

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİPSİZ RFID ETİKETLER İÇİN FİLTRE TEORİSİ VE  
ÇOK MODLU REZONATÖRLER TEMELLİ HİBRİT  
TASARIM YAKLAŞIMI**

**Tezi Hazırlayan  
Mert BÜYÜKTUNA**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2022  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİPSİZ RFID ETİKETLER İÇİN FİLTRE TEORİSİ VE  
ÇOK MODLU REZONATÖRLER TEMELLİ HİBRİT  
TASARIM YAKLAŞIMI**

**Tezi Hazırlayan  
Mert BÜYÜKTUNA**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2022  
NEVŞEHİR**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmam boyunca bana yol gösteren ve hiçbir yardımı esirgemeyen, tanıdığım günden beri bana her konuda ışık tutan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR'e,

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren deęerli aileme,

Desteklerinden dolayı ArŐ. Gör. Alper TÜRKELİ'ye,

Deneyssel alıŐmalar için laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan Nięde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne ve yardımlarından dolayı ArŐ. Gör. Engin DOęAN'a,

Tezimin gerçekleŐmesinde 119E476 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

# ÇİPSİZ RFID ETİKETLER İÇİN FİLTRE TEORİSİ VE ÇOK MODLU REZONATÖRLER TEMELLİ HİBRİT TASARIM YAKLAŞIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mert BÜYÜKTUNA

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

## ÖZET

Bu tez çalışmasında çok modlu rezonatörler ve band durduran mikrodalga filtreler kullanılarak hibrit model çipsiz Radyo Frekansı Tanımlama (Radio Frequency Identification-RFID) etiket tasarımı sunulmaktadır. Tasarlanan çipsiz RFID etiket ile farklı kodlar elde etmek amacıyla farklı frekanslarda ve farklı boyutlarda çok modlu rezonatör ve filtre tasarımları ele alınmaktadır. Çok modlu rezonatör olarak, açık uçlar arasında interdigital kapasitörlere sahip olan dış ve iç açık halka rezonatörlerden oluşan çift rezonans karakteristiği sergileyen eş yönlü ayrık halka rezonatör (Co-Directional Split Ring Resonator-CDSRR) kullanılmaktadır. Tasarlanan rezonatör yapısı ile dört farklı kod elde edilmektedir. Band durduran filtre ise, tek rezonansa sahip açık devre sonlandırılmış yan hatlar ile tasarlanmaktadır. Bu band durduran filtre yapısı ile iki farklı frekans kodu elde edilmektedir. Rezonatör ve band durduran filtre yapısının besleme hattına kuplajlanması suretiyle hibrit bir rezonans devresi konfigürasyonu elde edilmektedir. Etiket tasarımında iki adet rezonatör ve sekiz adet yan hat kullanılmaktadır. Yan hatlardan sekiz farklı rezonans frekansı elde edilirken, rezonatörlerden dört farklı rezonans frekansı elde edilebilmektedir. Her bir rezonans frekansı bir biti temsil etmek suretiyle, tasarlanan rezonatörler 4 bit ve  $2^4$  farklı kod, yan hatlar ise 8 bit ve  $2^8$  farklı kod oluşturulmasına izin vermektedir. Tez kapsamında ayrıca iki adet elipsten oluşturulmuş geniş band monopol anten tasarımı da sunulmaktadır. Tasarlanan anten ve rezonans devresinin çalışma frekansları 2-6 GHz arasındadır. İki monopol anten rezonans devresinin giriş ve çıkış portları yerine dikey ve yatay kutuplanmada yerleştirilerek çipsiz RFID etiket tasarlanmaktadır. Tasarlanan etiketlerden iki farklı koda sahip devre imal edilmiş ve testleri huni antenler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan hibrit model

ipsiz RFID etiket tasarımı 12 rezonans frekansına ve toplamda  $2^{12}$  farklı kod kapasitesine sahiptir. Ölüm ve simülasyon sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.

***Anahtar kelimeler: ipsiz RFID etiket, Eř yönlü ayırık halka rezonatör, Band durduran filtre, Geniş band monopol anten.***

**Tez Danışman: Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Sayfa Adeti: 86**



**HYBRID DESIGN APPROACH BASED ON FILTER THEORY AND  
MULTIMODE RESONATORS FOR CHIPLESS RFID TAGS  
(M. Sc. Thesis)**

**Mert BUYUKTUNA**

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**June 2022**

**ABSTRACT**

In this thesis, a hybrid model chipless Radio Frequency Identification (RFID) tag design is presented by using multi-mode resonators and bandstop microwave filters. In order to obtain different codes with the designed chipless RFID tag, multi-mode resonator and filter designs at different frequencies and different sizes are discussed. Co-Directional Split Ring Resonator (CDSRR), which exhibits double resonance characteristics, consisting of outer and inner open ring resonators with interdigital capacitors between the open ends, is used as a multi-mode resonator. Four different codes are obtained by virtue of the designed resonator structure. The bandstop filter is designed by single resonant open-circuited stubs. Two different frequency codes are obtained with the bandstop filter structure. A hybrid resonant circuit configuration is obtained by coupling the resonator and bandstop filter structure to the feeding line. Two resonators and eight open-circuited stubs are used in the tag design. Four different resonance frequencies can be obtained from the resonators, while eight different resonance frequencies are obtained from the open-circuited stubs. Each resonant frequency represents one bit so that the designed resonators allow 4 bits and  $2^4$  different codes, and open-circuited stubs allow 8 bits and  $2^8$  different codes. In the thesis, a wideband monopole antenna design formed by two ellipses is also presented. Operating frequencies of the designed antenna and resonant circuit are between 2-6 GHz. A chipless RFID tag is designed by placing two monopole antenna resonant circuits in vertical and horizontal polarization instead of input and output ports. Circuits with two different codes were manufactured from the designed tags and tests were carried out with the help of horn antennas. The designed hybrid model chipless RFID tag design has 12 resonance frequencies and a total of  $2^{12}$  different code

capacities. A good agreement was observed between the measurement and simulation results.

***Keywords: Chipless RFID tag, Split ring resonator, Bandstop filter, Wideband monopole antenna .***

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Page Number: 86**





## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xivv
RESİMLER LİSTESİ .....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xxiii
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Amaç ve Kapsam .....	1
1.2. Literatür Özeti .....	2
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>FREKANS KODLAMA METODU</b> .....	9
2.1. Çift Modlu Eş Yönlü Ayrık Halka Rezonatörler .....	9
2.1.1. CDSRR tasarımı ile dört durumun elde edilme yöntemi .....	12
2.1.1.1. ‘00’ kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi .....	12
2.1.1.2. ‘01’ kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi .....	13
2.1.1.3. ‘10’ kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi .....	14
2.1.1.4. ‘11’ kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi .....	15
2.1.2. CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımı .....	16

2.2.	Açık Devre Sonlandırılmış Yan hat Tabanlı Band Durduran Filtre Tasarımı	17
2.2.1.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımı ile iki durumun elde edilme yöntemi.....	18
2.2.1.1.	‘0’ kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi.....	18
2.2.1.2.	‘1’ kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi.....	18
2.2.2.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımı .....	19

### **BÖLÜM 3**

#### **GENİŞ BAND MONOPOL ANTEN TASARIMI .....**

22

3.1.	Daire Şekilli Yama Yüzeyine Sahip Geniş Band Monopol Anten Tasarımı	22
3.2.	Elips Şekilli Yama Yüzeyine Sahip Geniş Band Monopol Anten Tasarımı	29

### **BÖLÜM 4**

#### **HİBRİT MODEL ÇOKLU REZONANS DEVRE TASARIMI.....**

37

4.1.	CDSRR Devrelerinin Çoklu Rezonans Devre Tasarımına Eklenmesi.....	37
4.1.1.	CDSRR eklenen çoklu rezonans devresinin minyatürizasyonu.....	38
4.1.2.	CDSRR eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi	39
4.1.2.1.	CDSRR eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi esnasında meydana gelen frekans kaymalarının minimize edilmesi.....	41
4.1.3.	CDSRR eklenen çoklu rezonans devresinin rezonans frekanslarının düzenlenmesi.....	43

4.2.	Açık Devre Sonlandırılmış Yan hat Tabanlı Band Durduran Filtre Devrelerinin Çoklu Rezonans Devre Tasarımına Eklenmesi.....	45
4.2.1.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre yapısı eklenen çoklu rezonans devresinin minyatürizasyonu .....	47
4.2.2.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımı eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi .....	52
4.2.2.1.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi esnasında meydana gelen frekans kaymalarının minimize edilmesi.....	56
4.3.	Ortogonal Portlu Hibrit Çoklu Rezonans Devre Tasarımı .....	58
4.3.1.	Ortogonal portlu hibrit çoklu rezonans devre tasarımıyla farklı bit kodlarının elde edilmesi.....	60

## **BÖLÜM 5**

### **HİBRİT MODEL ÇİPSİZ RFID ETİKET TASARIMI .....**

62

5.1.	Hibrit Model 12 Bit Çoklu Rezonans Devre Tasarımına Geniş Band Monopol Anten Devresinin Eklenmesi.....	62
5.2.	Önerilen Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket Yapısının Yalnızca CDSRR Yapısıyla Tasarlanan 12 Bit Çipsiz RFID Etikete Göre Avantajları .....	66
5.3.	Önerilen Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket Yapısının Yalnızca Açık Devre Sonlandırılmış Yan hat Yapısıyla Tasarlanan 12 Bit Çipsiz RFID Etikete Göre Avantajları .....	67
5.4.	Önerilen Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket Yapısının Bit Frekanslarının Birbirlerine Olan Maksimum Yaklaşma Durumunun İncelenmesi.....	70

## **BÖLÜM 6**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....**

73

6.1. Geniş Band Monopol Anten.....73

6.2. Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket.....75

## **BÖLÜM 7**

**SONUÇ VE ÖNERİLER**.....78

**KAYNAKLAR** .....81

**ÖZGEÇMİŞ** .....86



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.) .....	11
Tablo 2.2. CDSRR tabanlı dört bir çipsiz RFID etiket tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.) .....	17
Tablo 2.3. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	21
Tablo 3.1. Daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	23
Tablo 3.2. Yapılan parametrik çalışmalar sonrası daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.) .....	26
Tablo 3.3. Elips şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	30
Tablo 3.4. Elips şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	33
Tablo 4.1. CDSRR tabanlı 4 bit çoklu rezonans devre tasarımına ait son boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	45
Tablo 4.2. CDSRR ve yan hat tabanlı 12 bit çoklu rezonans devresine ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	47
Tablo 4.3. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin CDSRR devrelerinin yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.) .....	52

Tablo 4.4. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresine ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	60
Tablo 5.1. Hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alacak olan toprak düzlem tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	64
Tablo 5.2. Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.) .....	65
Tablo 7.1. Tasarlanan hibrit model çipsiz RFID etiket ile literatürdeki bazı çipsiz RFID etiketlerin karşılaştırması .....	80

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	(a) Eş yönlü ayırık halka rezonatör (CDSRR) (b) interdigital kapasitör.....	10
Şekil 2.2.	CDSRR devre tasarımının frekans cevabı ve bit gösterimi.....	11
Şekil 2.3.	$l_1$ uzunluğunun frekans cevabına etkisi.....	11
Şekil 2.4.	$l_2$ uzunluğunun frekans cevabına etkisi .....	12
Şekil 2.5.	'00' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı.....	12
Şekil 2.6.	'00' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı ..	13
Şekil 2.7.	'01' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı.....	13
Şekil 2.8.	'01' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı ..	14
Şekil 2.9.	'10' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı.....	14
Şekil 2.10.	'10' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı ..	15
Şekil 2.11.	'11' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı.....	15
Şekil 2.12.	'11' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı ..	16
Şekil 2.13.	CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımı .....	16
Şekil 2.14.	CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevabı.....	17
Şekil 2.15.	(a) '0' bit kodlu, (b) '1' bit kodlu açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımı .....	19
Şekil 2.16.	'0' ve '1' bit kodlu açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımının frekans cevabı .....	19
Şekil 2.17.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımı .....	20
Şekil 2.18.	Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevabı .....	20
Şekil 3.1.	Daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımı .....	23
Şekil 3.2.	Daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımı frekans cevabı.	23

Şekil 3.3.	$R_1$ parametresinin monopul antenin frekans cevabına etkisi .....	24
Şekil 3.4.	$d_{gap}$ parametresinin monopul antenin frekans cevabına etkisi.....	24
Şekil 3.5.	$W_{gnd}$ parametresinin monopul antenin frekans cevabına etkisi.....	25
Şekil 3.6.	Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopul antenin $S_{11}$ cevabına göre kazancı .....	25
Şekil 3.7.	Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopul antenin 2.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	26
Şekil 3.8.	Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopul antenin 3.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	27
Şekil 3.9.	Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopul antenin 4.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	28
Şekil 3.10.	Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopul antenin 5.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	28
Şekil 3.11.	(a) Elips şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopul anten tasarımı, (b) yatay olarak yerleştirilmiş elips yamanın iletim hattına uzaklığı.....	29
Şekil 3.12.	Elips şekilli yama yüzeyine sahip monopul anten tasarımı frekans cevabı .	30
Şekil 3.13.	$R_1$ parametresinin monopul antenin frekans cevabına etkisi .....	30
Şekil 3.14.	$R_4$ parametresinin monopul antenin frekans cevabına etkisi.....	31
Şekil 3.15.	$L_2$ parametresinin monopul antenin frekans cevabına etkisi.....	31



Şekil 3.16. (a) Elips şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten tasarımının son hali, (b) yatay olarak yerleştirilmiş elips yamanın iletim hattına uzaklığı .....	32
Şekil 3.17. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin $S_{11}$ cevabına göre kazancı .....	32
Şekil 3.18. Elips şekilli yama yüzeye sahip monopol anten tasarımı ile daire şekilli yama yüzeye sahip monopol anten tasarımının geri dönüş kaybı değerlerinin ve kazançlarının karşılaştırılması.....	33
Şekil 3.19. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 2.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	34
Şekil 3.20. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 3.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	35
Şekil 3.21. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 4.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	35
Şekil 3.22. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 5.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma.....	36
Şekil 4.1. CDSRR tabanlı çoklu rezonans devresi tasarımı .....	38
Şekil 4.2. CDSRR tabanlı çoklu rezonans devresi tasarımının frekans cevabı.....	38
Şekil 4.3. Mikroşerit iletim hattının alt ve üst kısmına kuplajlanan CDSRR tabanlı çoklu rezonans devre tasarımı .....	39

Şekil 4.4. (a) ‘0000’ bit kodlu, (b) ‘1001’ bit kodlu, (c) ‘0110’ bit kodlu, (d) ‘1010’ bit kodlu çoklu rezonans devre tasarımı.....	40
Şekil 4.5. CDSRR tabanlı çoklu rezonans devrelerinin farklı bit kodlarının frekans cevabı ve bitlerde oluşan frekans kaymalarının gösterimi.....	40
Şekil 4.6. CDSRR tasarımında yer alan $l_1$ ve $l_7$ uzunluklarının farklı bit kodları elde edilirken oluşan frekans kaymalarına olan etkisi ( $l_1 = 3.1$ mm ve $l_7 = 4.9$ mm ) .....	42
Şekil 4.7. CDSRR tasarımında yer alan $l_1$ ve $l_7$ uzunluklarının farklı bit kodları elde edilirken oluşan frekans kaymalarına olan etkisi ( $l_1 = 2.4$ mm ve $l_7 = 3.7$ mm ) .....	42
Şekil 4.8. CDSRR tasarımında yer alan $l_1$ ve $l_7$ uzunluklarının farklı bit kodları elde edilirken oluşan frekans kaymalarına olan etkisi ( $l_1 = 1.4$ mm ve $l_7 = 2.4$ mm ) .....	42
Şekil 4.9. Frekans düzenlemesi yapılan CDSRR tabanlı çoklu rezonans devre tasarımı .....	44
Şekil 4.10. Frekans düzenlemesi yapılan CDSRR tabanlı çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı ve bit gösterimi.....	44
Şekil 4.11. CDSRR ve yan hat tabanlı çoklu rezonans devre tasarımı ( $154.4 \times 40$ mm <sup>2</sup> ) .....	46
Şekil 4.12. CDSRR ve yan hat tabanlı 12 bit çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı .....	46
Şekil 4.13. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımı ( $106.2 \times 25$ mm <sup>2</sup> ).....	48
Şekil 4.14. L şekilli ve düz şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımlarının frekans cevaplarının karşılaştırılması .....	48

Şekil 4.15. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin aralarında $d_1 = 1.5$ mm ve $d_2 = 1$ mm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımı ( $45 \times 30$ mm <sup>2</sup> ).....	49
Şekil 4.16. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin aralarında $d_1 = 1.5$ mm ve $d_2 = 1$ mm mesafe olacak şekilde ve $\lambda/4$ aralıklarla yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımlarının frekans cevabı karşılaştırması .....	49
Şekil 4.17. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin CDSRR yapılarının çevresine yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımı ( $32 \times 30$ mm <sup>2</sup> ).....	51
Şekil 4.18. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin CDSRR yapılarının çevresine yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı ..	51
Şekil 4.19. 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan yapıların temsil ettiği bit gösterimi .....	53
Şekil 4.20. Hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının elde edilme yöntemi (a) ‘000000000000’ bit kodu, (b) ‘100100100100’ bit kodu, (c) ‘001001001001’ bit kodu, (d) ‘101010101010’ bit kodu, (e) ‘110000110000’ bit kodu, (f) ‘1101101101 .....	54
Şekil 4.21. Hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının frekans cevabı karşılaştırması .....	55
Şekil 4.22. Hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan $W_d$ uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $W_d = 3.5$ mm).....	57
Şekil 4.23. Hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan $W_d$ uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $W_d = 4.5$ mm).....	57
Şekil 4.24. Hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan $W_d$ uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $W_d = 5.5$ mm).....	57
Şekil 4.25. $18 \Omega$ 'luk iletim hattına sahip hibrit model çoklu rezonans devre tasarımı ..	58

Şekil 4.26. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devre tasarımı .....	59
Şekil 4.27. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı .....	60
Şekil 4.28. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının elde edilme yöntemi (a) ‘000000000000’ bit kodu, (b) ‘101010101010’ bit kodu, (c) ‘010101010101’ bit kodu, (d) ‘100100100100’ bit kodu.....	61
Şekil 4.29. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının frekans cevaplarının karşılaştırılması .....	61
Şekil 5.1. Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımına eklenecek olan geniş band monopol anten devresi .....	63
Şekil 5.2. Hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alacak olan toprak düzlem tasarımı .....	64
Şekil 5.3. Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımı .....	65
Şekil 5.4. Yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ( $L_1 = 31$ mm ve $L_2 = 74.7$ mm ) .....	66
Şekil 5.5. Yalnızca CDSRR devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket yapısının ve önerilen çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevapları .....	67
Şekil 5.6. Yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat yapısı kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ( $L_1 = 31$ mm ve $L_2 = 51.7$ mm ).....	68
Şekil 5.7. Yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket yapısının ve önerilen çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevapları .....	69
Şekil 5.8. Açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin ve CDSRR devrelerinin bit frekansları arasındaki maksimum yaklaşma durumu .....	70

Şekil 5.9. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri ile elde edilen iki bit frekansının arasındaki maksimum yaklaşma durumu .....	71
Şekil 6.1. İmal edilen elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol anten devresinin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması .....	74
Şekil 6.2. İmal edilen ultra geniş band monopol antenin ışınma diyagramlarına ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (a) 3.5 GHz’de x-z kutuplanma (b) 3.5 GHz’de y-z kutuplanma (c) 4.5 GHz’de x-z kutuplanma (d) 4.5 GHz’de y-z kutuplanma .....	75
Şekil 6.3. İmal edilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiketin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (a) ‘000000000000’ bit kodlu, (b) ‘100100100100’ bit kodlu .....	77

## RESİMLER LİSTESİ

- Resim 6.1. İmal edilen geniş band monopol anten.....73
- Resim 6.2. İmal edilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket fotoğrafı (a)  
'000000000000' bit kodlu, (b) '100100100100' bit kodlu ..... 75
- Resim 6.3. Ölçüm anına ait fotoğraf .....76



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>RFID</b>	Radyo frekansı tanımlama (Radio Frequency Identification)
<b>CDSRR</b>	Eş yönlü ayırık halka rezonatör (Co-Directional Splint Ring Resonator)
$\lambda$	Kılavuzlanmış Dalga Boyu (Guided Wavelength)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin gelişmesi ile birlikte otomatik tanılama sistemlerinin kullanım alanları artmaktadır. Bu sistemlerden biri de radyo frekansı tanılama (Radio Frequency Identification - RFID) sistemleridir. Bu sistemler okuyucu, okuyucu anten ve RFID etiketten oluşmaktadır. RFID sistemi, bir nesnenin tüm operasyon zinciri boyunca küresel olarak anında ve otomatik olarak tanılanmasını ve izlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu nesnelere birbirlerinden farklı kimliklerin verilmesinde RFID etiketler rol oynamaktadır. RFID etiketler temelde aktif ve pasif etiketler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pasif etiketlerin maliyeti düşük ve zor koşullar altında aktif etiketlere göre daha dayanıklıdır. Pasif etiketler çipli ve çipsiz etiketler olmak üzere iki türde üretilmektedir. Çipsiz RFID etiketlerin çipli RFID etiketlere göre üretim kolaylığı ve düşük maliyeti gibi avantajları vardır.

Çipsiz RFID etiketler, alıcı ve verici antenleri arasına yerleştirilmiş rezonans devresinden oluşmaktadır. Söz konusu rezonans devresinin rezonans frekanslarındaki genlik, faz, band genişliği gibi değişimlere bağlı olarak farklı kimlik numaraları elde edilebilmektedir. Çipsiz RFID etiket tasarımlarında genel olarak rezonatör ve mikrodalga filtre teorisine dayanan devre yapıları kullanılmaktadır.

#### 1.1. Amaç ve Kapsam

Son yıllarda gelişen otomatik tanımlama sistemleri ile nesnelere tespiti ve takibinin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi son derece önemli hale gelmiştir. Bu doğrultuda, nesnelere kimlik numarası kazandıran RFID etiketlerin tasarımı ve üretimi, aynı zamanda performans testinin gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir.

Tezin en önemli odak noktası, farklı tekniklerin bir arada kullanılması ile hibrit yapıya sahip çipsiz RFID etiket tasarımının gerçekleştirilmesidir. Çipsiz RFID etiket tasarımlarında önemli parametrelerden bir tanesi ilgili bitlerdeki frekans kaymalarını en aza indirmek olup, tez kapsamında tasarlanacak çipsiz RFID etiket devresinin kompakt boyutlarda olması da yine başlıca hedefler arasındadır.

Son yıllarda yapılan çipsiz RFID etiket tasarımlarına bakıldığında zaman filtre teorisi yaklaşımları ve çok modlu rezonatör devrelerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.



Ancak yapılan çalışmalar incelendiği zaman, çipsiz RFID etiket tasarımları için yalnızca filtre teorisi yaklaşımları ya da yalnızca rezonatör devre tasarımlarının kullanıldığı görülmektedir. Her iki tekniğin de zayıf yönleri bulunmaktadır. Filtre teorisi yaklaşımları ile tasarlanan çipsiz RFID etiketlerde, bit rezonansları yüksek bir bant genişliği içerisinde meydana gelmektedir. Bu nedenle çok yüksek veri depolama kapasitesine ulaşmak zorlaşmaktadır. Veri depolama kapasitesini artırmak için çok ince yan hatlara sahip olmak gerekmektedir. Bu sebeple, tasarlanan etiketin üretim maliyeti ve zorluğu artmaktadır. Rezonatör devreleri ile tasarlanan çipsiz RFID etiketlerde ise veri depolama kapasitesini arttırmak için tasarıma daha fazla rezonatör eklemek gerekmektedir ve buda devre boyutlarında toplam boyutun artacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle tez kapsamında filtre tasarım teknikleri ve çoklu rezonatör devrelerini birleştiren hibrit yapıya sahip çipsiz RFID etiket modeli ile her iki teknikte var olan dezavantajların en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Tasarlanacak hibrit yapıda kompakt boyutu sağlamak için eş yönlü ayırık halka rezonatör (Co-Directional Splint Ring Resonator - CDSRR) ile açık devre sonlandırılmış yan hatlar kullanılacaktır. Böylece tez kapsamında tasarlanacak olan hibrit model çipsiz RFID etiketin literatürde oldukça önemli bir yere sahip olması beklenmektedir.

## **1.2. Literatür Özeti**

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, çipsiz RFID etiket tasarımlarında zaman alanı reflektometresi, genlik/faz geri saçılım modülasyonu ve spektral imza olmak üzere üç ana başlığa dayalı olarak ele alındığı görülmektedir [1]. Bu başlıklar arasında, spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiketler, tasarım esnekliği ve uygun üretim maliyetleri ile öne çıkmaktadır.

Bugüne kadar spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiket tasarımlarında araştırmacılar çeşitli band durduran filtre ve rezonatör tabanlı devre türleri kullanmıştır. Açık devre sonlandırılmış yan hat [3-8], spiral rezonatörler [9-12], basamak empedans rezonatörler [13-16], çok modlu rezonatörler [17-20], I şekilli yuva rezonatörler [21-23], U şekilli yuva rezonatörler [24,25], L şekilli rezonatörler [26-28], C şekilli rezonatörler [29-33], üçgen şekilli rezonatörler [34], açık halka rezonatörler [35], altıgen ayırık halka rezonatörler [36] bunlardan bazılarıdır.

Spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiket tasarımlarında band durduran filtre tabanlı açık devre sonlandırılmış yan hat yapılarına bugüne dek oldukça fazla başvurulmuştur. Zhang ve arkadaşlarının 2019 yılındaki çalışmasında, açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri giriş ve çıkış portları arasındaki besleme hattına  $\lambda/4$  aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu çalışmada Zhang ve arkadaşları, birinci ve ikinci dereceden etiket tasarımları yaparak bitlerin rezonans frekanslarındaki band genişliklerini incelemiştir. Tasarlanan etiket devresi, 2-3 GHz frekans aralığında 5 bit kodlama kapasitesine sahiptir [6].

Nijas ve arkadaşlarının 2012 yılındaki çalışmasında, L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarımda kullanılan L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri 1 mm aralıklarla besleme hattına yerleştirilmesi ile kompakt boyutlara sahip etiket devresi elde edilmiştir. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri arasındaki kuplajı en aza indirmek için, giriş ve çıkış portlarının empedansından daha düşük bir empedansa sahip besleme hattı kullanılmıştır. Tasarlanan etiket devresi, 2-4.5 GHz frekans aralığında 8 bit kodlama kapasitesine sahiptir. Tasarlanan etiketin bit rezonansları 2.08, 2.23, 2.36, 2.56, 2.81, 3.21, 3.61 ve 4.03 GHz’de elde edilmiştir [8].

Preradovic ve arkadaşları 2009’da, spiral rezonatör devreleri ile çipsiz RFID etiket tasarlamışlardır. Giriş ve çıkış portları arasındaki besleme hattına kuplajlanan farklı elektriksel uzunluklara sahip 35 spiral rezonatör devresi ile 35 bit çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Besleme hattına kuplajlanan spiral rezonatör yapıları üzerinde yapılan değişikliklerle farklı bit kodları elde edilmiştir. Tasarlanan çipsiz RFID etiketi 3-7 GHz çalışma frekansına sahiptir. Ayrıca, çipsiz RFID etiket devresinde kullanılmak üzere geniş ban monopol anten tasarımı yapılmıştır. Anten ve rezonans devresi birbirine entegre edilerek kompakt boyutlara ve yüksek kod kapasite sahip çipsiz RFID etiket sunulmuştur [12].

Nijas ve arkadaşlarının 2014 yılındaki çalışmasında, basamak empedans rezonatör devreleri ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarlanan etikette, diğer çalışmalardan farklı olarak giriş ve çıkış portları yer almamaktadır. 3-9 GHz frekans aralığında 8 bit kapasiteye sahip çipsiz RFID etiket yapısı sunulmuştur. Tasarımda dört farklı basamak empedans rezonatör devresi kullanılarak 2-4 GHz frekans aralığında toplamda dört

rezonans elde edilmiştir. Elde edilen bu rezonansların harmonik frekansları bit kapasitesine dahil edilerek 8 bit kapasitesi elde edilmiştir [14].

Mohanan ve arkadaşlarının 2015 yılındaki çalışmasında, basamak empedans rezonatör devreleri ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarımda on farklı basamak empedans rezonatör devresi taban malzemesi üzerine yerleştirilmiştir. 3.1-10.6 GHz frekans aralığında 10 bit kapasiteye sahip çipsiz RFID etiket yapısı sunulmuştur. Tasarlanan etiket devresi 55 mm x 30 mm'lik boyuta sahiptir [16].

Abdulkawi ve arkadaşlarının 2019 yılındaki çalışmasında, çok modlu rezonatör devresi ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarlanan çok modlu rezonatör devresiyle iki rezonans frekansı elde edilmektedir. Çok modlu rezonatör devresi üzerinde yapılan değişiklikler sayesinde dört farklı durum elde edilmiştir. Giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına altı farklı rezonatör devresi kuplajlanarak 12 bit çipsiz RFID etiket sunulmuştur. Ayrıca, çalışmada farklı bit kodlarına sahip etiket tasarımları üzerinde de çalışılmıştır [19]. Tasarlanan etiket devresi 2 portlu yapıda üretilmiş olup, tasarımda monopol anten yapısı yer almamaktadır. Etiket devresinin ölçümleri yapılırken giriş ve çıkış portlarına monopol anten devresinin portları ayrıca bağlanmıştır.

Keyi ve arkadaşlarının 2017 yılındaki çalışmasında, I şekilli yuva rezonatör devresi ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarlanan I şekilli rezonatör devresi, taban malzemenin bakır yüzeyi üzerine düz yarıklar açılmasıyla elde edilmektedir. Tasarımda, taban malzemesi üzerine farklı uzunluk ve genişliklerde açılan 12 tane yarık bulunmaktadır. Bu yarıklar sayesinde farklı frekanslarda rezonanslar elde edilmektedir. Çalışmada, 2.8-6.4 GHz frekans aralığında 12 bit kapasiteye sahip çipsiz RFID etiket tasarımı sunulmuştur. Farklı bit kodlarına sahip etiket tasarımları da çalışmada yer almaktadır [23].

Karmakar ve arkadaşlarının 2011 yılındaki çalışmasında, U şekilli yuva rezonatör devresi ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarlanan U şekilli rezonatör devresi, taban malzemenin bakır yüzeyi üzerine iç içe geçmiş U şekilli yarıklar açılmasıyla elde edilmiştir. Tasarımda, taban malzemesi üzerine dörtlü gruplar halinde toplam sekiz yarık açılarak 8 bit kapasitesine sahip çipsiz RFID tasarlanmıştır. Yapılan çalışma kredi

kartlarında, kağıt paralarda ve tüm kayıt dokümanlarında kullanılmaya oldukça uygundur [24].

Haider ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptığı çalışmada, L şekilli rezonatör devresi kullanılarak çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Birbirlerine yakın konumlandırılan farklı elektriksel uzunluklarda 16 tane L şekilli rezonatör devresi ile 16 bit kod kapasitesine sahip etiket tasarımı sunulmuştur. Tasarlanan etiket yapısı giriş/çıkış portları ve besleme hattı olmadan sadece rezonatör devrelerinden oluşmaktadır. Tasarlanan etiket 4.5-5.8 GHz aralığında çalışma frekansına sahiptir. Tasarlanan çipsiz RFID etiket 17 mm x 17 mm boyutlarındadır [27]. Boyut açısından oldukça küçük olan çipsiz RFID etiket yapısı aynı zamanda yüksek kod kapasitesine sahiptir. Bu çalışma birim alan başına üretilen bit sayısı açısından oldukça yüksek bit yoğunluğuna sahiptir.

