



## Size-reduced printed log-periodic dipole antenna for wireless communication applications

Mehmet Can Özgönül<sup>1</sup>, Mustafa Seçmen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Ege University, Bornova, Izmir, 35100, Turkey

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Yasar University, Bornova, Izmir, 35100, Turkey

### Highlights:

- The design of printed log-periodic dipole antenna for wireless communication systems
- Size reduction by using first order semicircles in dipoles
- Wideband, high return loss performance and low gain variation

### Keywords:

- Log-periodic dipole antenna
- Size-reduced antenna
- Wideband antenna
- Wireless communication systems

### Article Info:

Research Article  
Received: 14.12.2018  
Accepted: 05.03.2020

### DOI:

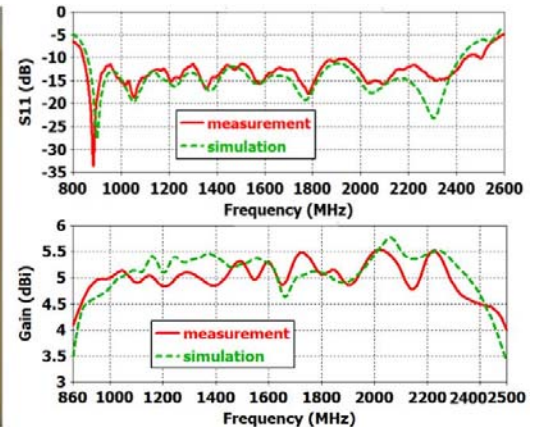
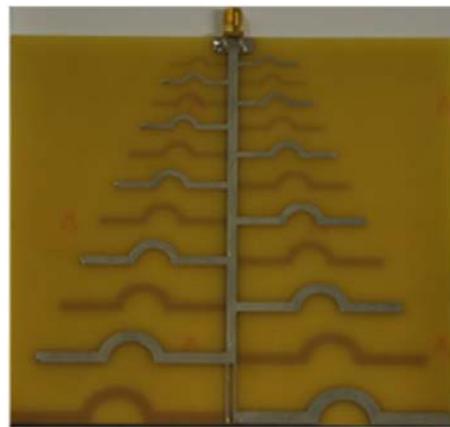
10.17341/gazimmfd.484537

### Correspondence:

Author: Mustafa Seçmen  
e-mail:  
mustafa.secmen@yasar.edu.tr  
phone: +90 232 570 8232

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a printed log periodic dipole antenna (LPDA) depicted at left of Figure A is introduced. The antenna contains the modifications of feed point patch, semi-circle curves and slot for bandwidth and size improvements. The proposed LPDA provides sufficient return loss and gain performances within wide frequency band as shown at top right and bottom right of Figure A, respectively.



**Figure A.** The photograph of the proposed LPDA (at left),  $S_{11}$  results of the proposed LPDA (at top right) and gain values of the designed antenna in the study (at bottom right)

**Purpose:** The aim of this study is to design a compact size and wideband LPDA, which operates at several wireless communication applications. The proposed antenna is desired to have good return loss performance and almost constant gain over the operating frequency band. The antenna has the purposes of smaller size and wider bandwidth as compared to the standart LPDA and other printed LPDAs studied in the literature, which work at similar frequency bands.

### Theory and Methods:

At the initial part of design method, theoretical formulations for log periodic antenna are used to obtain a standard LPDA around L-band. Then, feed point patches are added to increase the upper edge of the operating frequency band, and size reduction is achieved by using single semi-circle dipoles, which can be considered as first order iteration according to the fractal theory. Finally, rectangular slot located at the end of the feed line is inserted to increase overall of the frequency band of the proposed antenna.

### Results:

Modifications (insertion of feed point patches, dipoles containing semi-circle curves and slots on the feed line) realized on the standard LPDA significantly increases the performance parameters of the proposed LPDA, and reduces the overall size. Accordingly, proposed LPDA is measured to give return loss values better than 10 dB and stable gain values (low gain variation) of  $4.75 \text{ dBi} \pm 0.75 \text{ dBi}$  at frequency band of 0,86 GHz – 2,5 GHz, which includes popular wireless communication applications such as RFID, GSM, GPS, 3G, Bluetooth and 2.4 GHz Wi-Fi systems. Besides, a size reduction of about 14% is achieved as compared to the standard LPDA, and antenna dimensions smaller than antennas with Koch fractal shapes and the structures given in the literature are found.

### Conclusion:

A compact, printed LPDA is designed, manufactured and measured. This novel antenna is concluded to have better performances (wider bandwidth, smaller size, lower gain variation) as compared to the standard LPDA and similar LPDAs in the literature. The proposed antenna can be a good candidate for wideband wireless communication applications, which include RFID, GSM, GPS, 3G, Bluetooth and 2.4 GHz Wi-Fi systems.



## Kablosuz haberleşme uygulamaları için boyutu küçültülmüş basılı log-periyodik çift kutuplu anten

Mehmet Can Özgönül<sup>1</sup> , Mustafa Seçmen<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Yaşar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

### ÖNEÇİKANLAR

- Kablosuz haberleşme sistemleri için basılı log-periyodik çift kutuplu anten tasarımı
- Kutuplarda birinci dereceden yarı çemberler kullanılarak boyut küçültme
- Geniş bant, yüksek geri dönüş kayıp performansı ve düşük kazanç değişimi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 14.12.2018  
Kabul: 05.03.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.484537

### Anahtar Kelimeler:

Log-periyodik çift kutuplu anten,  
boyutu küçültülmüş anten,  
geniş bantlı anten,  
kablosuz haberleşme sistemleri

### ÖZET

Bu çalışmada, kablosuz haberleşme uygulamaları için boyutları birinci dereceden yarı çember yapılar kullanılarak azaltılmış çift kutuplardan oluşan bir basılı log-periyodik çift kutuplu anten (LPÇKA) önerilmiştir. Antenin besleme hattının başlangıcına dikdörtgen küçük yamalar eklenmesi ve sonuna dikdörtgen oyuklar açılarak bant genişliği artırılmıştır. Yarı çemberlerin kullanımı ile standart basılı LPÇKA'nın boyutlarına göre önerilen antende yaklaşık %14 oranında bir azalma elde edilmiştir. Yarı çember yapılar, boyut küçültmenin yanında antenin çalışma frekansının üst bandını Bluetooth ve 2,4 GHz Wi-Fi kablosuz haberleşme frekanslarını da kapsayacak şekilde 2,5 GHz'e çıkarmış olup dikdörtgen yarı ise alt bandı RFID ve GSM 900 frekanslarını içerecek şekilde 0,86 GHz seviyelerine çekmiştir. Üretilen yapının ölçüm sonuçlarına göre, antenin birçok kablosuz haberleşme uygulamasında kullanılabilecek şekilde 0,86 GHz ile 2,5 GHz aralığı gibi geniş bir çalışma frekansında 10 dB'den iyi geri dönüş kaybına, 4,75 dBi  $\pm$  0,75 dBi gibi oldukça kararlı/düşük değişimli bir anten kazancına ve literatürdeki benzer çalışmalara göre daha küçük boyutlara sahip olduğu görülmüştür.

