

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZİ ANTENLERDE YAN KULAKÇIK SEVİYESİNİN
AZALTILMASI

İSMAİL AY

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

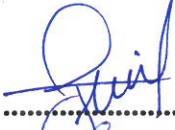
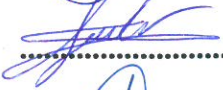

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZİ ANTENLERDE YAN KULAKÇIK SEVİYESİNİN
AZALTILMASI

İSMAİL AY

Doç. Dr. Sibel ÇİMEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Gonca ÇAKIR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail Hakkı TAYYAR
Jüri Üyesi, Karabük Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Haberleşme ve radar uygulamalarında, antenin güç yoğunluğunun istenilen doğrultuda minimum kayıpla ışıması beklenir. Başka yönlere yayılan ışımlar sistemlerde hata olasılığını arttırdığından yüksek kazançlı ve düşük yan kulakçık seviyeli antenler bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, frekans seçici yüzey kullanılarak mikroşerit dizi antenler için yan kulakçık seviyesi azaltma yöntemi sunulmuştur. Sunulan yöntem yapılan anten tasarımları ile desteklenmiştir.

Akademik kariyerimin ilk adımı olan yüksek lisans eğitimimde bana danışmanlık yapan, beni destekleyen ve bana çalışmalarımın her aşamasında yardımcı olan değerli hocam sayın Doç. Dr. Sibel Çimen 'e, bilgi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan hocamız sayın Prof. Dr. Gonca Çakır 'a, ve hayatım boyunca beni destekleyen ve yanımda olan sevgili annem Esmehan Ay ve babam Mehmet Ay 'a teşekkür ederim.

Temmuz – 2019

İsmail AY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLOLAR DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ	1
1. FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLER.....	3
1.1. Tamamlayıcı Diziler.....	4
1.2. Eleman Türleri.....	5
2. MİKROŞERİT ANTENLER	8
2.1. Besleme Yöntemleri.....	9
2.2. Mikroşerit Yama Anten Tasarımı	11
2.2.1. Dikdörtgensel yama anten tasarımı	11
2.3. Mikroşerit Dizi Antenler	14
2.3.1. İki elemanlı diziler	15
3. TASARIMLAR.....	18
3.1. FSY Birim Hücre Tasarımı	18
3.2. Mikroşerit Anten Tasarımı	19
3.3. Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı	22
3.4. SLL Azaltma Çalışmaları.....	23
4. ANALİZLER VE ÖLÇÜMLER	28
5. SONUÇLAR	33
KAYNAKLAR	35
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	38
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tamamlayıcı dizilere basit örnek: Sağda dipol dizisi ve solda boşluk dizisi. Sağdaki için Γ yansıma katsayısı, soldaki için τ iletim katsayısına eşittir. (Bu Babinet'in ilkesinin bir örneğidir.)	4
Şekil 1.2.	Kaskad periyodik yapıların kullanımıyla daha geniş ve hızlı azalma elde edebiliriz. Bununla birlikte bant genişliği geliş açısına göre büyük ölçüde değişecektir.....	5
Şekil 1.3.	Grup halinde düzenlenmiş eleman türleri	7
Şekil 1.4.	(a) Herhangi bir yükleme yapmadan kare açıklık. (b) Eşdeğer devre. (c) Tipik iletim eğrisi. (d) Yüklmeli kare açıklık. (e) Eşdeğer devre. (f) Tipik iletim eğrisi.	7
Şekil 2.1.	Dikdörtgen şekilli yama anten ve koordinat sistemi	9
Şekil 2.2.	Mikroşerit antenlerde kullanılan bazı besleme tipleri; (a) Mikroşerit hat besleme, (b) Koaksiyel prob besleme, (c) Açıklık bağlaşımlı besleme, (d) Yakınlık bağlaşımlı besleme.....	10
Şekil 2.3.	Dikdörtgensel yama antenin saçaklanma etkileri ve etkin uzunlukları.....	12
Şekil 2.4.	Çeyrek dalga dönüştürücünün şematik devresi.....	14
Şekil 2.5.	z ekseninde boyunca konumlandırılmış iki elemanlı dizinin geometrisi.....	16
Şekil 3.1.	(a) FSY birim hücre geometrisi, (b) FSY tam yapı.....	18
Şekil 3.2.	Birim hücrenin S parametresi sonuçları	18
Şekil 3.3.	FSY tam yapının S – parametresi sonuçları	19
Şekil 3.4.	Tasarlanan tek elemanlı mikroşerit yama antenin geometrisi.....	21
Şekil 3.5.	Tasarlanan tek elemanlı mikroşerit yama antenin S-11/Frekans dağılımı	21
Şekil 3.6.	Tek elemanlı mikroşerit yama antenin uzak alan örüntüsü.....	22
Şekil 3.7.	Oluşturulan dizi antenin geometrik yapısı ve boyutları	22
Şekil 3.8.	Oluşturulan dizi antenin S-11 grafiği.....	23
Şekil 3.9.	Dizi antenin uzak alan örüntüsü.....	23
Şekil 3.10.	FSY yapısının anten üzerine konumlandırılması	24
Şekil 3.11.	“d” mesafesine bağlı 2,4 GHz de, (a) S11 parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi.....	24
Şekil 3.12.	FSY 'in H-düzlemi doğrultusundaki konumlandırılması.....	25
Şekil 3.13.	x-düzlemi doğrultusunda “x” mesafesine bağlı 2,4 GHz de, (a) S11 parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi	25
Şekil 3.14.	FSY 'in E-düzlemi doğrultusundaki konumlandırılması	26
Şekil 3.15.	y-düzlemi doğrultusunda “y” mesafesine bağlı 2,4 GHz de, (a) S11 parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi	26

Şekil 3.16.	FSY x-düzleminde iki eşit parçaya ayrılıp bir birim hücre boyutunun katları kadar kaydırılması.....	27
Şekil 3.17.	2,4 GHz için her bir FSY parçasının x-düzlemi doğrultusunda “a” mesafesine bağlı, (a) S11 parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi	27
Şekil 4.1.	Tasarımları yapılan (a) 1×4 lük dizi anten ve (b)FSY	28
Şekil 4.2.	FSY yapısının ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen iletim katsayısı/frekans grafiği	29
Şekil 4.3.	Tasarlanan dizi antenin ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen yansıma katsayısı/frekans grafiği	29
Şekil 4.4.	Tasarlanan FSY’li anten sisteminin ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen yansıma katsayısı/frekans grafiği	30
Şekil 4.5.	(a) Dizi antenin ölçüm düzeneği, (b) Referans anten, (c) FSY ve Diziantenin konumlandırılması, (d) FSY’li sistemin ölçüm düzeneği	30
Şekil 4.6.	Dizi anten ve FSY 'li anten sistemi için simülasyon sonucu alınan ışıma diyagramlarının karşılaştırılması	31
Şekil 4.7.	Dizi antenin, simülasyon ve ölçüm sonucu alınan ışıma diyagramlarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.8.	FSY 'li anten sisteminin simülasyon ve ölçüm sonucu alınan ışıma diyagramlarının karşılaştırılması	32
Şekil 4.9.	Dizi anten ve FSY 'li anten sistemi için ışıma diyagramlarının ölçüm sonuçları	32

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Temel tasarım parametrelerine göre mikroşerit yama antenin geometrik boyutları	20
Tablo 3.2. İstenilen çalışma değerlerine göre optimize edilen antenin geometrik boyutları	20



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Γ	: Yansıma katsayısı
τ	: İletim katsayısı
S_{11}	: Yansıma genliği
S_{21}	: İletim genliği
E^i	: Gelen düzlem dalganın genliği, (V)
E^r	: Yansıyan düzlem dalganın genliği, (V)
E^t	: İletilen düzlem dalganın genliği, (V)
f_r	: Rezonans frekansı
λ_g	: Kılavuz dalga boyu
h	: Yalıtkan tabakanın kalınlığı
ϵ_r	: Bağlı dielektrik sabiti
k_0	: Serbest uzay yayılma sabiti

Kısaltmalar

FSY	: Frekans Seçici Yüzey
SLL	: Side Lobe Level (Yan Kulakçık Seviyesi)
DBS	: Direct Broadcast Satellite (Doğrudan Yayın Uydusu)
PMM	: Periodic Moment Method (Periyodik Moment Yöntemi)

DİZİ ANTENLERDE YAN KULAKÇIK SEVİYESİNİN AZALTIILMASI

ÖZET

Birçok mikrodalga uygulamalarında, antenin güç yoğunluğunun istenilen doğrultuda en az kayıpla ışması beklenir. İstenilen doğrultunun dışında yayılan ışmalar radar ve haberleşme sistemleri gibi sistemlerde hata olasılığını arttırdığından yüksek kazançlı ve düşük yan kulakçık seviyeli antenler önemli bir ihtiyaçtır.

Sunulan bu çalışmada dizi antenlerde yan kulakçık seviyesi azaltılması için frekans seçici yüzey (FSY) kullanarak yenilikçi bir yol bulmaya çalışılmaktadır. Önerilen yöntem temel olarak FSY yapısının rezonans frekansını, kullanılan dielektrik malzemenin elektriksel özelliklerini ve yapının yansıma özelliklerini dikkate almaktadır. Kullanılan FSY birim hücresi kare halka açıklık yapısından oluşmaktadır. FSY, rezonans frekansı 2,4 GHz olan bir bant geçiren filtre olarak tasarlanmıştır. FSY yapısının iletken yüzeyi ile 2,4 GHz 'de çalışan 1×4 'lük bir dizi antenin yamaları birbirlerine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. FSY tabakası, 31,98×31,98 mm² 'lik yüzey oluşturacak şekilde, 4x10 şeklinde birim hücrelerden oluşmaktadır. Tasarımda dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,3$ olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. 1x4 lük dizi antenin önüne yerleştirilen FSY tabakası ile anten arasındaki mesafe optimize edilerek dizi antenin yan kulakçık seviyesi -11,2 dB seviyesinden -18,5 dB seviyesine indirilmiştir. Böylelikle yan kulakçık seviyesinde 7,3 dB 'lik bir azalma sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dizi Anten, Frekans Seçici Yüzey, Mikroşerit Anten, Yan Kulakçık Azaltımı.

SIDE LOBE LEVEL REDUCTION FOR ARRAY ANTENNA

ABSTRACT

In many microwave applications, the power density of the antenna is expected to radiate with the least loss in the desired direction. High gain and low side lobe level (SLL) antennas are an important requirement because Radiations emitted outside the desired direction, increases the probability of error in systems such as radar and communication systems.

In this study, we try to find an innovative way to reduce the side lobe level of array antennas by using frequency selective surface (FSS). The proposed method mainly takes into account the resonance frequency of the FSS structure, the electrical properties of the dielectric material used and the reflection properties of the structure. The FSS unit cell used consists of a square ring aperture structure. FSS is designed as a bandpass filter with a resonance frequency of 2.4 GHz. The conductive surface of the FSS structure and the patches of a 1×4 array antenna operating at 2.4 GHz are placed facing each other. The proposed FSS layer has 31.98×31.98 mm² dimensions that is composed of 4×10 unit cells. In the design, FR-4 material with dielectric constant $\epsilon_r = 4.3$ was used. The distance between the 1x4 array antenna and FSS layer that placed in front of the antenna was optimized and the side lobe level of the array antenna was reduced from -11.2 dB to -18.5 dB. This resulted in a 7.3 dB reduction in side lobe level.

Keywords: Array Antenna, Frequency Selective Surface, Microstrip Antenna, Side Lobe Reduction.

GİRİŞ

Mikroşerit antenler ve dizileri; düşük maliyetleri düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygunluğu ve üretim kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerinin yanında mikroşerit antenlerin; düşük verimlilik, düşük güç, yüksek besleme ağı kayıpları, dar bant genişliği ve yüksek çapraz polarizasyon gibi dezavantajları vardır. Hem teorik hem de teknolojik ilerlemelerle bu dezavantajlardan bazıları aşılmış ya da bir dereceye kadar hafifletilmiştir.

Günümüzde özellikle; kişisel iletişim sistemleri, mobil uydu haberleşmeleri, doğrudan yayın uydusu (DBS), kablosuz yerel alan ağları (WLAN) ve akıllı araç karayolu sistemleri gibi hızla gelişen pazarlarda mikroşerit antenler ve dizileri için talep oluşmuştur. Oluşan bu talep mikroşerit antenlerin daha da geliştirilmesi için bir gereklilik haline gelmiştir.

Antenin ışınma örüntüsü alan şiddetinin bir ölçüsüdür. Işınma örüntüsü birçok kulaktan (huzme) oluşabilir. Bunlar ana huzme, yan ve arka kulakçıklardır. Başlıca güç ana huzmede bulunmaktadır. İkincil kulaklar genellikle istenmeyen yönlerdeki ışınmayı temsil ederler ve minimize edilmeleri gerekir. Yan kulakçıklar ikincil kulakçıkların en büyükleridir. Yan kulakçıkların seviyesi genellikle ilgilenilen yan kulakçığın güç yoğunluğunun ana huzmenin güç yoğunluğuna oranı olarak ifade edilir. Bu oran sıklıkla yan kulakçık oranı ve ya yan kulakçık seviyesi (side lobe level SLL) olarak da tanımlanır.

Haberleşme ve radar uygulamalarında, antenin güç yoğunluğunun istenilen doğrultuda minimum kayıpla ışınması beklenir. Başka yönlere yayılan ışınmalar sistemlerde hata olasılığını arttırdığından yüksek kazançlı ve düşük yan kulakçık seviyeli antenler bir ihtiyaç haline gelmiştir. Literatürde yan kulakçık seviyesini azaltmaya yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda temel olarak anten elemanlarının faz ve genliklerine göre belirli bir düzlemde yerleştirilerek dizi anten oluşturma prensibi temel alınmıştır. Bu işlemi yapmak için birçok farklı algoritma ve

optimizasyon tekniği kullanılmıştır [1-5]. Ne yazık ki, bu çalışmalar az sayıda elemanlı anten dizileri için sınırlıdır. Dizi antendeki eleman sayısı arttııa, anten elemanlarının farklı aralıklarla yerleşimini kısıtlamaya başlayacaktır.

Bu çalışmaların yanında, az sayıdaki dizilere uygulanabilen ve faz hatalarını minimize etmekte kullanışlı st tabaka tasarımları da literatürde yer almaktadır [6-8].

Bu tez çalışmasında da yan kulakçık seviyesi azaltmak için bir st tabaka olarak kullanılan bant geçiren frekans seçici yüzey (FSY) yapısı kullanılmıştır. Çalışma temel olarak antenin çalışma parametrelerini minimum etkilemeyi ve yan kulakçık seviyesini etkili bir Şekilde azaltmayı hedeflemektedir. Bunun için FSY yapısını ve FSY yapısının konumlandırılmasını temel alan birçok tasarım yapılmış ve anten parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte dizi anten yamaları arasındaki mesafenin anten çalışmasındaki etkileri ve FSY ile etkileşimleri de incelenmiştir.

alışmalar 2,4 GHz frekansında çalışan, 1×4 'lk yüksek yan kulakçık seviyesine sahip dizi anten tasarımları üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan yapıların lmleri Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında bulunan tam yansız odada gerçekleştirilmiştir. Yansız oda 3m 'lik olup frekans aralığı 900 MHz-30 GHz aralığındadır. Işıma rnts ve kazanç grafikleri bu odada yapılan ölçümler neticesinde tezde sunulmuştur.