Sharma ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptığı çalışmada, L şekilli yuva rezonatör devresi kullanılarak çipsiz RFID etiket tasarlamışlardır. Kare şeklindeki taban malzemenin çapraz iki köşesine dörderli gruplar halinde L şekilli farklı uzunluklarda yuvalar açılarak 8 bit kod kapasitesine sahip çipsiz RFID etiket tasarımı sunulmuştur. Etiket tasarımı port ve besleme hattı olmadan sadece bakır yüzeye açılan L şekilli yuvalardan oluşmaktadır. Tasarlanan etiket 3-6 GHz aralığında çalışma frekansına sahip olup 20 mm x 20 mm boyutlarındadır [28]. Literatürde yer alan [27] numaralı çalışmadan farklı olarak, tasarımı L şekilli bakır yüzey yerine L şekilli yuvalar bulunmaktadır.

Vena ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptığı çalışmada, C şekilli rezonatör devresi kullanılarak çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarımda farklı boyutlara sahip 10 tane C şekilli rezonatör devresi kullanılmıştır. Tasarlanan çipsiz RFID etiket 10 bit kod kapasitesine sahiptir. Etiket tasarımında giriş/çıkış portları ve besleme hattı olmadan sadece rezonatör devreleri bulunmaktadır. Tasarlanan etiket 2.5-6.5 GHz aralığında çalışma frekansına sahiptir. C şekilli rezonatörlerden oluşan çipsiz RFID etiket 20 mm x 40 mm boyutlarına sahiptir [32]. Bu çalışmada kompakt boyutlarda yüksek kod kapasiteli etiket tasarımı sunulmuştur.

Islam ve arkadaşları 2016 yılında üçgen şekilli rezonatör devresi kullanılarak çipsiz RFID etiket tasarımı önermiştir. Üçgen şeklinde tasarlanmış taban malzemesinin üzerine farklı uzunluklarda 18 yarık açılarak 18 bit çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Etiket tasarımında

giriş/çıkış portları ve besleme hattı olmadan sadece rezonatör devreleri bulunmaktadır. Tasarlanan etiket 3-10 GHz aralığında çalışma frekansına sahiptir. Tasarlanan etiketin okuma menzilini arttırmak amacıyla, üçgen şeklinde tasarlanmış birbirine eş 6 etiket devresi altıgen şeklini alacak şekilde birleştirilmiştir [34].

Sharma ve arkadaşlarını 2017 yılındaki çalışmasında, açık halka rezonatör devresi ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Farklı boyutlardaki 8 tane açık halka rezonatör devresinin giriş ve çıkış portları arasındaki besleme hattına kuplajlanmasıyla 8 bit kod kapasitesine sahip çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarlanan etiket devresi 3-6 GHz aralığında çalışma frekansına sahiptir. Tasarlanan etiket devresi 2 portlu yapıda üretilmiş olup, tasarımda monopol anten yapısı yer almamaktadır [35].

Wu ve arkadaşlarının 2019 yılındaki çalışmasında, altıgen ayırık halka rezonatör devresi ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak çipsiz rezonans devresi toprak düzlem üzerine tasarlanmıştır. Giriş ve çıkış portları arasında sadece düz bir iletim hattı yer almaktadır. Tasarımda, toprak düzleme açılmış farklı boyutlarda 4 tane iç içe geçmiş altıgen yarık bulunmaktadır. Bu yarıklar sayesinde 4 rezonans frekansı elde edilmektedir. Wu ve arkadaşları, frekans kaydırma yöntemi ile farklı bit kodlarının elde edildiği 8 bit kod kapasitesine sahip çipsiz RFID etiket tasarımı ortaya koymuşlardır [36].

Weng ve arkadaşlarının 2013 yılındaki çalışmasında, eş düzlemlı dalga kılavuzu (CPW) tekniği ile bağlanan çoklu rezonatörlerin kullanılmasıyla çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Tasarlanan etiket devresinde 6 tane rezonatör devresi eş düzlemlı dalga kılavuzu devre yapısında giriş ve çıkış portları arasına yerleştirilmiştir. Tasarlanan etiket devresi 3-6 GHz frekans aralığında 6 bit kod kapasitesine sahiptir. Eş düzlemlı dalga kılavuzu ile bağlanan çoklu rezonans devrelerinin oluşturduğu çipsiz RFID etiket 154 mm x 55 mm boyutlarındadır [37].

Malhat ve arkadaşlarının 2021 yılındaki çalışmasında, kıvrımlı rezonatör devresi ile çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Farklı boyutlardaki 12 tane kıvrımlı rezonatör devresinin giriş ve çıkış portları arasındaki besleme hattına kuplajlanmasıyla 12 bit kod kapasitesine sahip çipsiz RFID etiket tasarlanmıştır. Besleme hattının alt ve üst kısımlarına 6'lı gruplar halinde kuplajlanan rezonatörler ile etiket tasarımı yapılmıştır.

Tasarlanan etiket devresi 3-7 GHz aralığında çalışma frekansına sahiptir. Tasarlanan etiket devresi 2 portlu yapıda üretilmiş olup, tasarımda monopol anten yapısı yer almamaktadır. Kıvrımlı rezonatör devrelerinin oluşturduğu çipsiz RFID etiket 60 mm x 34 mm boyutlarındadır [38].

Spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiket tasarımlarında kullanılmaya uygun birçok geniş band monopol anten tasarımları literatürde yer almaktadır. Daire şekilli yama yüzey [39-43], dörtgen şekilli yama yüzey [44-49] kullanılarak tasarlanan geniş band monopol antenler bunlardan bazılarıdır.

Geniş band monopol anten tasarımlarında daire şekilli yama yüzeye sahip anten tasarımlarına bugüne dek oldukça fazla başvurulmuştur. Rao ve arkadaşlarının 2009 yılındaki çalışmasında, daire şekilli yama yüzey ile geniş band monopol anten tasarlanmıştır. Yama yüzey için 12 mm yarıçapında daire tasarımı 2.6 mm kalınlığa sahip iletim hattına bağlanmıştır. Monopol anten devresinin toprak yüzeyi 46 mm x 26 mm boyutlarında tasarlanmış olup daire yüzey ile toprak yüzey arasındaki boşluk 1.5 mm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Tasarlanan geniş band monopol anten devresi 3.1-10.6 GHz çalışma frekansına sahiptir [39].

Fereidoony ve arkadaşlarının 2011 yılındaki çalışmasında, daire şekilli yama yüzey ile geniş band monopol anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımda, daire şekilli yama yüzey etrafına kare şekilli yamalar yerleştirilmiştir. Ayrıca toprak düzlem etrafına, ışına yapan yüzeye yerleştirilen yamalarla aynı simetriye sahip bir yapı eklenmiştir. Anten tasarımına eklenen yapılar sayesinde yüksek kazanç elde edilmiştir. Tasarlanan geniş band monopol anten devresi 3-10 GHz çalışma frekans aralığına sahip olup bu frekans aralığında 2.2-6 dBi kazançla sahiptir. Tasarlanan geniş band monopol anten devresi 57 mm x 77 mm boyutlarına sahiptir [43].

Liu ve arkadaşlarının 2010 yılındaki çalışmasında, dörtgen şekilli yama yüzey ile geniş band monopol anten tasarlanmıştır. Tasarımda, dörtgen şekilli yama yüzeyin içerisine 8.3 mm x 15 mm boyutlarında yuva açılmıştır. Açılan yuvanın içerisine 7.9 mm x 3 mm boyutlarında dörtgen yapı yerleştirilmiştir. Tasarımda yer alan dörtgen şekilli yüzey ile toprak düzlem arasında 1 mm boşluk bulunmaktadır. Tasarlanan geniş band monopol

anten devresi 3.05-11.15 GHz çalışma frekans aralığına sahiptir. Tasarlanan geniş band monopol anten devresi 35 mm x 30 mm boyutlarındadır [46].

Zaker ve arkadaşlarının 2008 yılındaki çalışmasında, dörtgen şekilli yama yüzey ile geniş band monopol anten tasarlanmıştır. Yama yüzey için 13.5 mm x 10 mm boyutlarındaki dörtgen tasarımı 1.86 mm kalınlığa sahip iletim hattına bağlanmıştır. Monopol anten devresinin toprak yüzeyine 2 mm x 7.5 mm boyutlarında iki yuva açılmıştır. Ayrıca, toprak düzlemine H şekilli iletken yapı eklenerek anten kazancı incelenmiştir. Tasarlanan geniş band monopol anten devresi 3.1-14 GHz çalışma frekans aralığına sahiptir. Tasarlanan dörtgen şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol anten devresi 22 mm x 22 mm boyutlarındadır [49].

Rezonatör devrelerinin dar bandlı rezonanslara sahip olması, band durduran filtre yapılarının da daha yüksek reddetme seviyelerine sahip olması nedeniyle her iki yaklaşım da farklı yönlerden avantajlar sunmaktadır. Literatürdeki spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiketler göz önünde bulundurulduğunda, hem band durduran filtre hem de rezonatör devrelerinin bir arada kullanıldığı bir tasarıma yapılan araştırmalar doğrultusunda rastlanmamıştır. Dolayısıyla her iki yaklaşımın birleştirilmesiyle tasarlanacak bir hibrit model çipsiz RFID etiketin literatürdeki etiketlere önemli bir alternatif oluşturabileceği beklenmektedir.

## BÖLÜM 2

### FREKANS KODLAMA METODU

Bu bölümde spektral imza tabanlı çipsiz RFID etikete kimlik değeri kazandırmak amacıyla tasarlanan çok modlu rezonatör ve band durduran filtre konfigürasyonlarına yer verilmektedir. Çok modlu rezonatörler için çift modlu eş yönlü ayırık halka rezonatörler (CDSRRs) kullanılarak spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiket tasarımları gerçekleştirilmektedir. Band durduran filtrelere yönelik tasarımlarda ise açık devre sonlandırılmalı yan hatlar kullanılmaktadır. Tasarlanan rezonatörler ve yan hatlar sayesinde, hem hibrit yapı elde edilerek etiket kapasitesi arttırılmakta, hem de minyatürizasyon artırılarak kompakt boyutlarda etiket yapısı elde edilebilmektedir. Tasarlanan rezonatörlerin ve filtrelerin simülasyonları Tam Dalga Elektromanyetik Simülatör kullanılarak yapılmıştır.

#### 2.1. Çift Modlu Eş Yönlü Ayırık Halka Rezonatörler

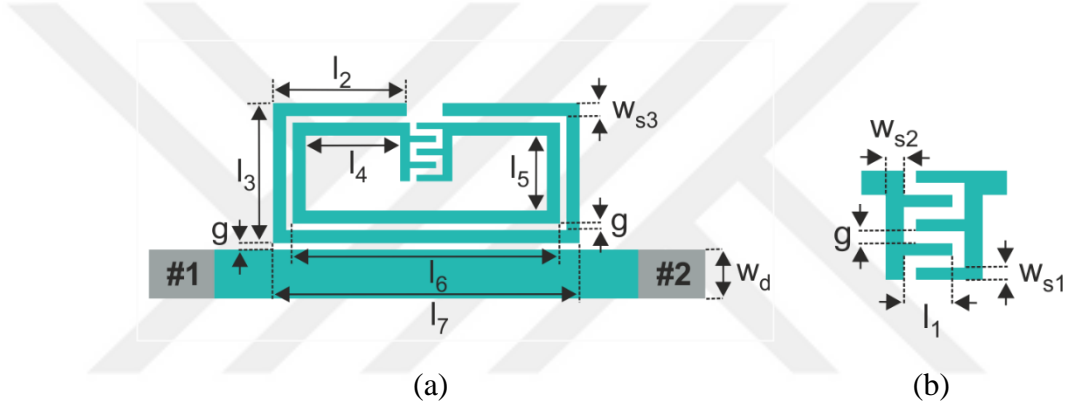
Çipsiz RFID etiketlerin kimlik değerleri mantıksal '0' ve '1' ile belirlenmektedir. Etiketin kimlik değerine bakılırken, araya girme kaybı ( $S_{21}$ ) cevabının herhangi bir frekansında bir iletim sıfırı varsa bu frekans etiketin mantıksal '0' kodlu bitini temsil etmektedir. Eğer, bu frekansta herhangi bir iletim sıfırı yoksa o bit mantıksal '1' kod değerini temsil etmektedir. Çipsiz RFID etiket tasarımlarında, etikete kimlik değeri atamak amacı ile çok modlu rezonatör devreleri sıklıkla kullanılmaktadır. Çok modlu rezonatör devreleri karakteristik olarak band durdurucu filtre olarak davranmaktadır. Bu sebeple, etikete atanan kimlik değeri iki portlu çok modlu rezonatör devresinin  $S_{21}$  cevabı ile belirlenebilmektedir. Çift modlu halka rezonatörler kullanılarak tasarlanan çipsiz RFID etiketlerde, rezonatörün  $S_{21}$  cevabının iki farklı rezonans frekansında iletim sıfırları oluşmaktadır. Bu sebeple, 2 bit elde etmek için tek bir rezonatör devresinin kullanılması yeterlidir.

CDSRR'ler açık uçlar arasında interdigital kapasitör bulunan iç ve dış açık halka rezonatörleridir. Bu rezonatörler, interdigital kapasitörün etkisinden dolayı iki rezonans frekansı oluşturmaktadırlar [51,52]. Elde edilen bu rezonans frekanslarının her birini bağımsız olarak ortadan kaldırmak mümkündür. Bu sayede bir tane CDSRR ile dört farklı



kimlik kodu elde edilebilmektedir. N tane CDSRR bulunan çipsiz RFID etiket tasarımdan  $4^N$  frekans kodu elde edilebilmektedir.

Mikrodalga iletim hattı üzerine kuplajlı olarak yerleştirilen CDSRR'nin tasarım prosedürünü incelemek için öncelikle iki farklı rezonans frekansı elde edilmelidir. Elde edilen bu rezonans frekanslarının her biri bir biti temsil etmektedir. Şekil 2.1'de besleme hattına yerleştirilmiş olan CDSRR tasarımı gösterilmektedir. Tasarımda dielektrik sabiti 2.33 ve kalınlığı 0.508 mm olan Rogers 5870 taban malzemesi kullanılmıştır. Tasarlanan devrelerin arka yüzeyleri tamamen toprak düzlem olacak şekilde tasarımlar yapılmaktadır.

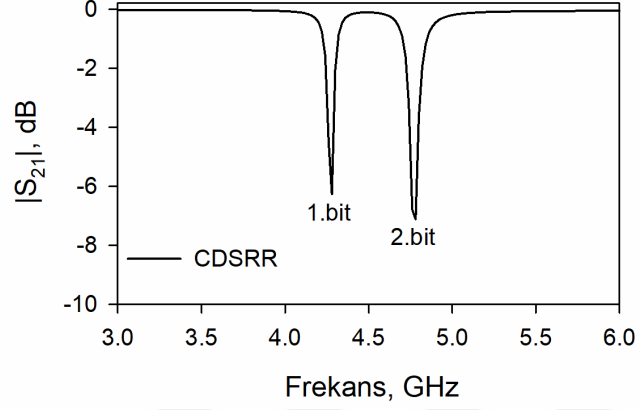


Şekil 2.1. (a) Eş yönlü ayrıık halka rezonatör (CDSRR) (b) interdigital kapasitör

CDSRR'ler, yakın konumlu iki rezonans frekansının elde edilmesinin yanı sıra filtreleme karakteristiği olarak yüksek seçiciliğe sahip ve temiz üst durdurma bandı elde etmek için kullanılmaktadır [51,52]. CDSRR ile elde edilen bitlerin her biri, CDSRR tasarımında yer alan interdigital kapasitörün elektriksel uzunluğunda ve dış rezonatörün elektriksel uzunluğunda değişiklik yapılması ile kontrol edilebilmektedir.

Şekil 2.2'de CDSRR ile elde edilen iki bitlik kodun  $S_{21}$  cevabı gösterilmektedir. Elde edilen iki bitlik kodun birinci biti CDSRR tasarımında yer alan interdigital kapasitörlerle kontrol edilebilmektedir. İnterdigital kapasitörün boyutunda yapılan değişiklikler ile birinci bitin rezonans frekansını daha yüksek frekanslara veya daha düşük frekanslara çekmek mümkündür. CDSRR tasarımında yer alan dış açık halka rezonatör yapısıyla iki bitlik kodun ikinci biti elde edilmektedir. İkinci bitin rezonans frekansını daha yüksek veya daha düşük frekanslarda elde edebilmek için  $l_2$  elektriksel uzunluğunda değişiklik yapmak gerekmektedir. Bu sayede CDSRR ile elde edilen iki bit arasındaki frekans

farkını arttırmak ya da azaltmak mümkündür. Şekil 2.1’de gösterilen  $l_1$  ve  $l_2$  elektriksel uzunluklarının frekansa etkileri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’te gösterilmektedir.

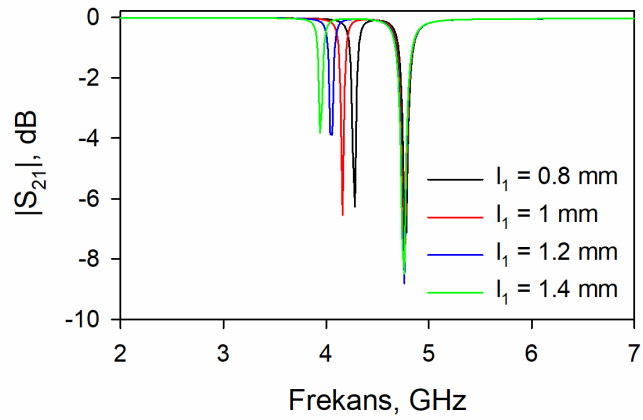


Şekil 2.2. CDSRR devre tasarımının frekans cevabı ve bit gösterimi

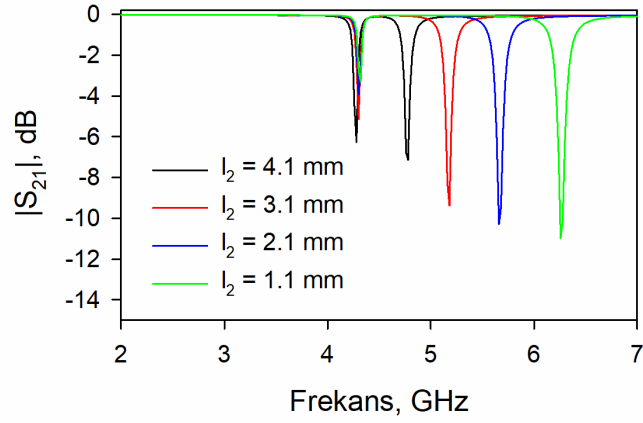
Şekil 2.1’de gösterilmekte olan rezonatör tasarımının boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. Eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$
0.8	4.1	4.3	2.9	2.3	8.2
$l_7$	$w_{s1}$	$w_{s2}$	$w_{s3}$	$w_d$	$g$
9.4	0.2	0.3	0.4	1.5	0.2



Şekil 2.3.  $l_1$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi

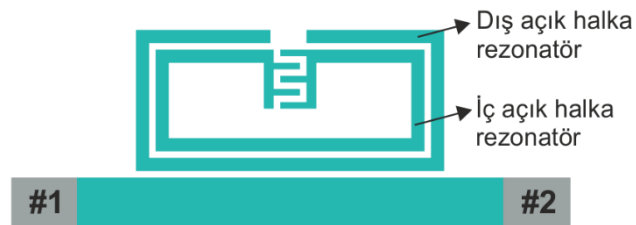


Şekil 2.4.  $l_2$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi

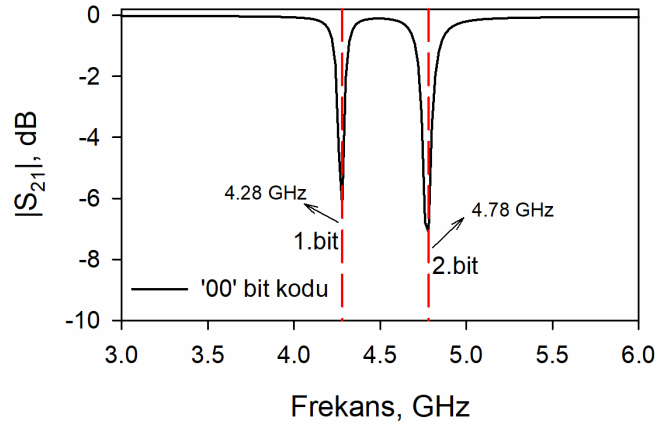
### 2.1.1. CDSRR tasarımı ile dört durumun elde edilme yöntemi

#### 2.1.1.1. '00' kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi

Mikroşerit iletim hattı üzerine yerleştirilmiş olan eş yönlü açık halka rezonatör tasarımında yer alan iç ve dış açık halka rezonatörleri iki farklı frekansta rezonans cevabı oluşturmaktadır. İç açık halka rezonatörü ile oluşan rezonans frekansı birinci biti meydana getirmektedir. Bu rezonans frekansı mantıksal '0' bitini temsil etmektedir. Dış açık halka rezonatör devresi ile oluşan rezonans frekansı ikinci biti meydana getirmektedir. Bu rezonans frekansı mantıksal '0' bitini temsil etmektedir. Şekil 2.5'te gösterilmekte olan etiket tasarımı ile '00' kodu elde edilmektedir. Şekil 2.6'da gösterilmekte olan frekans cevabında birinci ve ikinci bitin rezonans frekansları görülmektedir. Birinci bitin rezonans frekansı 4.28 GHz, ikinci bitin rezonans frekansı 4.78 GHz olacak şekilde CDSRR devresi tasarlanmıştır.



Şekil 2.5. '00' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı



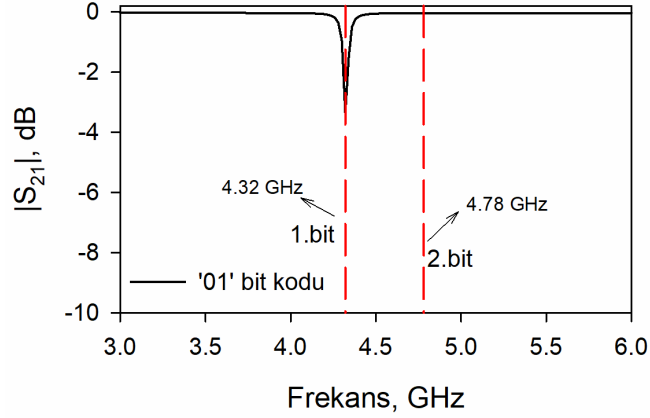
Şekil 2.6. '00' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı

### 2.1.1.2. '01' kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi

Mikroşerit iletim hattı üzerine yerleştirilmiş olan CDSRR tasarımında yer alan dış açık halka rezonatör devresinin yan ve üst kollarının çıkarılması ile ikinci bitin temsil ettiği frekansta herhangi bir rezonans frekansı oluşmamaktadır. Bu sebeple ikinci bitin temsil edildiği frekansta mantıksal '1' kodu oluşturulmaktadır. Elde edilen bu devre şeklinde dış açık halka rezonatörün alt kolu, iç açık halka rezonatör ile besleme hattı arasındaki kuplajı gerçekleştirmektedir. Bu sayede iç ve dış açık halka rezonatörler ile besleme hattı arasındaki kuplaj bozulmamaktadır. Elde edilen CSDRR yapısı '01' kodlu etiket tasarımı elde edilmektedir. Şekil 2.7'de gösterilmekte olan CDSRR tasarımı '01' kodlu etiket aittir. Şekil 2.8'de gösterilmekte olan frekans cevabında birinci ve ikinci bitin rezonans frekansları görülmektedir. Birinci bitin rezonans frekansı 4.32 GHz, ikinci bitin rezonans frekansı oluşmamaktadır.



Şekil 2.7. '01' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı



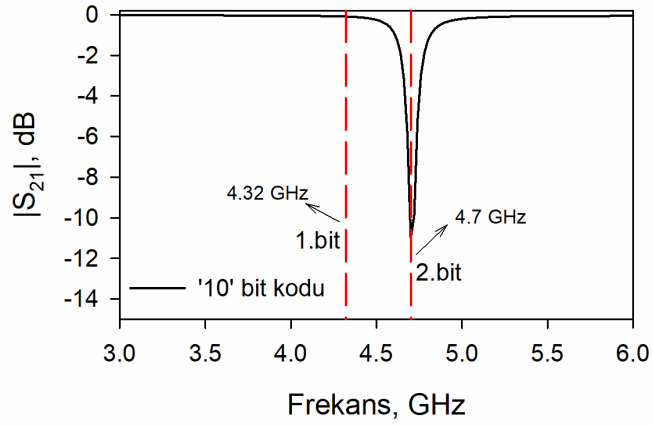
Şekil 2.8. '01' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı

### 2.1.1.3. '10' kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi

Mikroşerit iletim hattı üzerine yerleştirilmiş olan CDSRR tasarımında yer alan iç açık halka rezonatör devresinin interdigital kapasitörlerle birlikte yan ve üst kollarının da çıkarılması ile birinci bitin temsil ettiği frekansta herhangi bir rezonans frekansı oluşmamaktadır. Bu sebeple birinci bitin temsil edildiği frekansta mantıksal '1' kodu oluşturulmaktadır. Elde edilen bu devre şeklinde iç ve dış açık halka rezonatörlerin besleme hattı arasındaki kuplaj bozulmamaktadır. Bu sayede '10' kodlu etiket tasarımı elde edilmektedir. Şekil 2.9'da gösterilmekte olan CDSRR tasarımı '10' kodlu etiket tasarımına aittir. Şekil 2.10'da gösterilmekte olan frekans cevabında birinci ve ikinci bitin rezonans frekansları görülmektedir. İkinci bitin rezonans frekansı 4.7 GHz, birinci bitin rezonans frekansı oluşmamaktadır.



Şekil 2.9. '10' bit kodlu eş yönlü ayırık halka rezonatör tasarımı



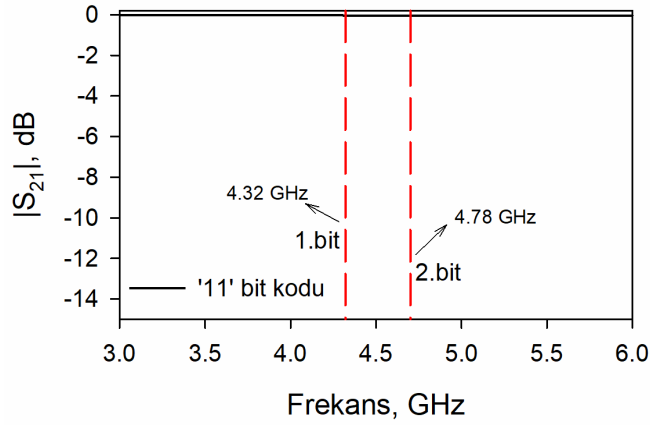
Şekil 2.10. '10' bit kodlu eş yönlü ayrık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı

#### 2.1.1.4. '11' kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi

Mikroşerit iletim hattı üzerine yerleştirilmiş olan CDSRR tasarımında yer alan iç ve dış açık halka rezonatör devrelerinin çıkartılması ile birinci ve ikinci bitin temsil ettiği frekanslarda herhangi bir rezonans frekansı oluşmamaktadır. Bu sebeple birinci ve ikinci bitin temsil ettiği frekanslarda mantıksal '1' kodu oluşturulmaktadır. Bu sayede '11' kodlu etiket tasarımı elde edilmektedir. Şekil 2.11'de görüldüğü üzere besleme hattına kuplajlanmış herhangi bir CDSRR devre tasarımının olmadığı etiket yapısı '11' kodlu kimlik değerine sahiptir. Şekil 2.12'de gösterilmekte olan frekans cevabında birinci ve ikinci bitin temsil ettiği frekanslarda herhangi bir rezonans oluşmadığı görülmektedir.



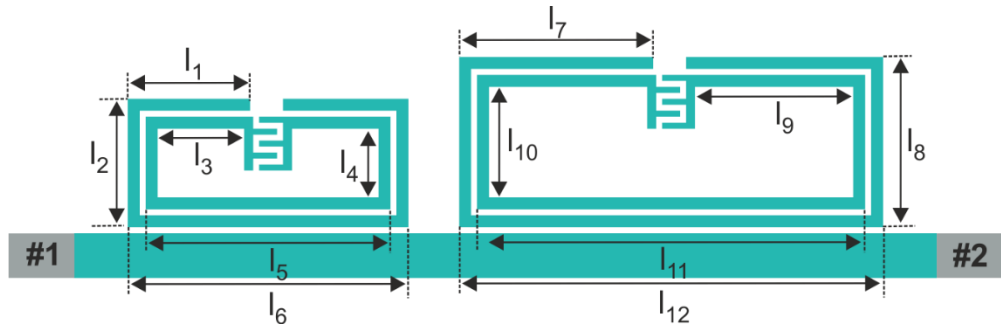
Şekil 2.11. '11' bit kodlu eş yönlü ayrık halka rezonatör tasarımı



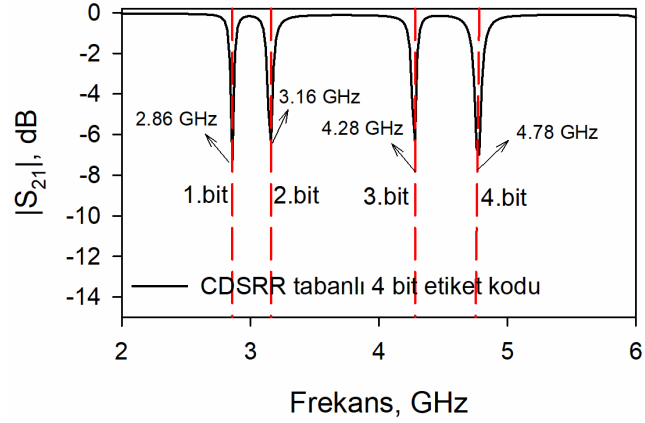
Şekil 2.12. '11' bit kodlu eş yönlü ayrık halka rezonatör tasarımının frekans cevabı

### 2.1.2. CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımı

Çipsiz RFID etiket tasarımında CDSRR yapısı kullanılarak 4 bit etiket tasarımı yapmak için farklı boyutlarda iki tane CDSRR devresi kullanılmaktadır. Bu devreler giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına kuplajlanmaktadır. Tasarım 2-6 GHz aralığında dört tane iletim sıfırına sahiptir. Her bir CDSRR tasarımından 4 durum ve toplamda  $2^4$  farklı kod elde edilebilmektedir. Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'te CDSRR tabanlı 4 bit çipsiz RFID etiket yapısı ve frekans cevabı gösterilmektedir. Şekil 2.13'te gösterilen etiket tasarımında, iletim hattının sol üst kısmına kuplajlanan CDSRR devresi yüksek frekanstaki kodları oluştururken, iletim hattının sağ üst kısmına kuplajlanan CDSRR devresi düşük frekanstaki kodları oluşturmaktadır.