## Size-reduced printed log-periodic dipole antenna for wireless communication applications

### HIGHLIGHTS

- The design of printed log-periodic dipole antenna for wireless communication systems
- Size reduction by using first order semicircles in dipoles
- Wideband, high return loss performance and low gain variation

### Article Info

Research Article  
Received: 14.12.2018  
Accepted: 05.03.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.484537

### Keywords:

Log-periodic dipole antenna,  
size-reduced antenna,  
wideband antenna,  
wireless communication systems

### ABSTRACT

In this study, it is proposed a printed log-periodic dipole antenna (LPDA) for wireless communication applications, which consists of dipoles having reduced dimensions by using first order semicircle structures. The bandwidth is increased by adding small rectangular patches to initial part of antenna feed line and putting slots to the end. A size reduction of about 14% is obtained in the proposed antenna in comparison with the standard printed LPDA with the usage of semicircle structures. In addition to size reduction while semicircle structures also increase the upper band of the antenna operating frequency to 2.5 GHz to cover wireless communication frequencies of Bluetooth and 2.4 GHz Wi-Fi, rectangular slot decreases to the lower band to around 0.86 GHz to include RFID and GSM 900 frequencies. According to measurement results of the manufactured structure, the antenna is observed to have return loss better than 10 dB, a quite stable/low variation gain as 4.75 dBi  $\pm$  0.75 dBi and compact size as compared to similar studies in literature at a wideband operating frequency of 0.86 GHz and 2.5 GHz, which can be used in several wireless communication systems.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mc.ozgonul@gmail.com, mustafa.secmen@yasar.edu.tr / Tel: +90 232 570 8232

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir çeşit frekans bağımsız anten olan log periyodik çift kutuplu anten (LPÇKA), geniş frekans aralıkları boyunca yeterli performansa sahip olması sebebiyle birçok geniş bant uygulamasında kullanılabilir. Tasarıma göre değişmekle birlikte LPÇKA'ler genellikle orta kazançlı (5-7 dBi) anten olarak bilinirler. LPÇKA yapısı Isbell [1] tarafından sunulmuş olup bu yapı, yan yana paralel doğrusal çift kutuplardan oluşur. Bu çift kutuplar, eş düzlemsel dizi oluşturmakta olup log periyodik çift kutuplu antenler için genel tasarım aşamaları Carel tarafından verilmiştir [2]. Geniş çalışma frekansı boyunca anten kazancının değişiminin az olması, bu antenleri başta tümleşik kablosuz haberleşme sistemleri olmak üzere birçok geniş bantlı uygulama için cazip kılmaktadır. Özellikle kablosuz haberleşme sistemlerinin çift yönlü çalışması gerekmekte olup [3, 4] LPÇKA'lerin hem alıcı hem verici olarak çalışması, antenin diğer bir önemli yararı olarak gösterilebilir [5, 6].

Kullanılacak uygulama için istenilen geri dönüş kaybı, ışıma örüntüsü, kazanç gibi anten performans parametrelerinin geniş bant içerisinde sağlanmasının yanında anten boyutlarının da pratik uygulamalar için makul ve hatta mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Basılı antenlerin hafif olması, az yer kaplaması, kolay uygulanabilirliği ve düşük üretim maliyeti gibi özelliklerinden dolayı bu antenler sıklıkla kullanılmaktadır [7, 8]. Bu sebeple çoğu uygulamalarda basılı (düzlemsel) LPÇKA'ler, çubuk LPÇKA yerine tercih edilmektedir [9, 10]. Bu çalışmanın amacı, standart basılı LPÇKA'ye göre daha geniş bantta anten performans parametrelerini geliştirerek hem standart basılı LPÇKA'ye hem de literatürdeki benzer çalışma bantlarındaki benzer antenlere göre daha küçük boyutlu bir basılı LPÇKA tasarlamak ve gerçekleştirmektir. Günümüzdeki çoğu kablosuz haberleşme sistemlerinde, belirtilen uygulamaların tamamının ya da birçoğunun aynı anda kullanıldığı çoklu işlevli yapılar gerektiğinden bu uygulamaların çalışma frekanslarının tamamını kapsayacak şekilde çalışan bir anten, bu gereksinimi gidermek açısından oldukça önemlidir [11, 12]. Bu amaçla şu an oldukça popüler kablosuz haberleşme sistemleri olan Radyo Frekans ile Tanımlama (RFID), Hüresel Haberleşme Sistemleri (GSM), Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Üçüncü Nesil haberleşme (3G), Bluetooth ve 2,4 GHz, Kablosuz Bağlantı Alanı (Wi-Fi) uygulamalarını içerecek şekilde 0,86 GHz ile 2,5 GHz arasında çalışan bir anten tasarlanmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yer aldığı sistemler içerisinde daha az yer kaplaması amacıyla istenilen anten parametreleri mümkün olduğunca korunarak LPÇKA'in boyutlarının küçültülmesi hedeflenmiştir. LPÇKA'in enini çalışma frekans aralığındaki en düşük frekans değeri belirlemede iken boylamasına uzunluğu ise istenilen bant genişliğinde antenin kazanç değeriyle ilgilidir [5]. Chairunnisa vd. [13] Koch-şekilli çift kutuplar ile antenin boyutunu küçültmekle beraber kapsadığı frekans bandının

alt bandı yukarıya çıkmıştır. Hsu vd. [14], koch-şekilli çift kutuplar ile antenin boyutunu standart yapıya göre küçültmekle beraber kapsadığı bant genişliğini arttırmışlardır. Öte yandan bu antenin kapsadığı frekans bandı RFID sistemleri için olup (820 MHz ile 982 MHz arasında) dar bantlı olarak değerlendirilebilir. Krishna vd. [15] boyut küçültmeyi S-şekilli çift kutuplar ile gerçekleştirmiştir. Fakat geri dönüş kaybı birçok yerde 10 dB'nin altına inmiştir. Sony vd. [16] kıvrımlı hat ile en uzun iki çift kutubun boyutunu küçültmüşlerdir. Antenin kapsadığı frekans bandı boyunca geri dönüş kaybı en az 10 dB yerine 6 dB'dir. Yeo vd. [17] ilgili çalışmada papyon elemanlar ile antenin boyutlarını küçültmüş olup geri dönüş kaybının üst bandında azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, LPÇKA'in besleme hattını değiştirmeye yönelik olarak Kang vd. [18] çapraz olmayan besleme hatlı LPÇKA önermişlerdir. Böylece anteni mikroşerit hat ile besleyerek uzun eşeksenli beslemeden kaçınmışlardır. Fakat bu yöntem ile standart besleme hattına göre antenin kapsadığı bant genişliği önemli şekilde azalmıştır.

Bu çalışmada önerilen LPÇKA yapısının içinde yer alan düz çift kutuplar yerine birinci dereceden yarı çember çift kutuplar kullanılarak özellikle antenin en boyutunda standart basılı LPÇKA tasarıma göre küçülme gözlemlenmiştir. Ayrıca, mikroşerit besleme hattının başlangıç ve bitiş bölgesinde yapılan modifikasyonlar ile antenin performans parametreleri (geri dönüş kaybı ve kapsadığı frekans aralığı boyunca kazanç değişimi) standart yapıya göre iyileştirilmiştir. Tasarlanan antenin çalışma frekans aralığının RFID, GSM, GPS, 3G, Bluetooth ve 2,4 GHz Wi-Fi bantlarını kapsaması hedefiyle tasarımda ilk aşama, standart basılı anten tasarımı olmuştur. Literatürdeki teorik hesaplamalar ve işlemlere göre tasarlanan antenin 0,87 GHz ile 2 GHz frekansları arasında geri dönüş kaybı 10 dB'in üzerinde bulunmuştur. Kazancı ise çalışma frekans aralığında yaklaşık ortalama 5 dBi olarak elde edilmiştir. Benzetim sonucuna göre, elde edilen frekans aralığı özellikle 3G (2,1 GHz – 2,2 GHz) ve Bluetooth/2,4 GHz Wi-Fi (2,4 GHz – 2,48 GHz) uygulamalarını dışarıda bırakacak şekilde hedeflenen çalışma frekans aralığını sağlamamaktadır. Bu frekans aralığının üst bandını arttırmak amacıyla antenin her iki yüzünün besleme noktasına dikdörtgen yamalar eklenmiştir. Besleme noktası yamaları da denen bu yöntem, düzlemsel antenlerin frekans bant genişliğini arttırmada kullanılan etkili bir yöntemdir [10]. Bu modifikasyon ile antenin boyu sabit tutularak çalışma frekans aralığının üst bandı 2,3 GHz'e geliştirilmiştir. Daha sonra besleme noktası yamalı LPÇKA'deki düz çift kutuplar yerine birinci dereceden tek yarı çemberler eklenmesi ile boyut küçültme hedeflenmiştir. Antenin boylamasına uzunluğunda önemli bir değişiklik olmadığından dolayı boyutu küçültülmüş antenin kazancının aynı kalması hedeflenmiştir. Boyuttaki küçülme, çift kutup kolların kenardan kenara olan doğrusal uzunluk azaltılarak enlemesine boyda gerçekleştirilmiştir. Burada yüzey akımlarının çift kutup kolların üzerinde dolaştığı toplam yol uzunluğu sabit tutularak yaklaşık aynı tınlanım uzunlukları daha küçük boyutlarda sağlanmıştır.