Son olarak, tez kapsamında yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirilmekte ve sonuçlar ele alınmaktadır.

1. FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLER

Kullanım amacına göre belirli bir frekans bandını ileten, soğuran veya yansıtan pasif periyodik yapılara Frekans Seçici Yüzey (FSY) denir. FSY 'ler kullanım amacına göre; dielektrik malzeme üzerine dizilen periyodik iletken yamadan ya da iletken üzerindeki periyodik boşluklardan oluşmaktadır. FSY 'ler bulunduğu ortamdan üzerine gelen elektromanyetik dalgaları yüzeyin arka tarafına geçirirken elektromanyetik dalgaya karşı filtre özelliği gösterirler. Bu filtre karakteristiği FSY 'nin farklı özelliklerine göre bant geçiren ve ya bant söndüren olarak çalışmaktadır. FSY 'nin yansıma ve iletim karakteristiği; kullanılan dielektrik malzemelerin elektriksel özelliklerine, kalınlığına, düzlemsel dalğanın geliş açısına ve polarizasyonuna, dielektrik tabakanın üzerine yerleştirilen iletken yamaların boyutları, geometrisi ile periyodikliğine ve simetri ekseninin konumuna göre değişmektedir.

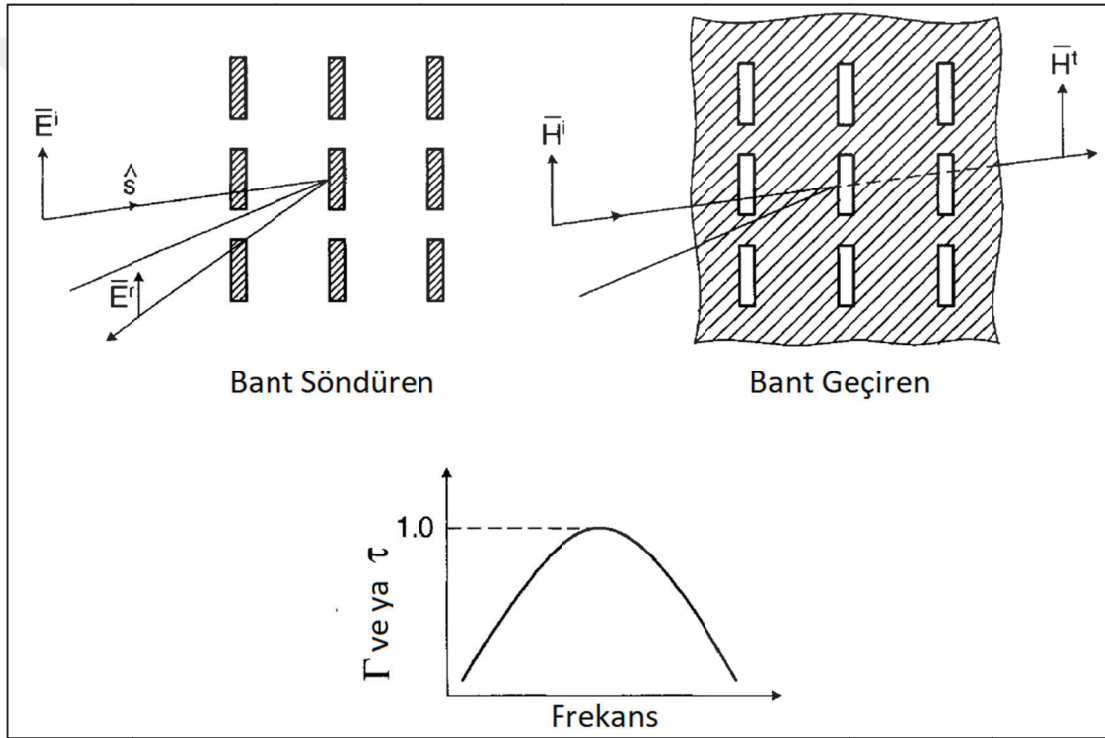
Bir frekans seçici yüzeyin üzerine gelen elektromanyetik dalgayı geçirip geçirmediğinin ölçüsü, saçılma parametreleri ile anlaşılmaktadır. Saçılma parametrelerinde iletim S_{21} , yansıma da S_{11} ile ifade edilmektedir. Bir FSY 'nin iletim bandı, S_{21} değerinin -3 dB 'nin üstündeki bölge olarak ifade edilebilir. Bu gelen gücün yarısından fazlasının iletildiğini belirten bir ifadedir. Yansıma bandı da S_{11} değerinin -10 dB 'nin altında olduğu bölgedir. Bu da FSY 'ye gelen elektromanyetik gücün %10 'dan azının geri yansıdığı göstermektedir.

Frekans seçici davranışlarından ve benzersiz elektromanyetik özelliklerinden dolayı FSY 'ler filtreleme uygulamalarının yanı sıra; kazanç artırma [9,10], dalga polarizasyonu değiştirme [11], huzme genişliği ve yönlülük düzenleme [12] gibi birçok anten performans düzenleme uygulamalarında da kullanılmaktadır. Bunların yanında literatürde antenlerde yan kulakçık azaltımı için geleneksel algoritmalar dışında FSY 'ler gibi metamateriyallere başvurulduğu görülmektedir [13-16]. Bir düzlem dalga, üst tabakayı normal yönde çarptığında, yayılan dalga, çıkış düzleminde yayılma yönüne dik olarak konik bir iletim genliği dağılımı gösterir.

İletim genliği dağılımı (S21) Taylor, Gauss veya sinüs gibi belirli bir oranı sağladığında uzak alanda düşük SLL elde edildiği bilinmektedir [7].

1.1. Tamamlayıcı Diziler

Tamamlayıcı diziler, iki tamamlayıcı dizinin üst üste konması durumunda, "tam" mükemmel bir iletken düzlem elde edilmesi için benzer şekilli elemanlara sahip dipol ve boşluk dizileri olarak tanımlanabilir. Dipol dizisi en solda ve tamamlayıcı yuva dizisi sağda olmak üzere Şekil 1.1 'de örnek verilmiştir. Yansıma katsayısı Denklem (1.1) 'de ve iletim katsayısı Denklem (1.2) 'de görüldüğü gibi ifade edilir.



Şekil 1.1. Tamamlayıcı dizilere basit örnek: Sağda dipol dizisi ve solda boşluk dizisi. Sağdaki için Γ yansıma katsayısı, soldaki için τ iletim katsayısına eşittir. (Bu Babinet'in ilkesinin bir örneğidir.)

$$\Gamma = E^r/E^i \quad (1.1)$$

$$\tau = E^t/E^i \quad (1.2)$$

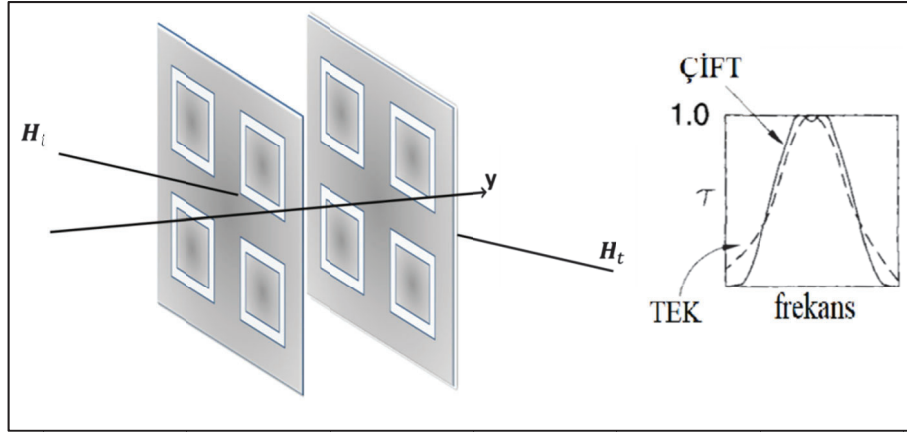
Bir dizi için spekül yansıma katsayısının, tamamlayıcı dizi için iletim katsayısına eşit olduğu gösterilebilir. Bu, genel olarak "Babinet'in ilkesinin" basit bir örneğidir [17].

Her şeyden önce, iletken ekran mükemmel bir iletken olmalı ve “sonsuz” ince, tipik olarak $1/1000$ dalga boyundan daha az olmalıdır. Ekran daha kalınsa, dipol dizisinin bant genişliği daha büyük olacak ve boşluk dizisinin bant genişliği daha küçük olacaktır. Ayrıca, ince bir dielektrik tabakası eklenirse, rezonans frekansı hem dipol hem de boşluk dizileri için bir miktar düşürülecektir, ancak $\lambda/4$ ya da daha fazla derecedeki bir dielektrik kalınlık için, iki durum daha büyük ölçüde farklı davranır.

Son olarak, iki veya daha fazla dizi artarda bağlanmışsa, her iki durumda da düz tepeli ve keskin düşmeli karakteristik bir bant filtresi elde edebiliriz.

Şimdiye kadar gösterilen periyodik yüzeyler yalnızca rezonansa mükemmel yansıma ve ya iletim gösterir. Bununla birlikte bir çok uygulama düz tepeli ve daha hızlı azalan rezonans eğrisi gerektirir. Bu hedefi gerçekleştirmenin esas olarak iki yolu vardır;

- Dielektrik katman olmadan birbirini ardına kaskad iki veya daha fazla periyodik yüzey kullanımı,
- Hibrit periyodik yüzeyler denen yapılara öncülük eden, kaskad periyodik yapılar arasına sıkıştırılmış dielektrik katman kullanımı.



Şekil 1.2. Kaskad periyodik yapıların kullanımıyla daha geniş ve hızlı azalma elde edebiliriz. Bunula birlikte bant genişliği geliş açısına göre büyük ölçüde değişecektir.

1.2. Eleman Türleri

Bir bant geçiren veya bant söndüren FSY tasarlarken, uygun elemanın seçimi büyük önem taşıyabilir. Bazı unsurlar doğası gereği diğerlerinden daha geniş bantlı veya

daha dar bantlıdır, bazıları ise tasarım açısından oldukça değişkendir. Genel olarak, en azından mekanik nedenlerden ötürü, tüm FSY sonunda dielektrik plakaların büyük ölçüde bir araya getirilmesiyle desteklenmelidir. Bunlar, bant genişliği çeşitliliği üzerinde geliş açılarıyla derin bir etkiye sahip olabilir. Bir dielektrik levha olmadan en stabil olan nokta, nihai FSY tasarımında doğru seçim olmayabilir, ayrıca herhangi bir FSY 'nin bant genişliği genel olarak elemanlar arası aralığın değişimi ile önemli ölçüde değişebilir, genel olarak daha geniş bir aralık, daha dar bir bant genişliği üretecektir ve bunun tersi de geçerlidir.

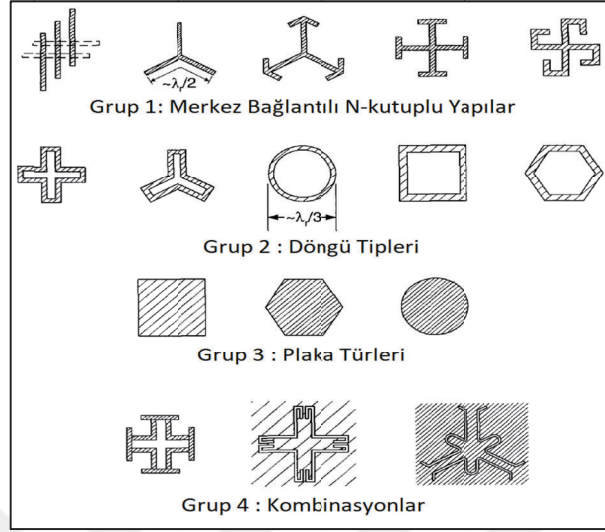
Aşağıda sunulan şekiller çoğunlukla, geliş açısına göre oldukça geniş bir bant genişliği ve kararlı rezonans frekansı ile sonuçlanan küçük elemanlar arası boşluklar içindir. Aşağıda sunulan tüm durumlar, “Periyodik Moment Yöntemi” (PMM) bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Dr. Lee Henderson tarafından doktora tezinin bir parçası olarak yazılmıştır [18] ve düzlemsel dalga genişlemesi ve karşılıklı empedans yaklaşımına dayanmaktadır [19].

Elemanlar, Şekil 1.3 'de gösterildiği gibi dört gruba ayrılır:

- Grup 1: Merkez bağlantılı veya N-kutuplu yapılar; üç ayaklı eleman, çapa elemanları, kudüs haçı ve kare sarmal gibi
- Grup 2: Döngü türleri; Üç ve dört ayaklı yüklü elemanlar, dairesel, kare ve altıgen döngüler gibi.
- Grup 3: Farklı şekillerde plaka türleri.
- Grup 4: Kombinasyonlar.

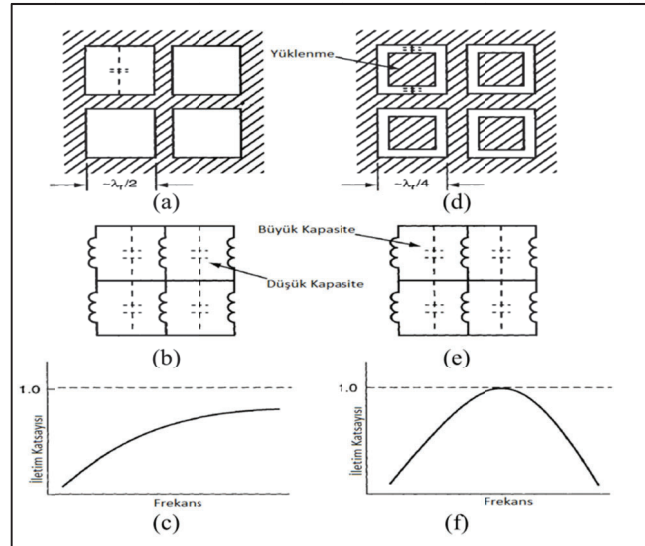
Şekil 1.3 'te görülen FSY 'ler birim hücre geometrisine göre merkez bağlantılı, döngü tipleri, plaka türleri ve kombinasyonları olmak üzere dört gruba ayrılır. Merkez bağlantılı FSY elemanın bir kolunun uzunluğu $\lambda/2$ yarı dalga boyunda rezonans yapar. Döngü tipleri ise FSY 'nin uzunluğu $\lambda/3$ 'e karşılık gelen dalga boyunda rezonans yapar ve daha geniş bant genişliğine sahiptirler. Plaka türleri; kare, daire ya da diğer düzlem geometrik şekiller de olabilir. Son olarak kombinasyon elemanları adından da anlaşılacağı gibi diğer grup eleman şekillerinin bir arada kullanılması ile elde edilen şekillerden oluşur. Bu yapı ya bir örnek Şekil 1.4 'te gösterilmektedir. Kapasitenin artırılması çeşitli şekillerde mümkündür. Belki de en

basit olanı, Şekil 1.4 'te sağ üstte gösterildiği gibi her açıklığın içine bir katı plaka yerleştirmektir.



Şekil 1.3. Grup halinde düzenlenmiş eleman türleri

İlgili iletkenler arasındaki daha küçük mesafeler nedeniyle, kapasite kuvvetlice arttırılır ve daha düşük bir frekansta güçlü bir rezonans elde edilir. Bununla birlikte, örneğin; herhangi bir simetrik şekilde bir açıklık, bir katı plaka ve son olarak bir açıklık dizisi yerleştirirsek, herhangi bir kayıp meydana gelmez.