Şekil 2.13. CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımı



Şekil 2.14. CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevabı

Şekil 2.13'te gösterilmekte olan CDSRR tabanlı 4 bit çipsiz RFID etiket tasarımının boyutlandırmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 2.2'de verilmektedir. Tasarlanan CDSRR tabanlı 4 bit çipsiz RFID etiketin rezonans frekansları 2.86, 3.16, 4.28 ve 4.78 GHz olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.2. CDSRR tabanlı dört bit çipsiz RFID etiket tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$
4.1	4.3	2.9	2.3	8.2	9.4
$l_7$	$l_8$	$l_9$	$l_{10}$	$l_{11}$	$l_{12}$
6.5	5.7	5.3	3.7	13	14.2

## 2.2. Açık Devre Sonlandırılmış Yan hat Tabanlı Band Durduran Filtre Tasarımı

Band durdurucu filtre yapısı, [2]'de açıklandığı gibi açık devre sonlandırılmış yan hatlar kullanılarak tasarlanabilmektedir. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri temelde  $\lambda/4$  elektriksel uzunluğuna sahip basit iletim hatlarıdır. Bu band durdurucu filtre yapıları  $\omega_0$  merkez frekansında rezonans frekansına sahiptir. Bu rezonans frekanslarının her biri çipsiz RFID etiket tasarımında bir bit kodunu temsil etmektedir. Giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına bağlanan açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durdurucu filtre devrelerinin her birinden bir bit ve iki farklı kod değeri elde edilmektedir. Bu bit kodları, açık devre sonlandırılmış yan hatların varlığına veya yokluğuna bağlı olarak değer almaktadır. Farklı bit kodları elde ederken ilgili bitleri temsil eden yan hatların devreden çıkarılması durumunda yan hatlar arasındaki kuplajdan etkilenmemesi için her



bir yan hat arasında  $\lambda/4$  kadar boşluk bırakılmalıdır [6]. Böylece farklı bit kodları elde edilirken rezonans frekanslarındaki kaymalar ortadan kalkmaktadır. Çipsiz RFID etiket tasarımında N tane açık devre sonlandırılmış yan hat devresi ile N tane bit ve  $2^N$  tane farklı bit kodu elde edilmektedir.

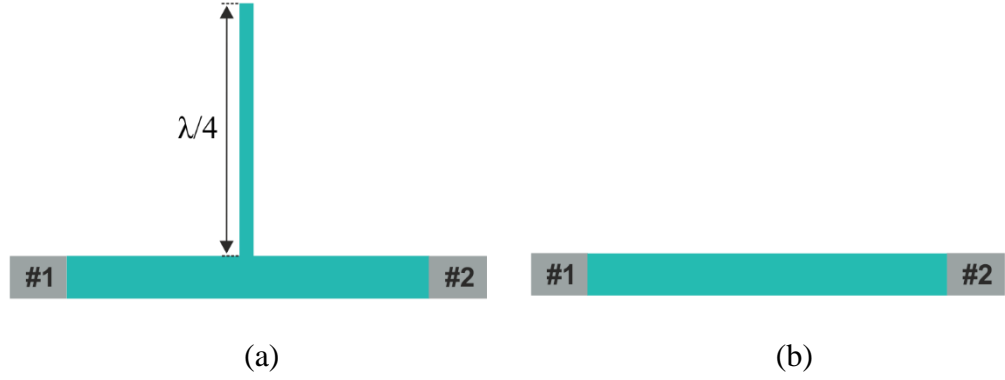
### **2.2.1. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımı ile iki durumun elde edilme yöntemi**

#### **2.2.1.1. '0' kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi**

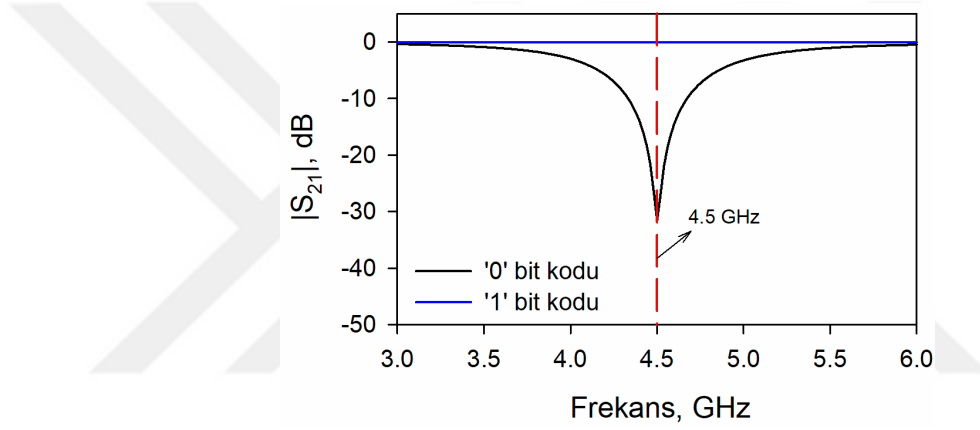
Giriş ve çıkış portları arasında yer alan mikroşerit iletim hattına açık devre sonlandırılmış yan hat yapısının bağlanması ile  $\omega_0$  merkez frekansında rezonans frekansı elde edilmektedir. Elde edilen bu rezonans frekansı o bitin mantıksal '0' kodunu temsil etmektedir. Şekil 2.15.(a)'da gösterilmekte olan etiket tasarımı ile '0' kodu elde edilmektedir. Şekil 2.16'da gösterilmekte olan frekans cevabında '0' kodlu çipsiz RFID etiketin rezonans frekansı görülmektedir.

#### **2.2.1.2. '1' kodlu çipsiz RFID etiketin elde edilme yöntemi**

Giriş ve çıkış portları arasında yer alan mikroşerit iletim hattına bağlanmış olan açık devre sonlandırılmış yan hat yapısının iletim hattından çıkarılması ile yan hattın temsil ettiği bitin frekansında herhangi bir rezonans frekansı oluşmamaktadır. Bu sebeple bitin temsil ettiği frekansta mantıksal '1' kodu oluşturulmaktadır. Bu sayede '1' kodlu etiket tasarımı elde edilmektedir. Şekil 2.15.(b)'de görüldüğü üzere besleme hattına bağlanmış herhangi bir açık devre sonlandırılmış yan hat devre tasarımının olmadığı etiket yapısı '1' kodlu kimlik değerine sahiptir. Şekil 2.16'da gösterilmekte olan frekans cevabında bitin temsil ettiği frekansta rezonans oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 2.15. (a) '0' bit kodlu, (b) '1' bit kodlu açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımı

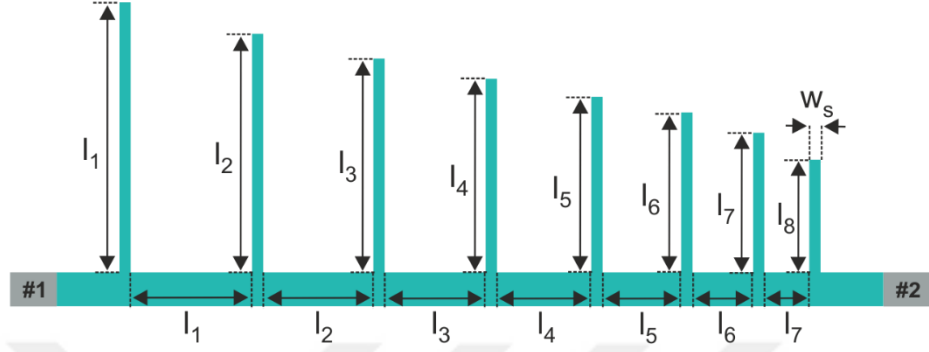


Şekil 2.16. '0' ve '1' bit kodlu açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımının frekans cevabı

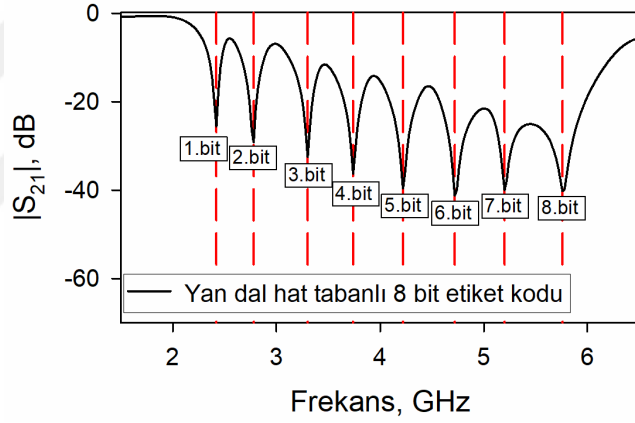
### 2.2.2. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımı

Çipsiz RFID etiket tasarımında, açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre yapısı kullanılarak 8 bit etiket tasarımı yapmak için farklı elektriksel uzunluklarda sekiz tane yan hat devresi kullanılmaktadır. Bu devreler giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına bağlanmaktadır. Tasarım 2-6 GHz frekans aralığında sekiz tane iletim sıfırına sahiptir. Her bir yan hat tasarımından 2 durum ve toplamda  $2^8$  farklı kod elde edilebilmektedir. Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devreleri kullanılarak tasarlanan 8 bit çipsiz RFID etiket yapısı ve frekans cevabı gösterilmektedir. Şekil 2.17'de gösterilen etiket tasarımında, iletim hattının üst kısmına bağlanan yan hat devreleri yüksek frekanstaki kodları oluştururken,

iletim hattının alt kısmına bağlanan yan hat devreleri düşük frekanstaki kodları oluşturmaktadır.



Şekil 2.17. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durdurucu filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımı



Şekil 2.18. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durdurucu filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevabı

Şekil 2.17’de gösterilmekte olan açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durdurucu filtre devreleri kullanılarak tasarlanan 8 bit çipsiz RFID etiket devresinin boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 2.3’te verilmektedir. Tasarlanan açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı 8 bit çipsiz RFID etiketin rezonans frekansları 2.42, 2.78, 3.3, 3.74, 4.22, 4.72, 5.2 ve 5.76 GHz olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.3. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devresi ile sekiz bit çipsiz RFID etiket tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

<b>l<sub>1</sub></b>	<b>l<sub>2</sub></b>	<b>l<sub>3</sub></b>	<b>l<sub>4</sub></b>	<b>l<sub>5</sub></b>
22.9	19.9	16.7	14.7	13
<b>l<sub>6</sub></b>	<b>l<sub>7</sub></b>	<b>l<sub>8</sub></b>	<b>w<sub>s</sub></b>	
11.6	10.5	9.4	0.2	



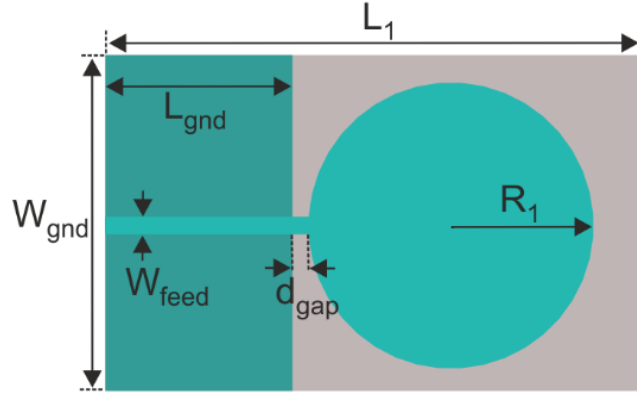
## BÖLÜM 3

### GENİŞ BAND MONOPOL ANTEN TASARIMI

Bu bölümde hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımında kullanılacak olan geniş band monopol anten tasarımlarına yer verilmektedir. Otomatik tanımlama sistemlerinde, çipsiz RFID etiketin sahip olduğu kod değerinin RFID okuyucu tarafından tespit edilebilmesi gerekmektedir. Bu sebeple çipsiz RFID etiket tasarımlarından alıcı/verici anten yapılarının bulunması gerekmektedir. Etiket üzerinde yer alan alıcı/verici antenler için monopol anten yapıları kullanılmaktadır. Monopol antenlerin çalışma frekans aralığı geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) cevabına bakılarak hesaplanmaktadır. Bilindiği üzere, antenin  $S_{11}$  cevabındaki geri dönüş kaybı değerinin  $-10$  dB'nin altında olduğu frekanslar antenin çalışma frekans aralığı olarak kabul edilmektedir. Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımında kullanılmak üzere 2-6 GHz çalışma bandına sahip monopol anten tasarımlarının yapılması hedeflenmektedir. Tasarlanan geniş band monopol antenin simülasyonları Tam Dalga Elektromanyetik Simülatör kullanılarak yapılmıştır [50].

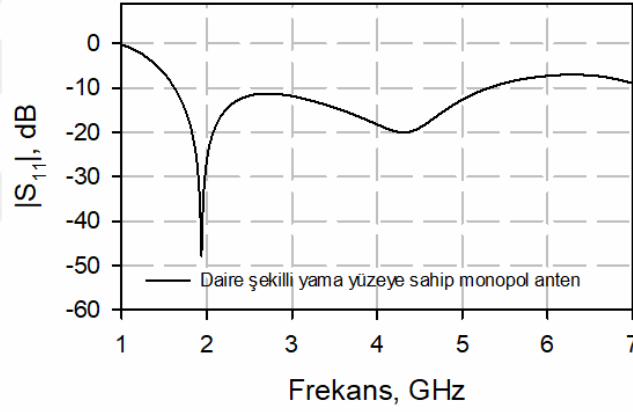
#### 3.1. Daire Şekilli Yama Yüzeyine Sahip Geniş Band Monopol Anten Tasarımı

Literatürde yer alan [8] ve [12] incelendiğinde, çipsiz RFID etiket tasarımları için daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımlarının kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere, monopol antenin çalışma frekans aralığını belirleyen temel bileşenin yama yüzeyin boyutu olduğu görülmektedir. Bu bilgiler dahilinde, 0.508 mm kalınlığa sahip Rogers 5870 taban malzemesi kullanılarak daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarlanmaktadır. Tasarlanacak olan monopol anten yapısı hibrit çoklu rezonans devresine doğrudan ekleneceği için kullanılacak olan taban malzemesi özelliklerinin aynı olması gerekmektedir. Ayrıca, monopol antenin besleme hattı ile hibrit çoklu rezonans devresinin portlarında empedans uyumsuzluğunun olmaması için monopol anten tasarımının  $50 \Omega$ 'luk besleme hattına sahip olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Tasarlanan hibrit çoklu rezonans devresinin 2-6 GHz frekans aralığında 12 bit kodu bulunmaktadır. Bu sebeple, çoklu rezonans devresine eklenecek olan monopol antenlerin çalışma frekans aralığının minimum 2-6 GHz olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Tasarlanacak olan monopol anten yapısı Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımı

Şekil 3.1’de gösterilmekte olan monopol anten tasarımının frekans cevabı Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımı frekans cevabı

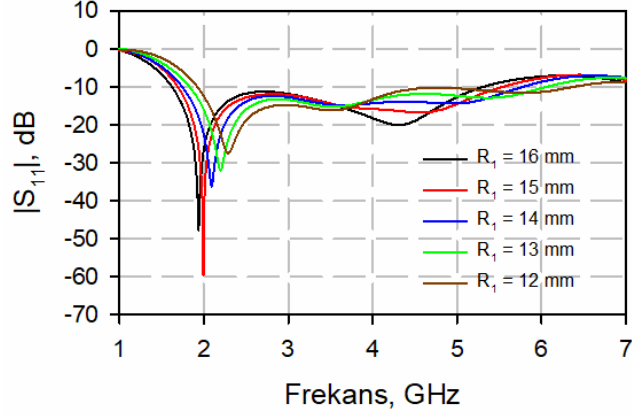
Şekil 3.1’de gösterilmekte olan daire şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten devresinin boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$L_1$	$L_{gnd}$	$W_{gnd}$	$W_{feed}$	$R_1$	$d_{gap}$
60	31	40	1.5	16	1

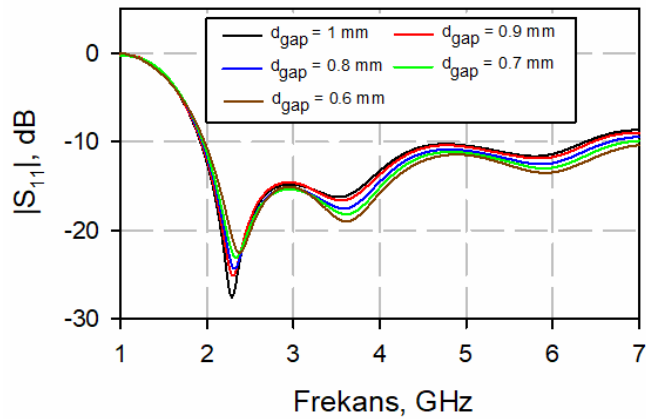
Şekil 3.1’de gösterilmekte olan monopol anten yapısının çoklu rezonans devresi ile uyumlu bir şekilde çalışması için antenin çalışma frekans aralığının bitlerin rezonans

frekanslarını kapsayacak şekilde olması gerekmektedir. Bu sebeple, daire şekilli yama yarı çapının monopol antenin çalışma frekansına etkisi Şekil 3.3'te incelenmektedir.



Şekil 3.3.  $R_1$  parametresinin monopol antenin frekans cevabına etkisi

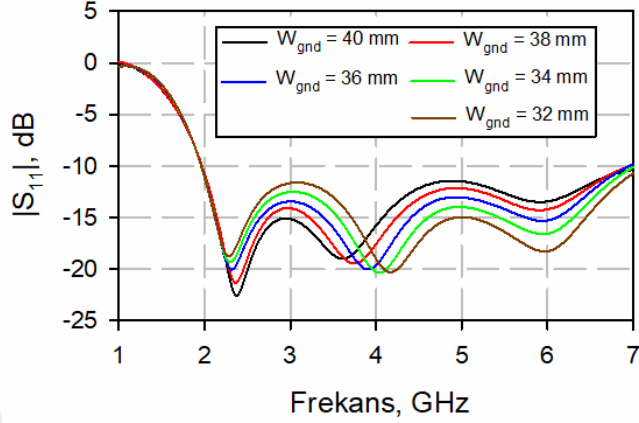
Şekil 3.3'te gösterilmekte olan frekans cevabında, yama yüzeyin yarı çapının 16 mm olduğu tasarımda antenin çalışma frekans aralığının 2-6 GHz olmadığı görülmektedir. Antenin çalışma frekansının istenilen band genişliğinde olması için yama yüzeyinin 12 mm olması gerektiği görülmektedir. Frekans cevabından görüldüğü üzere, 4.5-5.5 GHz aralığındaki geri dönüş kaybı değerlerinin -10 dB seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu değerleri daha düşük seviyelere çekmek için Şekil 3.1'de gösterilmekte olan  $d_{gap}$  uzunluğunun frekans cevabı üzerindeki etkisi Şekil 3.4'te incelenmektedir.



Şekil 3.4.  $d_{gap}$  parametresinin monopol antenin frekans cevabına etkisi

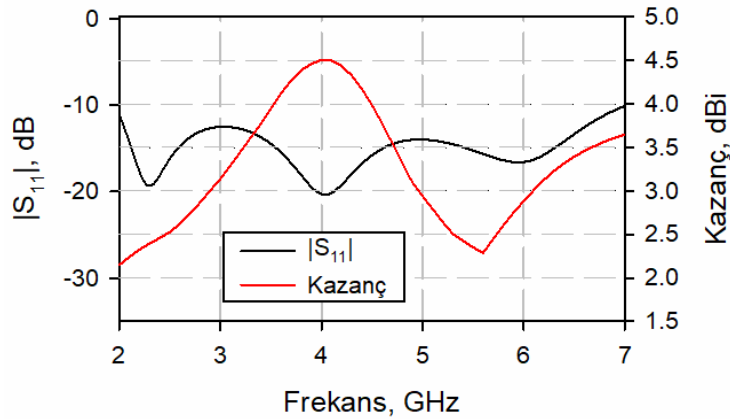
Şekil 3.4'te gösterilmekte olan frekans cevabında,  $d_{gap}$  parametresinin azalması ile 4-5 GHz aralığındaki geri dönüş kaybı değerinin daha düşük seviyelere indiği görülmektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak tasarımda yer alan  $d_{gap}$  uzunluğu 0.6 mm olacak şekilde

monopol anten tasarımı yapılmaktadır. Monopol anten tasarımında yer alan toprak yüzeyin genişliğinin ( $W_{\text{gnd}}$ ) antenin frekans cevabı üzerindeki etkisi Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5.  $W_{\text{gnd}}$  parametresinin monopol antenin frekans cevabına etkisi

Şekil 3.5'te gösterilmekte olan grafikte,  $W_{\text{gnd}}$  parametresinde yapılan değişikliklerin monopol antenin frekansındaki cevabı incelenmektedir.  $W_{\text{gnd}}$  parametresinin azaltılmasıyla, 4-6 GHz arasında monopol antenin geri dönüş kaybı değerinin daha düşük seviyelere indiği görülmektedir. Ayrıca, toprak düzlemin yatay ekseninde küçültülmesiyle monopol anten tasarımının boyutlarında da küçülme meydana gelmektedir. Bu sayede, hibrit model çipsiz RFID etiketin kompakt boyutlarda tasarlanması sağlanmaktadır. Tasarlanan monopol antenin kazancı Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Tasarlanan geniş band monopol antenin boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 3.2'de verilmektedir.



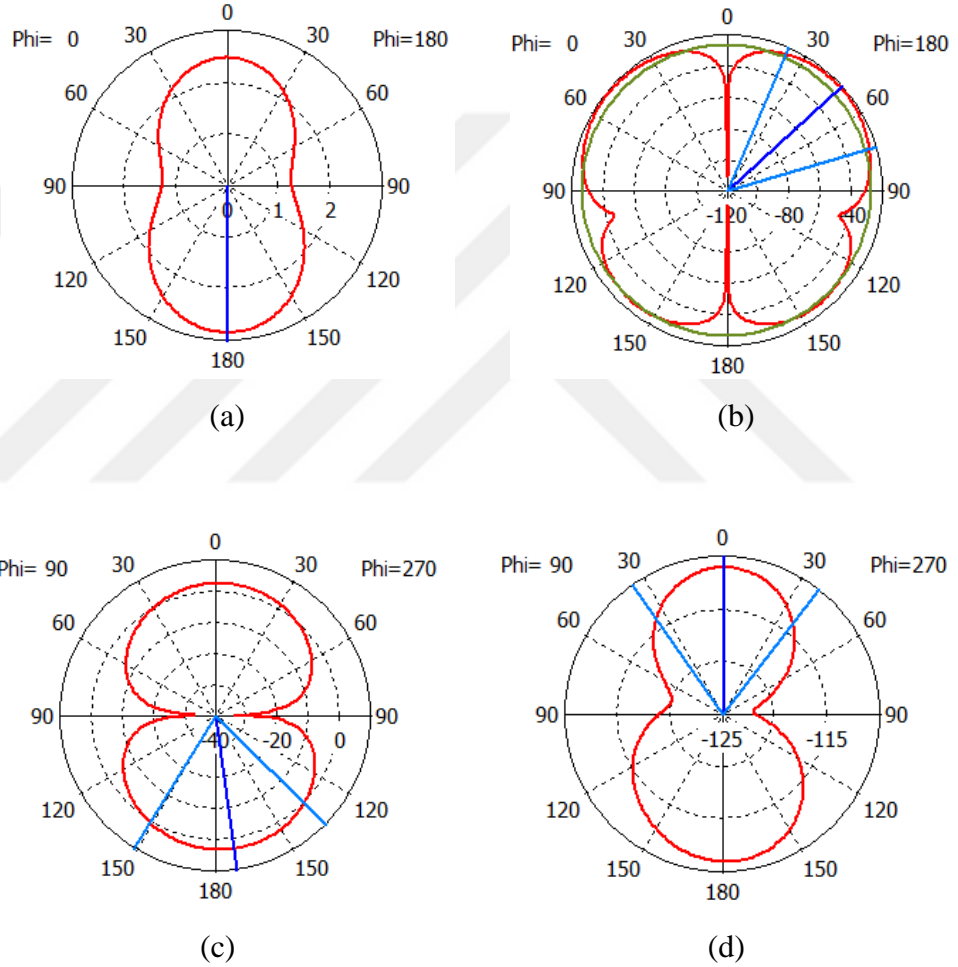
Şekil 3.6. Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin  $S_{11}$  cevabına göre kazancı



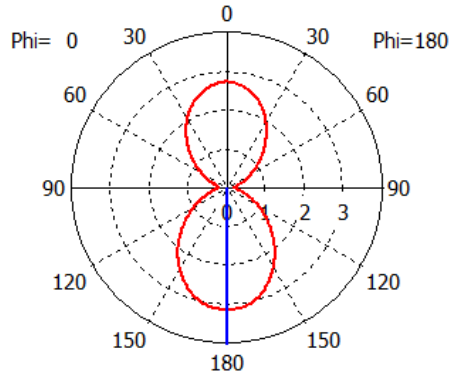
Tablo 3.2. Yapılan parametrik çalışmalar sonrası daire şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$L_1$	$L_{gnd}$	$W_{gnd}$	$W_{feed}$	$R_1$	$d_{gap}$
60	31	32	1.5	12	0.6

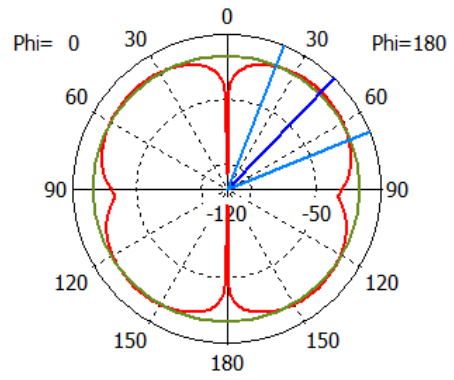
Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip monopol antenin 2.5, 3.5, 4.5 ve 5.5 GHz'deki kutuplanmaları Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



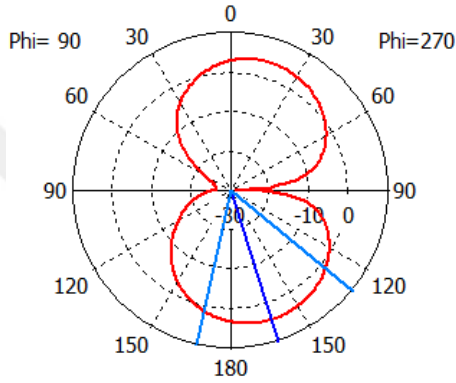
Şekil 3.7. Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 2.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma



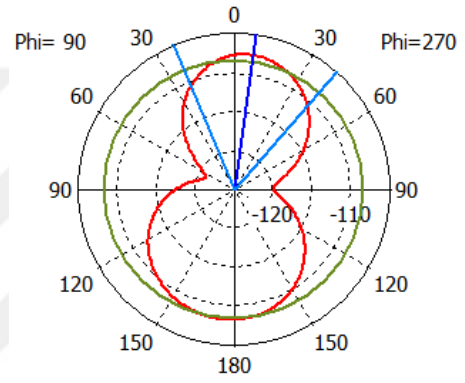
(a)



(b)

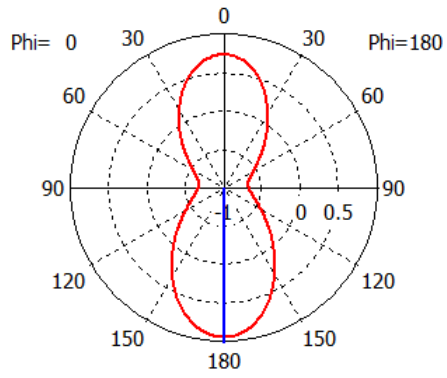


(c)

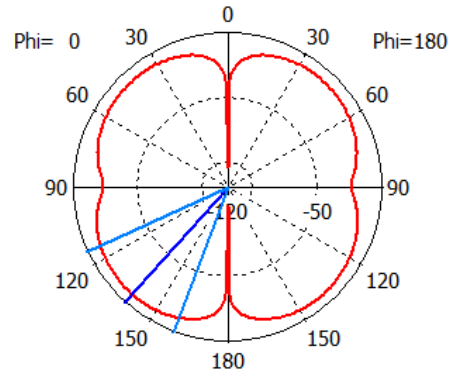


(d)

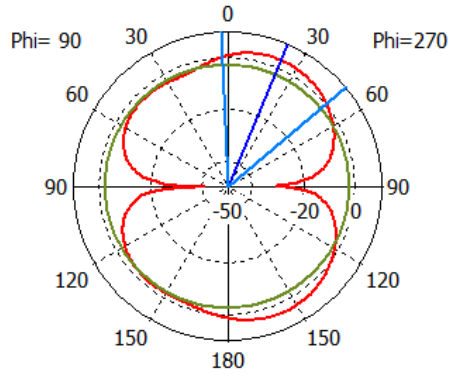
Şekil 3.8. Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 3.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma



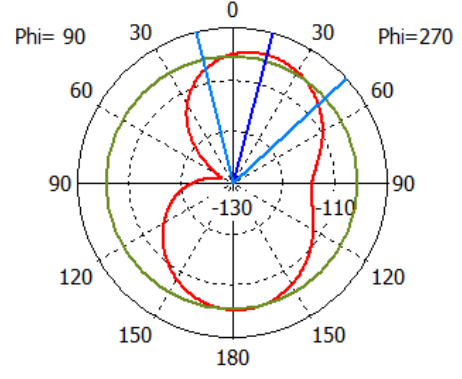
(a)



(b)

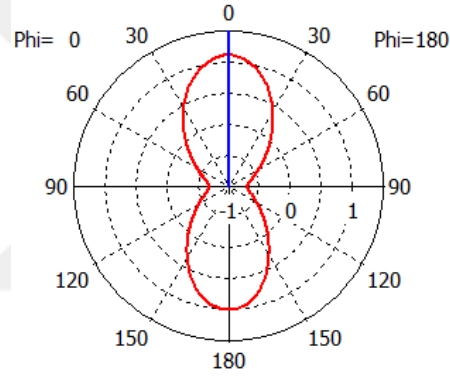


(c)

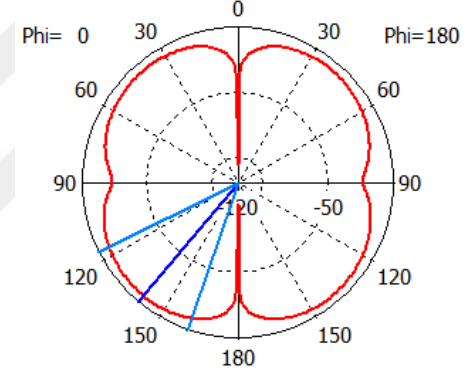


(d)

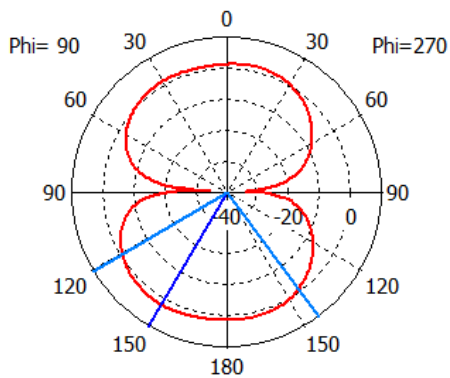
Şekil 3.9. Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 4.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma



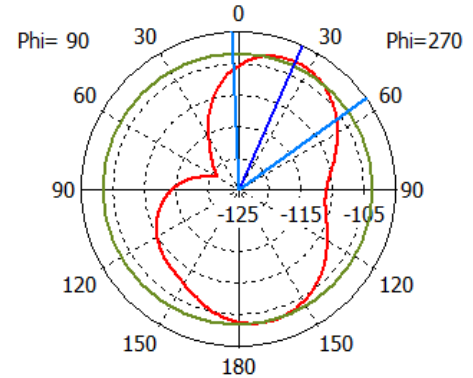
(a)



(b)



(c)

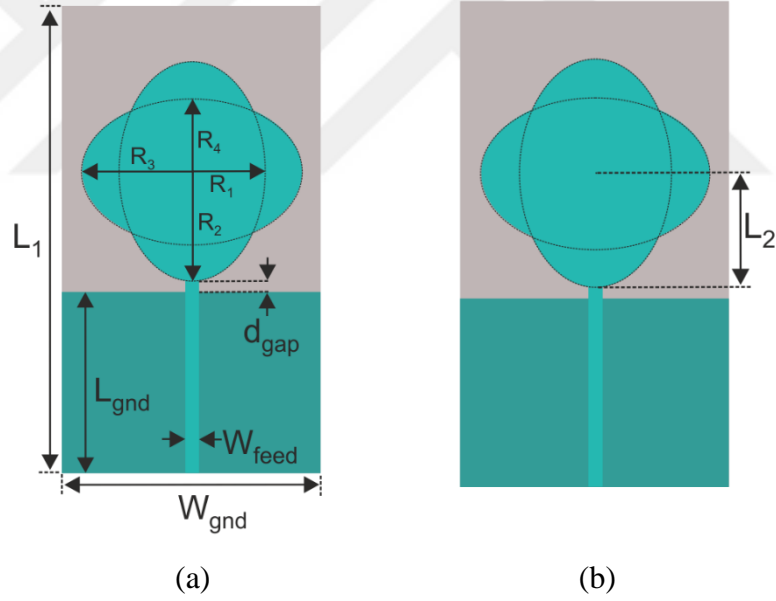


(d)

Şekil 3.10. Tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 5.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma

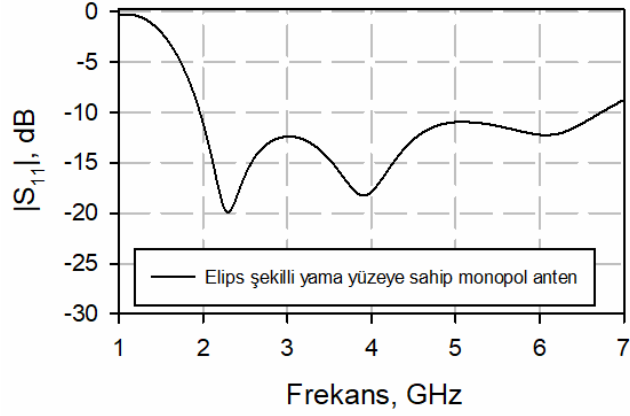
### 3.2. Elips Şekilli Yama Yüzeyine Sahip Geniş Band Monopol Anten Tasarımı

Şekil 3.6’da verilmekte olan grafikte, tasarlanan daire şekilli yama yüzeye sahip monopol antenin geri dönüş kayıpları ve anten kazancı gösterilmektedir. Tasarlanacak olan hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımında yer alacak olan monopol antenlerin daha düşük geri dönüş kayıplarına sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, tasarıma eklenecek olan antenlerin kazançlarının olabildiğince yüksek olması gerekmektedir. Bu sebeple monopol anten tasarımı üzerinde değişiklik yapılması amaçlanmaktadır. Anten boyutlarını olabildiğince küçültmek için yama yüzeyde merkezleri birbirine dik iki elips yapı yer alan monopol anten tasarlanmaktadır. Şekil 3.1’de gösterilen ve Tablo 3.1’de boyutları verilmekte olan anten tasarımından yola çıkılarak yeni tasarım gerçekleştirilmektedir. Öncelikle, eş merkezli elipslerden oluşan yama yüzeye sahip monopol anten tasarımı yapılmış olup anten yapısı Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. (a) Elips şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten tasarımı, (b) yatay olarak yerleştirilmiş elips yamanın iletim hattına uzaklığı

Şekil 3.11’de gösterilmekte olan monopol anten tasarımının frekans cevabı Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



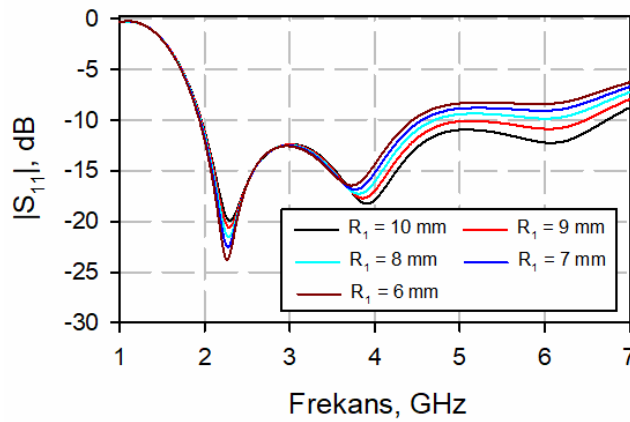
Şekil 3.12. Elips şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımı frekans cevabı

Şekil 3.11’de gösterilmekte olan elips şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten devresinin boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 3.3’te verilmektedir.