Kenardan kenara uzunluğun azaltılması, birinci dereceden tek yarı çember yapıların antenin her iki yüzündeki bütün çift kutuplara uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, standart LPÇKA'ya göre antenin eninde %14'lük bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca, bu değişiklik ile antenin 10-dB geri dönüş kayıp frekans aralığının üst bandının 2,3 GHz'ten 2,45 GHz'e çıktığı görülmüştür. Öte yandan antenin çalışma frekansının alt bandı ise yaklaşık 30 MHz artarak RFID (863 MHz – 868 MHz) ve GSM 900 (880 MHz – 915 MHz) uygulamalarını dışarıda bırakacak şekilde 900 MHz seviyelerine yaklaşmıştır. Bu amaçla, tasarımda son aşama olarak besleme hattının sonuna dikdörtgen yarık açılarak bu sorun giderilmiş olup bandın en alt ve en üst frekans değerleri sırasıyla 0,86 ve 2,5 GHz seviyelerine getirilmiştir. Tasarımın ilk aşamalarındaki antenler ile karşılaştırıldığında önerilen antenin en geniş çalışma frekans aralığına ve bu aralıkta  $4,75 \pm 0,75$  dBi gibi bir kazanç değeri ile düşük bir kazanç değişimine sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, antenin geliştirme aşamaları anlatılarak "ilk tasarım" antenin (besleme noktası yama eklenmiş standart LPÇKA) özellikleri ve parametreleri verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, çalışmanın ana amacına uygun olan antenin boyutunu küçültmek için uygulanan yarı çemberlerin yapısı ve bunun anten parametrelerine etkisi açıklanmıştır. Ayrıca, koch-şekilli çift kutuplar ile de tasarım ve benzetim yapılarak "ikinci tasarım" anten yapısının üstünlüğü gösterilmiştir. Bu bölümde boyutu küçültülen antenin bandını genişletmek için besleme hattının sonuna açılan oluğun yapısı açıklanarak önerilen antenin tasarımının son halinin ("son tasarım") sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde antenin son tasarımına ait performans parametrelerinin sonuçları, "ilk tasarım" ve "ikinci tasarım"

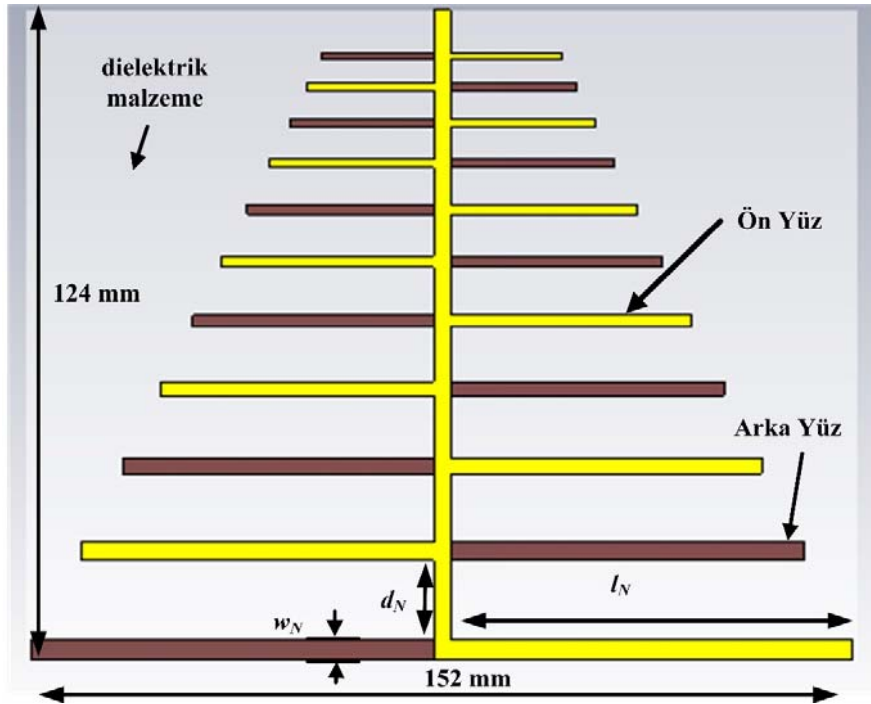
antenler ile karşılaştırılarak verilmiştir. Ayrıca, literatürdeki benzer antenlerle karşılaştırılarak önerilen antenin başta daha küçük boyutlu olmak üzere üstün olduğu yönlerine değinilmiştir. Son bölümünde ise çalışma boyunca elde edilen kazanımlar ile çalışmanın sonucu irdelenmiştir.

## 2. ANTENİN İLK TASARIMI (INITIAL DESIGN OF THE ANTENNA)

Bu çalışmada, RFID, GSM, GPS, 3G, Bluetooth ve 2,4 GHz Wi-Fi kablosuz haberleşme sistemlerinin çalışma frekansını kapsayan bir anten tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, ilk olarak Şekil 1'de benzetim ortamındaki görüntüsü verilen standart basılı log periyodik çift kutuplu anten tasarlanmıştır.

Şekil 1'deki anten yapısı incelendiğinde, dielektrik malzemenin ön ve arka yüzünde birbirinin ayna görüntüsü olacak şekilde iletken, düz ve yatay mikroşerit hatlardan oluşan çift kutup yapıları görülmektedir. Buradaki her bir yatay çift kutup yapısının kenardan kenara uzunluğu farklı bir tınlama frekansına karşılık gelmekte olup bu frekansların birleşimi ile geniş bant içerisinde çalışan bir anten elde edilebilir.