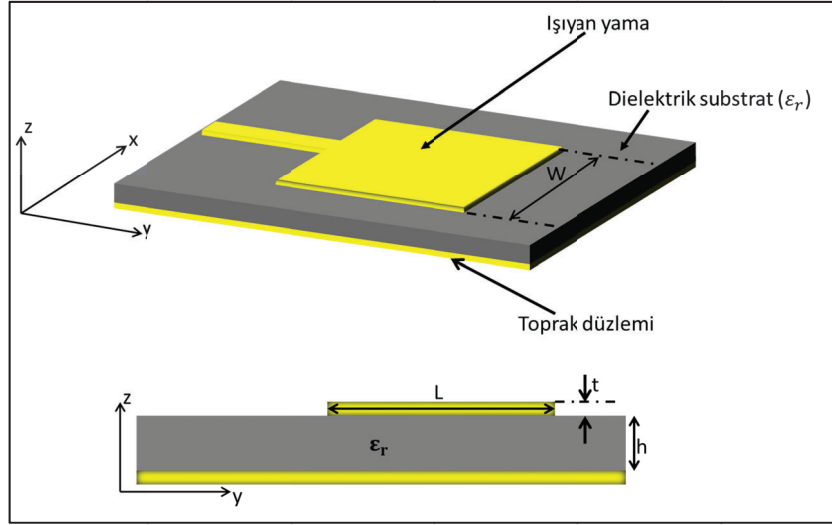
Şekil 1.4. (a) Herhangi bir yüklemeye yapılmadan kare açıklık. (b) Eşdeğer devre. (c) Tipik iletim eğrisi. (d) Yüklemeli kare açıklık. (e) Eşdeğer devre. (f) Tipik iletim eğrisi.

2. MİKROŞERİT ANTENLER

Mikroşerit anten kavramı ilk olarak 1953 'te Deschamps'ı önermiştir. Fransa'da 1955 yılında Gutton ve Baissinot [20] adına bir patent yayınlandı. Gelişmeler 1970 'lerde, düşük kayıp tanjant, ilgi çeken termal ve mekanik özelliklere sahip iyi dielektrik malzemelerin kullanılmaya başlanması, iyileştirilmiş fotolitografik teknikler ve daha iyi teorik modeller ile hız kazanmıştır. İlk pratik antenler Howell ve Munson tarafından geliştirilmiştir [21, 22]. O zamandan beri; hafif ağırlık, düşük hacimli, düşük maliyetli, uyumlu konfigürasyon, entegre devrelerle uyumluluk gibi sayısız avantajlarından yararlanmayı amaçlayan mikroşerit antenlerin ve dizilerin kapsamlı araştırılması ve geliştirilmesi, çeşitlendirilmiş uygulamalara ve mikrodalga antenlerinin geniş bir alanı içerisinde bu konunun ayrı bir alan olarak oluşturulmasına yol açmıştır.

Şekil 2.1 'de gösterildiği gibi, en basit konfigürasyonunda olan mikroşerit anten diğer tarafta bir toprak düzlemine sahip olan bir dielektrik malzemenin ($\epsilon_r \leq 12$) bir tarafına yerleştirilen yamadan oluşur. Normalde bakır veya altın olan yama iletkenler, hemen hemen herhangi bir şekle bürünebilir, ancak normal şekiller genellikle analizi ve performans tahminini basitleştirmek için kullanılır. İdeal olarak, malzemenin dielektrik sabiti, ışımayı oluşturan saçak alanlarını geliştirmek için düşük olmalıdır ($\epsilon_r \geq 2,3$). Bununla birlikte, diğer performans gereklilikleri, örneğin dielektrik sabitleri dörtten daha büyük olabilen malzemelerin kullanımını zorunlu kılabilir [23]. Çok çeşitli dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerlerine sahip çeşitli substrat tipleri geliştirilmiştir. Işıma elemanları ve beslene hatları genellikle dielektrik substrat üzerine foto dağlama ile yapılmaktadır. Işıyan yama; dikdörtgen, daire, üçgen gibi birçok farklı geometrik yapıda olabilir. Dikdörtgensel ve dairesel yamaların, analizlerinin ve üretiminin basit olması ve cazip ışımaya karakteristikleri nedeniyle kullanımları oldukça yaygındır.

Mikroşerit dipoller, yüksek bant genişlikleri ve kolay konumlandırılmalarından dolayı tercih edilmektedirler. Bu özellikleri sayesinde dipol yamalar dizi antenlerde



Şekil 2.1. Dikdörtgen şekilli yama anten ve koordinat sistemi

tercih edilmektedirler. Doğrusal ve dairesel kutuplanmalar tek elemanlı veya dizi antenlerle elde edilebilir. Tek veya çoklu beslemeli mikroşerit dizi antenler, daha büyük yönlülüğe ulaşmak için kullanılmaktadır.

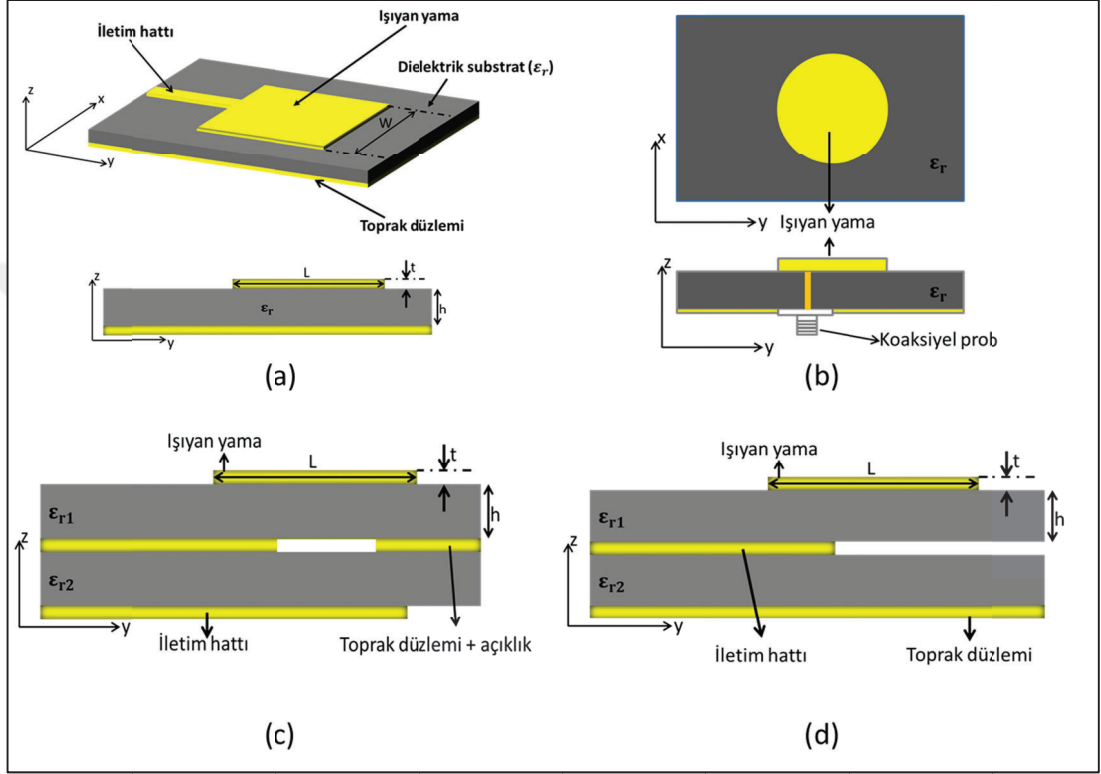
2.1. Besleme Yöntemleri

Mikroşerit antenlerde bir çok farklı besleme yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan dört tanesi; mikroşerit hat besleme, koaksiyel prob, açıklık bağlaşımlı ve yakınlık bağlaşımlı yöntemleridir. Bu besleme yöntemleri Şekil 2.2 'de gösterilmektedir.

Mikroşerit besleme hattı, yamaya kıyasla genellikle daha küçük genişlikte bir iletken şerittir. Mikroşerit hat besleme, imal edilmesi kolay, yerleştirme pozisyonunu kontrol ederek uyumlanması ve modellenmesi oldukça kolaydır. Bununla birlikte, alt tabaka kalınlığı arttıkça, yüzey dalgaları ve beslemenin parazit ışıması artar, bu da pratik tasarımlar için bant genişliğini sınırlar (tipik olarak % 2-5)[24].

Dış iletken topraklama düzlemine bağlıken, koaksiyel iç iletkeninin ışıyan yamaya bağlandığı koaksiyel hat beslemeleri de yaygın olarak kullanılır. Koaksiyel prob beslemesinin üretilmesi ve uyumlanması da kolaydır ve düşük parazit ışıma sahiptir. Bununla birlikte, dar bant genişliğine sahiptir ve özellikle kalın alt tabakalı uygulamalar için modellenmesi daha zordur ($h > 0,02\lambda_0$).

Hem mikroşerit besleme hattı hem de prob, çapraz polarize radyasyon üreten daha yüksek dereceli modlar üreten doğal asimetrilere sahiptir. Bu sorunların bazılarının üstesinden gelmek için, Şekil 2.2 (c, d) 'de gösterildiği gibi temassız açıklık bağlaşımı beslemeler tanıtılmıştır. Şekil 2.2 (c) 'deki açıklık kuplajı, dördünün içinde üretilmesi en zor olanıdır ve ayrıca dar bant genişliğine sahiptir.



Şekil 2.2. Mikroşerit antenlerde kullanılan bazı besleme tipleri; (a) Mikroşerit hat besleme, (b) Koaksiyel prob besleme, (c) Açıklık bağlaşımli besleme, (d) Yakınlık bağlaşımli besleme

Bununla birlikte, modellemesi biraz daha kolaydır ve ılımlı bir parazit ışınımına sahiptir. Açıklık bağlaşımli besleme, bir toprak düzlemi ile ayrılmış iki alt tabakadan oluşur. En alt tabakanın alt tarafında iki tabakayı ayıran toprak düzlemindeki bir yarıktan enerjisi yamaya bağlanan bir mikro şerit besleme hattı vardır. Bu düzenleme, besleme mekanizmasının ve yayılan elemanın bağımsız optimizasyonuna izin verir. Tipik olarak, alt katman için yüksek bir dielektrik malzeme ve üst katman için kalın bir düşük dielektrik sabit malzeme kullanılır ($\epsilon_{r1} < \epsilon_{r2}$). Katmanlar arasındaki toprak düzlemi aynı zamanda beslemeyi ışınım elemanından izole eder ve desen oluşumu ve polarizasyon saflığı için parazit ışınım girişimini en aza indirir.

Genellikle uyumlama, besleme hattının genişliği ve yarık uzunluğunun kontrol edilmesiyle gerçekleştirilir. Burada açıklanan dört beslemeden, yakınlık bağlaşımlı besleme en büyük bant genişliğine sahiptir (%13 gibi), modellemesi biraz kolaydır ve düşük parazit ışıma sahiptir. Bununla birlikte, imalatı biraz daha zordur. Besleme saplamasının uzunluğu ve yamanın genişlik-çizgi oranı eşleşmeyi kontrol etmek için kullanılabilir.

2.2. Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Mikroşerit yama anten tasarımı için anten boyutları hesaplamada iletim hattı modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada yan kulakçık seviyesi azaltmada yönlü mikroşerit dizi antenler üzerinden bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden öncelikle temel dikdörtgen yama anteni tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında, antendeki dikdörtgen yamanın boyutlarını, besleme hatlarını ve diğer parametreleri en iyi dielektrik malzemeyi bularak ve bu parametreleri kullanılan malzemeye göre optimize ederek tasarlanacaktır.

2.2.1. Dikdörtgensel yama anten tasarımı

Tasarım işlemi için öncelikle rezonans frekansı (f_r), dielektrik tabakanın kalınlığı (h) ve dielektrik sabiti (ϵ_r) belirlenmelidir. Bu parametrelerin belirlenmesi ile yama antenin genişliği (W) ve uzunluğu (L) bulunacaktır.

Tasarım işleminde ilk olarak, etkin bir ışıma alanı için iyi bir ışıma verimini verecek genişliği hesaplanacaktır. Yamanın genişliğini veren formül Eşitlik (2.1) 'de gösterilmektedir. v_0 burada boş uzaydaki ışık hızıdır.

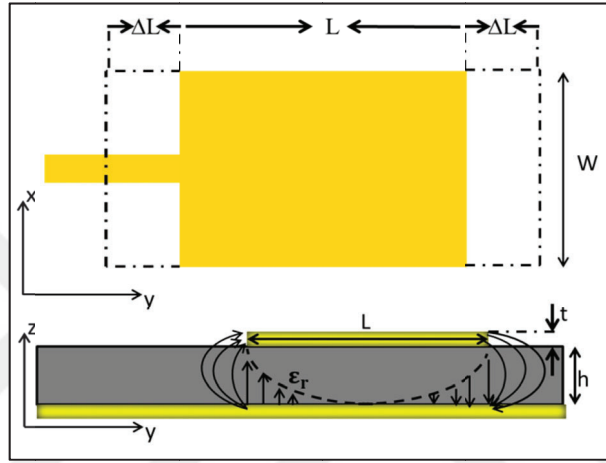
$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.1)$$

$W/h > 1$ olması şartıyla Denklem (2.2) kullanılarak antenin etkin dielektrik sabiti hesaplanır.

$$\epsilon_{r\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2.2)$$

Yamanın boyutları uzunluk ve genişlik boyunca sonlu olduğundan, yamanın kenarlarındaki alanlar saçaklanır. Bu, mikroşerit antenin iki yayılan yuvası için

Şekil 2.1 'de uzunluk boyunca gösterilmiştir. Aynıısı genişlik boyunca da geçerlidir. Saçaklanma miktarı yamanın boyutlarının ve alt tabakanın yüksekliğinin bir fonksiyonudur. Temel E-düzlemi için saçaklanma, yama L 'nin uzunluğunun, substratın h yüksekliğine (L/h) olan oranına ve kullanılan malzemenin dielektrik sabitinin (ϵ_r) bir fonksiyonudur. Mikro şerit antenler $L/h \gg 1$ olduğundan saçaklanma azalır. Bununla birlikte, dikkate alınması gerekir çünkü bu oran antenin rezonans frekansını etkiler. Aynıısı genişlik için de geçerlidir.



Şekil 2.3. Dikdörtgensel yama antenin saçaklanma etkileri ve etkin uzunlukları

Saçaklanma etkileri nedeniyle, elektriksel olarak mikroşerit antenin yaması fiziksel boyutlarından daha büyük görünür. Ana E-düzlemi için bu, Şekil 2.3 'de gösterilmiştir; buradaki yama boyunca uzunlukları, her bir ucunda, etkili dielektrik sabit ϵ_{reff} 'in ve genişlik-yükseklik oranının (W/h) bir fonksiyonu olan ΔL mesafesi ile uzatılmıştır. ΔL için yaygın olarak kullanılan ve pratik bir yaklaşıma sahip yaklaşımı Denklem (2.3) ile verilmiştir.