Tablo 3.3. Elips şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

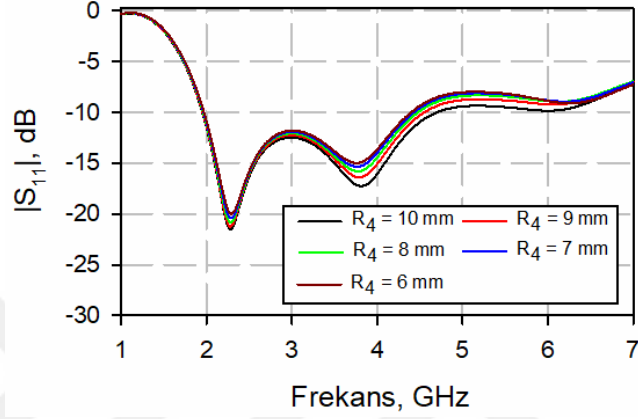
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$L_1$
10	12	12	10	60
$L_2$	$L_{gnd}$	$W_{gnd}$	$W_{feed}$	$d_{gap}$
12	31	32	1.5	0.6

Şekil 3.11’de gösterilmekte olan  $R_1$  uzunluğunun frekans üzerindeki etkisi Şekil 3.13’te gösterilmektedir.



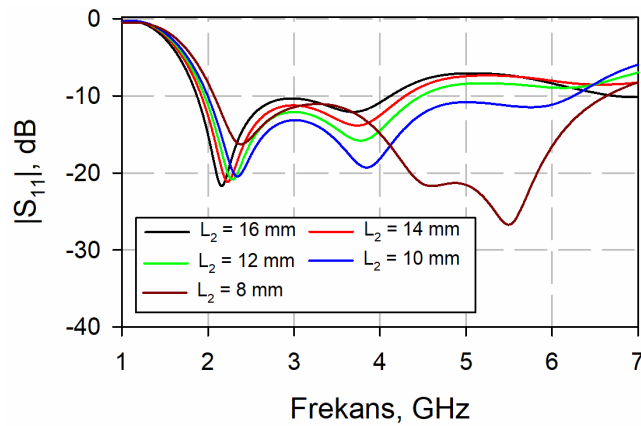
Şekil 3.13.  $R_1$  parametresinin monopol antenin frekans cevabına etkisi

Şekil 3.13'te verilmekte olan grafikte,  $R_1$  uzunluğu azaldıkça antenin 2-3 GHz arasındaki araya girme kaybında iyileşme olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak  $R_1$  uzunluğu 8 mm olacak şekilde yama yüzeyde değişiklik yapılmaktadır.  $R_1$  uzunluğunun 8 mm olduğu durumda  $R_4$  uzunluğunun frekans cevabı üzerindeki etkisi Şekil 3.14'te incelenmektedir.



Şekil 3.14.  $R_4$  parametresinin monopol antenin frekans cevabına etkisi

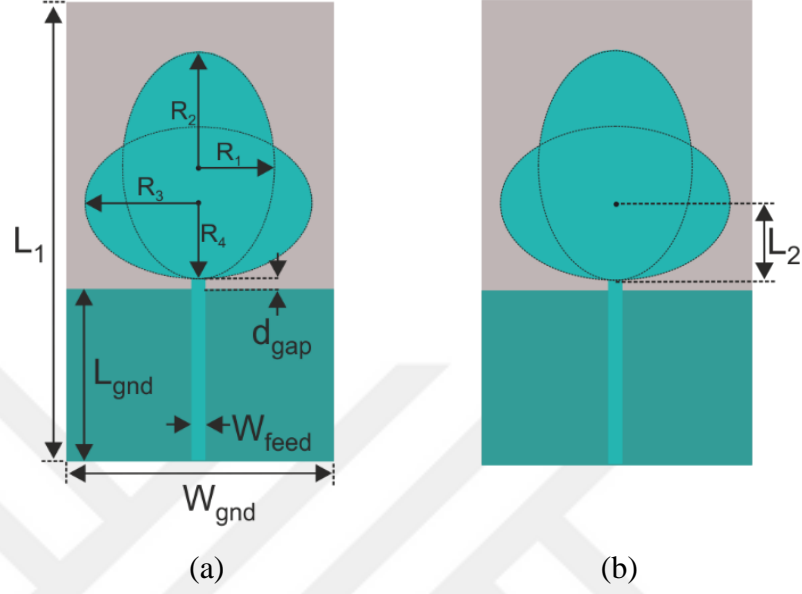
Tasarlanacak olan monopol anten yapısının simetrik yapıya sahip olması için  $R_4$  uzunluğu 8 mm olacak şekilde tasarım yapılmaktadır. Şekil 3.11.(b)' de  $L_2$  uzunluğu olarak gösterilmekte olan yatay olarak yerleştirilmiş elipsin merkezine olan iletim hattına olan uzaklığının frekans cevabına etkisi Şekil 3.15'te incelenmektedir.



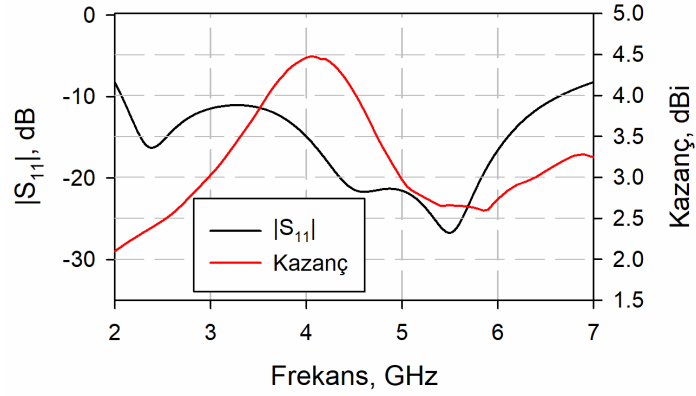
Şekil 3.15.  $L_2$  parametresinin monopol antenin frekans cevabına etkisi

Şekil 3.15'te kahverengi ile çizilmiş grafikte görüldüğü üzere, yatay olarak yerleştirilmiş elips yapısının besleme hattına olan uzaklığı 8 mm olduğu durumda geri dönüş kaybının en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Şekil 3.16'da son hali gösterilmekte olan elips

şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten tasarımının kazancı Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.16. (a) Elips şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten tasarımının son hali, (b) yatay olarak yerleştirilmiş elips yamanın iletim hattına uzaklığı



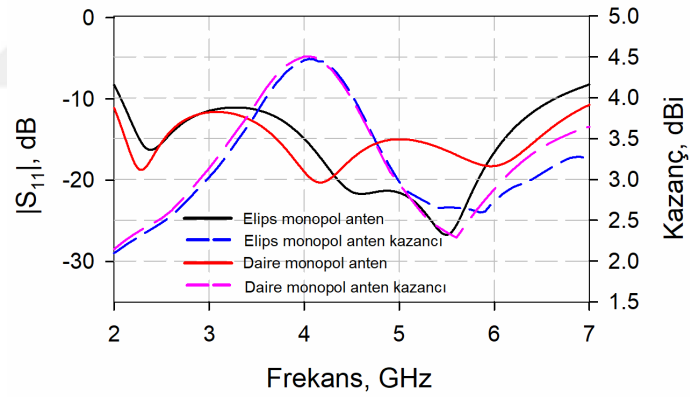
Şekil 3.17. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin  $S_{11}$  cevabına göre kazancı

Şekil 3.16’da gösterilmekte olan elips şekilli yama yüzeyine sahip geniş band monopol anten devresinin boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 3.4’te verilmektedir.

Tablo 3.4. Elips şekilli yama yüzeyine sahip monopol anten tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$L_1$
8	12	12	8	60
$L_2$	$L_{gnd}$	$W_{gnd}$	$W_{feed}$	$d_{gap}$
8	31	32	1.5	0.6

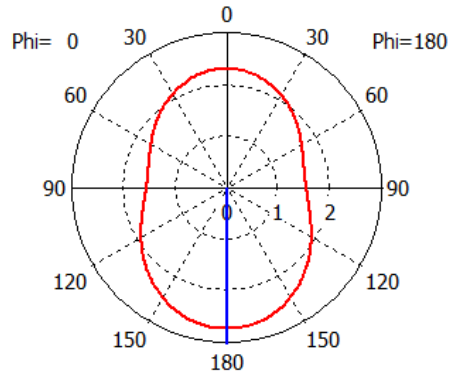
Elips yama yüzeyine sahip monopol anten devresi, tasarlanacak olan hibrit model çipsiz RFID etiketin çalışma frekans aralığında daire yüzeye sahip monopol anten tasarımından daha düşük geri dönüş kaybı değerine sahip olup özellikle 5-6 GHz frekans aralığında daha yüksek kazançla sahip olduğu görülmektedir. Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımında kullanılacak olan elips şekilli yama yüzeye sahip monopol anten tasarımı ile daire şekilli yama yüzeye sahip monopol anten tasarımının geri dönüş kaybı değerlerinin ve kazançlarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 3.18’de verilmektedir.



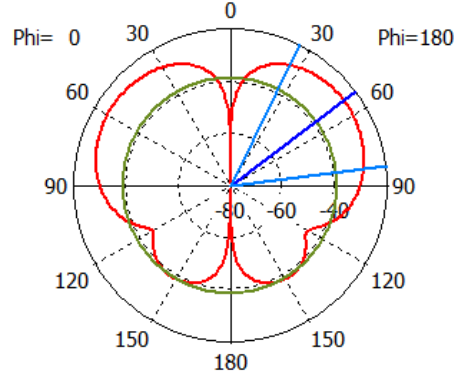
Şekil 3.18. Elips şekilli yama yüzeye sahip monopol anten tasarımı ile daire şekilli yama yüzeye sahip monopol anten tasarımının geri dönüş kaybı değerlerinin ve kazançlarının karşılaştırılması

Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip monopol antenin 2.5, 3.5, 4.5 ve 5.5 GHz’deki kutuplanmaları Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de gösterilmektedir.

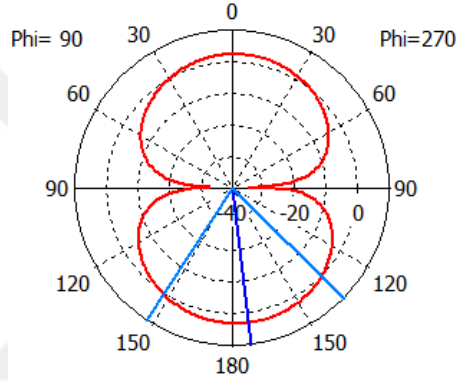




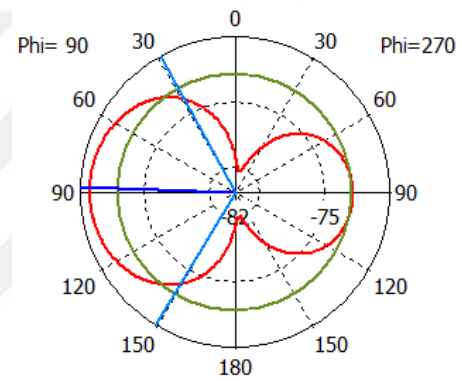
(a)



(b)

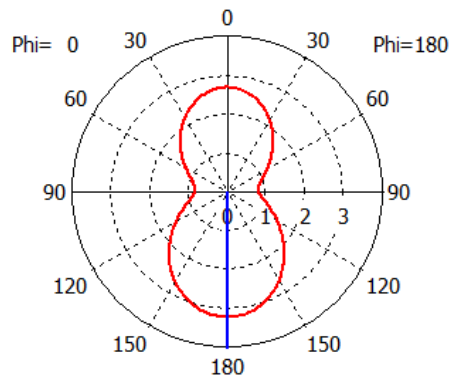


(c)

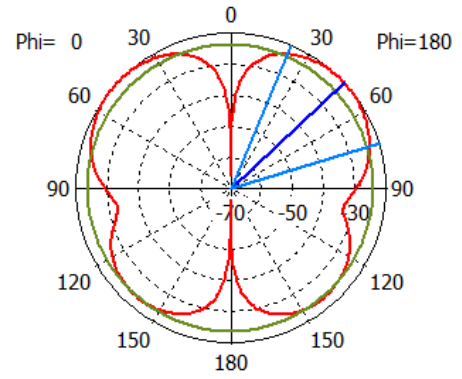


(d)

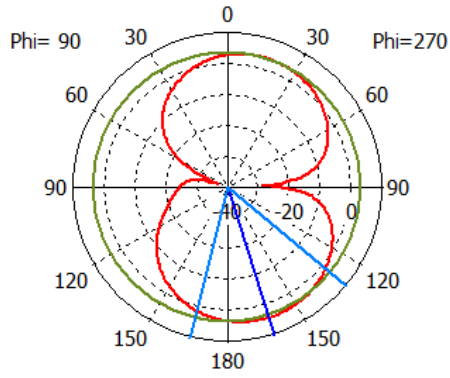
Şekil 3.19. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 2.5 GHz'de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma



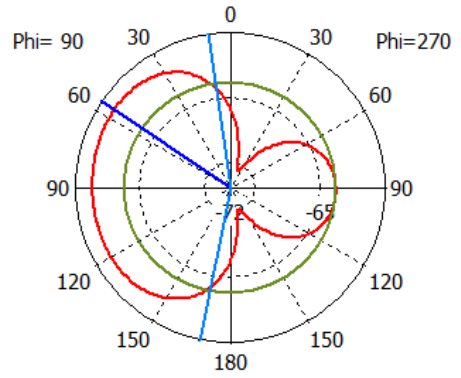
(a)



(b)

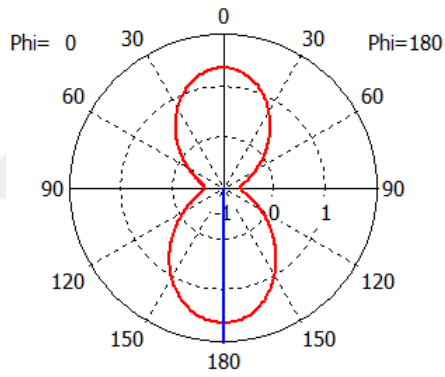


(c)

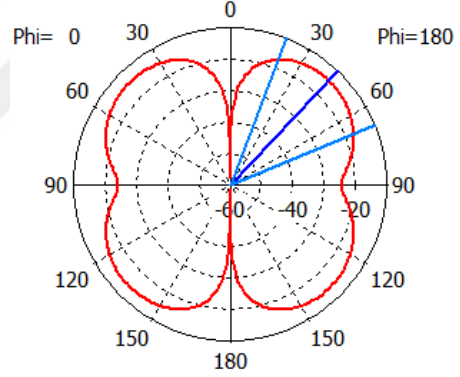


(d)

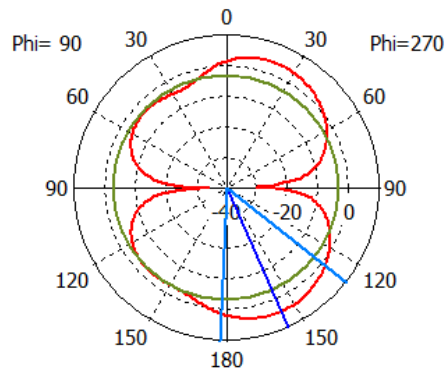
Şekil 3.20. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 3.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma



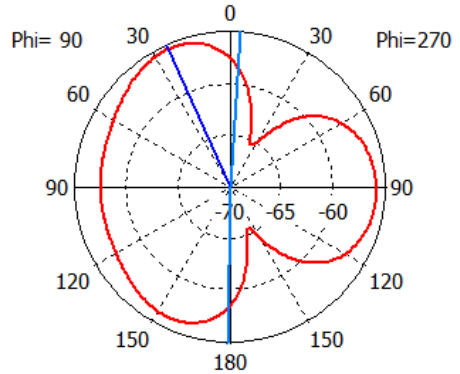
(a)



(b)

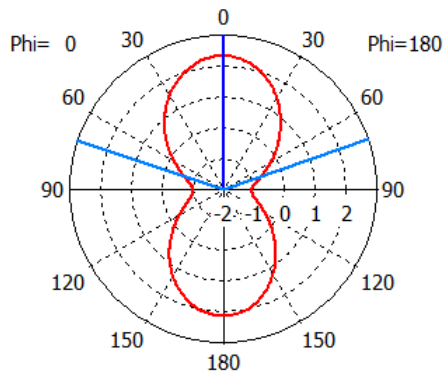


(c)

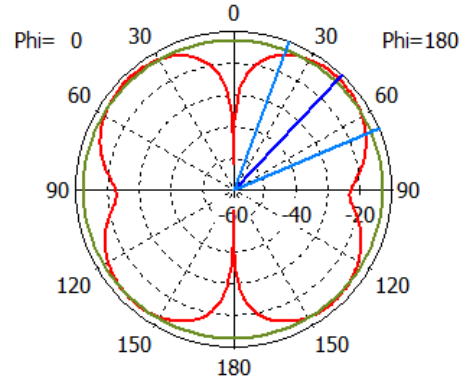


(d)

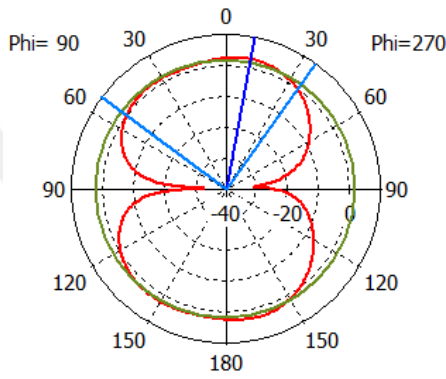
Şekil 3.21. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 4.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma



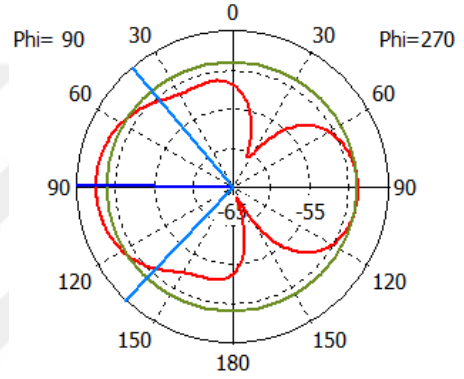
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.22. Tasarlanan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin 5.5 GHz’de (a) x-z eş kutuplanma, (b) x-z çapraz kutuplanma, (c) y-z eş kutuplanma, (d) y-z çapraz kutuplanma

Şekil 4.18’de gösterilmekte olan grafikten anlaşılacağı üzere, tasarlanan elips yama yüzeye sahip monopol antenin 2-6 GHz arasındaki kazancının daire yama yüzeye sahip monopol antenin kazancından daha yüksek olduğu görülmektedir. Literatürde yer alan basit monopol anten yapısından farklı bir anten tasarımı yapılmış olup, yeni monopol antenin literatüre kazandırılması amaçlanmaktadır.

## BÖLÜM 4

### HİBRİT MODEL ÇOKLU REZONANS DEVRE TASARIMI

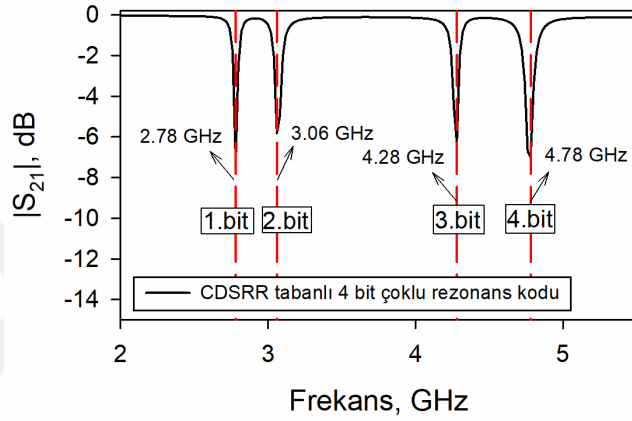
Bu bölümde birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanan CDSRR ve açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre devrelerinin tek bir mikroşerit iletim hattına yerleştirilmesiyle hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımının farklı konfigürasyonlarına yer verilmektedir. Tasarlanan hibrit model çoklu rezonans devresinin simülasyonları Tam Dalga Elektromanyetik Simülatör kullanılarak yapılmıştır. Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı için giriş ve çıkış portları arasındaki mikroşerit iletim hattı üzerine yerleştirilecek olan CDSRR ve açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre yapıları ile çoklu rezonans devresi elde edilmektedir. Çoklu rezonans devresi tasarımında farklı boyutlarda olmak üzere 2 tane CDSRR devresi kullanılmaktadır. Devre üzerine kuplajlanan bu devre yapısı ile 4 bit elde edilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımının bir başka bileşeni olan açık devre sonlandırılmış yan hat devre yapısı kullanılarak farklı elektriksel uzunluklara sahip toplamda 8 tane yan hat devresi giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattı üzerine kuplajlanan CDSRR devrelerinin yanlarına yerleştirilmektedir. Devreye bağlanan bu yan hatların her birinden 1 bit elde edilmektedir. İletim hattına bağlanan 8 tane açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri ile toplamda 8 bit elde edilmektedir. İletim hattına kuplajlanan CDSRR devrelerinin sayısı  $N_r$ , devreye bağlanan açık devre sonlandırılmış yan hat sayısı  $N_s$  olarak adlandırıldığı zaman, çoklu rezonans devresi toplamda  $2N_r + N_s$  tane bit koduna sahiptir. Tasarlanan bu çoklu rezonans devresi ile toplamda  $2^{2N_r + N_s}$  tane farklı kod kapasitesine sahiptir.

#### 4.1. CDSRR Devrelerinin Çoklu Rezonans Devre Tasarımına Eklenmesi

Hibrit model çipsiz RFID etiket devresi için tasarlanan çoklu rezonans devresinde dört bit kodunu oluşturan CDSRR devreleri giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattının üzerine kuplajlanmaktadır. Elde edilen devre yapısının sağ tarafına yerleştirilen CDSRR devresi 4.28 ve 4.78 GHz'de rezonans frekanslarına sahip iki biti oluşturmaktadır. İletim hattının sol tarafına kuplajlanan CDSRR devresi ise 2.78 ve 3.06 GHz'de rezonans frekanslarına sahip iki biti oluşturmaktadır. CDSRR devrelerinin çoklu rezonans devre tasarımına eklenmiş hali Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Elde edilen 4 bitli çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. CDSRR tabanlı çoklu rezonans devresi tasarımı



Şekil 4.2. CDSRR tabanlı çoklu rezonans devresi tasarımının frekans cevabı

#### 4.1.1. CDSRR eklenen çoklu rezonans devresinin minyatürizasyonu

Şekil 4.1'de giriş ve çıkış portları arasında yer alan mikroşerit iletim hattına kuplajlanmış iki CDSRR devresinin yan yana yerleştirildiği görülmektedir. Mevcut çoklu rezonans devresine sonraki aşamalarda yan hat devrelerinin de eklendiği düşünüldüğü zaman devre boyutlarının oldukça büyük olacağı öngörülmektedir. Kompakt bir devre tasarımının elde edilmesi için iletim hattı üzerine kuplajlanan CDSRR devrelerinin konumları üzerinde değişiklik yapılması hedeflenmektedir. Bu sebeple iki CDSRR devresinden bir tanesi iletim hattının üst bölümüne, diğer devre ise iletim hattının alt bölümüne kuplajlanmaktadır. Değişiklik yapılan çoklu rezonans devresi Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

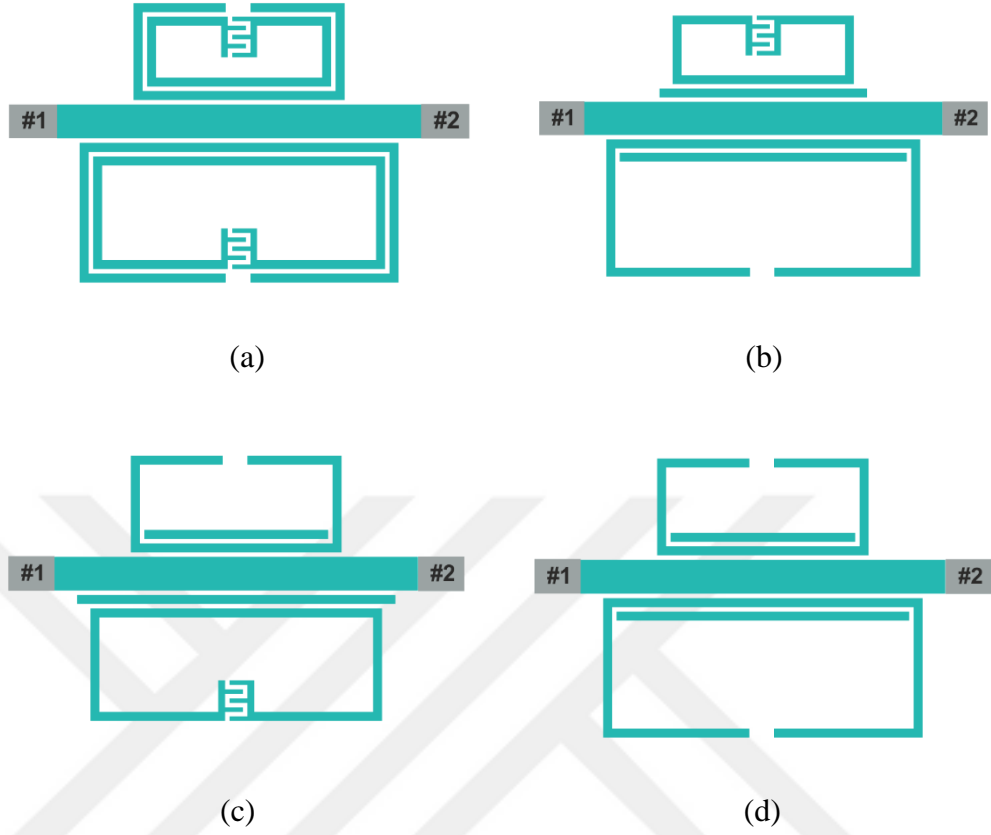


Şekil 4.3. Mikroşerit iletim hattının alt ve üst kısmına kuplajlanan CDSRR tabanlı çoklu rezonans devre tasarımı

İlk bakışta devre boyutlarının yatay ekseninde küçüldüğü fakat dikey ekseninde devre boyutlarında bir büyüme olduğu görülmektedir. Yapılan bu değişikliklerle devre boyutlarında önemli ölçüde bir küçülme olmadığı düşünülse de, sonraki aşamalarda yan hatların devreye ekleneceği düşünüldüğü zaman yapılan bu minyatürizasyon işlemi ile devre boyutlarında önemli ölçüde küçülme meydana geleceği görülmektedir. Sonraki aşamalarda yan hatların devreye eklenmesiyle devre boyutlarının yatay ekseninde önemli ölçüde büyüyeceği net bir şekilde anlaşılmaktadır. Şekil 4.3'te gösterilen devre yapısı sayesinde yatay ekseninde meydana gelecek büyümelerin önüne geçilmesinin yanı sıra, aynı zamanda devre tasarımına önemli ölçüde esneklik kazandıracakı düşünülmektedir.

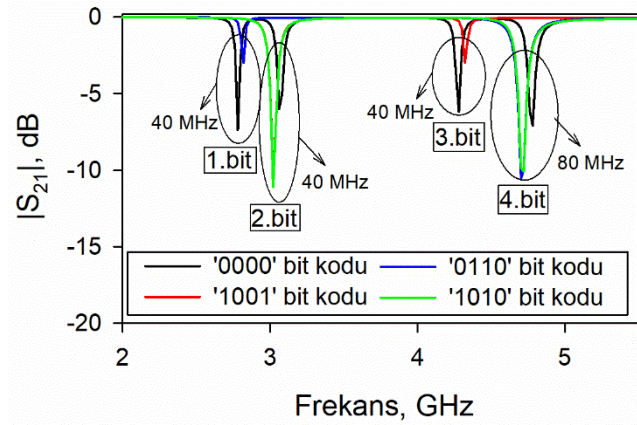
#### 4.1.2. CDSRR eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi

Giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına kuplajlanan iki tane CDSRR devresi ile 4 bit çoklu rezonans devresi elde edilmektedir. İletim hattı üzerinde yer alan CDSRR devrelerinin her birinden 2 bit elde edilirken toplamda  $2^4$  farklı bit kodu elde edilebilmektedir. Her bir CDSRR devresinden farklı durumların elde edilme yöntemi Bölüm 2'de anlatılmaktadır. Şekil 4.4'te farklı durumların elde edildiği CDSRR eklenen çoklu rezonans devre yapılarından bazı örnekler gösterilmektedir.