Bu çalışmadaki anten tasarlanırken dielektrik malzeme olarak dielektrik sabiti değeri  $\epsilon_r = 4,3$ , tanjant kayıp değeri  $\tan \delta = 0,025$ , kalınlığı  $h = 1,52$  mm olan ve ucuz maliyetli FR4 seçilmiştir. Standart LPÇKA'nın Şekil 1'de verilen parametre değerleri ve boyutları hesaplanırken literatürde sıklıkla kullanılan log periyodik anten formüllerinden faydalanılmıştır [5]. Log periyodik yapısının tasarımında; ölçeklendirme faktörü ( $\tau$ ), Şekil 1'deki dikey uzunluğu belirleyen aralık faktörü ( $\sigma$ ), yarı açıklık derecesi ( $\alpha$ ) ve çift



Şekil 1. Standard LPÇKA antenin benzetim ortamındaki görüntüsü (Simulation view of the standard LPDA antenna)

kutup elemanlarının sayısı ( $N$ ) bazı kritik tasarım parametreleridir. Antende bulunan çift kutup elemanlarındaki yatay uzunluklar ( $2l_n$ ), kalınlıklar ( $w_n$ ) ve çift kutuplar arasındaki dikey mesafeler ( $d_n$ ) Eş. 1’de verilen ölçeklendirme faktörü ile orantılıdır.

$$\tau = \frac{l_n}{l_{n+1}} = \frac{w_n}{w_{n+1}} = \frac{d_n}{d_{n+1}} \quad (1)$$

Burada,  $n = 1, \dots, N$  değerleri, çift kutup elemanlarının yukarıdan aşağıya kaçınıcı sırada olduğunu göstermekte olup Şekil 1’de verilen en aşağıdaki çift kutup, sonuncu çift kutup elemanı olarak  $N$  dizini değeri ile gösterilmiştir. Aralık faktörü ( $\sigma$ ) ve yarı açıklık derecesi ( $\alpha$ ) ifadeleri, sırasıyla Eş. 2 ve Eş. 3’te verilmiştir.

$$\sigma = \frac{d_n}{4l_n} = \frac{d_N}{4l_N} \quad (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{1 - \tau}{4\sigma} \right] \quad (3)$$

Eş. 1’de verilen  $\tau$  parametresinin değeri 1’den küçük olacağı için Eş. 3’ten  $\alpha$  ve  $\tau$  değerleri arasında ters orantı olduğu görülebilir. LPÇKA için genellikle  $\alpha$  ve  $\tau$  parametreleri,  $10^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$  ve  $0,7 \leq \tau \leq 0,95$  aralığında seçilir. Bu koşullar altında ve özellikle tasarlanan anteni olabildiğince küçük yapabilmek amacıyla düşük  $\sigma$  değeri seçilerek  $\tau = 0,88$ ,  $\sigma = 0,06$  ve  $\alpha = 25,5^\circ$  olarak alınmıştır [19]. Tasarımda küçük boyutun yanında antenin yönlülük ve kazancının da mümkün olduğunca yüksek tutulması hedeflenmiştir. Bu yüzden aralık faktörünü ( $\sigma$ ) azaltmak yönlülüğü de azaltacağından bu değer daha fazla düşürülmemiştir. Seçilen  $\tau$  ve  $\sigma$  değerleri için Balanis [5] tarafından verilen yönlülük grafiği ile 6,8 dBi gibi makul sayılabilecek bir yönlülük değeri bulunmuştur. Önerilen anten tasarımının ilk aşamasında, standart basılı LPÇKA yapısının 0,9 GHz ile 2 GHz arası çalışması ve sonraki tasarımlarda bandın artırılması

hedeflenmiştir. Bu amaçla, toplam  $N = 11$  adet çift kutup elemanı kullanılmış olup bu çift kutup uzunlukları ( $l_n$ ), kalınlıkları ( $w_n$ ) ve aralarındaki mesafeler ( $d_n$ ) Tablo 1’de verilmiştir.

Standart basılı LPÇKA yapısındaki bütün çift kutuplar, Şekil 1’de verilen dikey olarak ilerleyen mikroşerit hat ile beslenmiştir. Bu mikroşerit hatlar, karakteristik empedans değeri  $Z_0 = 50 \Omega$  verecek şekilde 3 mm genişliğinde seçilmiş olup dielektrik malzemenin her iki yüzünde de bu genişlik dikey eksen boyunca sabit tutulmuştur. Standart basılı LPÇKA yapısının dielektrik malzeme plakası ile beraber toplam boyutları Şekil 1’de gösterildiği gibi 152 mm  $\times$  124 mm olarak elde edilmiştir.

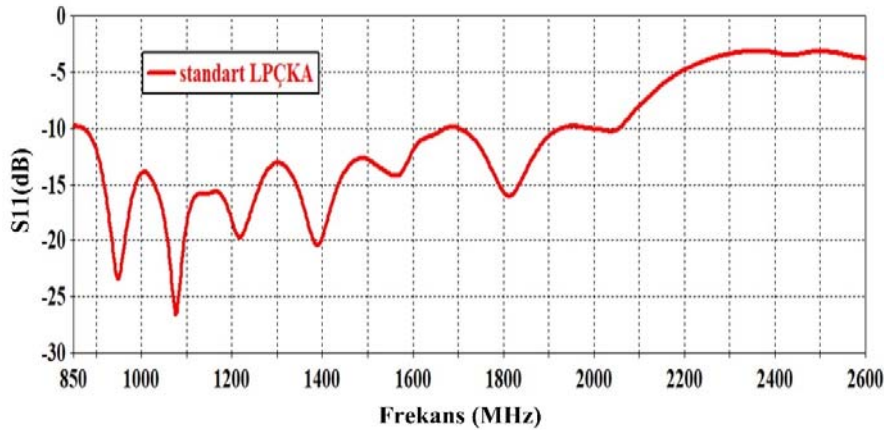
Şekil 1’de genel yapısı ve Tablo 1’de boyutları verilen standart basılı LPÇKA’ye ait benzetim sonuçları CST Microwave Studio elektromanyetik benzetim programı kullanılarak elde edilmiştir. Benzetim sonuçlarından elde edilen geri yansımaya katsayı ( $S_{11}$  parametre) değerleri Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Standart LPÇKA’in çift kutuplarının ölçüleri (mm cinsinden)

(Dimensions of dipoles of standard LPDA (in mm))

$n$	$l_n$	$w_n$	$d_n$
1	73,5	4	18,7
2	64,58	3,52	16,5
3	56,92	3,1	14,6
4	50,09	2,73	12,9
5	44,08	2,4	11,4
6	38,79	2,11	10
7	34,13	1,86	8,8
8	30,03	1,64	7,7
9	26,43	1,44	6,8
10	23,26	1,27	6
11	20,47	1,12	-

Şekil 2’de verilen geri yansımaya katsayı sonuçlarından görüldüğü üzere antenin hedeflenen 0,9 GHz ile 2 GHz frekans aralığına oldukça yakın bir şekilde yaklaşık 0,87

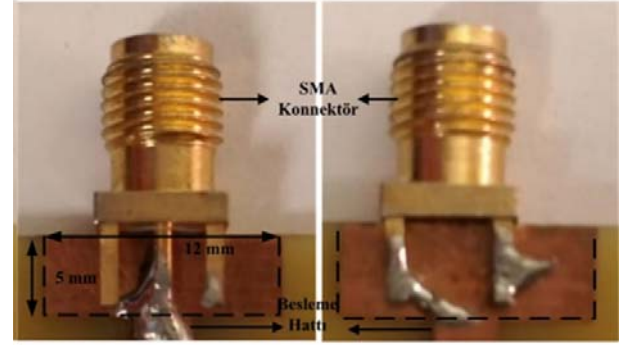


**Şekil 2.** Standart LPÇKA’in geri yansımaya katsayısı için benzetim sonucu  
(Simulation result of the standard LPDA for reflection coefficient)

GHz ile 2,05 GHz arasında 10 dB'den iyi geri dönüş kaybına sahiptir. Antenin ışıma örüntülerine ait benzetim sonuçları ele alındığında ise, 0,9 GHz – 2 GHz bandında antenin yönlülük değerlerinin hedeflenen teorik değer olan 6,8 dBi değerine yakın bir şekilde 6,5 dBi civarında olduğu görülmüştür. Özellikle maliyeti düşük olan FR4 malzemesinin RF frekanslarında göreceli olarak kayıplı bir malzeme olmasından dolayı antenin kazancı aynı frekans bandı içerisinde az bir kazanç değişimi ile (0,4 dBi civarı) yaklaşık 5 dBi olarak bulunmuştur. Öte yandan özellikle bu çalışmada düşünülen kablosuz haberleşme sistemlerini içeren 0,86 GHz – 2,5 GHz frekans bandı ele alındığında, antenin 2 GHz'in üzerindeki frekanslardaki kötü geri dönüş kayıp performansından dolayı minimum anten kazanç değeri 1,5 dBi seviyelerine düşmüştür. Bu duruma bağlı olarak 0,86 GHz – 2,5 GHz frekans bandı içerisindeki kazanç değişiminin 4 dBi gibi kötü sayılabilecek değerlere çıktığı görülmüştür.