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{\epsilon_{\text{reff}}^{+0,3} \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{\epsilon_{\text{reff}}^{-0,258} \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.3)$$

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (2.4)$$

Tasarımın son aşamasında yamanın gerçek uzunluğunu hesaplamak için Denklem (2.5) kullanılmaktadır.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}} - 2\Delta L \quad (2.5)$$

Nihayet antenin genişliği ve uzunluğu hesaplandıktan sonra iletim hattı beslemesinin parametreleri aşağıda sıralanmıştır. Mikroşerit hat besleme tekniğinde, dikdörtgenel mikroşerit yama antenin yama parametreleri, genel yama parametreleri formüllerini kullanarak hesaplanır. Ve bu tasarımı tamamlamak için gerekli olan diğer parametreler, aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır:

Kılavuz dalga boyu:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\epsilon_{\text{reff}}} \quad (2.6)$$

Çeyrek dalga bölümü uzunluğu:

$$l_{\text{quarter}} = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.7)$$

Çeyrek dalga bölümü genişliği:

$$w_{\text{quarter}} = \frac{7,48h}{e^{87\sqrt{\epsilon_r+1,41}}} - 1,25t \quad (2.8)$$

50 ohm Sonlandırma Hattı için:

$$l_{50} = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.9)$$

$$w_{50} = \frac{10h}{1+\epsilon_r} \quad (2.10)$$

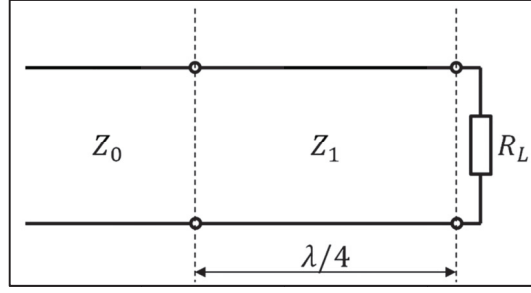
Yüzey ve toprak boyutu:

$$L_G = W_G = L_S = W_S \quad (2.11)$$

$L_G = 2 \times (\text{yamanın yarım uzunluğu} + \text{çeyrek dalga bölümünün uzunluğu} + 50 \text{ ohm sonlandırma hattı uzunluğu})$

$$L_G = 2 \times (W/2 + l_{\text{quarter}} + l_{50}) \quad (2.12)$$

Çeyrek dalga dönüştürücünün şematik devresi Şekil 2.4 'te gösterilmektedir. Şekildeki elemanlar kullanılarak giriş empedansı eşitliği Denklem (2.13) 'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Çeyrek dalga dönüştürücünün şematik devresi

$$Z_{in} = Z_0 = \frac{Z_1^2}{R_L} \quad (2.13)$$

Bu çalışmada ulaşılması kolay ve düşük maliyetli, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,3$ olan plaka yüksekliği $h = 1,65$ mm olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır ve antenin çalışma frekansı 2,4 GHz olarak hedeflenmiştir. Bu girdiler ve yukarıda verilen formüller neticesinde 2,4 GHz mikroşerit yama anten tasarlanmıştır.

2.3. Mikroşerit Dizi Antenler

Genellikle, tek elemanlı antenin ışıma düzeni nispeten geniştir ve her eleman düşük yönlülük değerleri (kazanç) sağlar. Birçok uygulamada, uzun mesafeli iletişimin taleplerini karşılamak için yüksek yönlülük özelliklerine sahip (çok yüksek kazançlı) antenler tasarlamak gerekir. Bu, yalnızca antenin elektriksel boyutunun artırılmasıyla gerçekleştirilebilir. Tek elemanların boyutlarını büyütme çoğu zaman daha yönlü olmasını sağlar. Aynı ayrı elemanların boyutunu arttırmadan, antenin boyutlarını büyütmenin başka bir yolu; elektriksel ve geometrik bir düzende yayılan elemanların konumlandırılmasıdır. Çoklu elemanlar tarafından oluşturulan bu yeni anten bir dizi olarak adlandırılır. Çoğu durumda, bir dizinin elemanları aynıdır.

Bir dizinin ayrı elemanları herhangi bir biçimde olabilir (teller, açıklıklar, vs.). Dizinin toplam alanı, ayrı ayrı elemanlar tarafından yayılan alanların vektör eklenmesiyle belirlenir. Bu, her bir elemandaki akımın, izole elemanınkiyle aynı olduğunu varsayar (bağlantıyı ihmal eder). Bu durum genellikle elemanlar arasındaki mesafeye bağlıdır. Yüksek yönlülüğe sahip modeller sağlamak için, dizinin elemanlarının birbirlerinin ana huzmelerinin istenen yönlerde birbirlerini destekleyerek (ekleme yaparak) ve kalan dağılımdaki alanların birbirini iptal etme

yönünde müdahale etmesi gerekir. Aynı elemanlar dizisinde, antenin genel şeklini biçimlendirmek için kullanılacak en az beş kontrol vardır. Bunlar;

1. Genel dizinin geometrik yapılandırması (doğrusal, dairesel, dikdörtgen, küresel vb.)
2. Elemanlar arasındaki göreceli yer değiştirme
3. Tek tek elemanların uyarılma genliği
4. Tek tek elementlerin uyarılma fazı
5. Tek tek elemanların göreceli düzeni

En basit ve en pratik dizilerden biri, elemanların bir çizgi boyunca yerleştirilmesiyle oluşturulur. Sunumu basitleştirmek ve tekniklerin daha iyi bir fiziksel yorumunu vermek için önce iki elemanlı bir dizi göz önünde bulundurulacaktır. Bir N eleman dizisinin analizi daha sonra takip edilecektir.

2.3.1. İki elemanlı diziler

İncelenmekte olan antenin, Şekil 2.5 (a) 'da gösterildiği gibi, z eksenini boyunca konumlandırılmış iki sonsuz yatay dipol dizisi olduğunu varsayalım. İki eleman tarafından yayılan toplam alan, elemanlar arasında eşleşme olmadığı varsayılarak, ikisinin toplamına eşittir ve y-z düzleminde,

$$E_t = E_1 + E_2 = \hat{\mathbf{a}}_{\theta} j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\beta/2)]}}{r_1} \cos \theta_1 + \frac{e^{-j[kr_2 + (\beta/2)]}}{r_2} \cos \theta_2 \right\} \quad (2.14)$$

β , elemanlar arasındaki faz uyarımındaki farktır. Işıyan elemanların genlik uyarımı aynıdır. Uzak alan gözlemleri varsayarak ve Şekil 2.5 (b) 'ye atıfta bulunarak aşağıdaki eşitlikler verilmiştir.

$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta \quad (2.15a)$$

$$\left. \begin{array}{l} r_1 \approx r - \frac{d}{2} \cos \theta \\ r_2 \approx r + \frac{d}{2} \cos \theta \end{array} \right\} \text{faz değişimleri için} \quad (2.15b)$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \quad \text{genlik değişimleri için} \quad (2.15c)$$

Denklem 2.10 aşağıdaki gibi indirgenebilir;

$$E_t = \hat{a}_\theta j \eta \frac{kI_0 e^{-jk r}}{4\pi r} \cos \theta [e^{+j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2}] \quad (2.16)$$

$$E_t = \hat{a}_\theta j \eta \frac{kI_0 e^{-jk r}}{4\pi r} \cos \theta \left\{ 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \right\} \quad (2.17)$$

Dizinin toplam alanının, geniş bir şekilde dizi faktörü olarak adlandırılan bir faktörle çarpılarak orijinale yerleştirilmiş tek bir elemanın alanına eşit olduğu Denklem 2.17 den anlaşılmaktadır.

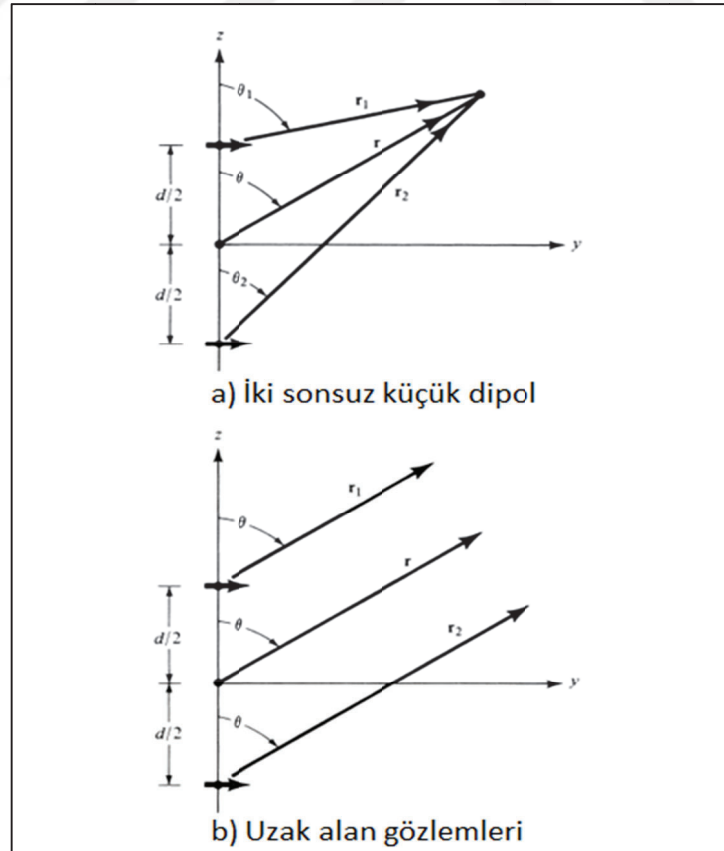
Böylece, iki elementli sabit genlikli dizi için, dizi faktörü;

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.18)$$

Denklem 2.18 n elemanlı diziler için normalize edildiğinde dizi faktörü;

$$(AF)_n = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.19)$$

Şeklinde yazılabilir.



Şekil 2.5. z eksenini boyuncaya konumlandırılmış iki elemanlı dizinin geometrisi

Dizi faktörü, dizinin geometrisinin ve uyarma fazının bir fonksiyonudur. Elemanlar arasındaki boşluk “d” ve/veya faz “β” değiştirilerek, dizi faktörünün ve dizinin toplam alanının karakteristikleri kontrol edilebilir. Düzgün bir iki elemanlı aynı elemanlar dizisinin uzak bölge alanının, tek bir elemanın ürününe, seçilen bir referans noktasında (genellikle orijinli) ve bunun dizi faktörüne eşit olduğu gösterilmiştir. Yani;

$$E(\text{toplam}) = [E(\text{referans noktasında tek eleman})] \times [\text{Dizi Faktörü (AF)}] \quad (2.20)$$

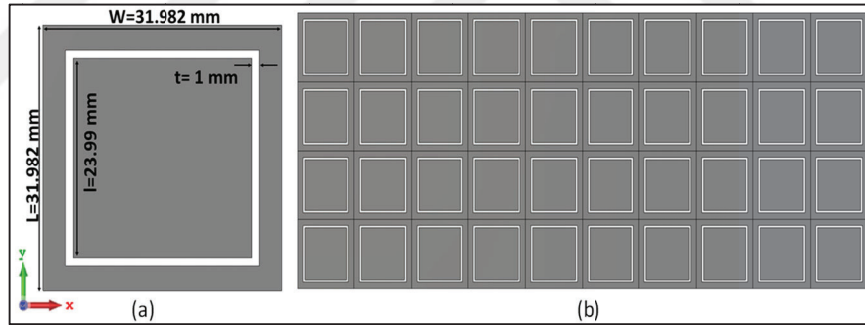
Bu, aynı elemanların dizileri için desen çarpımı olarak adlandırılır.



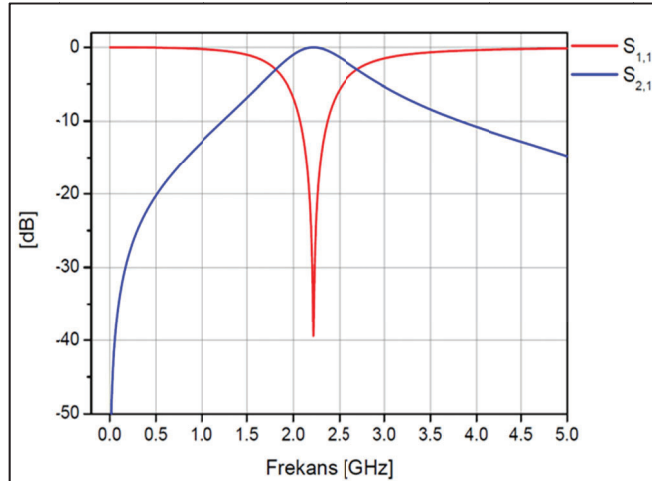
3. TASARIMLAR

3.1. FSY Birim Hücre Tasarımı

Tasarlanan frekans seçici yüzeyin birim hücresi, dielektrik malzemedan ve iletken tabaka üzerine kare şeklindeki yarıktan oluşmaktadır. Birim hücrenin şekli ve tasarım parametreleri Şekil 3.1 (a) 'da gösterilmektedir. Bu parametreler; $W=31,982$, $L=31,982$, $l=23,99$ ve $t=1$ mm 'dir. Tabaka olarak dielektrik katsayısı $\epsilon_r=4,3$ ve kalınlığı $h=1,65$ mm olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. Tasarım CST Microwave Studio programı kullanılarak yapılmıştır. Birim hücrenin analizi x ve y düzleminde "unit cell", z düzleminde "open add space" sınır koşulları kullanılarak yapılmıştır. Böylelikle x ve y düzleminde FSY tabakanın sonsuz gibi davranması sağlanmıştır. Neticede elde edilen S - parametresi Şekil 3.2 'de gösterilmektedir.

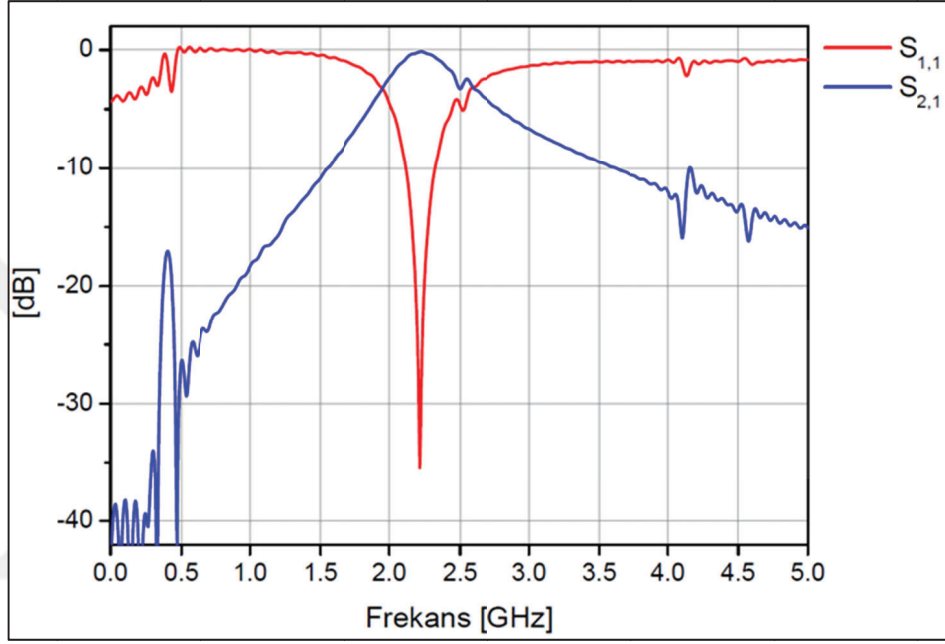


Şekil 3.1. (a) FSY birim hücre geometrisi, (b) FSY tam yapı



Şekil 3.2. Birim hücrenin S parametresi sonuçları

Frekans seçici yüzeyin tam yapı görünümü Şekil 3.1 (b) 'de gösterilmektedir. Yapı 4x10 birim hücreden oluşmaktadır. Sonlu uzunluktaki bu FSY tabakası anten önüne yerleştirilecektir. Dolayısı ile CST Microwave Studio programında sonlu uzunluktaki FSY tabakasının da analizi yapılmıştır. Bunun için programda x ve y düzlemleri “open”, z düzlemi “open add space” sınır koşulu ile tanımlanmıştır. Elde edilen tam yapının S – parametresi sonuçları Şekil 3.3 'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. FSY tam yapının S – parametresi sonuçları

3.2. Mikroşerit Anten Tasarımı

Bölüm 2.2.1 'de anlatıldığı gibi; tasarım işlemi için öncelikle çalışma frekansı (f_r), dielektrik tabakanın kalınlığı (h) ve dielektrik sabiti (ϵ_r) belirlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda tasarımda öncelikle ışımının yapılacağı malzeme seçimi yapılmıştır. Düşük maliyeti ve piyasada kolay bulunabilmesinden dolayı FR4 dielektrik malzeme tercih edildi. Malzemenin bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r=4,3$ ve kalınlığı $h=1,65$ mm olarak alınmıştır. Dizi anten 2,4 GHz çalışma frekansında tasarlandı. Bu parametrelerin belirlenmesi ile yama antenin genişliği (W) ve uzunluğu (L) bulunmuştur (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 'de elde edilen sonuçlar istenilen çalışma frekansı ve anten verimine göre optimize edildikten sonra mikroşerit yama antenin tasarım boyutları Tablo 3.2 'de

gösterilmektedir. Tasarım işlemi için için CST Microwave Studio programı kullanılmıştır.