Şekil 4.4. (a) '0000' bit kodlu, (b) '1001' bit kodlu, (c) '0110' bit kodlu, (d) '1010' bit kodlu çoklu rezonans devre tasarımı

Şekil 4.4'te gösterilmekte olan çoklu rezonans devre yapılarının elde edildiği kod örneklerinin frekans cevapları Şekil 4.5'te gösterildiği gibidir.



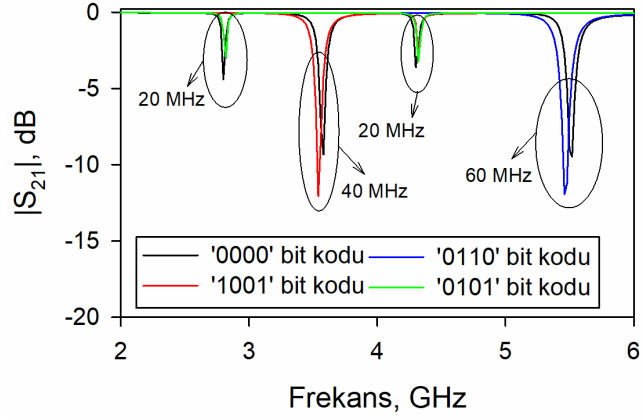
Şekil 4.5. CDSRR tabanlı çoklu rezonans devrelerinin farklı bit kodlarının frekans cevabı ve bitlerde oluşan frekans kaymalarının gösterimi

Şekil 4.5'te gösterilmekte olan frekans cevaplarına bakıldığı zaman, farklı bit kodları elde edilirken rezonans frekanslarında kaymalar olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu frekans kaymaları, sonraki aşamalarda bit sayısı artırıldığı zaman önemli sorunlara yol açabilmektedir. Bu sorunlara örnek verilecek olunursa, sonraki aşamalarda yan hatların devreye eklenmesi ile birlikte farklı bit kodları elde edilirken CDSRR ve yan hat devrelerinden elde edilen bitlerin rezonans frekanslarında çakışmaların meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bu sebeple bazı bitlerin oluşmasında sorunlar ve bit kayıpları meydana gelebilecektir. Ayrıca, üretilecek olan hibrit model çipsiz RFID etiketin kullanılacağı alanlarda RFID okuyucu ile tespitinin zorlaşacağı düşünülmektedir.

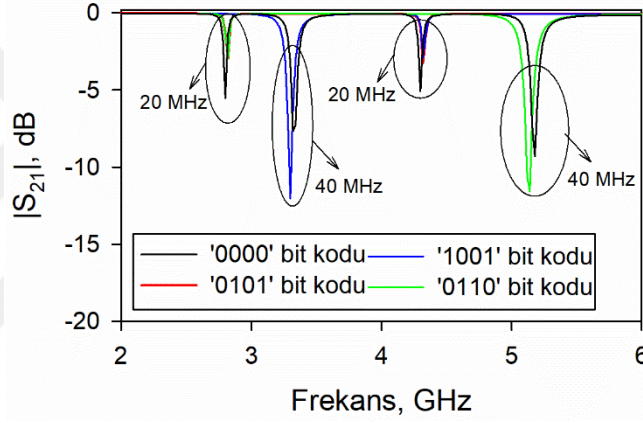
#### **4.1.2.1. CDSRR eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi esnasında meydana gelen frekans kaymalarının minimize edilmesi**

Şekil 4.5'te gösterilmekte olan farklı bit kodlarının elde edildiği frekans cevaplarının rezonans frekanslarında kaymalar olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu frekans kaymalarının nedeni, farklı bit kodlarının elde edilme yönteminde CDSRR devresi üzerinde yapılan değişiklikler sonucu iç ve dış açık halka rezonatörlerin arasında bulunan kuplajın değişmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere, farklı bit kodlarının elde edildiği durumlarda birinci ve üçüncü bitler, temsil eden rezonans frekanslarındaki kaymaların sırasıyla 40 MHz olduğu görülmektedir. Birinci ve üçüncü bitlerde meydana gelen bu frekans kayması tolere edilebilecek bir değer olup sonraki aşamalarda eklenecek olan yan hatların meydana getireceği bitlerin oluşturduğu rezonans frekanslarını etkilemeyecek ve bit kaybına sebep olmayacak seviyede olduğu görülmektedir. Farklı bit kodlarının elde edildiği durumlarda ikinci ve dördüncü bitleri temsil eden rezonans frekanslarındaki kaymaların sırasıyla 40 ve 80 MHz olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu kaymaları en aza indirmek için CDSRR devreli üzerinde değişiklikler yapılarak bu kaymaların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 2.1'de gösterilmekte olan CDSRR devresinde yer alan  $l_2$  elektriksel uzunluğunun ikinci bite olan etkisi Şekil 2.2'de gösterildiği gibidir. Bu bilgiden yola çıkarak, Şekil 2.13'te gösterilmekte olan  $l_1$  ve  $l_7$  elektriksel uzunluklarının frekans kaymalarına etkileri Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

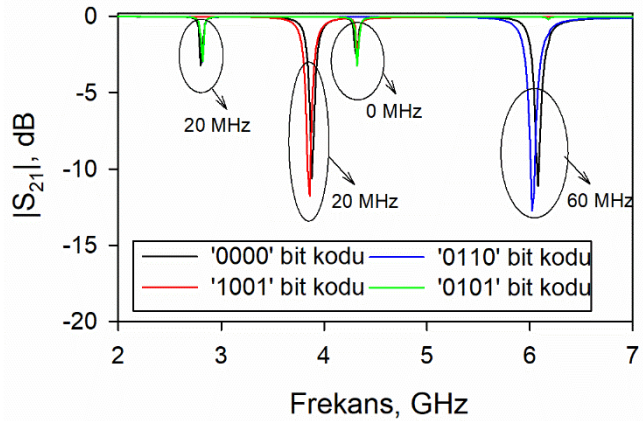




Şekil 4.6. CDSRR tasarımında yer alan  $l_1$  ve  $l_7$  uzunluklarının farklı bit kodları elde edilirken oluşan frekans kaymalarına olan etkisi ( $l_1 = 3.1$  mm ve  $l_7 = 4.9$  mm )



Şekil 4.7. CDSRR tasarımında yer alan  $l_1$  ve  $l_7$  uzunluklarının farklı bit kodları elde edilirken oluşan frekans kaymalarına olan etkisi ( $l_1 = 2.4$  mm ve  $l_7 = 3.7$  mm )

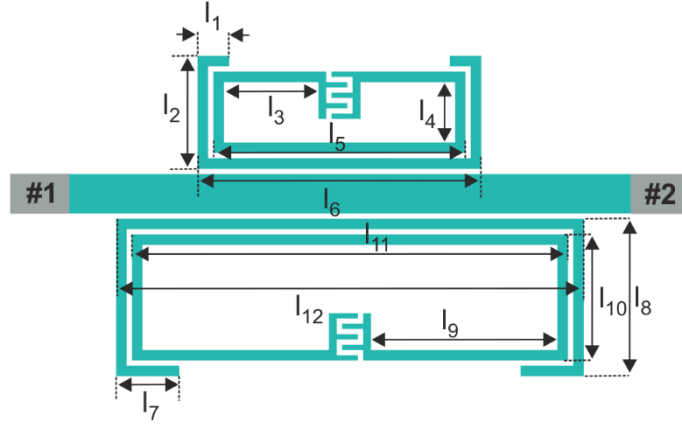


Şekil 4.8. CDSRR tasarımında yer alan  $l_1$  ve  $l_7$  uzunluklarının farklı bit kodları elde edilirken oluşan frekans kaymalarına olan etkisi ( $l_1 = 1.4$  mm ve  $l_7 = 2.4$  mm )

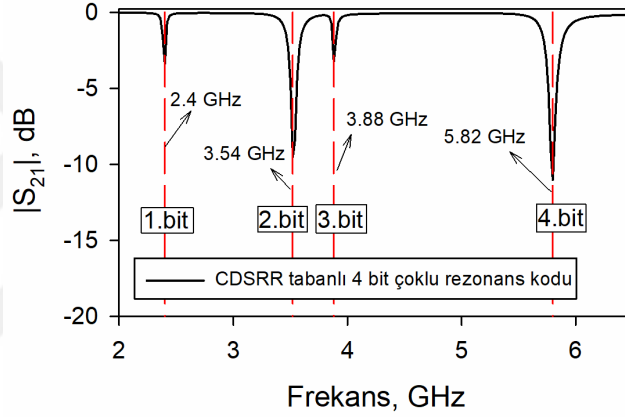
Yapılan parametre çalışmaları incelendiğinde Şekil 4.8’de gösterilmekte olan frekans cevaplarındaki ikinci ve dördüncü bitleri temsil eden rezonans frekanslarındaki kaymanın 20 ve 60 MHz olduğu görülmektedir. Yapılan parametre çalışmalarında görüldüğü üzere  $I_1$  ve  $I_7$  parametrelerinin azaltılmasıyla birlikte ikinci ve dördüncü bitlerin oluşturduğu rezonans frekanslarının dB değerinde azalmalar meydana gelmektedir. CDSRR devrelerinde  $I_1$  ve  $I_7$  elektriksel uzunlukları sırasıyla 1.4 ve 2.4 mm olarak seçilerek, bitlerin rezonans frekanslarındaki dB değerlerini kabul edilebilir düzeyde tutmak ve rezonanslarda meydana gelen frekans kaymalarını en aza indirebilmek amaçlanmaktadır.

#### **4.1.3. CDSRR eklenen çoklu rezonans devresinin rezonans frekanslarının düzenlenmesi**

Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı oluşturacak olan çoklu rezonans devre tasarımının çalışma frekans aralığı 2-6 GHz olarak planlanmaktadır. Bu frekans aralığında esnek tasarıma, kolay anlaşılabilir bir bit dağılımına ve kompakt devre boyutlarına sahip tasarımın yapılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, elde edilecek olan hibrit devre yapısının sadece teorik olarak iki farklı yaklaşımı barındırmasının yanı sıra tasarlanan devrenin frekans cevabında da bu hibrit yaklaşımın barındırılması hedeflenmektedir. Frekans cevabındaki bu hibrit yaklaşım daha ayrıntılı olarak açıklanacak olursa, elde edilecek olan 12 bit kod frekansında farklı metodlarla oluşturulan bitlerin frekans dağılımları hesaplanırken, aynı metodla elde edilen kodların rezonans frekanslarını,  $S_{21}$  frekans cevabına gruplar halinde yerleştirmek yerine iç içe geçmiş bir frekans cevabının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu dağılımlara örnek verilecek olunursa, frekans cevabında ilk dört bitin CDSRR devresinden elde edilip kalan diğer sekiz bitin yan hatlardan elde edilmesi şeklinde tasarımın yapılması mümkün olmaktadır. Fakat birinci, altıncı, yedinci ve on ikinci bitlerin CDSRR devresi ile oluşturulup bu bitler arasına kalan diğer sekiz bitin yan hatlardan oluşturulup yerleştirilmesiyle tasarımda kullanılan metodlarla birlikte aynı zamanda elde edilen bitlerin frekans cevaplarında da hibrit bir cevabın elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede elde edilecek olan hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı hem teorik olarak, hem devre görseli olarak hem de frekans cevabı olarak hibrit bit yapıya sahip olması hedeflenmektedir. Bu sebeple çoklu rezonans devresinde yer alan CDSRR devrelerinin boyutlarında değişiklikler yapılmış olup devre yapısı ve frekans cevabı Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Frekans düzenlemesi yapılan CDSRR tabanlı çoklu rezonans devre tasarımı



Şekil 4.10. Frekans düzenlemesi yapılan CDSRR tabanlı çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı ve bit gösterimi

Şekil 4.9’da gösterilmekte olan çoklu rezonans devresinin boyutlandırmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 4.1’de verilmektedir. Tasarlanan CDSRR devrelerinin rezonans frekansları 2.4, 3.54, 3.88 ve 5.82 GHz olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1. CDSRR tabanlı 4 bit çoklu rezonans devre tasarımına ait son boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

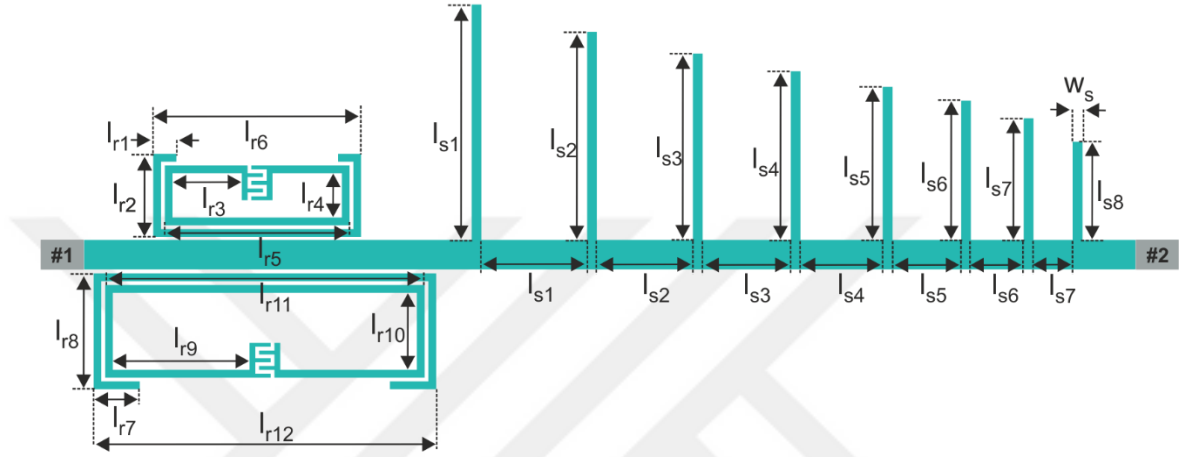
$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$
1.4	4.3	3.6	2.3	9.6	10.8
$l_7$	$l_8$	$l_9$	$l_{10}$	$l_{11}$	$l_{12}$
2.4	6	7.1	4.8	16.6	17.8

Şekil 4.9’da gösterilmekte olan devre yapısında iletim hattının üst kısmına kuplajlanan CDSRR devresi 2.4 ve 3.54 GHz rezonans frekanslarına sahip bitleri oluşturmaktadır. İletim hattının alt kısmına kuplajlanan CDSRR devresi ise 3.88 ve 5.82 GHz rezonans frekanslarına sahip bitleri oluşturmaktadır.

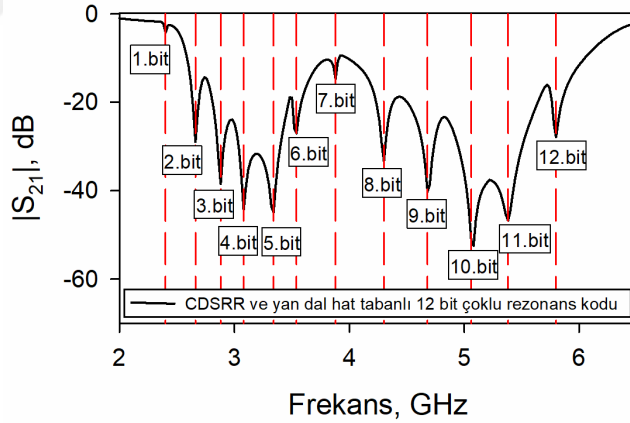
#### **4.2. Açık Devre Sonlandırılmış Yan hat Tabanlı Band Durduran Filtre Devrelerinin Çoklu Rezonans Devre Tasarımına Eklenmesi**

Hibrit model çipsiz RFID etiket devresi için tasarlanan çoklu rezonans devresinde sekiz bit kodunu oluşturan açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına bağlanmaktadır. Devreye bağlanacak olan yan hatlar devreye kuplajlanmış CDSRR yapılarının yanına yerleştirilecek şekilde çoklu rezonans devresine eklenmektedir. Devreye eklenecek yan hatların her biri ilgili bitin rezonans frekansına bağlı olarak farklı  $\lambda/4$  uzunluklarına sahip olacak şekilde boyutlandırılmaktadır. Tasarlanan CDSRR devrelerinin rezonans frekanslarına göre yan hatların merkez rezonans frekansları belirlenmektedir. Çoklu rezonans devresine eklenecek olan sekiz tane yan hat devresinden dört tanesinin bit frekansları 2.4-3.54 GHz frekans aralığına konumlandırılacak şekilde tasarlanmaktadır. Kalan dört yan hat devresi ise bit frekansları 3.88-5.82 GHz frekans aralığına konumlandırılacak şekilde tasarlanmaktadır. Devre boyutlarında büyüme olmaması için CDSRR yapılarının devreye eklenme yöntemi kullanılarak yan hatlar iletim hattına bağlanmaktadır. Bu sayede devre boyutlarının yatay ekseninde büyümesi engellenmektedir. Yan hat devreleri dörtlü gruplar halinde iletim hattının alt ve üst kısmına bağlanmaktadır. Devrenin üst kısmına bağlanan yan hat yapılarının elektriksel uzunlukları devrenin üst kısman kuplajlanan CDSRR yapısının rezonans frekanslarına göre belirlenmektedir. Devrenin alt kısmına bağlanan yan hatların elektriksel uzunlukları devrenin alt kısmına kuplajlanan CDSRR yapısının rezonans frekanslarına göre belirlenmektedir. Bu tasarım sayesinde giriş çıkış portları arasındaki

devrenin üst kısmına yerleştirilen CDSRR ve yan hat devreleri 12 bit hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımının ilk altı bitini oluştururken, iletim hattının alt kısmına yerleştirilen CDSRR ve yan hat devreleri etiketin son altı bitini oluşturmaktadır. Şekil 4.11’de yan hatların eklendiği çoklu rezonans devresi gösterilmektedir. Şekil 4.12’de 12 bit çoklu rezonans devresinin frekans cevabı gösterilmektedir.



Şekil 4.11. CDSRR ve yan hat tabanlı çoklu rezonans devre tasarımı (154.4 x 40 mm<sup>2</sup>)



Şekil 4.12. CDSRR ve yan hat tabanlı 12 bit çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı

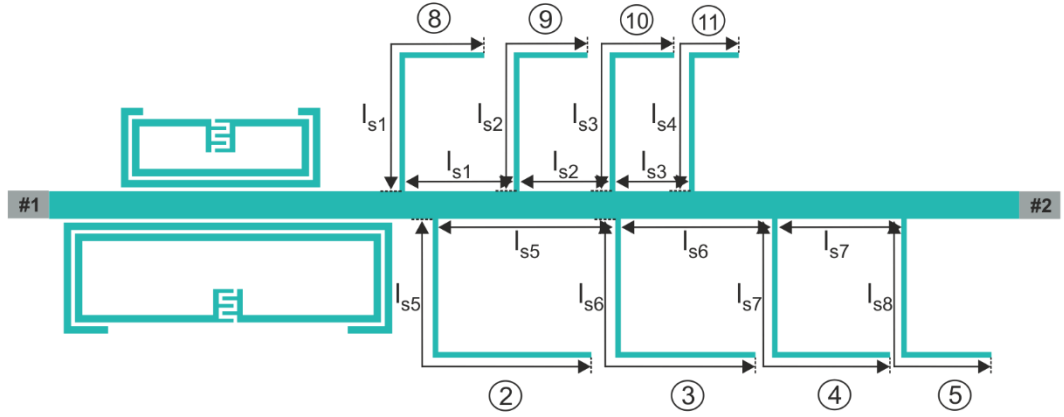
Şekil 4.11’de gösterilmekte olan çoklu rezonans devresinin boyutlandırmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 4.2’de verilmektedir. Tasarlanan açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin rezonans frekansları 2.66, 2.88, 3.08, 3.32, 4.3, 4.68, 5.06 ve 5.4 GHz olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2. CDSRR ve yan hat tabanlı 12 bit çoklu rezonans devresine ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

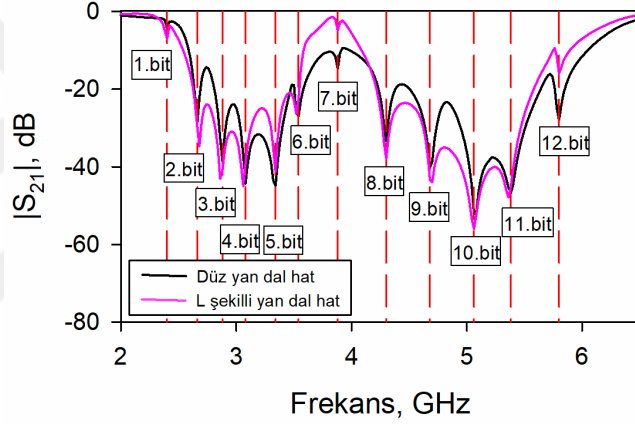
$l_{r1}$	$l_{r2}$	$l_{r3}$	$l_{r4}$	$l_{r5}$	$l_{r6}$	$l_{r7}$
1.2	4.3	3.6	2.3	9.6	10.8	2.4
$l_{r8}$	$l_{r9}$	$l_{r10}$	$l_{r11}$	$l_{r12}$	$l_{s1}$	$l_{s2}$
6	7.1	4	16.6	17.8	10.2	10.8
$l_{s3}$	$l_{s4}$	$l_{s5}$	$l_{s6}$	$l_{s7}$	$l_{s8}$	
11.7	12.8	16.9	18.1	19.3	20.7	

#### 4.2.1. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre yapısı eklenen çoklu rezonans devresinin minyatürizasyonu

Şekil 4.11’de giriş ve çıkış portları arasında yer alan mikroşerit iletim hattının alt ve üst kısmına kuplajlanmış CDSRR devrelerinin yanlarına, iletim hattının üst bölümüne  $\lambda/4$  aralıklarla yerleştirilmiş açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımları gösterilmektedir. Devre üzerine yerleştirilen yan hat yapılarının her biri farklı rezonans frekansında çalışmakta olup farklı  $\lambda/4$  uzunluklarda tasarlanmaktadır. Düşük frekanslarda rezonansa sahip yan hat devrelerinin boyutlarının, daha yüksek frekansta rezonansa sahip olan yan hat devrelerinin boyutlarından daha büyük olduğu görülmektedir. Bu sebeple devreye eklenmiş olan her bir yan hat yapısı devrenin yatay ve dikey eksendeki boyutlarını fazlasıyla arttırmaktadır. Tasarlanan çoklu rezonans devresinin boyutlarını dikey eksende azaltmak amacıyla, açık devre sonlandırılmış yan hat yapılarında düz bir iletim hattı kullanmak yerine kıvrımlı yapıların kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sayede çoklu rezonans devresinin dikey eksen boyutlarında önemli bir küçülme elde edilebilmektedir. Çoklu rezonans devresinin dikey eksendeki boyutunu küçültmek amacıyla yan hat yapılarında düz bir iletim hattı yerine L şekilli yan hat yapıları devreye eklenerek CDSRR devrelerinin rezonans frekansları arasında dörtlü gruplar halinde yerleştirilen 8 bit tasarımı yapılmıştır. Yapılan minyatürizasyon işlemi sonrası çoklu rezonans devresi Şekil 4.13’te gösterilmektedir. Düz iletim hattı tasarımına sahip ve L şekilli iletim hattı tasarımına sahip yan hat devrelerinin bit frekansları karşılaştırılmış olup Şekil 4.14’te gösterilmektedir. Şekil 4.14’te gösterilmekte olan frekans cevabından da anlaşılacağı üzere, yan hat devrelerinin elektriksel uzunluklarında hiçbir değişiklik yapılmadan L şeklinin verilmesiyle oluşturulan bitlerin rezonans frekanslarında en fazla 20 MHz’lik kaymaya neden olmaktadır.



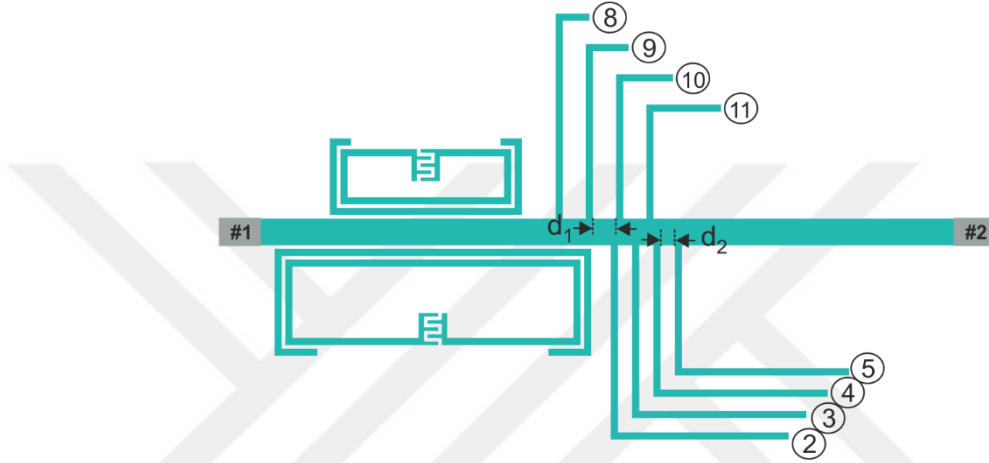
Şekil 4.13. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımı (106.2 x 25 mm<sup>2</sup>)



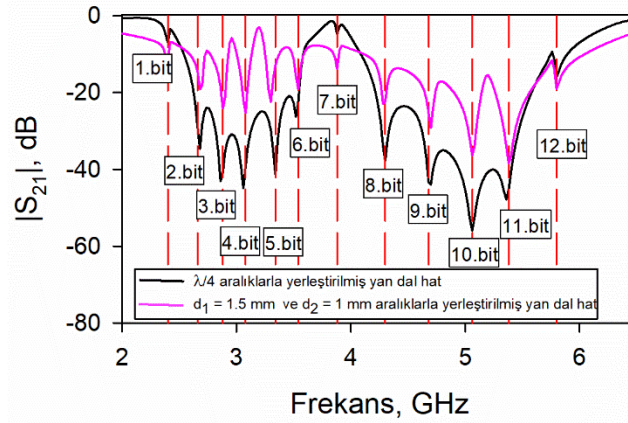
Şekil 4.14. L şekilli ve düz şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımlarının frekans cevaplarının karşılaştırılması

Şekil 4.13'te gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımının dikey eksenindeki boyut küçültme çalışmalarının ardından yatay ekseninde de devre boyutlarının küçültülmesi amaçlanmaktadır. Çoklu rezonans devre tasarımı incelendiği zaman, giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına bağlanan L şekilli yan hat devreleri arasında  $\lambda/4$  kadar mesafe olduğu görülmektedir. Her bir yan hat arasındaki bu mesafenin başlıca amacı, hatlar arasındaki kuplajdan kaynaklı frekans kaymalarının önüne geçmektir. Fakat çoklu rezonans devresinin yatay eksenindeki boyutunun büyük olmasının en temel sebebi, her bir yan hat yapısının iletim hattı üzerine  $\lambda/4$  mesafede yerleştirilmesidir. Literatürde yer alan [5], [7] ve [8] incelendiği zaman, açık devre sonlandırılmış L şekilli yan hatların iletim hattına 1 mm aralıklar ile yerleştirildiği görülmektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak, çoklu rezonans devresinde yer alan L şekilli yan hat yapıları arasındaki boşluklar 1 mm olacak şekilde yeni tasarımın yapılması hedeflenmektedir. Bu değişiklikler yapılırken yan

hatların yatay eksende yer alan kollarının birbirleri ile çakışmaması gerekmektedir. Bu sebeple L şekilli yan hatların yatay ve dikey kollarının uzunluklarında değişiklik yapılması gerekmektedir. Yan hatların yatay ve dikey kolları arasındaki mesafeler 1 mm olacak şekilde tasarım yapılmış olup devre yapısı Şekil 4.15'te gösterilmektedir. Yapılan değişiklikler sonrası çoklu rezonans devresinin frekans cevabı Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



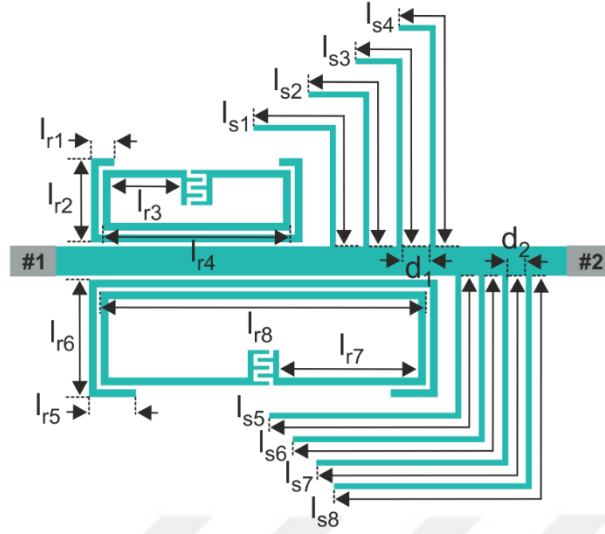
Şekil 4.15. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin aralarında  $d_1 = 1.5$  mm ve  $d_2 = 1$  mm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımı ( $45 \times 30$  mm<sup>2</sup>)



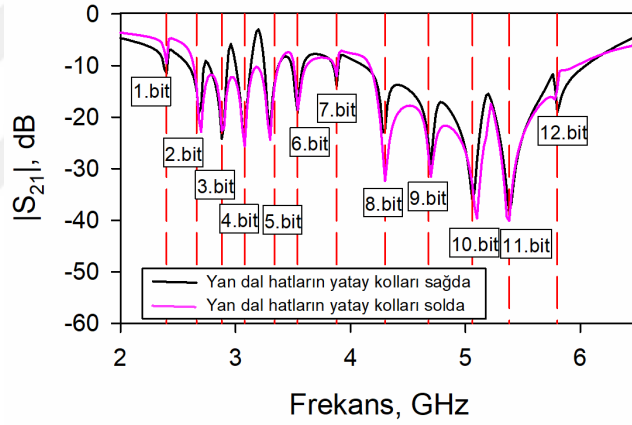
Şekil 4.16. L şekilli yan hat devrelerinin aralarında  $d_1 = 1.5$  mm ve  $d_2 = 1$  mm mesafe olacak şekilde ve  $\lambda/4$  aralıklarla yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımlarının frekans cevabı karşılaştırması



Şekil 4.15'te gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımının yatay eksenindeki boyut küçültme çalışmalarının ardından devrenin yatay ekseninde biraz daha küçülebileceği düşünülmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımının üst kısmında yer alan L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri soldan sağa doğru olacak şekilde sırasıyla ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci bitleri oluşturmaktadır. Çoklu rezonans devresinin alt kısmında yer alan yan hat devreleri de soldan sağa doğru olacak şekilde sekizinci, dokuzuncu, onuncu ve on birinci bitleri oluşturmaktadır. Devre üzerine yerleştirilmiş olan bu yan hatların yatay kolları devre tasarımının sağ tarafına yönelecek şekilde yerleştirildiği Şekil 4.15'te görülmektedir. Çoklu rezonans devresinin yatay ekseninde küçültme yapabilmek için, tasarıma yerleştirilen yan hatların yatay kollarının tasarımın sol tarafına yönelecek şekilde yerleştirilmesi planlanmaktadır. Bu şekilde yapılacak olan tasarımda, yan hatların yatay kolları CDSRR devrelerinin üst kısımlarına gelecek şekilde konumlandırılmaktadır. Yapılan değişiklikler sonrası CDSRR devreleri ile yan hatların yatay kolları arasında kuplaj oluşacağı bilinmektedir. Çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodları elde edilirken, devre şekli üzerinde yapılan değişiklikler sonrası CDSRR devreleri ve yan hat devrelerinin yatay kolları arasındaki kuplajı ortadan kaldırmak adına, CDSRR devrelerinin üst kısmı ile yatay kollar arasında 1 mm boşluk olacak şekilde tasarım gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, yapılan değişikliklerden kaynaklı tasarımda yer alan yan hatların yatay ve dikey kollarında meydana gelebilecek olan kuplajı engellemek için bitleri temsil eden yan hatların sıralamasında değişiklik yapılmaktadır. Yapılan yeni tasarımda, çoklu rezonans devresinin üst kısmında yer alan yan hat devreleri soldan sağa doğru sırasıyla beşinci, dördüncü, üçüncü ve ikinci bitleri oluşturmaktadır. Devrenin alt kısmında yer alan yan hat devreleri ise soldan sağa doğru sırasıyla on birinci, onuncu, dokuzuncu ve sekizinci bitleri oluşturmaktadır. Minyatürizasyon sonrası tasarlanan çoklu rezonans devresinin yapısı Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Yapılan değişiklikler sonrası çoklu rezonans devresinin frekans cevabı Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin CDSRR yapılarının çevresine yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımı (32 x 30 mm<sup>2</sup>)



Şekil 4.18. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin CDSRR yapılarının çevresine yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı

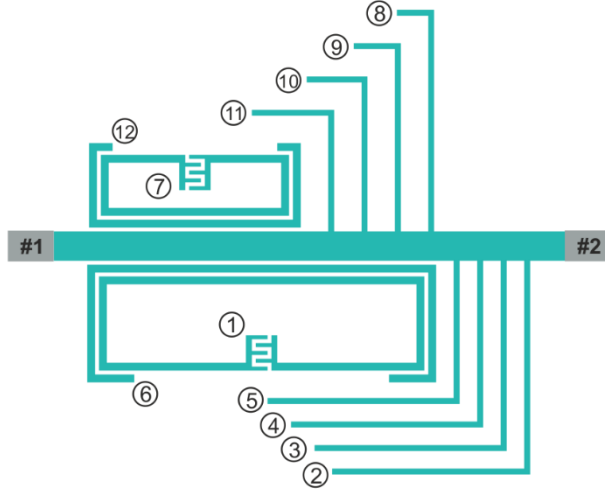
Şekil 4.17’de gösterilmekte olan çoklu rezonans devresinin boyutlandırılmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 4.3’te verilmektedir.