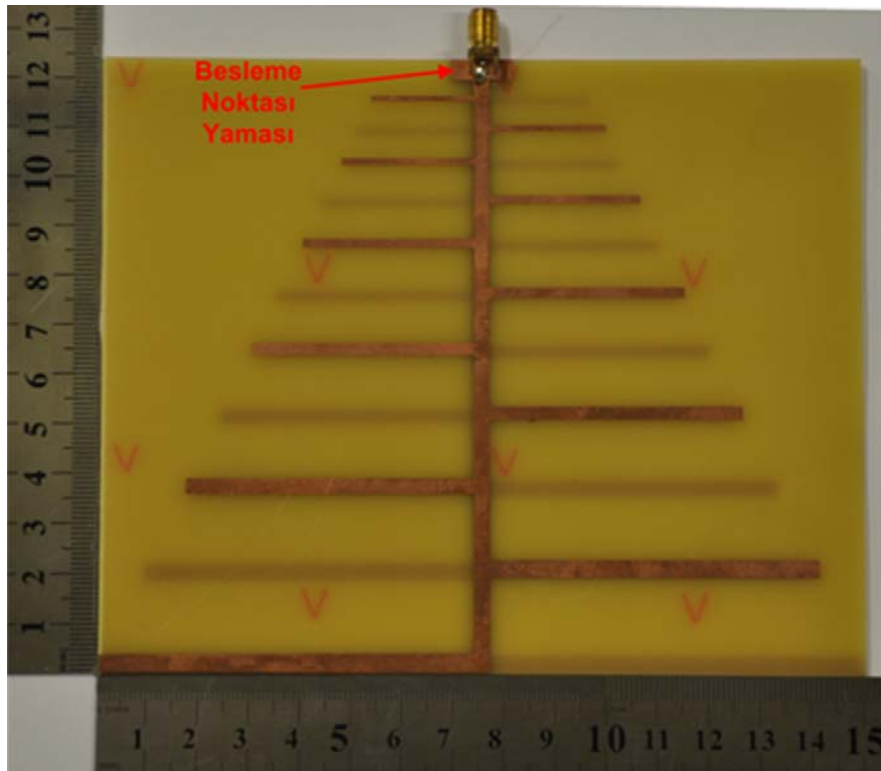
Önerilen antenin tasarımındaki ikinci aşamada özellikle ilk aşamadaki standart basılı LPÇKA'nın 2 GHz üzerindeki yetersiz performansının bant genişliği artırılarak iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, standart basılı LPÇKA'nın Şekil 1 ve Tablo 1'de verilen bütün boyutları sabit tutularak dielektrik plakanın her iki yüzüne dikdörtgen yama eklenmiştir. Plakanın her iki yüzünde de dalganın gidiş yönü düşünüldüğünde en yönünde boyutu artırılmış bu mikroşerit yamalar kapasitif etki getirecektir. Şekil 1'deki standart LPÇKA ile yapılan benzetimlerde antenin bant boyunca indüktif reaktansı olan bir empedansa sahip olduğu

görülmüş olup bu indüktif etki özellikle 2 GHz'den sonra artmaktadır. Bu yamanın eklenmesinin nedeni, besleme (giriş) noktasında kapasitif bir etki yaratarak özellikle üst frekanslardaki bu indüktif etkiyi dengeleyip çalışma frekans aralığının üst kesimini arttırmaktır. Şekil 3'teki üretilmiş antenden de görülebileceği üzere bu yama, besleme hattının başlangıcına (antenin en üst noktasına) eklenmiştir. Yama boyutları Şekil 4'te verildiği üzere 12 mm × 5 mm'dir.



Şekil 4. LPÇKA antenin besleme hattının başlangıcına eklenen dikdörtgen yama  
(Rectangular patch inserted at the initial part of the feed line)

Besleme hattına yama eklenmesi, özellikle dielektrik malzeme üzerine basılmış antenlerin çalışma frekans aralığını arttırma da etkin olarak kullanılan bir yöntemdir [10]. Şekil 3'te gösterilen üretilmiş "ilk tasarım" anten için



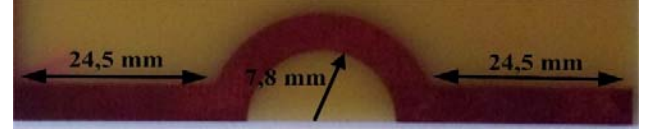
Şekil 3. Besleme noktasının sonuna yamalar eklenmiş "ilk tasarım" LPÇKA'nın fotoğrafı  
(The photograph of the "first design" LPDA with patches added at feed point)

geri yansımaya katsayılarına (S parametrelerine) ait benzetim sonuçları benzetim programı ile, ölçüm sonuçları ise Keysight N9912A Fieldfox RF Analizörü ile elde edilmiştir. Birbiri ile oldukça uyumlu olan benzetim ve ölçüm sonuçlarına ait bu değerler Şekil 5’te verilmiştir. Buradaki ölçüm sonuçlarına göre 0,86 GHz – 2,3 GHz frekans aralığında küçük bir bölgede 8 dB’ye düşmekle beraber antenin en az 10 dB’lik geri yansımaya kaybı vardır. Besleme noktasının başlangıç kısmına dikdörtgen yama eklenmesi ile antenin çalışma frekansının alt bandı aynı kalmakla beraber üst bandı 2,05 GHz’den 2,3 GHz’e yükseltilmiştir. Öte yandan genişletilmiş bu frekans bandı için bile hala bu çalışmada ele alınan kablosuz haberleşme sistemlerinden olan Bluetooth ve Wi-Fi 2,4 GHz uygulamalarının çalışma frekanslarında yetersiz performans elde edilmiştir. Bu uygulamalara ait frekans bölgesinde (2,4 GHz – 2,48 GHz) geri dönüş kaybı 10 dB’den çok daha düşük olup yine bu frekanslarda en az 3 dBi anten kazancı ve 0,86 GHz – 2,5 GHz frekans bandı içerisinde 2,5 dBi’lik anten kazanç değişimi bulunmuştur.