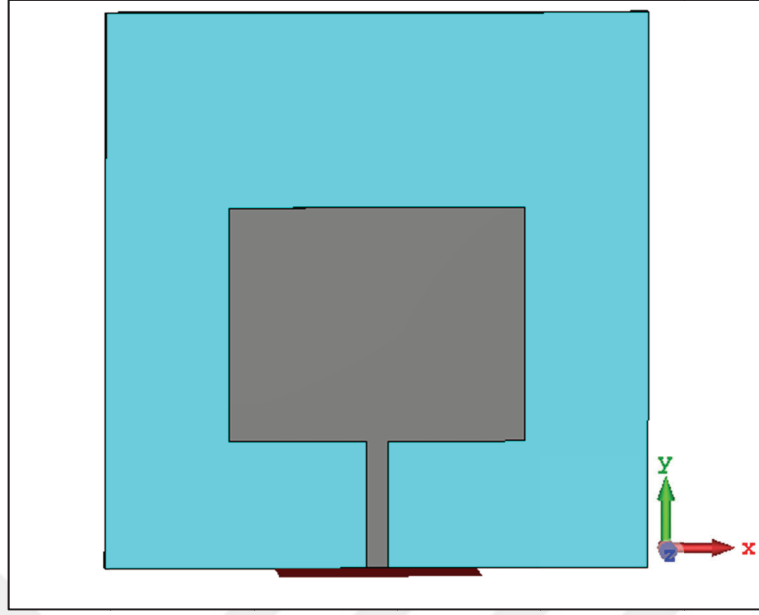
Tablo 3.1. Temel tasarım parametrelerine göre mikroşerit yama antenin geometrik boyutları

ÇIKTILAR	
Yamanın genişliği (W)	38,393 mm
Yamanın Uzunluğu (L)	29,760 mm
Besleme hattının boyutları;	
Çeyrek dalga dönüştürücü boyu ($l_{quarter}$)	7,8457 mm
Çeyrek dalga dönüştürücü genişliği ($w_{quarter}$)	3,0883 mm
50 ohm sonlandırma hattın uzunluğu (l_{50})	7,8457 mm
50 ohm sonlandırma hattın genişliği (w_{50})	3,1132 mm
Yüzey ve toprak boyutları;	
$L_G=W_G=L_S=W_S$	68,5988 mm

Tablo 3.2. İstenilen çalışma değerlerine göre optimize edilen antenin geometrik boyutları

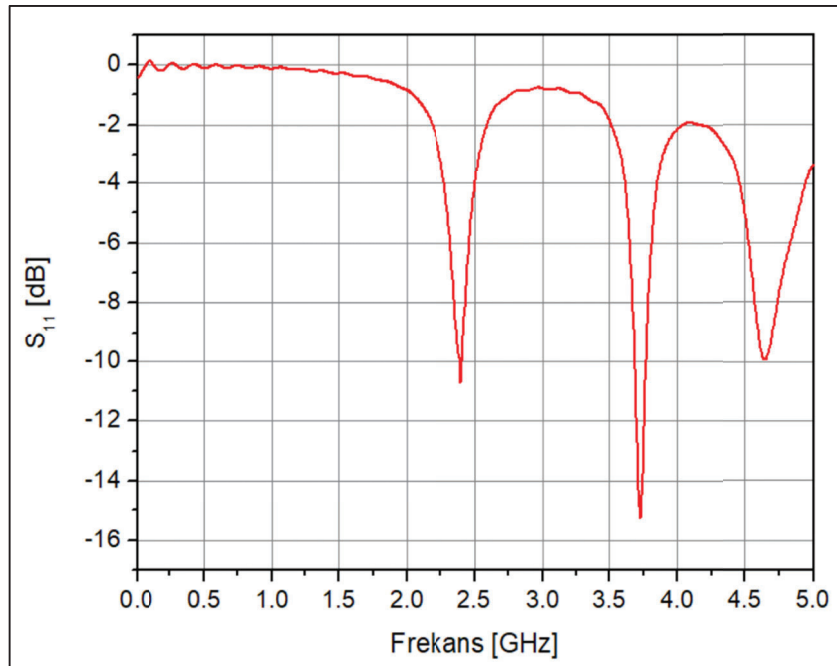
ÇIKTILAR	
Yamanın genişliği (W)	37,315877 mm
Yamanın Uzunluğu (L)	28,847025 mm
Besleme hattının boyutları;	
Çeyrek dalga dönüştürücü boyu ($l_{quarter}$)	7,8457 mm
Çeyrek dalga dönüştürücü genişliği ($w_{quarter}$)	2,7 mm
50 ohm sonlandırma hattın uzunluğu (l_{50})	7,8457 mm
50 ohm sonlandırma hattın genişliği (w_{50})	2,7 mm
Yüzey ve toprak boyutları;	
$L_G=W_G=L_S=W_S$	68,5988 mm

Tasarlanan antenin çalışma değerleri CST Microwave Studio programı kullanılarak incelenmiştir. Yine bu program yardımı ile antenin boyutlarının optimizasyonu yapılmıştır. Tasarlanan tek elemanlı mikroşerit yama antenin geometrik yapısı Şekil 3.4 'te gösterilmektedir.

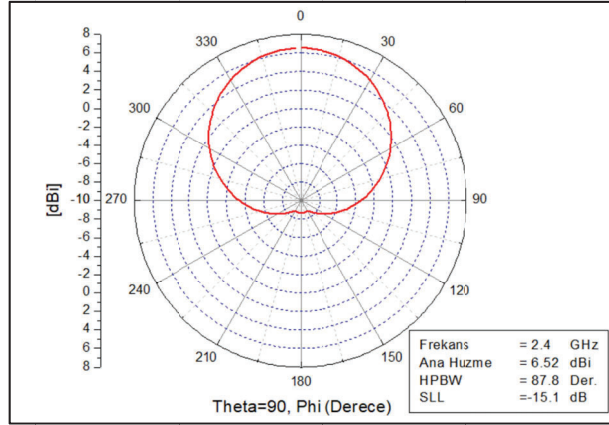


Şekil 3.4. Tasarlanan tek elemanlı mikroşerit yama antenin geometrisi

Analiz yapılırken, antenin empedans uyumu sağlamak amacıyla 50Ω uyumlu beslemesi (port) CST programında yer alan Port Uzatma Katsayısını Hesaplama Sihirbazı (Calculate Port Extension Coefficient) ile yapılmıştır. Antenin analizi sonucunda elde edilen S_{11} ; Şekil 3.5 'te ve uzak alan örüntüleri; Şekil 3.6 'da verilmektedir.



Şekil 3.5. Tasarlanan tek elemanlı mikroşerit yama antenin S_{11} /Frekans dağılımı

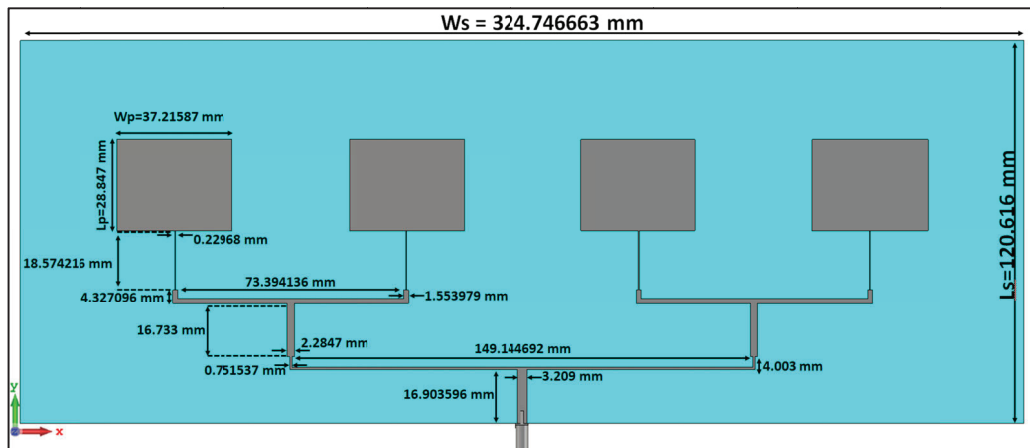


Şekil 3.6. Tek elemanlı mikroşerit yama antenin uzak alan örüntüsü

3.3. Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı

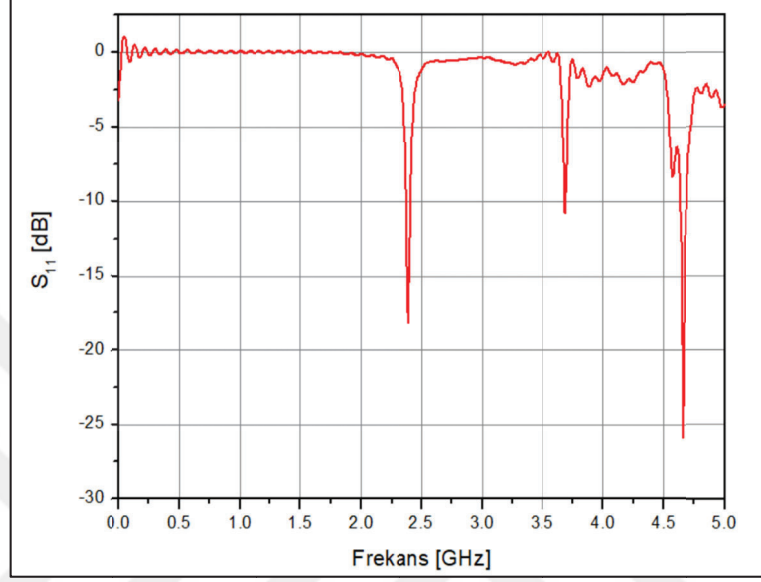
Bölüm 2.3 'te de bahsedildiği üzere ayrı ayrı anten elemanlarının boyutunu arttırmadan, elektriksel ve geometrik bir düzende yayılan anten elemanları konumlandırılmıştır. Çoklu elemanlar tarafından oluşturulan bu yeni anten bir dizi olarak çalışabilecektir. Besleme sırasında genlik ve faz hatalarını önlemek için bu dizi antenin beslemesi "feed network" ağ besleme tekniği kullanılarak yapılmıştır. Bu teknik antenler ve hat beslemesi arasındaki empedans uyumunu gerçekleştirecek olan çeyrek dalga dönüştürücülerini temel almaktadır.

Bölüm 2.3 'teki tasarım prensipleri temel alınıp anten çalışması için gerekli optimizasyonlar yapıldıktan sonra, elemanlar arası mesafe $d=37,732$ mm olacak şekilde 1×4 lük bir dizi anten oluşturulmuştur. Tasarlanan antenin geometrik yapısı ve boyutları Şekil 3.7 'de gösterilmektedir.

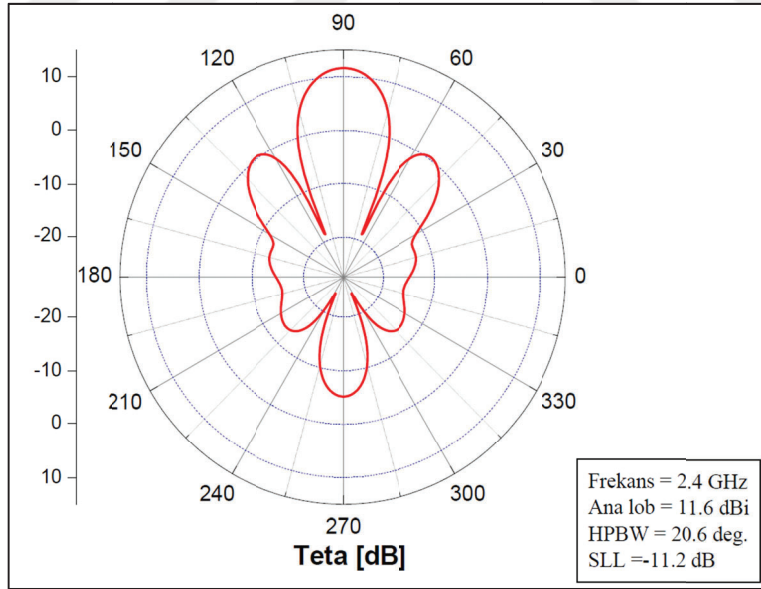


Şekil 3.7. Oluşturulan dizi antenin geometrik yapısı ve boyutları

Antenin S_{11} çalışma parametresi ve uzak alan örüntüsü sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 'da verilmektedir. Böyle bir antende SLL seviyesi istenilen oranlarda azaltılması durumunda düşük SLL seviyesi gerektiren uygulamalar için hem maliyet hem de boyut yönünden avantajlı olacaktır.