Tablo 4.3. L şekilli açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin CDSRR devrelerinin yerleştirilmiş çoklu rezonans devre tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

<b>l<sub>r1</sub></b>	<b>l<sub>r2</sub></b>	<b>l<sub>r3</sub></b>	<b>l<sub>r4</sub></b>	<b>l<sub>r5</sub></b>	<b>l<sub>r6</sub></b>
1.2	4.3	3.6	9.6	2.4	6
<b>l<sub>r7</sub></b>	<b>l<sub>r8</sub></b>	<b>l<sub>s1</sub></b>	<b>l<sub>s2</sub></b>	<b>l<sub>s3</sub></b>	<b>l<sub>s4</sub></b>
7.1	16.6	10.2	10.8	11.7	12.8
<b>l<sub>s5</sub></b>	<b>l<sub>s6</sub></b>	<b>l<sub>s7</sub></b>	<b>l<sub>s8</sub></b>		
16.9	18.1	19.3	20.7		

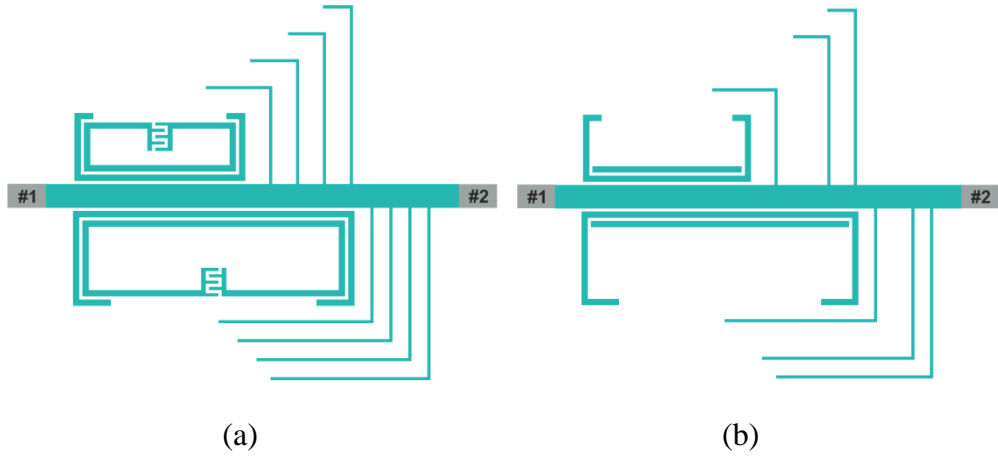
#### 4.2.2. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre tasarımı eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi

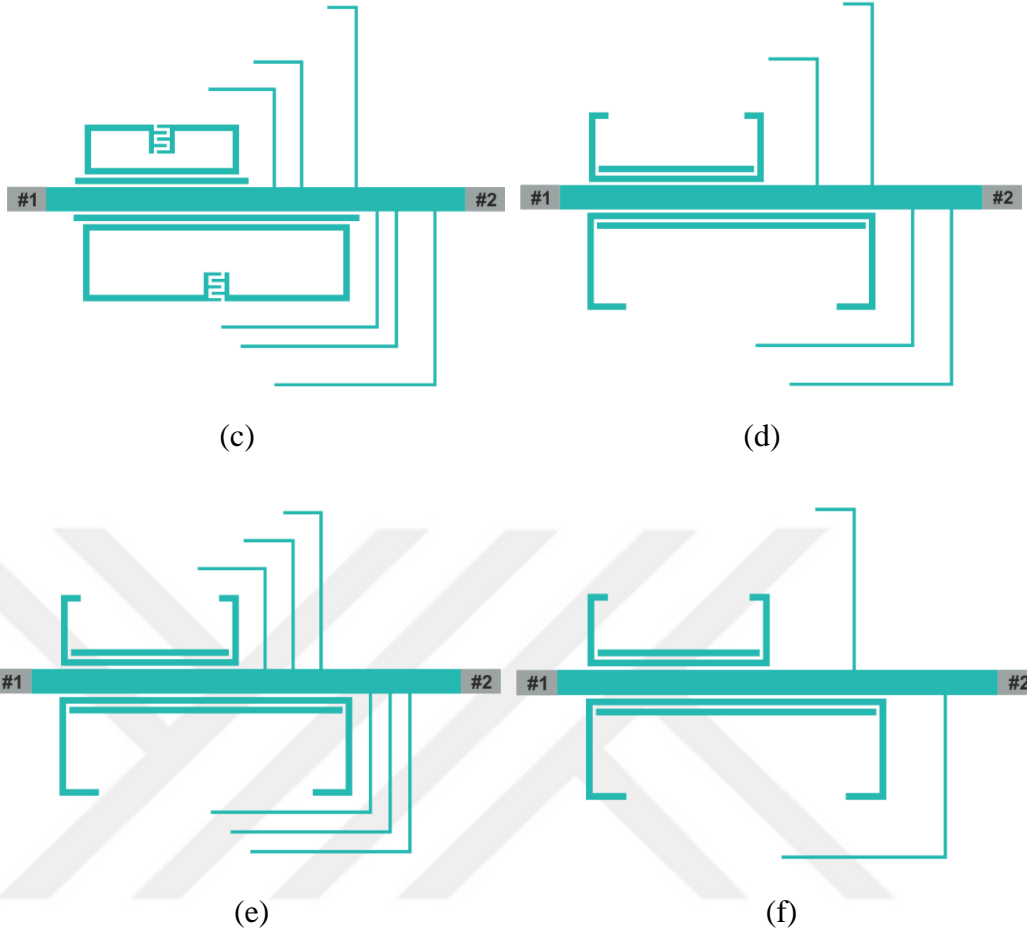
Giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına yerleştirilen iki tane CDSRR devresi ve sekiz tane açık devre sonlandırılmış yan hat devresi ile çoklu rezonans devresi tasarlanmaktadır. Devreye yerleştirilen CDSRR ve yan hat yapılarıyla sırasıyla 4 bit ve 8 bit kodu oluşturularak 12 bit çoklu rezonans devresi elde edilmektedir. İletim hattı üzerinde yer alan CDSRR devrelerinin her birinden 2 bit elde edilirken toplamda  $2^4$  farklı bit kodu elde edilebilmektedir. İletim hattına bağlanan yan hat devrelerinin her birinden 1 bit elde edilirken toplamda  $2^8$  farklı bit kodu elde edilebilmektedir. Tasarlanan hibrit model çoklu rezonans devresi ile  $2^{12}$  farklı bit kodu elde edilebilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımında yer alan yapıların hangi bitleri temsil ettiği Şekil 4.19’da yer alan devre üzerinde numaralar ile gösterilmektedir.



Şekil 4.19. 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan yapıların temsil ettiği bit gösterimi

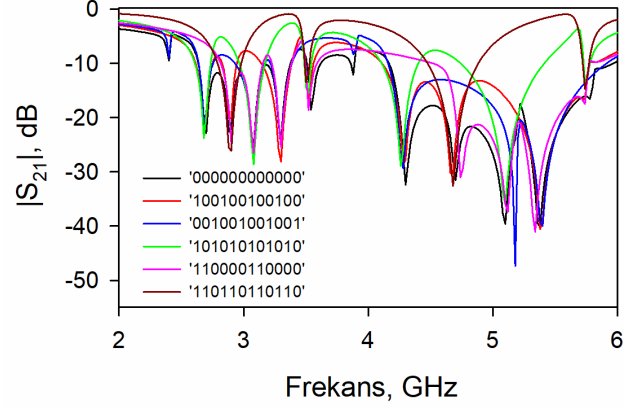
Her bir yan hat devresinden farklı durumların elde edilme yöntemi Bölüm 2’de anlatılmaktadır. Şekil 4.20’de farklı durumların elde edildiği açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre eklenen çoklu rezonans devre yapılarından bazı örnekler gösterilmektedir.





Şekil 4.20. Hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının elde edilme yöntemi (a) '00000000000' bit kodu, (b) '100100100100' bit kodu, (c) '001001001001' bit kodu, (d) '101010101010' bit kodu, (e) '110000110000' bit kodu, (f) '1101101101'

Şekil 4.20'de gösterilmekte olan çoklu rezonans devre yapılarının elde edildiği kod örneklerinin frekans cevapları Şekil 4.21'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.21. Hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının frekans cevabı karşılaştırması

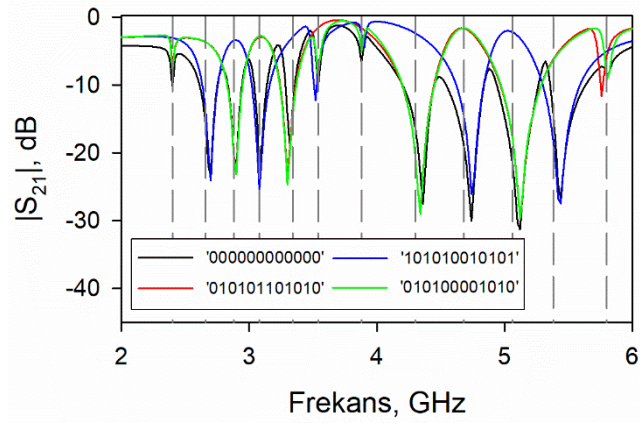
Şekil 4.20.(a)'da gösterilmekte olan hibrit model çoklu rezonans devre tasarımı ile '000000000000' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Elde edilen bu kimlik numarasının frekans cevabı Şekil 4.21'de yer alan siyah renkle çizilmiş olan grafikte verilmektedir. Şekil 4.20.(b)'de gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımı ile '100100100100' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımında yer alan CDSRR devrelerinin iç açık halka rezonatör yapıları ile Şekil 4.19'da gösterilen iletim hattının alt ve üst kısmına bağlanan 3 ve 10 numaralı yan hat yapılarının devreden çıkarılmasıyla '100100100100' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Elde edilen bu kimlik numarasının frekans cevabı Şekil 4.21'de yer alan kırmızı renkle çizilmiş olan grafikte verilmektedir. Şekil 4.20.(c)'de gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımı ile '001001001001' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımında yer alan CDSRR devrelerinin dış açık halka rezonatör yapıları ile Şekil 4.19'da gösterilen 3 ve 9 numaralı yan hat yapılarının devreden çıkarılması ile '001001001001' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Elde edilen bu kimlik numarasının frekans cevabı Şekil 4.21'de yer alan mavi renkle çizilmiş olan grafikte verilmektedir. Şekil 4.20.(d)'de gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımı ile '101010101010' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımında yer alan CDSRR devrelerinin iç açık halka rezonatör yapıları ile Şekil 4.19'da gösterilen 3, 5, 9 ve 11 numaralı yan hat yapılarının devreden çıkarılması ile '101010101010' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Elde edilen bu kimlik numarasının frekans cevabı Şekil 4.21'de yer alan yeşil renkle çizilmiş olan grafikte verilmektedir. Şekil 4.20.(e)'de gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımı ile

'110000110000' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımında yer alan CDSRR devrelerinin dış açık halka rezonatör yapıları ile Şekil 4.19'da gösterilen 2, 4, 8 ve 10 numaralı yan hat yapılarının devreden çıkarılması ile '110000110000' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Elde edilen bu kimlik numarasının frekans cevabı Şekil 4.21'de yer alan pembe renkle çizilmiş olan grafikte verilmektedir. Şekil 4.20.(f)'de gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımı ile '110110110110' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Çoklu rezonans devre tasarımında yer alan CDSRR devrelerinin iç açık halka rezonatör yapıları ile Şekil 4.19'da gösterilen 2, 4, 5, 8, 10 ve 11 numaralı yan hat yapılarının devreden çıkarılması ile '110110110110' bit kodlu kimlik numarası elde edilmektedir. Elde edilen bu kimlik numarasının frekans cevabı Şekil 4.21'de yer alan kahverengi renkle çizilmiş olan grafikte verilmektedir.

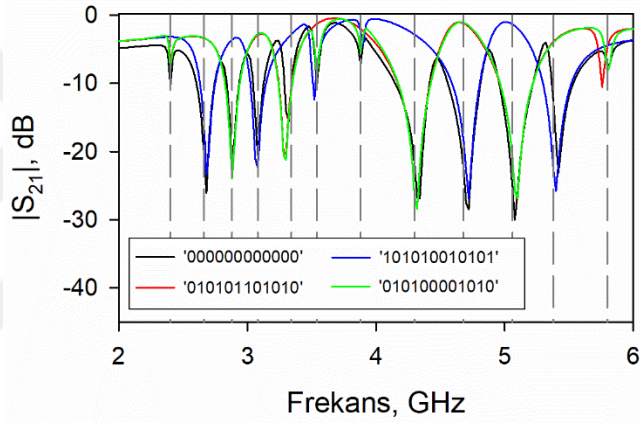
Şekil 4.21'de gösterilmekte olan frekans cevaplarına bakıldığında, farklı bit kodları elde edilirken yan hatların oluşturduğu bitlerin rezonans frekanslarında kaymalar olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu frekans kaymaları, etiketin bit kapasitesi artırılmak istendiğinde zaman sonraki aşamalarda önemli sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca, meydana gelen frekans kaymaları nedeniyle etiket kimlik değerlerinin doğru tespit edilememesi gibi sorunlar ile karşılaşılabilir.

#### **4.2.2.1. Açık devre sonlandırılmış yan hat tabanlı band durduran filtre eklenen çoklu rezonans devresiyle farklı bit kodlarının elde edilmesi esnasında meydana gelen frekans kaymalarının minimize edilmesi**

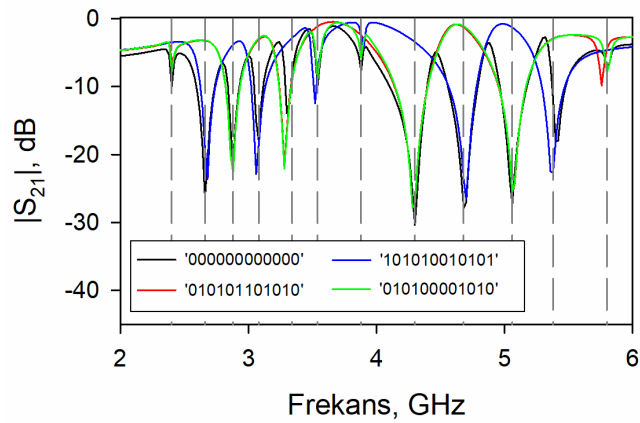
Şekil 4.21'te gösterilmekte olan farklı bit kodlarının elde edildiği frekans cevaplarının rezonans frekanslarında kaymalar olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu frekans kaymalarını minimize etmek için, CDSRR ve yan hatların bağlandığı giriş ve çıkış portları arasındaki  $50 \Omega$ 'luk iletim hattının empedansı azaltılmaktadır [8]. Bu sayede yan hatlardan kaynaklı frekans kaymaları en aza indirilmektedir. Şekil 4.25'te gösterilmekte olan  $W_d$  uzunluğunun frekans kaymalarına olan etkisi Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te incelenmektedir.



Şekil 4.22. Hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan  $W_d$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $W_d = 3.5$  mm)



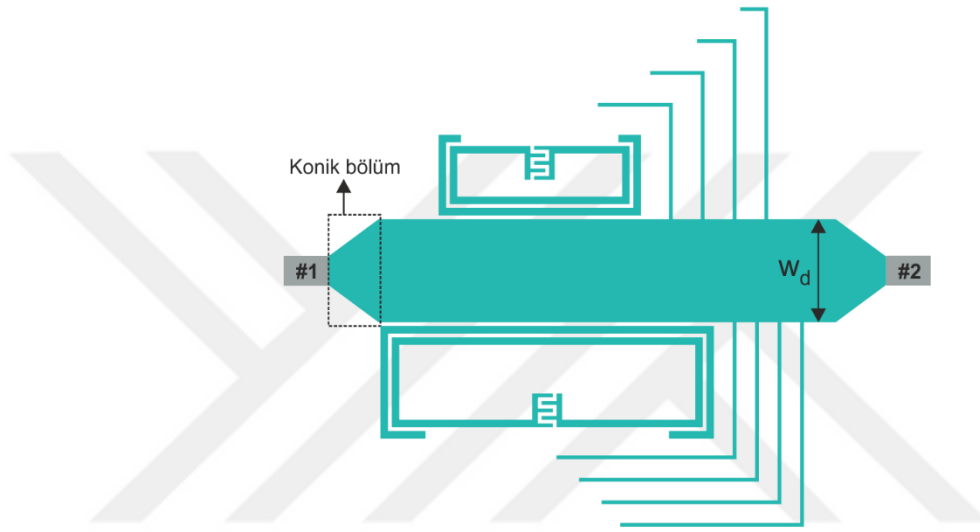
Şekil 4.23. Hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan  $W_d$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $W_d = 4.5$  mm)



Şekil 4.24. Hibrit model çoklu rezonans devresinde yer alan  $W_d$  uzunluğunun frekans cevabına etkisi ( $W_d = 5.5$  mm)



Şekil 4.24'te gösterildiği üzere iletim hattının  $18 \Omega$  olduğu durumda ( $W_d = 5.5 \text{ mm}$ ) frekans kaymalarının en aza indiği görülmektedir. Ayrıca, mikroşerit iletim hattında  $50 \Omega$  ile  $18 \Omega$ 'luk hatlar arasındaki empedans uyumsuzluğunu en aza indirmek için bir empedans transformatörü (konik bölüm) de yapıya dahil edilmiştir [8]. Giriş ve çıkış portları arasına yerleştirilen  $18 \Omega$ 'luk iletim hattı ve empedans transformatörü eklenen çoklu rezonans devre tasarımı Şekil 4.25'te gösterilmektedir.

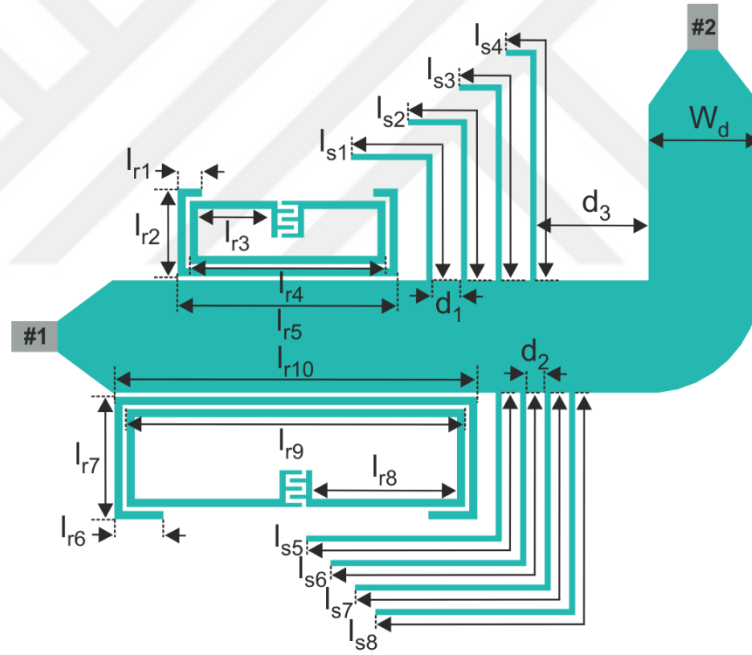


Şekil 4.25.  $18 \Omega$ 'luk iletim hattına sahip hibrit model çoklu rezonans devre tasarımı

### 4.3. Ortogonal Portlu Hibrit Çoklu Rezonans Devre Tasarımı

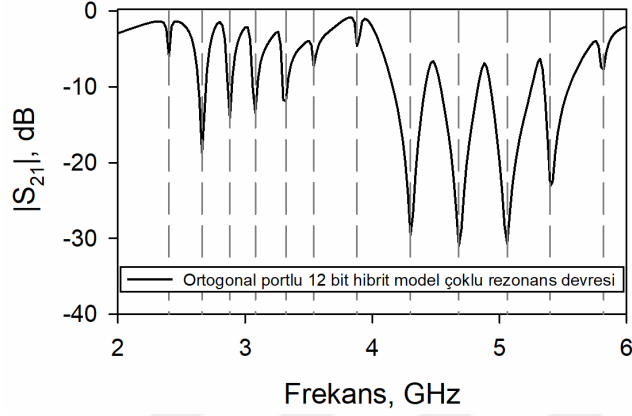
Çipsiz RFID etiket tasarımlarında giriş ve çıkış portları karşılıklı veya ortogonal olarak yerleştirilebilmektedir. Şekil 4.25'te yer alan giriş ve çıkış portları karşılıklı olarak yerleştirilmiş portlara örnek olarak gösterilebilmektedir. RFID etiket tasarımlarında giriş ve çıkış portlarının karşılıklı olarak yerleştirilmesi durumunda, etikete yerleştirilecek olan alıcı ve verici antenlerin yatay ve dikey kutuplanmalarını sağlamak için antenlerden birinin giriş veya çıkış portuna  $90^0$  döndürülerek bağlanması gerekmektedir. Bu sebeple, yatay ve dikey kutuplanmaya sahip iki farklı anten tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu tasarım karmaşasının önüne geçebilmek için portlar arasında yer alan mikroşerit iletim hattının L şeklinde bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Böylece tasarıma eklenecek olan monopol antenler, herhangi bir dönüş olmadan doğrudan giriş ve çıkış portlarına entegre edilebilmektedir. Bu sebeple, sonraki aşamalarda devreye eklenecek olan monopol antenlerin doğrudan devreye entegre edilebilmesi için ortogonal portlu hibrit

model çoklu rezonans devre tasarımının yapılması amaçlanmaktadır. Öncelikle, tasarımda yer alan giriş ve çıkış portlarından biri yatay ekseninde diğeri de dikey ekseninde yer alacak şekilde konumlandırılmaktadır. Farklı eksenlere yerleştirilmiş olan portlar arasında  $90^0$ 'lik açı elde edilmektedir. Böylece devre yapısına eklenecek olan iki monopol antenden biri yatay kutuplanmaya diğeri ise dikey kutuplanmaya sahip olmaktadır. Sonraki aşamada, giriş ve çıkış portları arasındaki  $18 \Omega$ 'luk mikroşerit iletim hattı L şeklinde tasarlanmaktadır. Böylece, hibrit model çoklu rezonans devresi yatay ve dikey eksenlere konumlandırılan portlara bağlanabilmektedir. Tasarımda yer alan L şekilli iletim hattında bulunan köşe noktalarının oluşturabileceği kapasitif etkiyi engellemek amacıyla kavisli tasarım yapısı tercih edilmektedir. Tasarımda değişiklik yapılan çoklu rezonans devresi Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



Şekil 4.26. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devre tasarımı

Şekil 4.26’da gösterilmekte olan ortogonal portlu çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı Şekil 4.27’de gösterilmektedir.



Şekil 4.27. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı

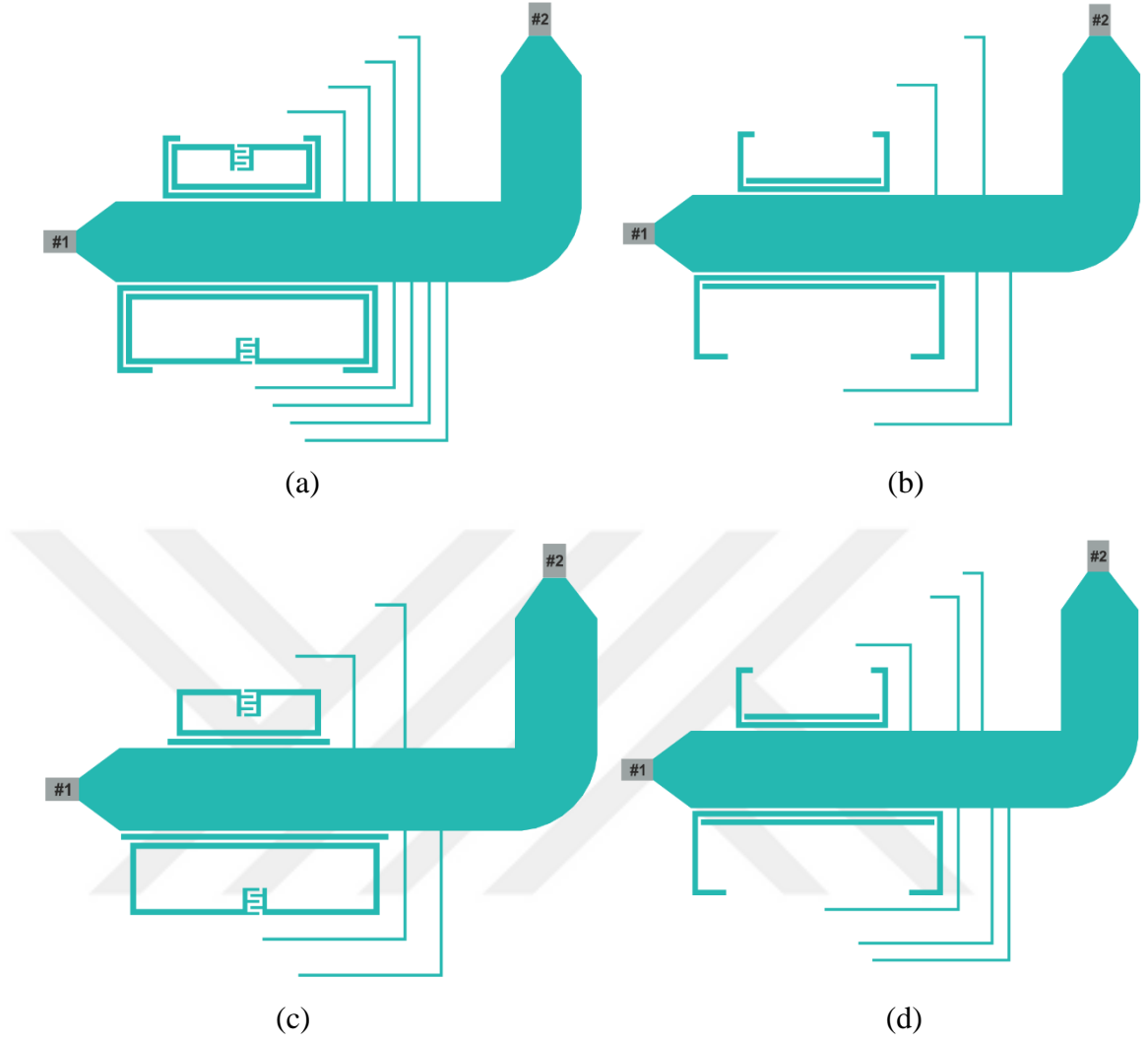
Şekil 4.26’da gösterilmekte olan çoklu rezonans devresinin boyutlandırmalarına ait tüm uzunluklar Tablo 4.4’te verilmektedir.

Tablo 4.4. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresine ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

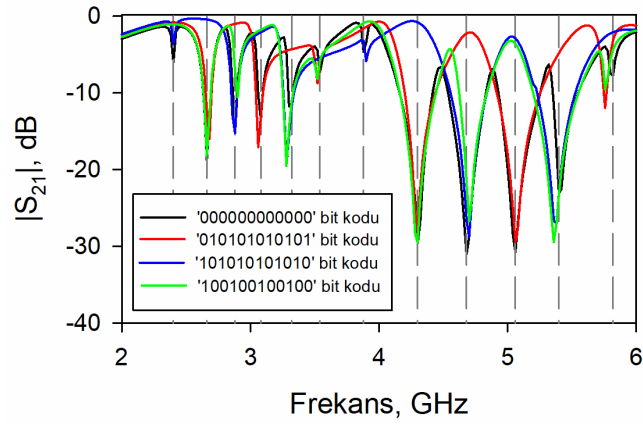
$l_{r1}$	$l_{r2}$	$l_{r3}$	$l_{r4}$	$l_{r5}$	$l_{r6}$	$l_{r7}$	$l_{r8}$
1.2	4.3	3.6	9.6	10.8	2.4	6	7.1
$l_{r9}$	$l_{r10}$	$l_{s1}$	$l_{s2}$	$l_{s3}$	$l_{s4}$	$l_{s5}$	$l_{s6}$
16.6	17.8	10.2	10.8	11.7	12.8	16.9	18.1
$l_{s7}$	$l_{s8}$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$W_d$		
19.3	20.7	1.5	1	5.5	5.5		

#### 4.3.1. Ortogonal portlu hibrit çoklu rezonans devre tasarımıyla farklı bit kodlarının elde edilmesi

Yatay ve dikey eksene yerleştirilmiş giriş ve çıkış portları arasında yer alan L şekilli mikroşerit iletim hattı üzerine yerleştirilen CDSRR ve yan hat devreleriyle 12 bit hibrit çoklu rezonans devre tasarımı elde edilmektedir. Tasarlanan bu devre yapısı ile ‘000000000000’, ‘101010101010’, ‘010101010101’ ve ‘100100100100’ bit kodlu devre yapıları Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Elde edilen bit kodlarının frekans cevapları Şekil 4.29’da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.28. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının elde edilme yöntemi (a) '000000000000' bit kodu, (b) '101010101010' bit kodu, (c) '010101010101' bit kodu, (d) '100100100100' bit kodu



Şekil 4.29. Ortogonal portlu 12 bit hibrit model çoklu rezonans devresi ile farklı bit kodlarının frekans cevaplarının karşılaştırılması

## BÖLÜM 5

### HİBRİT MODEL ÇİPSİZ RFID ETİKET TASARIMI

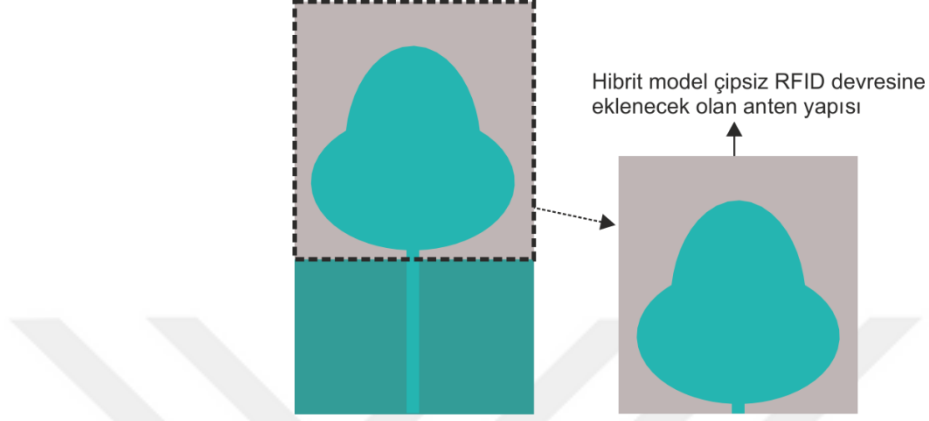
Bu bölümde tasarlanan hibrit model 12 bit çoklu rezonans devresi ile elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol anten devresinin birleştirilmesiyle elde edilecek olan hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımına yer verilmektedir. Tasarlanan hibrit model çipsiz RFID etiketin, sadece CDSRR devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket ve sadece açık devre sonlandırılmış yan hat kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımlarına göre avantajları anlatılmaktadır. Bu sayede tasarlanan hibrit model çipsiz RFID etiket yapısı ile elde edilen avantajlar net bir şekilde gösterilmektedir.