### 3.BOYUTU KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖNERİLEN ANTEN (SIZE REDUCED PROPOSED ANTENNA)

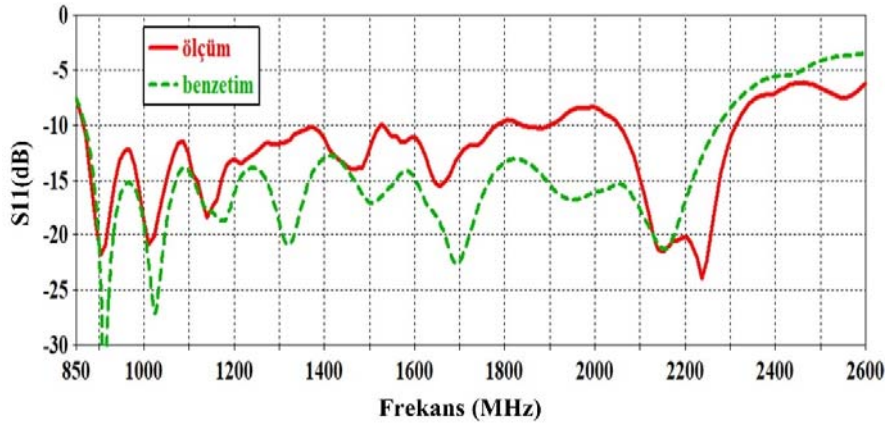
Bölüm 2’de verilen “ilk tasarım”dan sonraki aşamada, çalışmanın ana hedeflerinden biri olan LPÇKA’in boyutlarının küçültülmesine ve ayrıca yukarıda belirtilen Bluetooth ve Wi-Fi 2,4 GHz frekanslarındaki performansın iyileştirilmesine yönelik modifikasyonlar yapılmıştır. Literatürde LPÇKA’ler için düz çift kutuplar yerine farklı yapılarda çift kutupların kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, koch-fraktal (koch fractal) yapıların oldukça yaygın olduğu görülmektedir [11, 12]. Bu çalışmalarda boyut küçültmeye ait fraktal teorisindeki yaklaşım [5, 11], çift kutuplardaki metal yapıların üstünde akan yüzey akımlarının yol uzunluklarını sabit tutacak şekilde düz çift kutup yapısının bazı bölgelerine eğrilik vererek çift kutupların yatay uzunluğunu ve sonuç olarak antenin yatay uzunluğu düşürmektedir. Örneğin, Şekil 1’de verilen en uzun çift kutup kol yapısına ait yatay uzunluk  $I_N$  değeri Tablo 1’de 73,5 mm olarak verilmişti. Böylece, antenin toplam yatay

uzunluğu da 3 mm kalınlıktaki besleme hattı ve kenarlardaki 1 mm’lik dielektrik malzeme boşlukları ile  $73,5 \text{ mm} \times 2 + 3 \text{ mm} + 1 \text{ mm} \times 2 = 152 \text{ mm}$  olarak Şekil 1’de verildiği gibi bulunmuştur. Antenin toplam yatay uzunluğunu doğrudan etkileyen bu en uzun çift kutup kolunun yatay boyutunu azaltmak için bu çalışmada önerilen antene ait önerilen boyutu küçültülmüş çift kutup kol yapısı Şekil 6’da gösterilmiştir. Buradaki en uzun çift kutup kolundaki metallere üzerinden dolaşan yüzey akımlarının toplam yol uzunluğu  $2 \times 24,5 \text{ mm} + \pi \times 7,8 \text{ mm} = 73,5 \text{ mm}$  olarak düz çift kutup kol yapısındaki yatay uzunluk ile aynıdır. Öte yandan bu çift kutup kolunun en solu ile en sağı arasındaki yatay mesafe,  $2 \times 24,5 + 2 \times 7,8 \text{ mm} = 64,6 \text{ mm}$  olarak bulunur ve yatay uzunlukta azalma gerçekleştirilir. Şekil 6’da verilen yarı çember yapısının yarıçapı artırılarak çift kutup kolunun yatay uzunluğu daha da düşürülebilir fakat tasarımda en düşük yatay uzunluk ve en geniş frekans aralığı elde edilecek şekilde en uygun yapı ve yarıçap değeri elde edilmelidir.

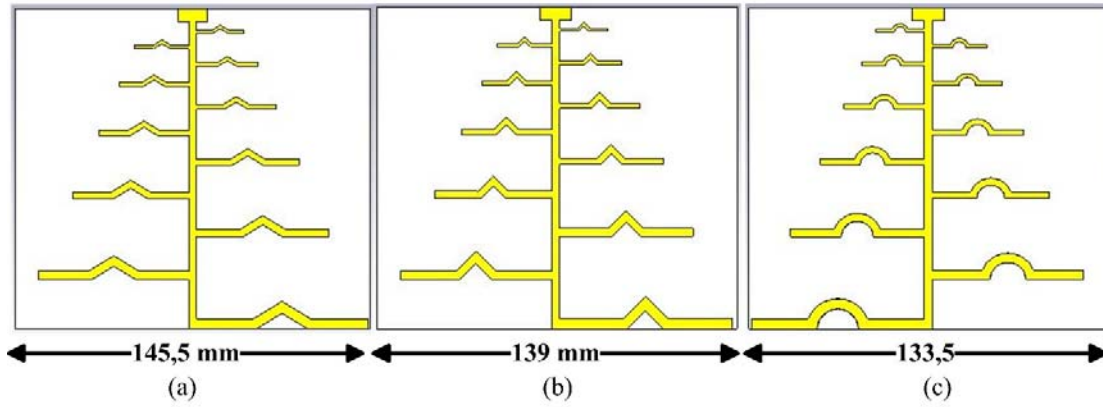


Şekil 6. Boyutu küçültülmüş antenin en uzun kolunun yapısı ve boyutları  
(Structure and dimensions of the longest arm of the size reduced antenna)

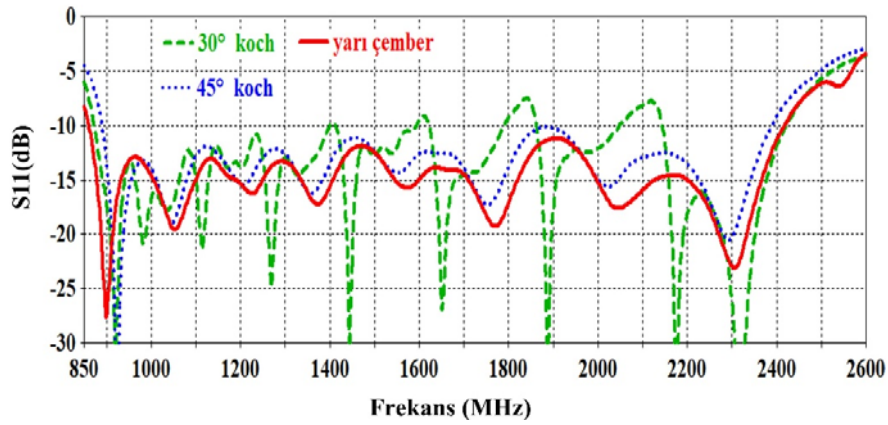
Önerilen antene yönelik olarak bir önceki paragrafta bahsedilen boyut küçültme çalışmaları kapsamında, “ilk tasarım”daki bütün boyutlar sabit tutularak çift kutup kolları üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu amaçla, Şekil 7’de gösterildiği üzere ilk olarak farklı açılarda üçgenler içeren ( $30^\circ$  ve  $45^\circ$ ) koch-şekilli çift kutuplar ile antenler oluşturulmuştur. Dielektrik plakasının her iki yüzünde de aynı görüntü şeklinde olan üçgenlerin boyutları,  $\tau = 0,88$  ölçeklendirme değeri ve benzetim programı ile en küçük boyut ve en geniş frekans bandını verecek şekilde en iyilenmiştir. Antenlerin geri yansımaya katsayılarına ait ilgili benzetim sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de verilen



Şekil 5. Besleme noktası yamalı LPÇKA’in geri yansımaya katsayısı için benzetim ve ölçüm sonuçları  
(Simulation and measurement results of LPDA with feed point patch for reflection coefficient)



**Şekil 7.** (a) 30° koch fraktal yapılı (b) 45° koch fraktal yapılı ve (c) birinci dereceden tek yarı çember yapılı LPÇKA'lerin ön yüzünün benzetim ortamındaki görüntüsü ve bu antenlerin toplam yanıl uzunlukları (Simulation view of the front side of LPDAs with (a) 30° koch fractal structure (b) 45° koch fractal structure and (c) first order single semicircle structure and lateral lengths of these antennas)