Şekil 3.8.Oluşturulan dizi antenin S-11 grafiği



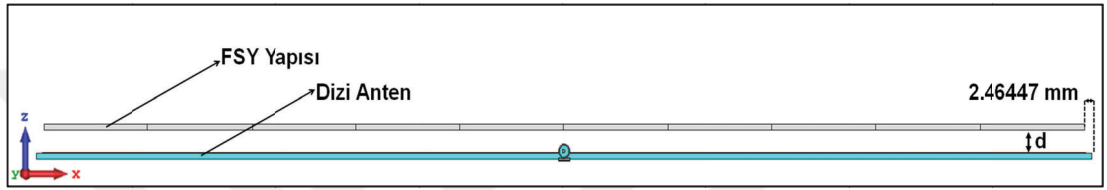
Şekil 3.9. Dizi antenin uzak alan örüntüsü

3.4. SLL Azaltma Çalışmaları

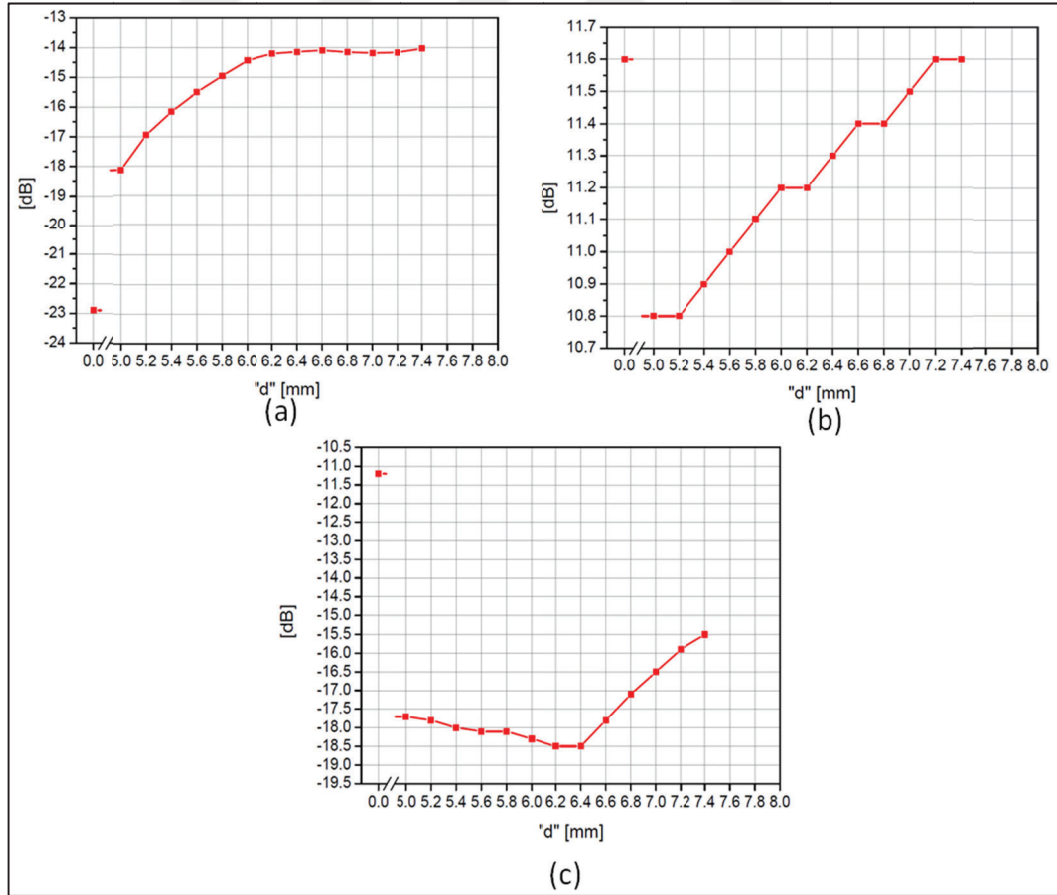
Bu çalışmada SLL azaltma yöntemi olarak, antenin önüne bant geçiren bir FSY yapısı yerleştirmeyi temel almaktadır. Bölüm 3.1 'de tasarlanan FSY yapısı sırasıyla

antenin; E-düzlemi (y-düzlemi), H-düzlemi (x-düzlemi) ve propagasyonu (z-düzlemi) doğrultusunda farklı şekillerde konumlandırılarak SLL seviyesindeki değişimler incelenmiştir.

Öncelikle antenin simetri özelliğinin korunması açısından, antenin yama ve FSY'nin iletken tarafı birbirlerine bakacak şekilde; FSY, antenin x düzleminin pozitif ve negatif taraflarından 2,464 mm aralık olacak şekilde yerleştirip, antenin y düzleminin pozitif tarafına denk gelecek ve z düzleminde aralarında $d=5$ mm olacak şekilde yerleştirilmektedir (Şekil 3.10).

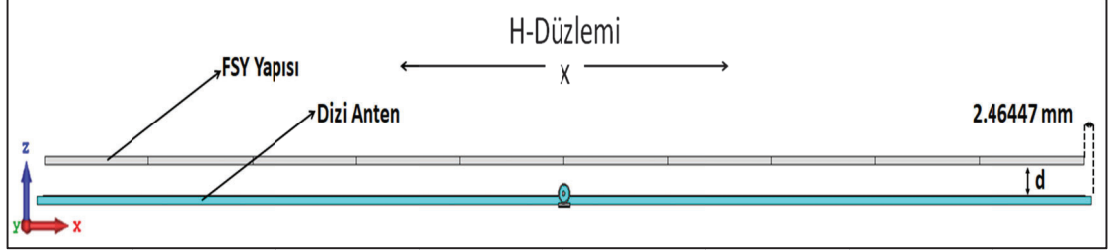


Şekil 3.10. FSY yapısının anten üzerine konumlandırılması



Şekil 3.11. "d" mesafesine bağlı 2,4 GHz de, (a) S11 parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi

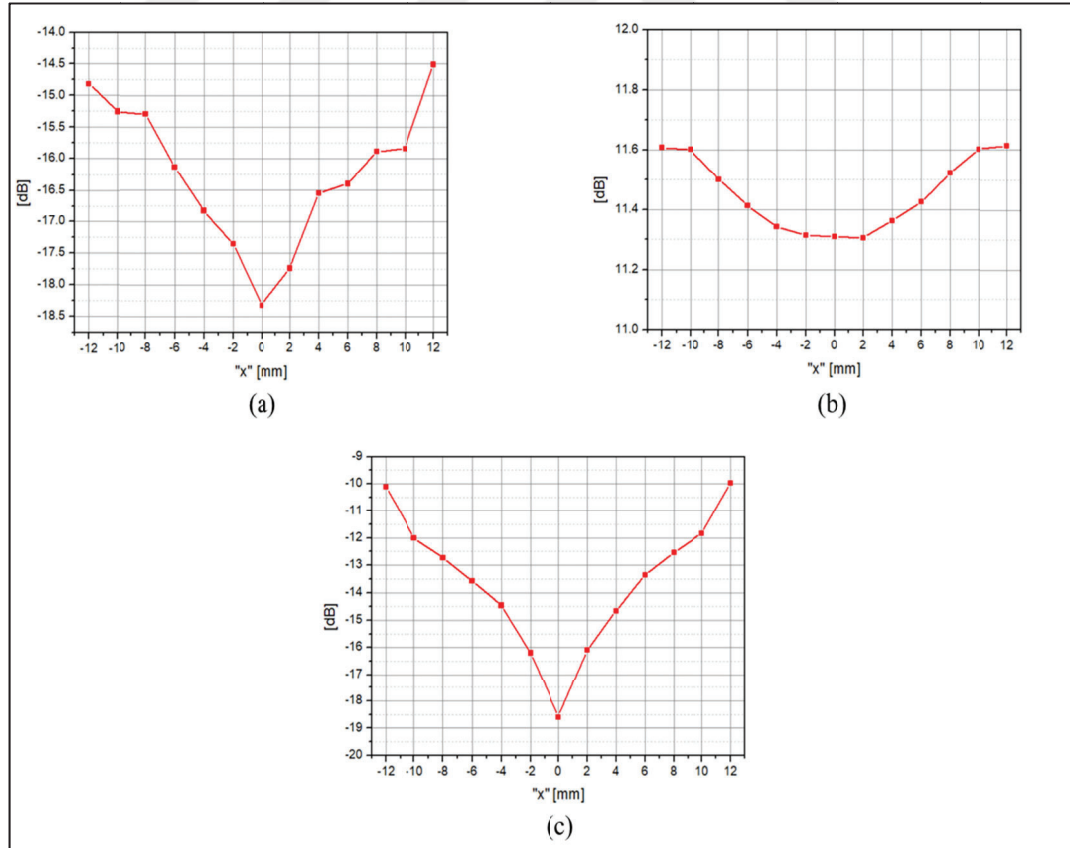
“d” değişiminin anten çalışması üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla S_{11} , ana huzme, SLL seviyesi gibi parametrelerin grafikleri elde edilmiştir (şekil 3.11).



şekil 3.12. FSY nin H-düzlemi doğrultusundaki konumlandırılması

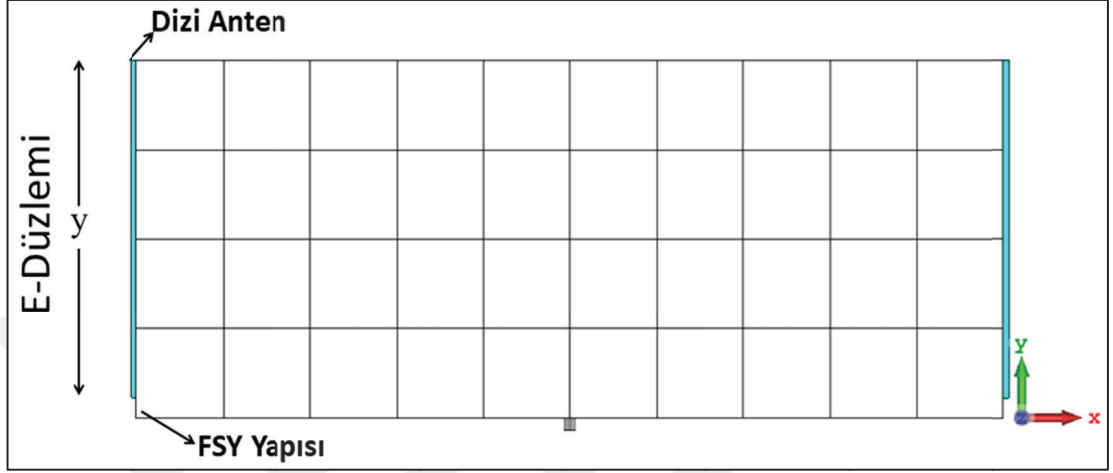
Antenin z düzlemi doğrultusunda optimal çalışma bölgesi için FSY konumu ayarlandıktan sonra x ve y düzlemi doğrultusundaki SLL etkileri incelenmiştir. H-düzlemi doğrultusundaki konumlandırması şekil 3.12 'de gösterilmektedir.

x-düzlemi boyunca FSY 'in hareket ettirilmesinin SLL seviyesindeki, yönlülük ve 2,4 GHz deki S_{11} değişimleri şekil 3.13 üzerinde gösterilmektedir.

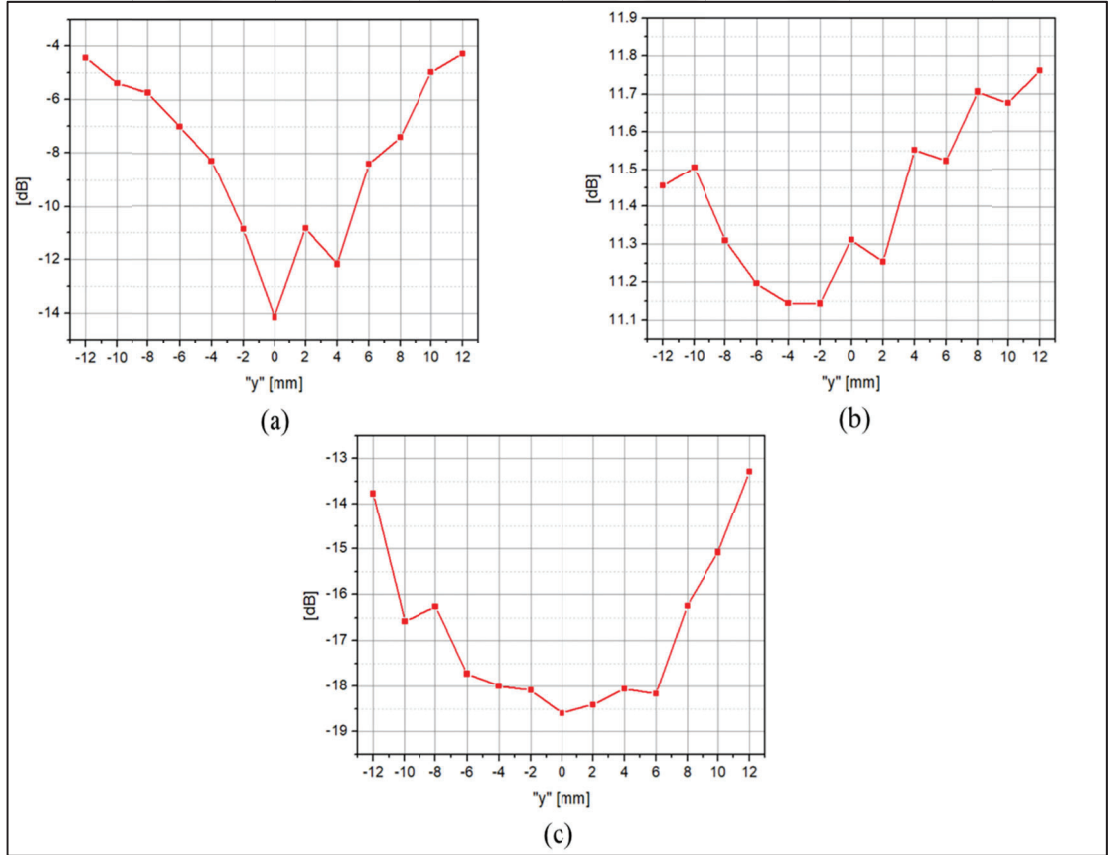


şekil 3.13. x-düzlemi doğrultusunda “x” mesafesine bağlı 2,4 GHz de, (a) S_{11} parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi

E-düzlemi doğrultusundaki konumlandırması Şekil 3.14 'de gösterilmektedir. Bu tasarımın doğrultusunda y-düzlemi boyunca FSY 'in hareket ettirilmesinin 2,4 GHz deki; SLL seviyesi, yönlülük ve S_{11} değişimleri de Şekil 3.15 üzerinde gösterilmektedir.