#### **5.1. Hibrit Model 12 Bit Çoklu Rezonans Devre Tasarımına Geniş Band Monopol Anten Devresinin Eklenmesi**

Spektral imza tabanlı çipsiz RFID etiket devrelerinde, etiketin sahip olduğu kimlik numarasının RFID okuyucu tarafından tespit edilebilmesi için etiket tasarımında alıcı/verici monopol anten yapıları bulunmalıdır. RFID okuyucunun alıcı/verici anteni tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar, çipsiz RFID etiket yapısında bulunan alıcı/verici monopol anten tarafından alınıp çipsiz rezonans devresinden geçerek etiketin alıcı/verici monopol antenleri ile RFID okuyucunun alıcı/verici antenine gönderilmektedir. Bu sayede çipsiz RFID etiketin kimlik numarası tespit edilebilmektedir. RFID okuyucunun alıcı/verici anteninden gönderilen elektromanyetik dalgaların etiket tarafından alınabilmesi için, çoklu rezonans devresine yerleştirilecek olan monopol antenlerin yatay ve dikey kutuplanmaya sahip olacak şekilde etiket tasarımına yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu sayede, yatay ve dikey ekseninde gelen elektromanyetik dalgalar monopol antenler tarafından alınabilmektedir. Tasarlanan hibrit model çipsiz RFID devresi ortogonal portlara sahip olduğu için devre yapısına eklenecek olan monopol antenler devreye doğrudan entegre edilebilmektedir.

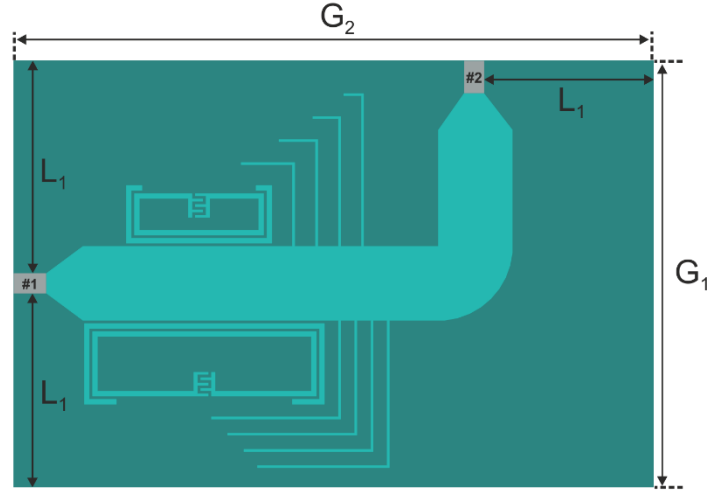
Nijas ve arkadaşlarının 2012 yılında önerdiği yapı incelendiğinde [8], çipsiz RFID etiket devresine eklenen monopol antenlerin toprak düzlemlerinin rezonans devresinin toprak düzlemi ile ortak kullanıldığı görülmektedir. Bu bilgi ışığında, tasarlanacak olan hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alan çoklu rezonans devresi ve monopol anten devrelerinin toprak düzlemleri ortak olacak şekilde tasarım yapılmaktadır. Devreye

eklenecek olan monopol anten yapısı, Şekil 5.1’de kesikli çizgilerle gösterilmekte olan yama yüzey doğrudan ortogonal portlu çoklu rezonans devresine eklenerek hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı yapılmaktadır.



Şekil 5.1. Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımına eklenecek olan geniş band monopol anten devresi

Çipsiz RFID etiket devresinin toprak düzlemi tasarlanırken öncelikle, çoklu rezonans devresinin dikey eksenindeki portuna entegre edilecek olan monopol antenin toprak düzleminin boyutu dikkate alınarak tasarım yapılmaktadır. Şekil 5.1’de gösterilmekte olan anten tasarımında yer alan iletim hattının sağında kalan toprak düzleminin uzunluğu kadar olan toprak düzlemi, çoklu rezonans devre tasarımında dikey olarak yerleştirilmiş portun sağ tarafına yerleştirilmektedir. Portun sol tarafında kalan toprak düzleminin uzunluğunda herhangi bir düzenleme yapılmamaktadır. Bunun sebebi, portun sol tarafında kalan toprak düzlemi doğrudan çoklu rezonans devresine ait olmasıdır. Şekil 5.1’de gösterilmekte olan anten tasarımında yer alan iletim hattının sağında ve solunda kalan toprak düzleminin uzunluğu kadar olan toprak düzlemi, çoklu rezonans devre tasarımında yatay olarak yerleştirilmiş portun sağ ve sol tarafına yerleştirilmektedir. Hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımında yer alacak olan toprak yüzeyi Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



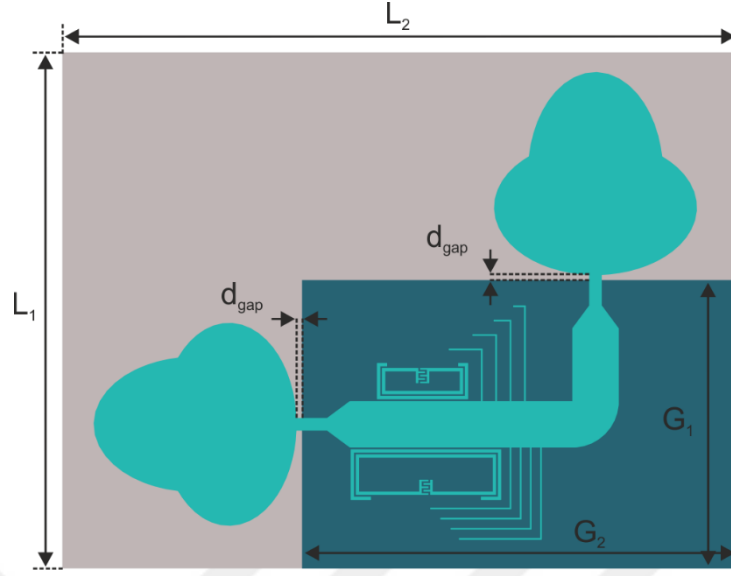
Şekil 5.2. Hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alacak olan toprak düzlem tasarımı

Şekil 5.2’de gösterilmekte olan hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alacak olan toprak düzlemin boyutlarına ait tüm uzunluklar Tablo 5.1’de verilmektedir.

Tablo 5.1. Hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alacak olan toprak düzlem tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$L_1$	$G_1$	$G_2$
14.8	31	51.7

Hibrit model çoklu rezonans devre tasarımının toprak düzlemi monopol anten ile uyumlu bir şekilde tasarlandıktan sonra Şekil 5.1’de gösterilmekte olan monopol anten yapısı devreye doğrudan entegre edilebilmektedir. Hibrit model çoklu rezonans devresinin giriş ve çıkış portlarına eklenecek olan monopol antenler yatay ve dikey kutuplamaya sahip olacak şekilde devreye eklenmektedir. Çoklu rezonans devresinin yatay eksene yerleştirilmiş olan portuna monopol anten yapısı  $90^0$  döndürülmüş şekilde doğrudan entegre edilmektedir. Çoklu rezonans devresinin dikey eksene yerleştirilmiş portuna ise Şekil 5.1’de gösterilmekte olan monopol anten devresi doğrudan entegre edilmektedir. Bu sayede, hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yatay ve dikey kutuplamaya sahip geniş band monopol antenler yer almaktadır. Hibrit model çipsiz RFID etiketin genel boyutları tasarlanırken monopol antenlerin ölçüleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Tasarlanan hibrit model çipsiz RFID etiket devresi Şekil 5.3’te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımı

Şekil 5.3'te gösterilmekte olan hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımının boyutlarına ait tüm uzunluklar Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2. Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımına ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

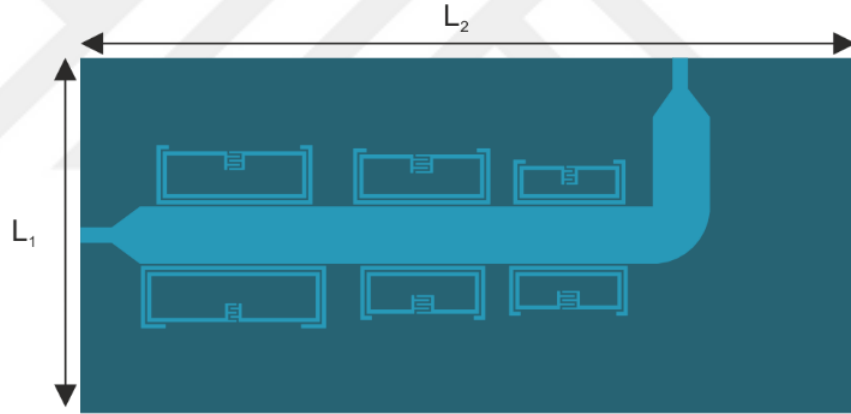
$L_1$	$L_2$	$G_1$	$G_2$	$d_{gap}$
60	80	31	51.7	0.6

Hibrit model çoklu rezonans devresi ile geniş band monopollü anten devresinin birleştirilmesi ile hibrit model çipsiz RFID etiket devresi elde edilmektedir. Çipsiz RFID etiket devresinde yatay ve dikey kutuplamaya sahip iki tane geniş band monopollü anten tasarımı yer almaktadır. Etiket devresinde yer alan monopollü antenin çalışma frekans aralığı ile hibrit model çoklu rezonans devresinden elde edilen bitlerin merkez rezonans frekansları uyumlu olacak şekilde tasarımlar yapılmıştır. Hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde yer alan monopollü antenler ile çoklu rezonans devresinin toprak düzlemleri ortak olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrası 60 mm x 80 mm boyutlarında hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı yapılmış olup tasarlanan etiket devresi 12 bit kapasiteye sahiptir. Tasarlanan bu etiket yapısı, toplamda  $2^{12}$  farklı kimlik değerine sahiptir.



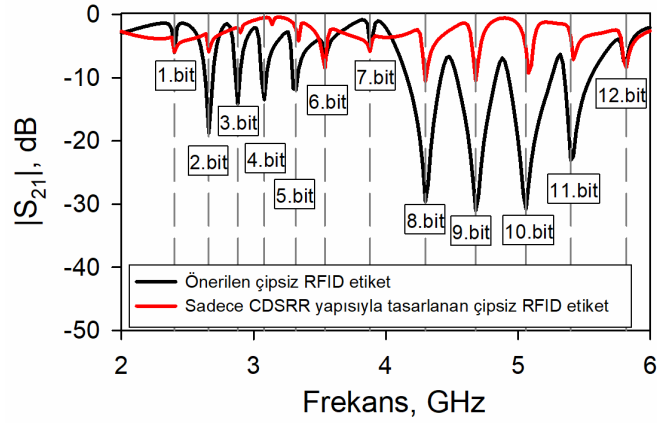
## 5.2. Önerilen Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket Yapısının Yalnızca CDSRR Yapısıyla Tasarlanan 12 Bit Çipsiz RFID Etikete Göre Avantajları

Yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak 12 bit çipsiz RFID etiket tasarlamak için, giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına farklı boyutlarda 6 CDSRR devresinin kuplajlanması gerekmektedir. Önerilen etikette yan hatların oluşturduğu 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10 ve 11 numaralı bitleri CDSRR devreleriyle oluşturulacak şekilde tasarım yapılmaktadır. CDSRR devreleri kullanılarak tasarlanan çipsiz RFID etiketin bit rezonansları hesaplanırken, önerilen hibrit model çipsiz RFID etiketin bit frekansları ile aynı rezonans frekanslarına sahip olacak şekilde tasarım yapılmaktadır. Bu sayede, iki etiket yapısı karşılaştırılırken aradaki farklar daha net incelenebilmektedir. 6 tane CDSRR devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket yapısı Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ( $L_1 = 31$  mm ve  $L_2 = 74.7$  mm )

Önerilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ile yalnızca CDSRR devresi bulunan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi karşılaştırılırken, iki tasarımda monopol anten devreleri tasarımdan çıkartılarak sadece çoklu rezonans devreleri yer alacak şekilde karşılaştırılmaktadır. Önerilen etiket ile karşılaştırılmak için tasarlanan yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak 12 bit çoklu rezonans devresi tasarlanırken, önerilen etikette kullanılan monopol anten yapısıyla uyumlu çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu sayede, iki etiket yapısının karşılaştırması aynı koşullarda gerçekleşmiş olacaktır. Şekil 5.4'te gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı ve önerilen etiket yapısının frekans cevabı ile karşılaştırılması Şekil 5.5'te verilmektedir.



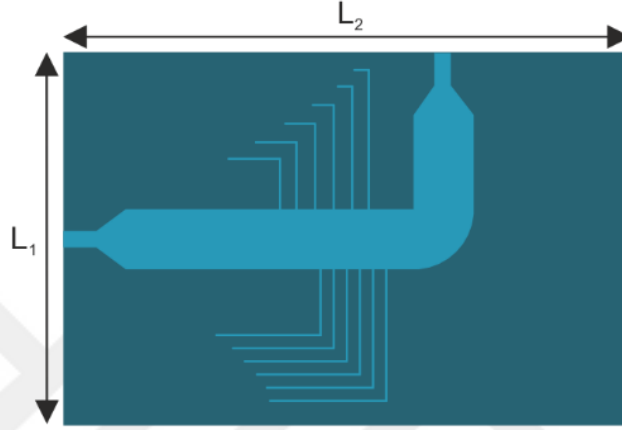
Şekil 5.5. Yalnızca CDSRR devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket yapısının ve önerilen çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevapları

Şekil 5.5'te gösterildiği üzere, yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ile önerilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket devresinin bit rezonansları aynı frekanslardadır. Önerilen hibrit model etikete kıyasla, yalnızca CDSRR yapılarıyla tasarlanan etiketin bit frekanslarının araya girme kayıp büyüklüklerinin daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni iletim hattının empedansıdır. Fakat daha düşük empedansa sahip iletim hatları kullanılarak bu sorunun önüne geçilebilmektedir. Ancak sadece CDSRR yapısı kullanılarak tasarlanan çipsiz RFID etiketin en önemli dezavantajı devre boyutu olduğu görülmektedir. Önerilen hibrit modelde devre boyutu  $31 \times 51.7 \text{ mm}^2$  iken, yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak tasarlanan etiketin devre boyutu  $31 \times 74.7 \text{ mm}^2$ 'dir. Bu nedenle, önerilen hibrit model RFID etiket, yalnızca CDSRR yapısı kullanılarak tasarlanan çipsiz RFID etikete göre önemli bir boyut avantajına sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir.

### 5.3. Önerilen Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket Yapısının Yalnızca Açık Devre Sonlandırılmış Yan hat Yapısıyla Tasarlanan 12 Bit Çipsiz RFID Etikete Göre Avantajları

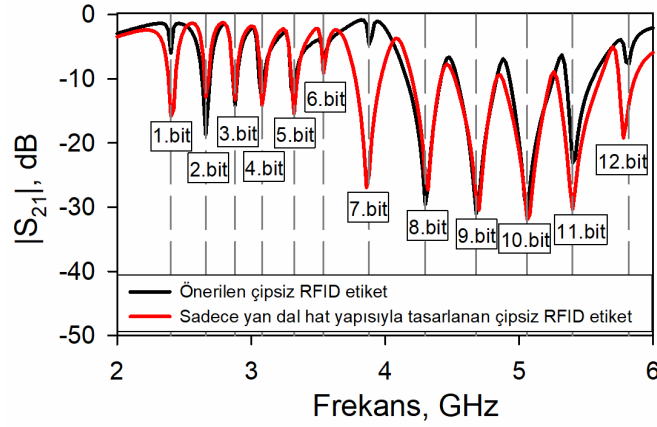
Yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat yapısı kullanılarak 12 bit çipsiz RFID etiket tasarlamak için, giriş ve çıkış portları arasındaki iletim hattına farklı elektriksel uzunluklarda 12 açık devre sonlandırılmış yan hat devresinin bağlanması gerekmektedir. Önerilen etikette CDSRR devrelerinin oluşturduğu 1, 6, 7 ve 12 numaralı bitleri açık devre sonlandırılmış yan hat devreleriyle oluşturulacak şekilde tasarım yapılmaktadır. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri kullanılarak tasarlanan çipsiz RFID etiketin

bit rezonansları hesaplanırken, önerilen hibrit model çipsiz RFID etiketin bit frekansları ile aynı rezonans frekanslarına sahip olacak şekilde tasarım yapılmaktadır. Bu sayede, iki etiket yapısı karşılaştırılırken aradaki farklar daha net incelenebilmektedir. 12 tane açık devre sonlandırılmış yan hat devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket yapısı Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat yapısı kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ( $L_1 = 31$  mm ve  $L_2 = 51.7$  mm )

Önerilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ile yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat devresi bulunan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi karşılaştırılırken, iki tasarımda monopol anten devreleri tasarımdan çıkartılarak sadece çoklu rezonans devreleri yer alacak şekilde karşılaştırılmaktadır. Önerilen etiket ile karşılaştırılmak için tasarlanan yalnızca açık devre sonlandırılmalı yan hat yapısı kullanılarak 12 bit çoklu rezonans devresi tasarlanırken, önerilen etikette kullanılan monopol anten yapısıyla uyumlu çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu sayede, iki etiket yapısının karşılaştırması aynı koşullarda gerçekleşmiş olacaktır. Şekil 5.6'da gösterilmekte olan çoklu rezonans devre tasarımının frekans cevabı ve önerilen etiket yapısının frekans cevabı ile karşılaştırılması Şekil 5.7'de verilmektedir.



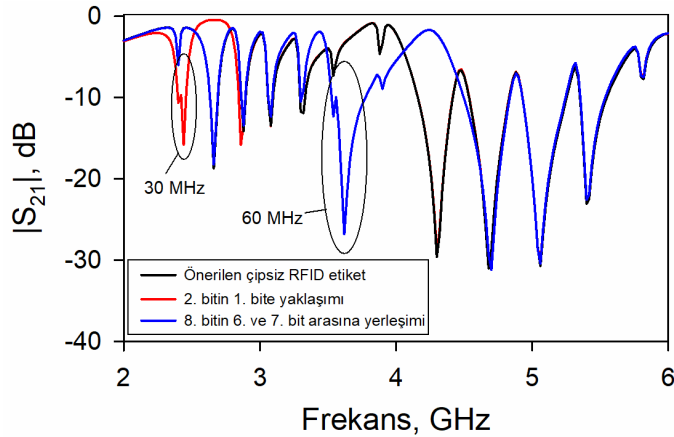
Şekil 5.7. Yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat devresi kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket yapısının ve önerilen çipsiz RFID etiket tasarımının frekans cevapları

Şekil 5.7’de gösterildiği üzere, yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat yapısı kullanılarak tasarlanan 12 bit çipsiz RFID etiket devresi ile önerilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket devresinin bit rezonansları aynı frekanslardadır. Önerilen hibrit model etikete kıyasla, yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat yapılarıyla tasarlanan etiketin bit rezonanslarının daha geniş frekans aralığında meydana geldiği görülmektedir. CDSRR devreleriyle elde edilen bitlerin dar banda sahip olduğu Şekil 5.7’den görülebilmektedir. Bu durum çok modlu rezonatörlerin doğasından kaynaklanmaktadır. Çok modlu rezonatör devreleri, dar band genişliğine bağlı olarak birbirine yakın frekanslarda birden fazla rezonans frekansının elde edilmesini sağlayabilmektedir. Fakat band durdurucu filtre teorisine göre, açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri kullanılarak birbirine yakın frekanslarda birden fazla rezonansın oluşturulması zorlaşmaktadır. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri ile elde edilen rezonansların merkez frekansları yaklaştırıldığı zaman, elde edilen bitlerin band genişliğinden dolayı bit kayıpları meydana gelebilmektedir. Şekil 5.7’de görülebileceği gibi, açık devre sonlandırılmış yan hat yapısı ile tasarlanan çipsiz RFID etiket, önerilen hibrit model çipsiz RFID etiketine kıyasla daha geniş bant genişlikleri sergilemektedir. Bu tepki, rezonans frekanslarının araya girme kaybı büyüklüklerine bağlı olarak daha iyi görülse de, dar bir frekans aralığında CDSRR devrelerinde olduğu kadar bit kapasitesi artırılmaz. Bu sebeple CDSRR devreleri kullanılarak, aynı frekans aralığında daha fazla bit elde edilebilmektedir. Yalnızca açık devre sonlandırılmış yan dal yapısı kullanılarak tasarlanan çipsiz RFID etiketlerin bit sayısı açısından sınırlamaya sahip olabileceği anlamına gelmektedir. Bu sebeple, önerilen hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı yalnızca açık devre sonlandırılmış yan hat ile

tasarlanan çipsiz RFID etiket tasarımına göre daha fazla bir kodu kapasitesine sahip olabilme avantajına sahip olduğu görülmektedir.

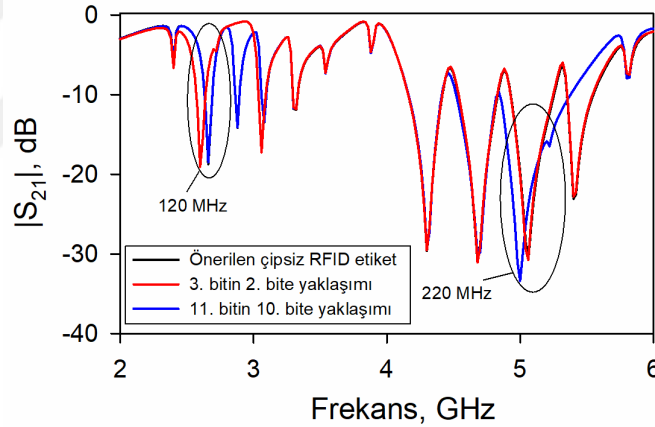
#### 5.4. Önerilen Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket Yapısının Bit Frekanslarının Birbirlerine Olan Maksimum Yaklaşma Durumunun İncelenmesi

Önerilen hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımının avantajlarını daha detaylı incelemek için, açık devre sonlandırılmış yan hat ve CDSRR yapıları ile elde edilen bitlerin rezonans frekansları üzerinde simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinden elde edilen bitlerin rezonans frekanslarını CDSRR devrelerinden elde edilen bitlerin rezonans frekanslarına ne kadar yaklaştırılabildiği incelenmektedir. Ayrıca, açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinden elde edilen bitlerin rezonans frekanslarının birbirlerine herhangi bir bit kaybı yaşanmadan en fazla ne kadar yaklaştırılabildiği incelenmektedir. Bu sayede, önerilen hibrit model yaklaşımın kod kapasitesinin diğer iki yapıdan ne kadar fazla olabileceği gösterilmektedir. Şekil 4.19’da gösterilmekte olan 2 ve 8 numaralı yan hat devrelerinin elektriksel uzunluklarını artırarak, yan hat devrelerinden elde edilen bitlerin merkez rezonans frekanslarının CDSRR devrelerinden elde edilen bitlerin rezonans frekanslarına bit kaybı olmadan maksimum ne kadar yaklaştırılabileceği incelenmektedir. Bu sayede, önerilen hibrit model çipsiz RFID etiket yapısının bit kapasitesinin ne kadar yüksek olabileceğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Açık devre sonlandırılmalı yan hat devresiyle elde edilen bitlerin merkez rezonans frekansını CDSRR devreleri ile elde edilen bitlerin rezonans frekanslarına ne kadar yaklaşabileceğini gösteren grafik Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.8. Açık devre sonlandırılmış yan hat devrelerinin ve CDSRR devrelerinin bit frekansları arasındaki maksimum yaklaşma durumu

Şekil 5.8'den de görüleceği üzere 2 numaralı yan hat devresinin elektriksel uzunluğu artırıldığında, birinci ve ikinci bitlerin rezonans frekansları arasındaki mesafenin 30 MHz olduğu görülmektedir. Ayrıca, 8 numaralı yan hat devresinin elektriksel uzunluğu artırılarak sekizinci bitin altıncı ve yedinci bitler arasına yerleştirildiği görülmektedir. Bu durumda, bitlerin rezonans frekansı arasındaki mesafenin 60 MHz olduğu görülmektedir. Elde edilen bu değerler yan hat devreleriyle elde edilen bitler ile CDSRR devreleriyle elde edilen bitlerin birbirlerine en fazla yaklaşabileceği minimum değerlerdir. Elde edilen bu değerleri, yan hat devrelerinin rezonans frekanslarındaki maksimum yaklaşma miktarıyla karşılaştırabilmek için Şekil 4.19'da gösterilmekte olan 3 ve 11 numaralı yan hat yapılarının elektriksel uzunlukları artırılmaktadır. Bu sayede, yan hat devrelerinden elde edilen iki bitin merkez rezonans frekanslarının maksimum ne kadar yaklaştırılabileceği incelenebilmektedir. 3 ve 11 numaralı yan hat devrelerinin elektriksel uzunluğu artırılarak elde edilen tasarımın frekans cevabı Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri ile elde edilen iki bit frekansının arasındaki maksimum yaklaşma durumu

Şekil 5.9'dan da görüleceği üzere 3 numaralı yan hat devresinin elektriksel uzunluğu artırıldığında, ikinci ve üçüncü bitlerin rezonans frekansları arasındaki mesafenin 120 MHz olduğu görülmektedir. Ayrıca, 11 numaralı yan hat devresinin elektriksel uzunluğu artırıldığında bitlerin rezonans frekansı arasındaki mesafenin 220 MHz olduğu görülmektedir. Şekil 5.9'dan da görüleceği gibi, açık devre sonlandırılmış yan hatların oluşturduğu merkez rezonans frekansları Şekil 5.8'deki kadar yakın elde edilememektedir. Bunun nedeni, açık devre sonlandırılmış yan hatların daha geniş band genişliğine sahip olmasıdır. Yan hat devreleriyle oluşturulan bitlerin CDSRR devreleriyle oluşturulan bitlere yaklaşması ile yan hatlar ile oluşturulan iki bitin birbirlerine

yaklaşması arasında yaklaşık olarak dört kat fark olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Bu nedenle, aynı frekans aralığında önerilen hibrit model çipsiz RFID tasarımı, sadece açık devre sonlandırılmış yan hat ile tasarlanan çipsiz RFID etiketlerden daha fazla bit kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.



## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 6.1. Geniş Band Monopol Anten

Bölüm 3.2’de anlatılan elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopol antenin deneysel doğruluğunu göstermek amacıyla bu monopol anten imal edilmiştir. İmal edilen bu monopol antenin fotoğrafı Resim 6.1’de görülmektedir. Monopol antenin üretimi 2.33 dielektrik sabitine sahip, 0.508 mm kalınlığındaki Rogers 5870 taban malzemesi üzerine gerçekleştirilmiştir. İmal edilen monopol antenin boyutu 31 mm x 60 mm’dir. İmal edilen monopol antene ait ölçümler Keysight PNA N5222A Network Analizör kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca ölçümler RF Spin-DRH20E huni anten kullanılarak yapılmıştır.