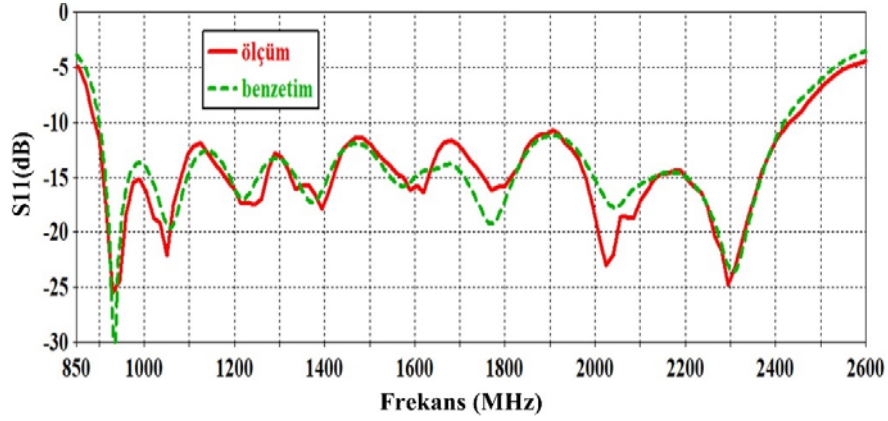
**Şekil 8.** 30° ve 45° koch fraktal yapılı ve birinci dereceden tek yarı çember yapılı LPÇKA'lerin benzetim geri yansım katsayısı karşılaştırması (Comparison of reflection coefficient for the structures with 30° and 45° koch fractal and first order single semicircle)

sonuçlar incelendiğinde, 10 dB geri dönüş kaybı için 30° koch fraktal yapılı antenin en alt ve üst frekans değerleri, 45° koch fraktal yapılı antene daha iyidir. Öte yandan 30° koch fraktal yapılı antenin frekans bandı içerisindeki bazı frekans bölgelerinde geri dönüş kaybı değerlerinin 7,5 dB'lere kadar düşmesi, bu antenin 10 dB geri dönüş kaybı için olan frekans bandının ihlal edilmesine ve bu anlamda çok daha düşük bir bandın elde edilmesine yol açmaktadır. 45° koch fraktal yapılı antende ise, bandın en alt ve üst bölgesinde frekans değerleri göreceli olarak daha kötü olmasına rağmen 0,9 GHz-2,4 GHz frekans bandının tamamında en az 10 dB'lik geri dönüş kaybı değeri elde edilmiştir. Ayrıca 30° koch fraktal yapılı antene göre 45° koch fraktal yapılı antenin toplam yanıl boyutunun daha küçük olduğu görülmektedir. Bu anlamda, 45° koch fraktal yapılı anten ile bölüm 2'deki "ilk tasarım"a göre yaklaşık %9 değerinde bir boyut azalması ve bandın üst kısmının 2,3 GHz'den 2,4 GHz seviyelerine çekildiği görülmektedir.

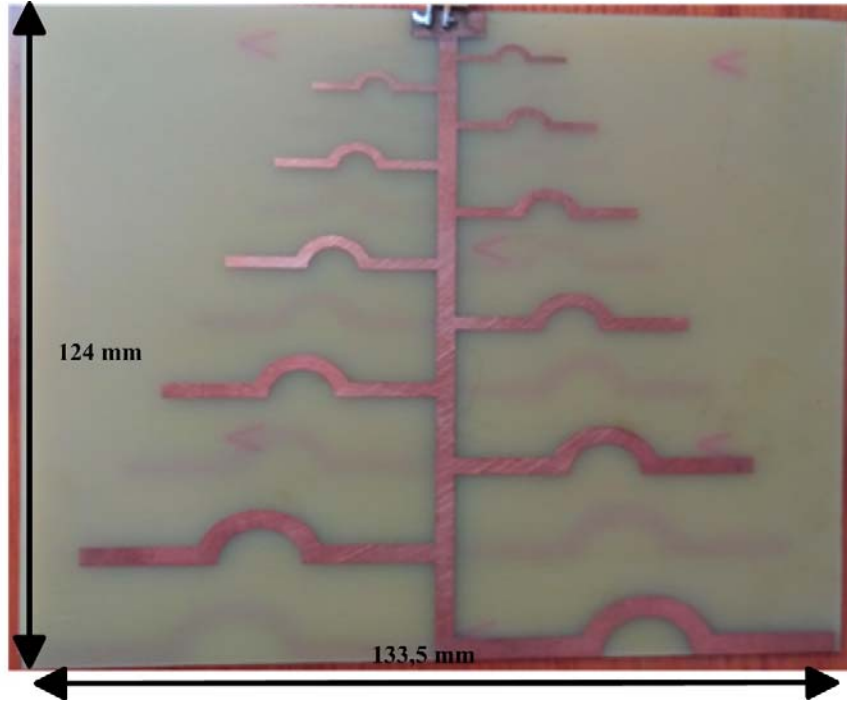
45° koch fraktal yapılı antenin frekans bandı performansını bozmadan anten yapısını daha küçülmek amacıyla bu çalışmadaki önerilen anten yapısında Şekil 6 ve Şekil 7(c)'de

verildiği üzere fraktal teorisine göre birinci dereceden olan tek yarı çember yapıları kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda, en uzun çift kutup kolu için olan optimal boyutlar Şekil 6'da verildiği gibi çıkmıştır. Böylece antenin toplam yanıl boyutu 133,5 mm olarak bulunmuş olup "ilk tasarım"a göre yaklaşık %14 oranında bir boyut azalması elde edilmiştir. Ayrıca bu antene ait Şekil 8'de verilen  $S_{11}$  değerleri incelendiğinde, birinci dereceden tek yarı çember yapılı anten ile 45° koch fraktal yapılı antenin neredeyse aynı 10 dB geri dönüş kaybı frekans bandına (0,9 GHz – 2,4 GHz) sahip olduğu görülmektedir. Bu frekans bandının çoğu bölgesinde, yarı çemberli yapının  $S_{11}$  değerleri, 45° koch fraktal yapılı antene göre daha iyi bulunmuştur. Bu çalışmada, "ikinci tasarım" olarak adlandırılan yarı çemberli boyutu küçültülmüş LPÇKA yapısının yine oldukça uyumlu olan benzetim ve ölçüm  $S_{11}$  parametreleri Şekil 9'da verilmiş olup üretilmiş hali Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 9'da verilen sonuçlara göre, boyutu küçültülmüş "ikinci tasarım" LPÇKA'nın 10 dB geri dönüş kaybına ait frekans bandı 0,89 GHz ile 2,45 GHz arasında çıkmaktadır. Bu durum, "birinci tasarım"a göre Bluetooth ve Wi-Fi 2,4 GHz uygulamalarını kısmen kapsayacak şekilde üst bandın 2,3 GHz'ten 2,45





Şekil 9. Boyutu küçültülmüş "ikinci tasarım" antenin  $S_{11}$  için ölçüm ve benzetim sonuçları  
(Simulation and measurement results for  $S_{11}$  of the size reduced "second design" antenna)



Şekil 10. Üretilen boyutu küçültülmüş "ikinci tasarım" LPÇKA'nın fotoğrafı  
(The manufacture photograph of the size reduced "second design" LPDA)