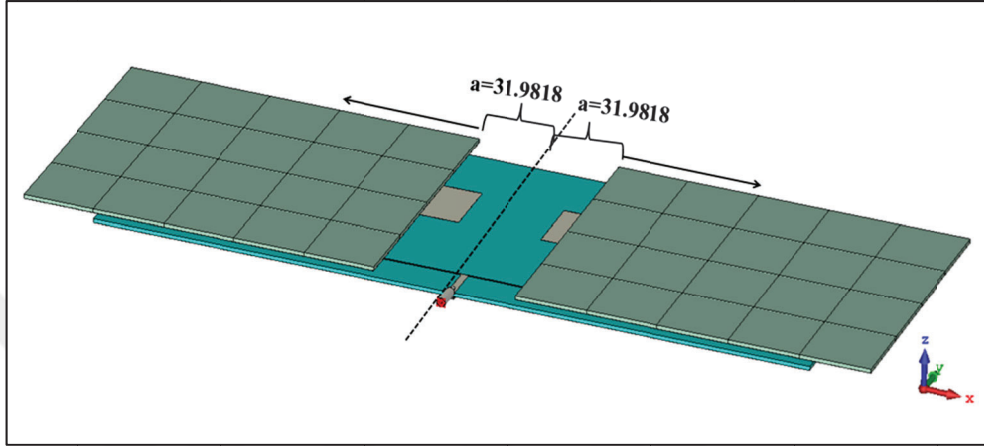


Şekil 3.14.FSY nin E-düzlemi doğrultusundaki konumlandırılması

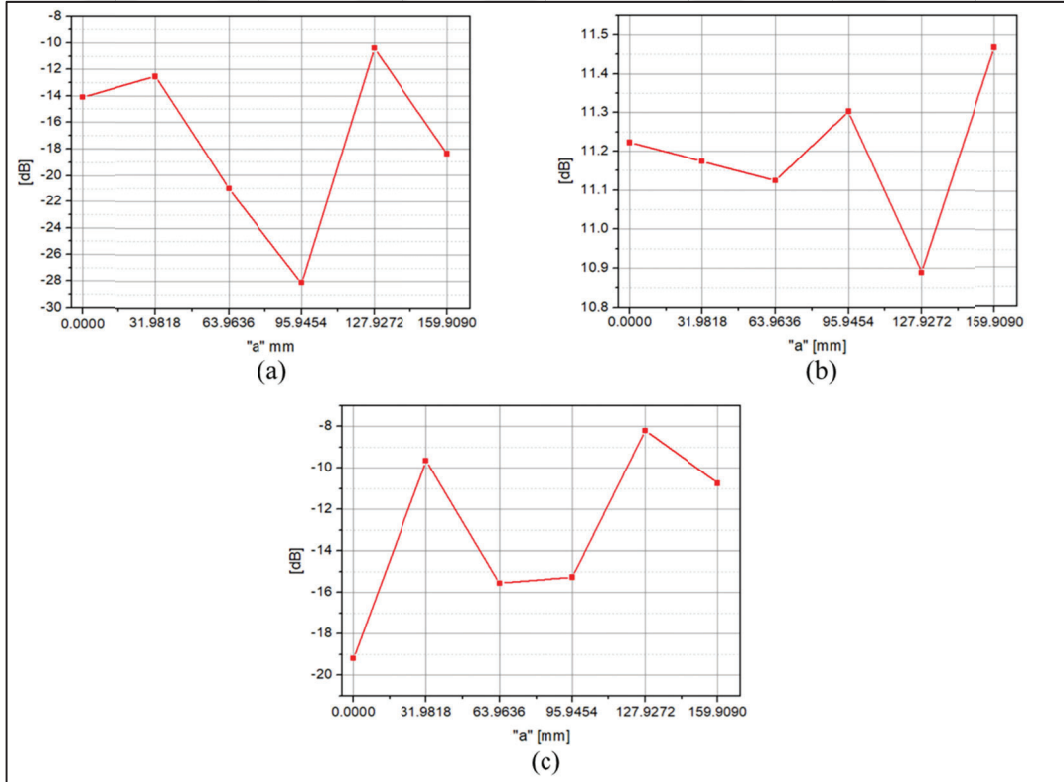


Şekil 3.15. y-düzlemi doğrultusunda "y" mesafesine bağlı 2,4 GHz de, (a) S₁₁ parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi

FSY yapısını x ve y düzlemleri üzerindeki değişimleri gözlemlendikten sonra FSY x-düzleminde iki eşit parçaya ayrılıp bir birim hücre boyutunun katları kadar kaydırılarak (Şekil 3.16) yukarıda yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Bu işlemin SLL seviyesi, yönlülük ve 2,4 GHz deki S_{11} değişimleri Şekil 3.17 üzerinde gösterilmektedir.



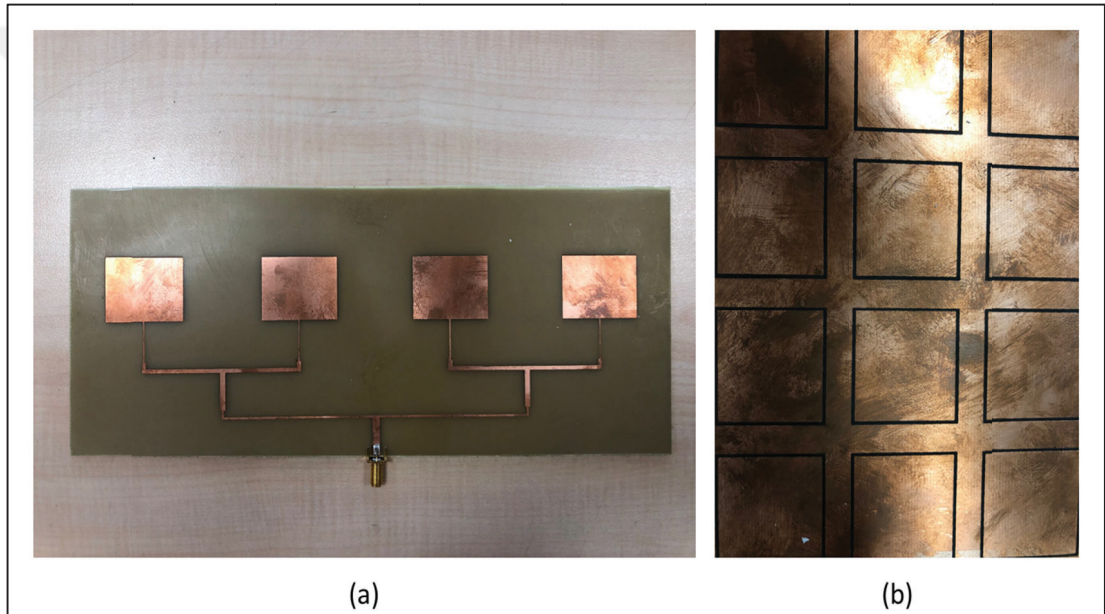
Şekil 3.16. FSY x-düzleminde iki eşit parçaya ayrılıp bir birim hücre boyutunun katları kadar kaydırılması



Şekil 3.17. 2,4 GHz için her bir FSY parçasının x-düzlemi doğrultusunda "a" mesafesine bağlı, (a) S_{11} parametresinin değişimi, (b) uzak alan örüntüsünde ana huzme değerinin değişimi, (c) yan kulakçık seviyesindeki değişimi

4. ANALİZLER VE ÖLÇÜMLER

Tasarlanan ve simülasyon çalışmaları yapılan 1×4 lük dizi anten ve FSY (Şekil 4.2), dielektrik sabiti (ϵ_r) 4,3 ve kalınlığı 1,65 mm olan FR4 mikrodalga kartına basılmıştır. Pratikte, antenlerin istenen frekans bandı boyunca bant genişliğini koruması güçtür. SMA konektörün antene lehimlenmesi sırasında antenin yansıma katsayısı bozulabilmektedir. Bu sebeple lehimlemenin dikkatli yapılması önemlidir.



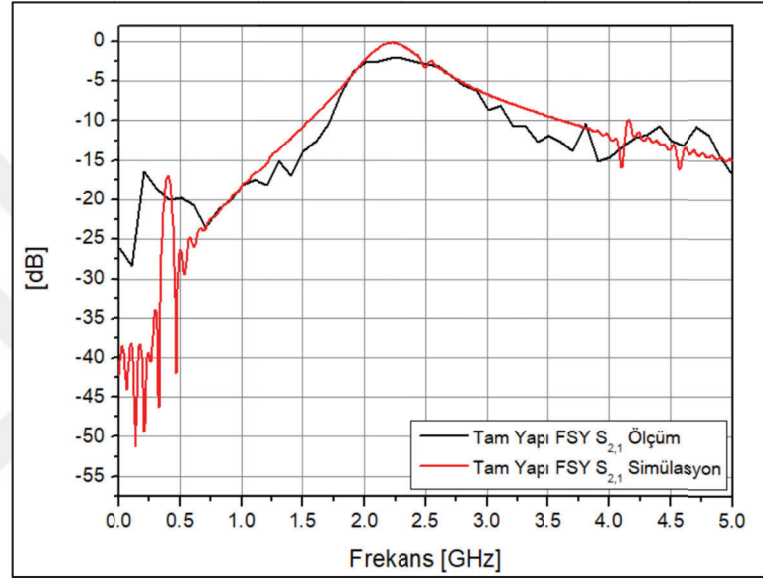
Şekil 4.1. Tasarımları yapılan (a) 1×4 lük dizi anten ve (b)FSF

Gerçeklenen FSF 'nin iletim katsayısı ölçümleri, iki referans antenin düşük kayıplı eş-eksenli kablolar ile Rohde&Schwarz ZVB 20 vektör network analizöre (VNA) bağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. FSF yapısı alıcı ve verici antenlerin direk görüş doğrultusunda, aynı yükseklikte ve referans antenlere eşit uzaklıkta yerleştirilmiştir. FSF yapısının simülasyon ve ölçüm grafikleri Şekil 4.2 'de gösterilmektedir.

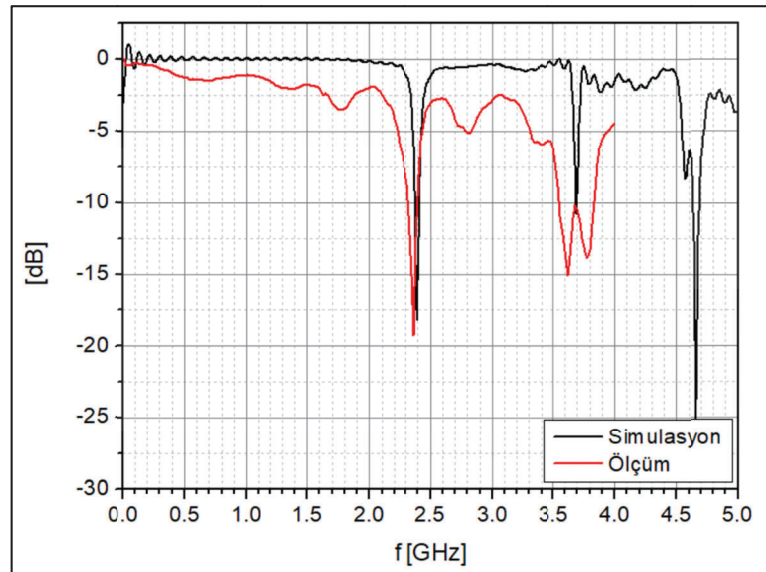
Gerçeklenen dizi antenin yansıma katsayısı ölçümleri, FSF yapısı için de kullanılan kayıplı eş-eksenli tek kablonun VNA ya bağlanmasıyla ölçülmüştür. Dizi antenin yansıma katsayısının ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4.3 'de verilmiştir.

Bölüm 3.4 'te CST programı ile simülasyonu yapılan SLL azaltma çalışmaları

dikkate alınıp, Şekil 3.10 'da FSY-anten konumlandırılması gösterilen istenilen optimum çalışmaya sahip anten sistemi için gerçekleştirilmiştir. Öncelikle tasarlanan sistemin yansımaya katsayısı/frekans değişiminin simülasyon ve ölçüm değerleri (Şekil 4.4) incelenmiştir. Antenlerin ışınma diyagramları ve kazanç ölçümleri Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında yer alan yansımaz odada gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5). DAMS x100 Heavy Duty Measurement System anten ölçüm sistemi kullanılmıştır.

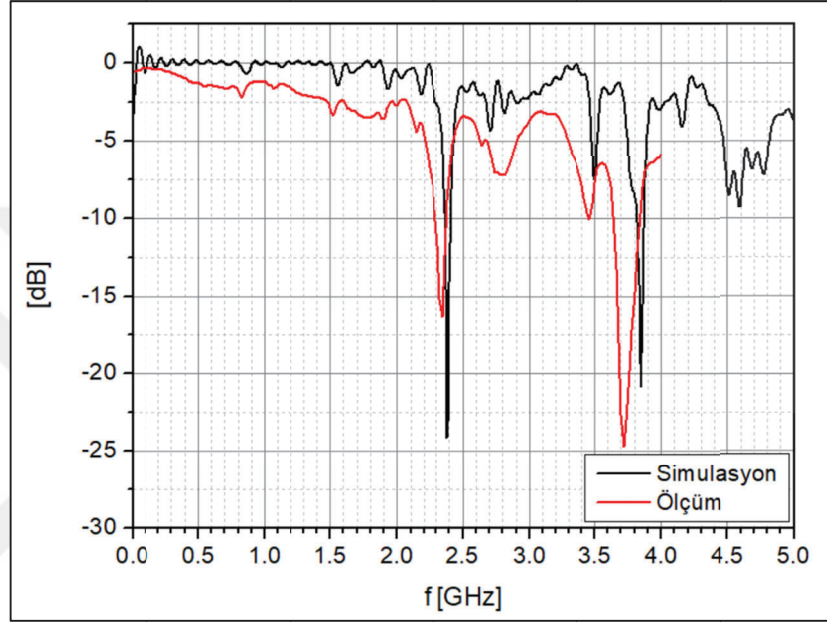


Şekil 4.2. FSY yapısının ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen iletim katsayısı/frekans grafiği

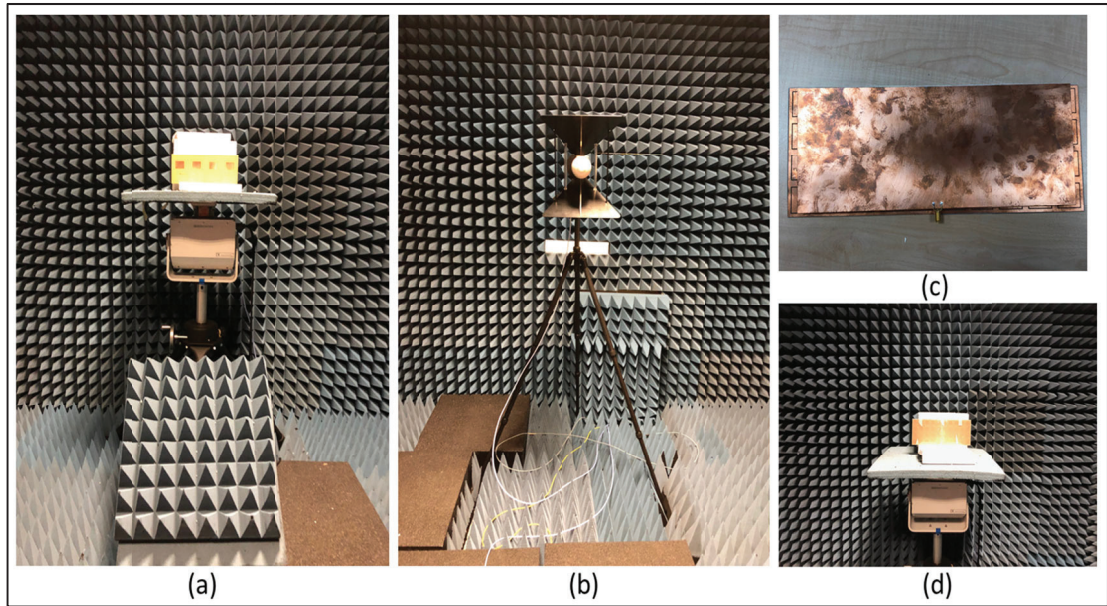


Şekil 4.3. Tasarlanan dizi antenin ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen yansımaya katsayısı/frekans grafiği

Ölçüm için referans anten olarak, 500 MHz–20 GHz frekans aralığında çalışan yüksek kazançlı horn anten kullanılmaktadır. Referans horn anten ile ölçümü yapılan dizi antenin arasındaki uzaklık 2,40m 'dir. Ölçümler sırasında kullanılan verici anten olarak çalışan referans antenin kazanç/frekans bilgileri, verici-alıcı anten arasındaki mesafe gibi bilgiler ölçüm sisteminde kullanılan bilgisayar destekli ara yüz programına yüklenmesiyle ölçümler yapılmıştır.