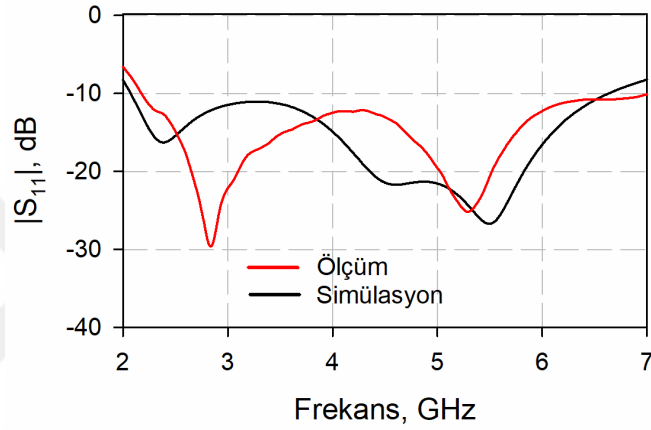


Resim 6.1. İmal edilen geniş band monopol anten

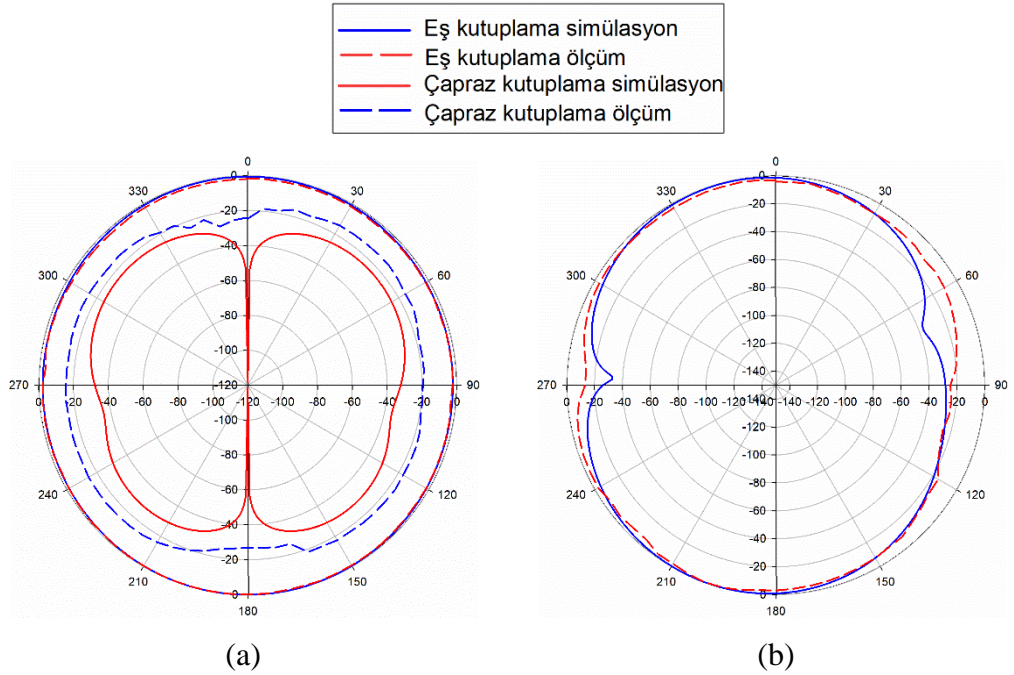
İmal edilen geniş band monopol antenin frekans cevabı ve ışınım diyagramlarının simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmektedir. İmal edilen antenin ışınım diyagram ölçümleri alınırken dört farklı durumda ölçüm alınmıştır. Bu sayede antenin xz eş, xz çapraz, yz eş ve yz çapraz kutuplanmalarına ait ışınım sonuçları elde edilmiştir. Ölçüm esnasında öncelikle huni anten yatay kutuplanmaya sahip olacak şekilde yerleştirilmektedir. Huni antenin tam karşısına yerleştirilen monopol anten devresi  $5^{\circ}$ ’lik açı ile saat yönünde bir tam tur döndürülerek 3.5 ve 4.5 GHz’deki ölçümleri yapılmıştır. İkinci ölçüm durumunda ise, huni antenin karşısına monopol anten devresi dikey ekseninde  $90^{\circ}$  döndürülerek yerleştirilmiştir. Ardından anten devresi saat yönünde  $5^{\circ}$ ’lik açı ile saat yönünde bir tam tur döndürülerek 3.5 ve 4.5 GHz’deki ölçümleri yapılmıştır. Üçüncü ve dördüncü ölçüm durumları huni

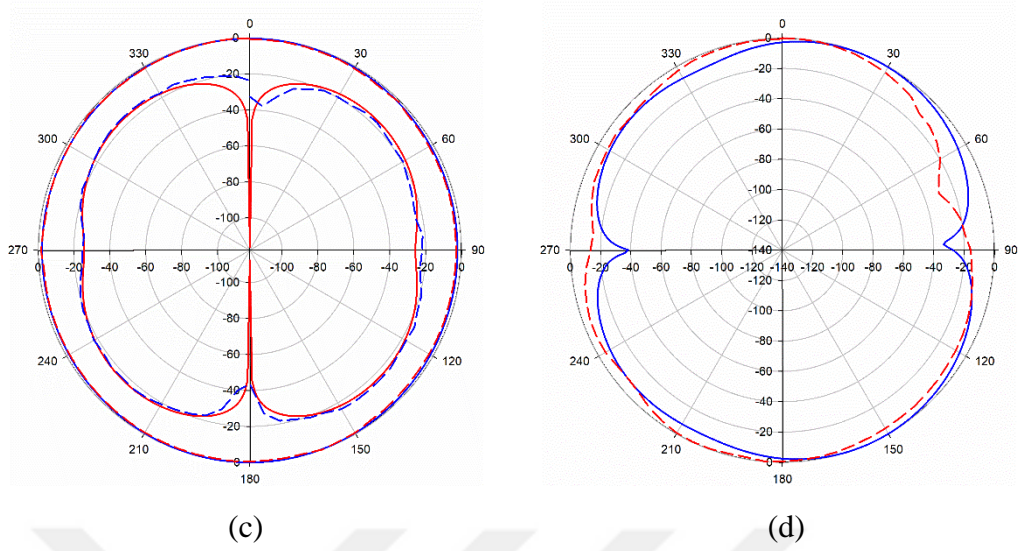


anten dikey kutuplamaya sahip olacak şekilde yerleştirilerek ilk iki ölçüm durumundaki teknikler uygulanarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçları alınırken, ışıma diyagramlarının elde edilebilmesi için antenlerin araya girme kaybı ( $S_{21}$ ) değerleri dikkate alınmıştır. Görüldüğü üzere imal edilen monopoll antene ait ölçüm sonuçları simülasyonla iyi bir uyum içinde elde edilmiştir. Meydana gelen küçük farklılıkların üretim esnasında meydana gelebilecek olan hatalardan ve ölçüm hassasiyetinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.1. İmal edilen elips şekilli yama yüzeye sahip geniş band monopoll anten devresinin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

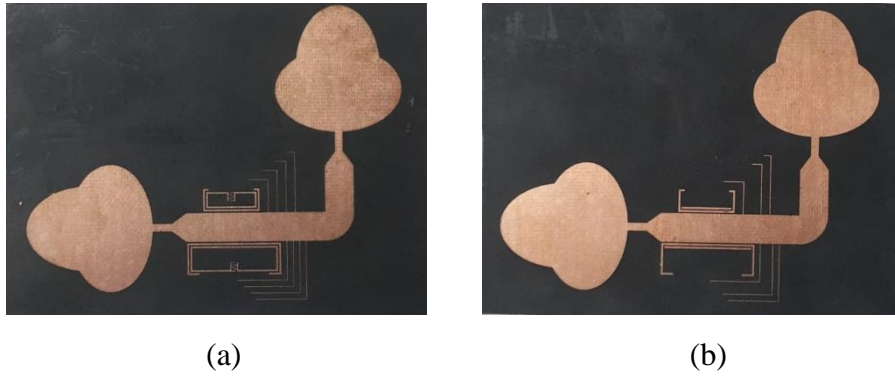




Şekil 6.2. İmal edilen ultra geniş band monopol antenin ışınma diyagramlarına ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (a) 3.5 GHz’de x-z kutuplanma (b) 3.5 GHz’de y-z kutuplanma (c) 4.5 GHz’de x-z kutuplanma (d) 4.5 GHz’de y-z kutuplanma

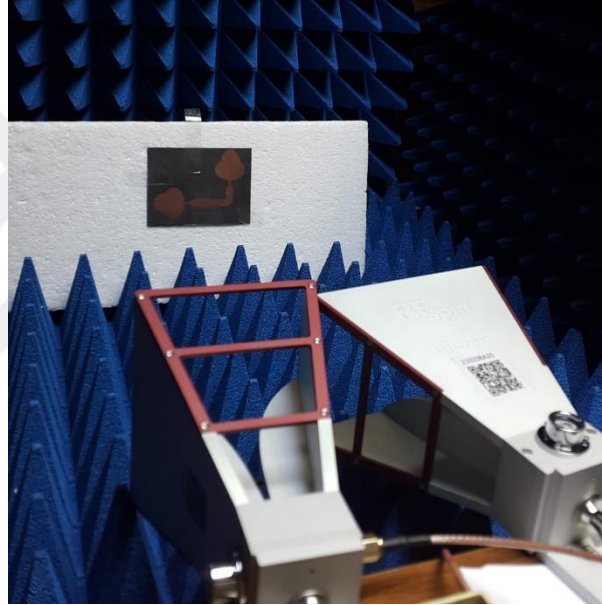
## 6.2. Hibrit Model 12 Bit Çipsiz RFID Etiket

Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiketin deneysel doğruluğunu göstermek amacıyla bu çipsiz RFID etiket imal edilmiştir. Toplamda iki adet çipsiz RFID etiket imal edilmiştir. Bu etiketler, ‘000000000000’ ve ‘100100100100100’ numaralı kimlik değerlerine sahiptir. İmal edilen bu çipsiz RFID etiketlerin fotoğrafı Resim 6.2’de görülmektedir. Etiketlerin üretimi 2.33 dielektrik sabitine sahip, 0.508 mm kalınlığındaki Rogers 5870 taban malzemesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Etiketler, pozlandırma metodu kullanılarak imal edilmiştir. İmal edilen çipsiz RFID etiketlerin boyutu 80 mm x 60 mm’dir.



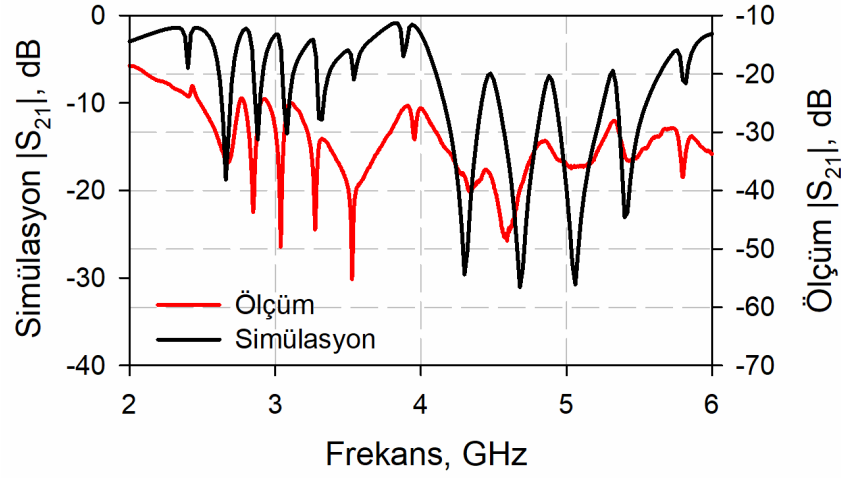
Resim 6.2. İmal edilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket fotoğrafı (a) ‘000000000000’ bit kodlu, (b) ‘100100100100100’ bit kodlu

İmal edilen etiketlere ait ölçümler Keysight PNA N5222A Network Analizör kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca ölçümler, iki tane RF Spin-DRH20E huni anteni kullanılarak yapılmıştır. Resim 6.3'te ölçüm anına ait fotoğraflar verilmiştir. Ölçüm esnasında Resim 6.3'te görüldüğü gibi alıcı ve verici olarak iki adet RF Spin-DRH20E huni anten kullanılmıştır. Sistemde yer alan antenler yatay ve dikey kutuplamalı olacak şekilde konumlandırılıp Network Analizör'ün port girişlerine bağlanmıştır. Etiket ve huni antenlerin olduğu ölçüm alanı yalıtkan malzemeler ile çevrilmiştir. Çipsiz RFID etiket ile Network Analizör'ün verici ve alıcı antenleri arasındaki mesafe yaklaşık 6 cm olarak ayarlanmıştır.

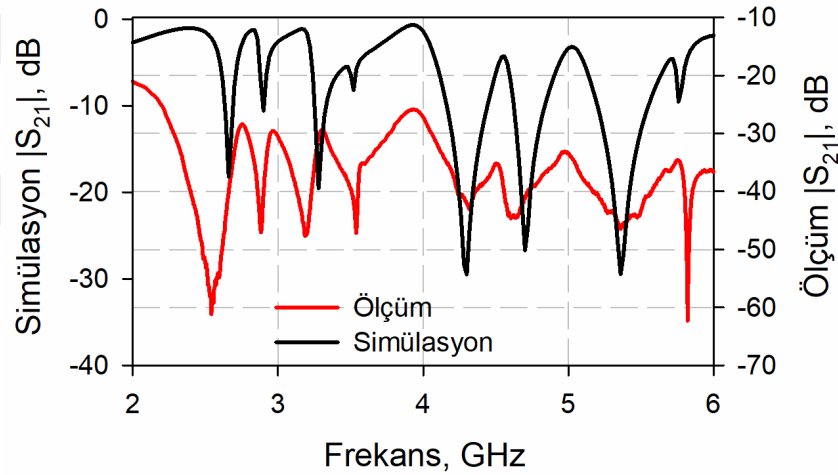


Resim 6.3. Ölçüm anına ait fotoğraf

Üretilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiketin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.2'de verilmektedir. Şekil 6.2.(a) ve Şekil 6.2.(b)'de, ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmış olan çipsiz RFID etiketler aynı koşullar altında sadece etiket değiştirilerek ölçülmüştür. Şekil 6.2.(a)'da gösterilmekte olan grafikte, '000000000000' frekans koduna sahip etiketin sonuçlarını yer almaktadır. Ölçülen sonuçlarda tüm bitlerin gözlenebileceği açıktır. Ölçülen bit frekansları 2.4, 2.66, 2.88, 3.08, 3.32, 3.54, 3.88, 4.3, 4.68, 5.06, 5.4 ve 5.82 GHz'dedir. '100100100100' frekans koduna sahip etiket için ölçüm ve simülasyon sonuçları da Şekil 6.2.(b)'de gösterilmektedir. Burada ölçülen bit frekansları 2.66, 2.9, 3.28, 3.52, 4.3, 4.7, 5.36 ve 5.76 GHz'dedir.



(a)



(b)

Şekil 6.3. İmal edilen hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiketin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (a) '000000000000' bit kodlu, (b) '100100100100' bit kodlu

Simülasyon sonrası edilen sonuçlar, geniş band monopol antenler olmadan iki portlu kayıplı devre sonuçlarıdır, ölçülen sonuçlar ise polarizasyon karışması, huni antenlerin konumu ve anten kazançları gibi çevresel koşulları içerir. Bu nedenle, ölçülen ve simüle edilen sonuçlarda  $S_{21}$ 'in büyüklükleri farklıdır. Ancak en önemli nokta, önerilen çipsiz RFID etiketleri için bit rezonanslarının merkez frekanslarının konumudur. Tüm rezonans frekanslarının hem simüle edilmiş hem de ölçülen sonuçlarda iyi bir uyum içinde görülebileceği açıktır. Ayrıca, bazı rezonans frekanslarındaki frekans kaymaları fabrikasyon hatalarından kaynaklanmaktadır.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket tasarımı gerçekleştirilmiştir. Etiket devresinin tasarımı için monopol anten tasarımı, CDSRR tasarımı ve açık devre sonlandırılmış yan hat tasarımı ayrı ayrı ele alınmıştır. Ayrı ayrı ele alınan bu üç tasarımın birleştirilmesi suretiyle hibrit model çipsiz RFID etiket devresi ortaya konmuştur. Tasarımlar esnasında Tam Dalga Elektromanyetik Simülasyonlar kullanılmış ve deneysel çalışmalar öncesi, 2-6 GHz frekans aralığında 12 bit kod kapasitesine sahip etiket tasarımı ortaya konmuştur. Devrelerin imalatı düşük tanjant kaybına sahip Rogers 5870 taban malzemesi kullanılarak pozlandırma yöntemi ile yapılmıştır. İmal edilen devrelerin ölçümleri Vektör Network Analizör ve huni antenler sayesinde gerçekleştirilmiş, simülasyon sonuçlarıyla oldukça iyi bir uyum sergiledikleri gözlenmiştir.

Bölüm 2’de, hibrit model çoklu rezonans devre tasarımına yönelik çok modlu rezonatör ve band durduran filtre devreleriyle frekans kodlama metodlarına yer verilmiştir. Çok modlu rezonatör devresi için eş yönlü ayrık halka rezonatör (CDSRR) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan CDSRR devresiyle iki rezonans frekansı elde edilmektedir. Bu rezonansların her biri bir biti temsil etmektedir. CDSRR devreleri kullanılarak farklı bit kodlarının elde edilme yöntemlerine ayrıca değinilmektedir. Band durduran filtre devresi için açık devre sonlandırılmış yan hat tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yan hat devresiyle bir rezonans frekansı elde edilmektedir. Elde edilen bu rezonans bir biti temsil etmektedir. Açık devre sonlandırılmış yan hat devreleri kullanılarak farklı bit kodlarının elde edilme yöntemlerine ayrıca değinilmektedir. Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiketin rezonans devresinde yer alacak olan iki tane CDSRR ve sekiz tane yan hat devre tasarımı birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan iki CDSRR devresiyle dört bit, sekiz açık devre sonlandırılmış yan hat devresiyle sekiz bit elde edilmiştir. CDSRR devre tasarımı kullanılarak toplamda  $2^4$  farklı bit kodu, açık devre sonlandırılmış yan hat devre tasarımı kullanılarak toplamda  $2^8$  farklı bit kodu elde edilmiştir.

Bölüm 3’te hibrit model çipsiz RFID etiket devresine entegre edilecek olan geniş band monopol anten tasarımına yer verilmiştir. Öncelikle, basit daire şekilli yama yüzeye sahip

monopol anten tasarımı yapılmıştır. Sonraki aşamada, çalışma frekans aralığında daha iyi bir geri dönüş kaybı değeri ve daha yüksek kazanç elde edebilmek için tasarım üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrası, yama yüzeyde merkezleri birbirine dik iki elips yapı yer alan monopol anten tasarlanmıştır. Tasarlanan bu geniş band monopol anten imal edilmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları simülasyonla iyi bir uyum içinde elde edilmiştir.

Bölüm 4'te çipsiz RFID etiket devresinin oluşturacak olan hibrit çoklu rezonans devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hibrit model çoklu rezonans devresi, bölüm 2'de anlatılan CDSRR ve yan hat devrelerinin aynı iletim hattı üzerine yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. CDSRR ve açık devre sonlandırılmış yan hatların oluşturduğu bitlerin rezonans frekanslarında düzenlemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu 2-6 GHz aralığında 12 bit hibrit rezonans devresi tasarlanmıştır. Ayrıca, bu bölümde hibrit model çoklu rezonans devresinin farklı konfigürasyonlarıyla farklı bit kodlarına ait tasarımlar yapılmış olup simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Hibrit model çipsiz RFID etiket devresinde bulunacak olan monopol antenlerin çoklu rezonans devresine sorunsuz bir şekilde yerleştirilebilmesi için çoklu rezonans devre tasarımı üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Bölüm 5'te hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiket devresinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3 ve Bölüm 4'te birbirlerinden bağımsız olarak tasarlanan devre yapıları birbirlerine entegre edilerek etiket tasarımı yapılmıştır. Monopol anten ve çoklu rezonans devrelerinin uyumlu çalışabilmesi için ortak olarak kullanılan toprak yüzey tasarımı tamamlanmıştır. Hibrit model 12 bit çipsiz RFID etiketin sahip olacağı genel boyutlar hesaplanarak etiket tasarımı tamamlanmıştır. İki farklı metodun birleştirilmesi ile elde edilen hibrit yaklaşımın yalnızca bu iki metod kullanılarak elde edilen etiketlere göre sahip olduğu avantajlar simülasyon karşılaştırmaları ile anlatılmaktadır.

Tez kapsamında deneysel çalışmaları gerçekleştirilen tüm devreler Bölüm 6'da devre fotoğrafları ve ölçüm performanslarıyla birlikte ele alınmıştır. Ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarıyla iyi bir uyum sergilediği gözlenmiştir.

Literatürde sadece açık devre sonlandırılmış yan hat ve sadece rezonatör devreleri kullanılarak tasarlanmış birçok çipsiz RFID etiket çalışması olmasına rağmen, bu iki

devrenin tek bir yapı üzerinde birleştirilmesiyle oluşmuş çipsiz RFID etiket çalışmasına rastlanmamıştır. Tasarlanan hibrit model çipsiz RFID etiket ile literatürdeki bazı çalışmalara ait karşılaştırmalar Tablo 7.1’de verilmiştir. Dikkat edileceği üzere, tablodaki etiketlerin birçoğu farklı taban malzemesi üzerinde ve farklı frekans sahalarında tasarlanmıştır. Bu durum ister istemez karşılaştırmayı güçleştirse de, tez kapsamında tasarlanan çipsiz RFID etiketin literatürde kayda değer bir yerde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, literatürdeki bazı etiketlerde monopol antenin varlığı ve yokluğu da göz önünde bulundurulduğunda bit yoğunluğunun tez kapsamında tasarlanan etiketten daha iyi olduğu görülmektedir [12, 23, 27, 33, 36]. Bunda, her çalışmadaki frekans sahasının ve taban malzemesinin bağlı dielektrik sabitinin farklı olmasının da etkisi vardır [23, 27, 33, 36]. Ancak tez kapsamında önerilen metotla tasarlanan etiketin bit sayısının daha da artırılması suretiyle bit yoğunluğunun daha da fazla artırılacağı söylenebilir. Önerilen hibrit model çipsiz RFID etiket tasarımı, CDSRR ve açık devre sonlandırılmış yan hatların sayısının artırılmasıyla daha yüksek bit kapasitesine sahip etiket elde etmek için esnek tasarıma sahiptir. Bu sebeple önerilen hibrit model çipsiz RFID etiket devresi ile yüksek bit kapasiteli çipsiz RFID etiket tasarımlarının yapılması mümkündür. Gelecek yıllarda yapılacak çalışmalarla, daha yüksek bit kapasitesine sahip devre yapısının ve yüksek kazançlı geniş band monopol anten tasarımının hibrit model çipsiz RFID etikete kazandırılması hedeflenmektedir.

Tablo 7.1. Tasarlanan hibrit model çipsiz RFID etiket ile literatürdeki bazı çipsiz RFID etiketlerin karşılaştırması

Referans	εr	Bit Sayısı	Boyut (mm x mm)	Alan-Bit Oranı mm <sup>2</sup> /bit	Frekans Aralığı (GHz)	Monopol Anten
[7]	3.4	16	110 x 60	412	4-9	Var
[8]	4.4	8	50 x 30	600	2.5-4.5	Var
[12]	2.5	35	88 x 65	163	3-7	Var
[16]	2.2	10	55 x 30	165	3.1-10.6	Yok
[23]	2.55	12	42 x 20.5	72	2.8-6.4	Yok
[27]	2.2	16	17 x 17	18	4.5-8	Yok
[31]	4.6	10	20 x 40	80	2.5-6.5	Yok
[33]	4.4	23	20 x 40	35	2-7	Yok
[36]	3.66	8	20 x 16	40	4-7.8	Yok
[37]	3.7	8	154 x 55	1059	3-6	Var
[38]	3.55	12	60 x 34	170	3-7	Yok
<b>Önerilen Etiket</b>	<b>2.33</b>	<b>12</b>	<b>37.7 x 31</b>	<b>97</b>	<b>2-6</b>	<b>Yok</b>
<b>Önerilen Etiket</b>	<b>2.33</b>	<b>12</b>	<b>60 x 80</b>	<b>400</b>	<b>2-6</b>	<b>Var</b>

## KAYNAKLAR

1. Preradovic, S., Karmakar, N. C., "Chipless RFID: Bar Code of the Future," *IEEE Microwave Magazine*, 11 (7), s. 87-97, 2010.
2. Pozar, D. M., "Filters using coupled resonators ", *Microwave Engineering* 3rd ed., USA: Wiley, New York, s. 341–345, 2003.
3. Prabavathi, P., Rani, S. S., "Design of Frequency-Signature Based Multiresonators Using Quarter Wavelength Open Ended Stub for Chipless RFID Tag", *2019 National Conference on Communications (NCC)*, s. 1-6, Bangalore, India, 2019.
4. Mousa, M. E., Abdullah, H. H., El din Abo El-Soud, M., "Compact Chipless RFID Tag Based on Fractal Antennas and Multiple Microstrip Open Stub Resonators", *2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama)*, s. 1332-338, Toyama, Japan, 2018.
5. Nijas, C. M., Vinesh, P. V., Sajitha, V. R., Anila, P. V., Mohanan, P., "Optimisation of quarter wave microstrip open stub resonators for chipless RFID applications", *2013 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, s.1506-1507, Orlando, FL, USA, 2013.
6. Zhang, Y. J., Gao, R. X., He, Y., Tong, M. S., "Effective Design of Microstrip-Line Chipless RFID Tags Based on Filter Theory", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67 (3), s. 1428-1436, 2019.
7. Ashraf , M. A. et al, "Design and Analysis of Multi-Resonators Loaded Broadband Antipodal Tapered Slot Antenna for Chipless RFID Applications", *IEEE Access*, 5, s. 25798-25807 , 2017.
8. Nijas, C. M. et al, "Chipless RFID Tag Using Multiple Microstrip Open Stub Resonators", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60 (9), s. 4429-4432, 2012.
9. Rodrigues, R. A. A., Gurjão, E. C., de Assis, F. M., "Radar cross-section and electric field analysis of backscattering elements of chipless RFID tag", *2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA)*, s. 103-108, Tampere, Finland, 2014.
10. Pranonsatit, S., Narkcharoen, P., "Chipless RFID multiresonators fabricated by Fill until Full (FuF) technique", *2012 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)*, s. 389-392, Nice, France, 2012.



11. Koswatta, R. V., Karmakar, N. C., “A Novel Reader Architecture Based on UWB Chirp Signal Interrogation for Multiresonator-Based Chipless RFID Tag Reading”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 60 (9), s. 2925-2933, 2012.
12. Preradovic, S., Balbin, I., Karmakar, N. C., Swiegers, G. F., “Multiresonator-Based Chipless RFID System for Low-Cost Item Tracking”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 57 (5), s. 1411-1419, 2009.
13. Abdulkawi, W. M., Sheta, A. F. A., “Design of Chipless RFID Tag Based on Stepped Impedance Resonator for IoT Applications”, *2018 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, s. 1-4, Sakhier, Bahrain, 2018.
14. Nijas, C. M. et al, “Low-Cost Multiple-Bit Encoded Chipless RFID Tag Using Stepped Impedance Resonator”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62 (9), s. 4762-4770, 2014.
15. Helmy, A. M., El-Khobby, H. A., Hussein, A. H., “A New Nested Concentric Stepped Impedance Resonator Structure for the Implementation of High Capacity Chipless RFID Tags”, *2021 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt)*, s. 1-4, Alexandria, Egypt, 2021.
16. Nijas, C. M., Sajitha, V. R., Vivek, R., Mohanan, P., Paul, B., Mridula, S., “Spectral extraction of chipless RFID tag using time domain analysis”, *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, s. 169-170, Vancouver, BC, Canada, 2015.
17. Athauda, T., Karmakar, N. C., “The Realization of Chipless RFID Resonator for Multiple Physical Parameter Sensing”, *IEEE Internet of Things Journal*, 6 (3), s. 5387-5396, 2019.
18. Girbau, D., Lorenzo, J., Lazaro, A., Ferrater, C., Villarino, R., “Frequency-Coded Chipless RFID Tag Based on Dual-Band Resonators”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, s. 126-128, 2012.
19. Abdulkawi, W. M., Sheta, A. F. A., “Four-State Coupled-Line Resonator for Chipless RFID Tags Application”, *Electronics*, 8 (5), s. 581, 2019.
20. Abdulkawi, W. M., Sheta, A. A., “K-State Resonators for High-Coding-Capacity Chipless RFID Applications”, *IEEE Access*, 7, s. 185868-185878, 2019.
21. Deng, F., He, Y., Li, B., Song, Y., Wu, X., “Design of a slotted chipless RFID humidity sensor tag”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 264, s. 255-262, 2018.

22. Islam, M. A., Karmakar, N. C., "Compact printable chipless RFID systems", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 63 (11), s. 3785-3793, 2015.
23. Xie, K., Xue, Y., "A 12 bits chipless RFID tag based on 'I-shaped' slot resonators", *2017 6th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, s. 320-324, Dalian, China, 2017.
24. Islam, M. A., Bhuiyan, M. S., Karmakar, N., "A novel compact chipless RFID tag and near-field reader", *Asia-Pacific Microwave Conference*, s. 1518-1521, Melbourne, VIC, Australia, 2011.
25. Svanda, M., Polivka, M., Havlicek, J., Machac, J., "Chipless RFID tag with an improved magnitude and robustness of RCS response", *Microwave Optical Technology Letters*, 59 (2), s. 488-492, 2017.
26. Jiao, L., Zou, C., Zhang, Q., Huang, B., "Design and Analysis of Compact Robust Chipless Tag Based OOK and FSK", *2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*, s. 220-224, Beijing, China, 2021.
27. Haider, U. A., Noman, M., Ullah, H., Tahir, F. A., "A Compact L-Shaped 16 Bit Polarization Independent Chipless RFID Tag", *2020 International Conference on UK-China Emerging Technologies (UCET)*, s. 1-3, Glasgow, UK, 2020.
28. Sharma, V., Malhotra, S., Hashmi, H., "Slot Resonator Based Novel Orientation Independent Chipless RFID Tag Configurations", *IEEE Sensors Journal*, 19 (13), s. 5153-5160, 2019.
29. Vena, A., Perret, E., Tedjini, S., "A fully printable chipless RFID tag with detuning correction technique", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 22 (4), s. 209-211, 2012.
30. Polivka, M., Havlicek, J., Svanda, M., Machac, J., "Improvement in robustness and recognizability of RCS response of U-shaped strip-based chipless RFID tags", *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, 15, s. 2000-2003, 2016.
31. Rance, O., Siragusa, R., Lemaître-Auger, P., Perret, E., "Toward RCS magnitude level coding for chipless RFID", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 64 (7), s. 2315-2325, 2016.
32. Vena, A., Perret, E., Tedjini, S., "RFID chipless tag based on multiple phase shifters", *2011 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, s. 1-4, Baltimore, MD, USA, 2011.

33. Vena, A., Perret, E., Tedjini, S., “Chipless RFID tag using hybrid coding technique”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 59 (12), s. 3356-3364, 2011.
34. Islam, M. A., Yap, Y., Karmakar, N., “ $\Delta$  slotted compact printable orientation insensitive chipless RFID tag for long range applications”, *Proceeding of 9th International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE)*, s. 283-286, Dhaka, Bangladesh, 2016.
35. Sharma, V., Hashmi, M., “Chipless RFID tag based on open-loop resonator”, *Proceedings of the IEEE Asia-pacific Microwave Conference (APMC)*, s. 543-546, Kuala Lumpur, Malaysia, 2017.
36. Wu, L., Sheng, J., Peng, S., Xiao, Z., Gu, S., “Chipless RFID Tag using Complementary Hexagonal Split Ring Resonator”, *2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, s. 1334-1336, Singapore, 2019.
37. Weng, Y. F., Cheung, S. W., Yuk, T. I., Liu, L., “Design of chipless UWB RFID system using a CPW multi- resonator”, *IEEE Antennas Propagation Magazine*, 55 (1), s. 13-31, 2013.
38. Malhat, H. A., El-Refaay, E. A., Zainud-Deen, S. H., “Compact Multi-bits Chipless-RFID Curl Resonator Tag with Temperature Sensing Capability”, *2021 38th National Radio Science Conference (NRSC)*, s. 72-79, Mansoura, Egypt, 2021.
39. Pillalamarri, R., Rao, G. S. B., “Analysis on size miniaturization in printed circular disc monopole antennas for UWB communications”, *2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops*, s. 1-6, St. Petersburg, Russia, 2009.
40. Bukkawar, S., Ahmed, V., “Omnidirectional and directional fractal UWB monopole antenna”, *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, s. 1-4, Vashi, India, 2017.
41. Lu, Y., Huang, Y., Chattha, H. T., Cao, P., “Reducing Ground-Plane Effects on UWB Monopole Antennas”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10, s. 147-150, 2011.
42. Liang, J., Chiau, C. C., Chen, X., Parini, C. G., “Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53 (11), s. 3500-3504, 2005.

43. Fereidoony, F., Chamaani, S., Mirtaheri, S. A., “UWB Monopole Antenna With Stable Radiation Pattern and Low Transient Distortion”, in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10, s. 302-305, 2011.
44. Hasan, M. N., Seo, M., “A Planar 3.4 -9 GHz UWB Monopole Antenna”, *2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, s. 1-2, Busan, Korea (South), 2018.
45. Deng, H., He, X., Yao, B., Zhou, Y., “Compact band-notched UWB printed squaring monopole antenna”, *2008 8th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory*, s. 1-4, Kunming, China, 2008.
46. Liu, H., Ku, C., Wang, T., Yang, C., “Compact Monopole Antenna With Band-Notched Characteristic for UWB Applications”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9, s. 397-400, 2010.
47. Yi, D., Wang, G., Yu, Z., “Compact UWB Printed Monopole Antenna”, *2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, s. 612-614, Hangzhou, China, 2007.
48. Chen, Z. N., “Novel bi-arm rolled monopole for UWB applications”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53 (2), s. 672-677, 2005.
49. Zaker, R., Ghobadi, C., Nourinia, J., “Novel Modified UWB Planar Monopole Antenna With Variable Frequency Band-Notch Function”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 7, s. 112-114, 2008.
50. CST Studio Suite, *CST Microwave Studio*, 2020
51. Gorur, A. K., “A Dual-Band Balun BPF Using Codirectional Split Ring Resonators”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 30 (10), s. 949-952, 2020.
52. Gorur, A. K., “A novel dual-band bandpass filter using co-directional split ring resonators with closely spaced passbands and wide upper stopband”, *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 28 (4), e21230, 2018.