017). *Analysis of apollonius circles fractals as frequency selective surface*. 18th International Symposium Electromagnetic Fields in Mechatronics (ISEF), Lodz, Polonya
2. Ates, S. H., Karahan, M., Yavuz, Y., Kuzu, S., and Aksoy, E. (2017). *An FSS structure based on apollonius circles with stable resonance frequency for WLAN applications*. Electrical and Electronics Engineering 10th International Conference (ELECO), Bursa, Turkey.
3. Karahan, M., Yavuz, Y., Ates, S. H., and Aksoy, E. (2017). *A dual-band frequency selective surface structure with stable performance for oblique incidence*. Electrical and Electronics Engineering 10th International Conference (ELECO), Bursa, Turkey.



GAZİ GELECEKTİR...