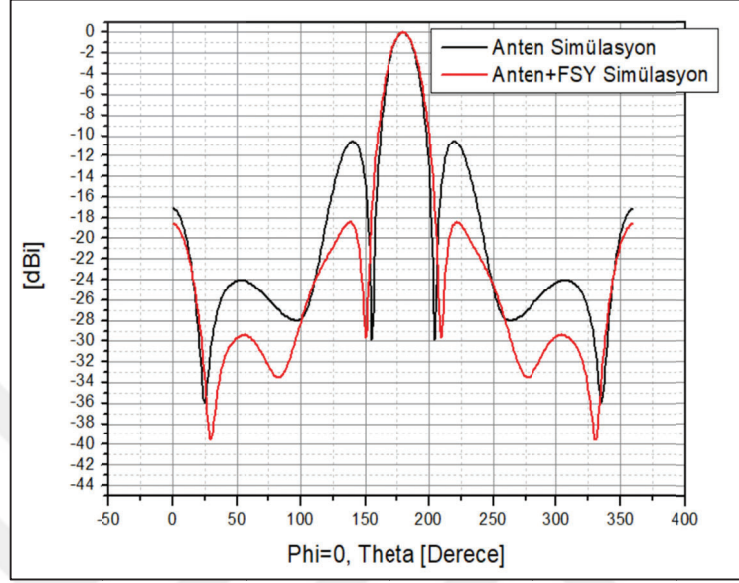


Şekil 4.4. Tasarlanan FSY 'li anten sisteminin ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen yansıtma katsayısı/frekans grafiği



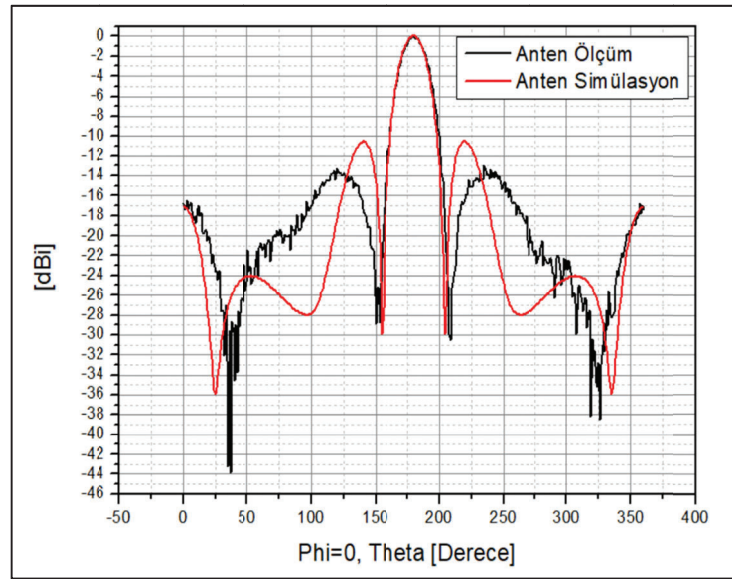
Şekil 4.5. (a) Dizi antenin ölçüm düzeneği, (b) Referans anten, (c) FSY ve Dizi antenin konumlandırılması, (d) FSY 'li sistemin ölçüm düzeneği

Dizi anten ve FSY 'li anten sistemi için CST programı yardımı ile alınan ışın diyagramlarının simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.4 'te gösterilmektedir.

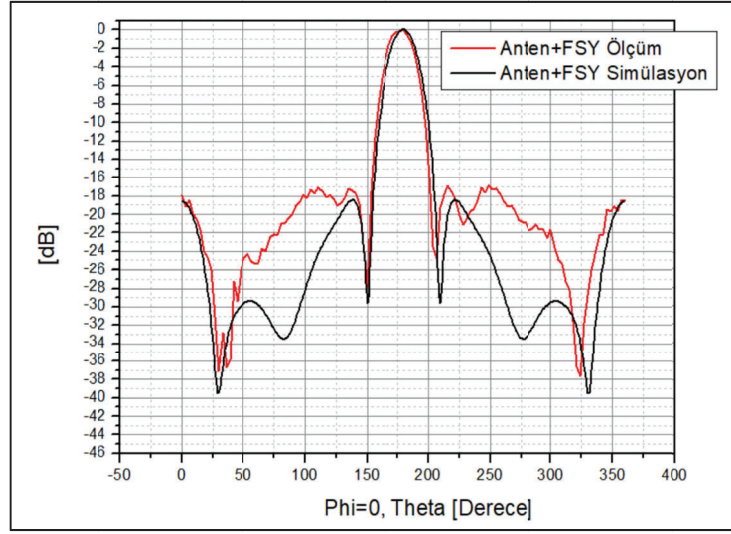


Şekil 4.6. Dizi anten ve FSY'li anten sistemi için simülasyon sonucu alınan ışın diyagramlarının karşılaştırılması

Dizi antenin ve FSY 'li anten sisteminin simülasyon ve ölçüm sonucu alınan ışın diyagramlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4.5 'te ve Şekil 4.6 'da gösterilmektedir.

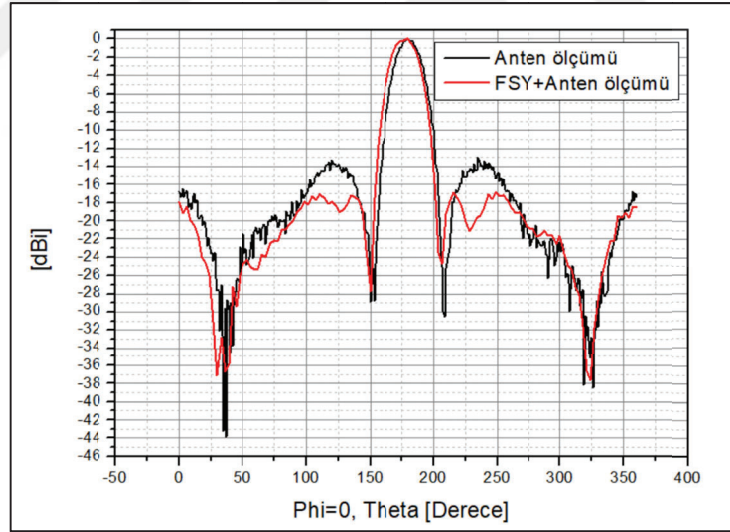


Şekil 4.7. Dizi antenin, simülasyon ve ölçüm sonucu alınan ışın diyagramlarının karşılaştırılması



Şekil 4.8.FSY 'li anten sisteminin simülasyon ve ölçüm sonucu alınan ışına diyagramlarının karşılaştırılması

Dizi antenin ve FSY 'li anten sisteminin ışına diyagramları ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4.7 'de verilmiştir.



Şekil 4.9. Dizi anten ve FSY 'li anten sistemi için ışına diyagramlarının ölçüm sonuçları

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında FSY yapısı kullanılarak 1×4 'lük dizi anten üzerinde SLL azaltma yöntemi anlatılmaktadır. Bu kapsamda özgün bir 1×4 'lük dizi anten ve FSY dizi antenler tasarlanıp, tasarım aşamaları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Tasarlanan dizi anten ve FSY yapısının pratiği yapılarak, ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle antenlerle kullanılan metalmalzemelerin SLL üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Buna bağlı olarak 31,98×31,98 mm² 'lik yüzey oluşturacak şekilde, 4×10 şeklinde birim hücrelerden oluşan FSY yapısı tasarlanmıştır. FSY yapısının iletim katsayısı ölçümleri ve simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında fabrikasyon hatalarından kaynaklı FSY yapısının iletim bandının simülasyondakine göre daha düşük seviyede kaldığı gözlemlenmiştir. Buna rağmen ölçüm sonucu elde edilen iletim katsayısı grafiğinde (Şekil4.2) iletim bandının -3 dB 'nin üzerinde kaldığı gözlenmiştir.

FSY yapısının SLL azaltmada etkili olabilmesi için anten üzerine çok hassas bir şekilde konumlandırılması gerekir. Bu konumlandırma için, CST Microwave Studio programı kullanılarak Bölüm 3.4 'te anlatılan analizler yapılmıştır. Bu analizler incelendiğinde anten sistemi için en düşük SLL seviyesine ve en uygun çalışma parametrelerine sahip FSY anten konumu belirlenmiştir. Bu konumlandırma Şekil 3.10 'da gösterildiği gibi FSY, antenin x düzleminin pozitif ve negatif taraflarından 2,46 mm aralık olacak şekilde yerleştirip, antenin y düzleminin pozitif tarafına denk gelecek ve z düzleminde aralarında d=6,4 mm olacak şekilde yerleştirilmektedir. Dizi antenin ve bu FSY konumlandırmasının simülasyonları sonucunda elde edilen ışınma diyagramlarının karşılaştırılmasında (Şekil 4.6) gösterildiği gibi yan kulakçık seviyeleri arasında 7,3 dB 'lik bir azalma gözlenmiştir. Dizi antenin SLL seviyesi -11,2 dB iken FSY 'li sitemin SLL seviyesi -18,5 dB seviyelerine düşmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda tasarlanan anten ve anten sistemi gerçekleşip yansımaya katsayısı ve ışınma diyagramları ölçüldüğünde dizi antenin ve

FSY 'li sistemin yansıma katsayısı/frekans grafiğinde (sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4) simülasyondakine göre frekansta kayma ve rezonans değerlerinde ihmal edilebilir bir sapma olduğu gözlenmiştir. Dizi antenin ışın diyagramının ölçümünde SLL seviyesi, simülasyon sonucuna göre 2 dB daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu tarz hataların sebebi üretim sırasında oluşan düzensizlikler ve SMA konnektörün lehimlenmesinin empedans uyumuna etkisidir.

FSY 'li Anten sisteminin ışın diyagramı ölçümü dikkate alındığında SLL seviyesinde, dizi anteninkine göre yaklaşık -4 dB 'lik bir azalma olmuştur. Simülasyon ile ölçüm arasındaki bu performans farkının sebebi FSY konumlandırılmasının z-düzleminde 0,2 mm hareketi antenin yansıma katsısını ve ana huzmenin değerini ciddi bir şekilde etkilemezken, SLL seviyesinde ciddi değişimlere sebep olmasıdır. Eğer FSY yapısı antenin üzerine z-düzlemi doğrultusunda tam olarak dizi antenle aralarında 6,4 mm olacak şekilde yerleştirilebilirse SLL seviyesindeki azalmanın artacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Banerjee S., Dwivedi V.V., Linear Antenna Array Synthesis to Reduce the Interference in the Side Lobe Using Continuous Genetic Algorithm, *Fifth International Conference on Advances in Computing and Communications (ICACC)*, Kochi, India, 2-4 Sept. 2015.
- [2] Ram G., Mandal D., Kar R., Ghoshal S. P., Design of circular antenna arrays for the reduction of side lobe and first null beamwidth using BFO, *International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP)*, Dhanbad, India, 13-15 Dec. 2013.
- [3] Panduro M.A., Mendez A.L., Romero G., Dominguez R.F., Design of Non-uniform Circular Phased Arrays using Genetic Algorithms to Reduce the Maximum Side Lobe During Scanning, *IEEE 63rd Vehicular Technology Conference*, Melbourne, Vic., Australia, 7-10 May 2006.
- [4] Gangwar V. S., Singh A. K., Singh S. P., Side lobe level suppression in randomly spaced linear array using genetic Algorithm, *IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, Hyderabad, India, 10-12 Dec. 2015.
- [5] Reddy K. Y., Kumar R. B., Jijenth M., Devi M., Synthesis of a thinned planar antenna array with suppressed peak side lobe level using modified binary coded genetic algorithm (MBC-GA), *International Conference on Circuits, Controls, and Communications (CCUBE)*, Bangalore, India, 15-16 Dec. 2017.
- [6] Vaidya A. R., Gupta R. K., Mishra S. K., Mukherjee J., High-Gain Low Side Lobe Level Fabry Perot Cavity Antenna With Feed Patch Array, *Progress In Electromagnetics Research C*, 2012, **28**, 223–238.
- [7] Wang M., Huang C., Pu M., Luo X., Reducing Side Lobe Level Of Antenna Using Frequency Selective Surface Superstrate, *Microwave and Optical Technology Letters*, 2015, **57**(8), 1971-1975.
- [8] Yu Y.-H., Zong Z.-Y., Wu W., Fang D.-G., Robust Design of Low Side Lobe Level Microstrip Antenna Array by Using Lossy Superstrate, *12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018)*, London, UK, 9-13 April 2018.
- [9] Naqvi A. H., Tahir F. A., A Super Wideband printed antenna with enhanced gain using FSS structure, *12th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan, 13-17 Jan. 2015.

- [10] Lucena F. A. C. S., Silva C. P. N., Pedrosa T. L., de Melo M. T., Gain Enhancement Of Dual-Band Antenna Using Square Loop FSS, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, San Diego, CA, USA, 9-14 July 2017.
- [11] Mantash M., Kakhki M.B., Denidni T. A., Millimeter-Wave Circularly Polarized Vivaldi Antenna Using Simple Single Layer 2D FSS Polarizer, *18th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)*, Waterloo, ON, Canada, 19-22 Aug. 2018.
- [12] Wang M., Huang C., Chen P., Wang Y., Zhao Z., Luo X., Controlling Beamwidth of Antenna Using Frequency Selective Surface Superstrate, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2014, **13**, 213 – 216.
- [13] Vikrant, Khanna R., A Comparison in the Performance of Microstrip Patch Antenna with and without EBG Substrate and Superstrate, *Third International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT)*, Rohtak, India, 6-7 April 2013.
- [14] Scattone F., Fonseca N. J. G., Ettorre M., Sauleau R., Irregular superstrate array for the reduction of the side lobe level in satcom user terminal antennas, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, Fajardo, Puerto Rico, 26 June-1 July 2016.
- [15] Yu Y.H., Zong Z.Y., Wu W., Fang D.G., Robust design of low side lobe level microstrip antenna array by using lossy superstrate, *12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018)*, London, UK, 9-13 April 2018.
- [16] Kumar A., Mitra R., Gain and Side Lobe Level Enhancement of Array Antennas Using Metasurface Superstrates, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Boston, MA, USA, 8-13 July 2018.
- [17] MUNK B. A., *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*, 1st ed., John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [18] Henderson L. W., The Scattering of Planar Arrays of Arbitrary Shaped Slot and/or Wire Elements in a Stratified Dielectric Medium, Ph.D. Dissertation, Ohio State Univ., Dept. of Electrical Eng., Columbus, 1983.
- [19] Munk B. A., Burrell G. A., Plane Wave Expansion for Arrays of Arbitrarily Oriented Piecewise Linear Elements and Its Application in Determining the Impedance of a Single Linear Antenna in a Lossy Half-Space, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 1979, **34**(3), 331-343.
- [20] Gutton H., Baissinot G., “Flat Aerial for Ultra High Frequencies,” French Patent No. 703113, 1995.
- [21] Munson R. E. , “Single Slot Cavity Antennas Assembly”, U.S. Patent No.3713162, Jan 23, 1973.

- [22] Howell J. Q. , “Microstrip Antennas,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Jan 1975, **14**(1),.90-93.
- [23] Garg R., Bhartia P., Bahl I., Ittipiboon A., *Microstrip Antenna Design Handbook*, 1st ed., Artec House Inc.,Norwood MA,2001.
- [24] Balanis C.A., *Antenna Theory-Analysis and Design* , 3rd ed., John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey, 2005.



KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Çimen S., Ay İ., Frekans Seçici Yüzey İle Dizi Antende Yan Kulakçık Seviyesi Azaltma, *Uluslararası Marmara Fen Ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 26-28 Nisan 2019.



ÖZGEÇMİŞ

İsmail Ay 1991’de Hatay’ın İskenderun ilçesinde doğdu. 2005-2009 yılları arasında İskenderun Cumhuriyet Anadolu Lisesinde okudu. 2010 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