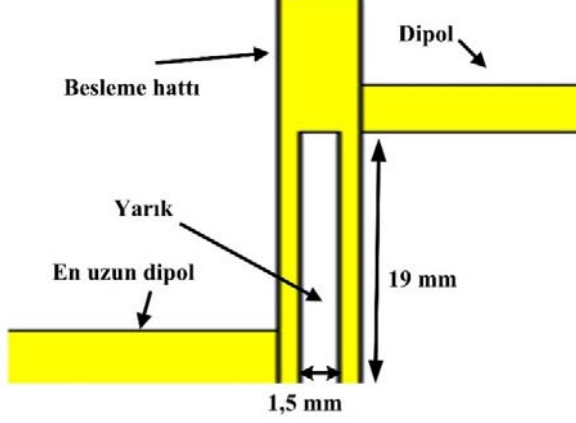
GHz'e çıktığı görülmektedir. Öte yandan tam tersi bir durum olarak alt bant frekansın sınırının 0,86 GHz'den 0,89 GHz değerine çıkması, RFID (863 MHz – 868 MHz) ve GSM 900 (880 MHz – 915 MHz) uygulamalarının dışarıda bırakılması anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada özgün olarak sunulan anten tasarımına ait son aşamada, frekansın alt bantının en fazla 0,86 GHz ve Bluetooth/Wi-Fi 2,4 GHz uygulamalarını tamamen kapsayacak şekilde (2,4 GHz – 2,48 GHz) üst bantının en az 2,5 GHz olması hedeflenerek "ikinci tasarım" LPÇKA üzerinde modifikasyon yapılmıştır. Şekil 10'da verilen antenin en altında bulunan en uzun çift kutup ile dikey besleme hattının sonunu birleştiren kısımda bir yarık açılarak performans iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Yarık açma

yöntemi birçok türdeki basılı anten için kullanılmakla beraber [20, 21] basılı LPÇKA'nın besleme hattı üzerine yarık açılması, ilk olarak bu çalışmada verilmiş olması sebebiyle çalışmanın özgünlüklerden biri olarak gösterilebilir. Belirtilen yapı Şekil 11'de gösterilmiş olup dielektrik plakanın her iki yüzünde de 1,5 mm × 19 mm boyutlarında dikdörtgen yarıklar açılmıştır.

Boyutları benzetim programı ile yapılan en iyilenme sonucu ortaya çıkan bu yarığın eklenmesi ile bu çalışmada önerilen antenin son tasarım aşaması tamamlanmış ve Şekil 12'de verilen "son tasarım" anten, FR4 plakasının her iki yüzüne simetrik olarak üretilmiştir. "Son tasarım" anten, "ikinci tasarım" LPÇKA yapısının üzerine sadece yarık açılması şeklinde bir değişiklik içerdiğinden bu çalışmada önerilen

antenin toplam boyutları, “ikinci tasarım”da verilen boyutlar ile aynı olup  $133,5 \text{ mm} \times 124 \text{ mm}$ 'dir. Önerilen “son tasarım” antenin  $S_{11}$  parametresine (geri yansımaya katsayısına) ait benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 13'te verilmiş olup benzetim ve ölçüm sonuçları uyuşmaktadır.



**Şekil 11.** Besleme hattının sonuna eklenen dikdörtgen yarığın benzetim ortamındaki görüntüsü  
(Simulation view of the slot added to end of the feed line)

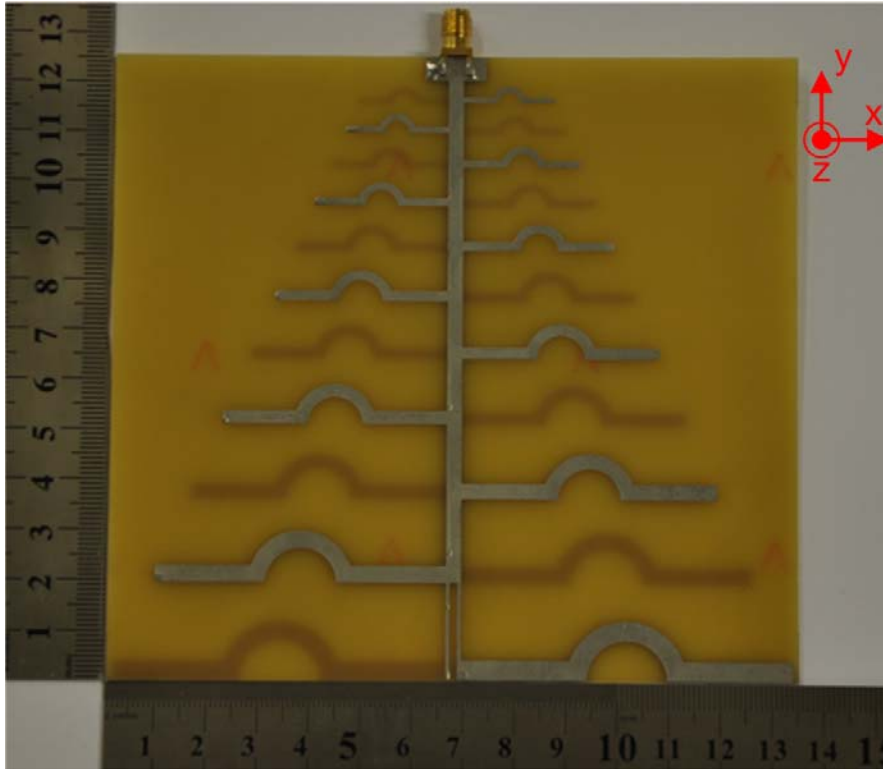
Şekil 13'te verilen ölçüm sonuçlarına göre, önerilen antenin 10 dB geri dönüş kaybı bandı yaklaşık olarak 0,84 GHz ile 2,5 GHz arası bulunmuştur. Bu anlamda, yarığın açılması şeklinde yapılan modifikasyonun “ikinci tasarım” LPÇKA'daki belirtilen sorunları giderdiği ve RFID, GSM,

Bluetooth ve Wi-Fi 2,4 GHz uygulamalarını da kapsayacak şekilde çalışma bandını artırdığı görülmektedir.

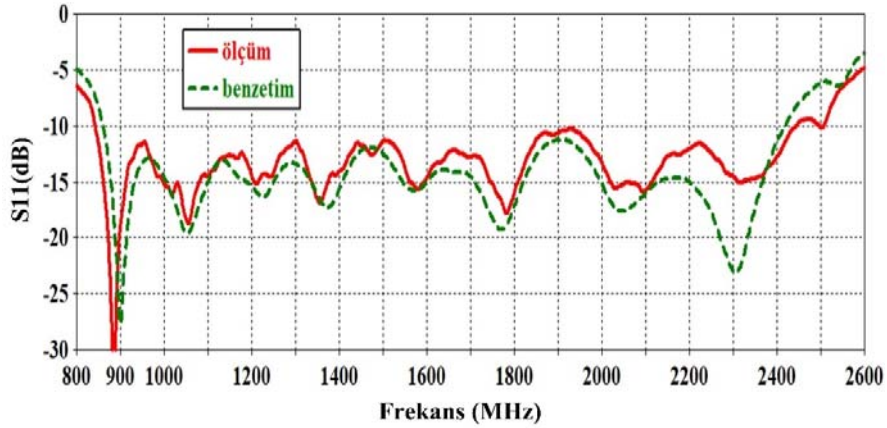
#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Çalışmanın bu bölümünde, Şekil 13'teki önerilen LPÇKA (son tasarım) yapısının ölçüm sonuçları ile besleme noktası yamalı LPÇKA (ilk tasarım), besleme noktasında yarığın olmayan birinci dereceden tek yarı çember yapılı LPÇKA (ikinci tasarım) ve literatürdeki benzer frekans bantlarında çalışan benzer antenlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak bölüm 2 ve bölüm 3'te verilen üç antenin (ilk tasarım, ikinci tasarım ve son tasarım) ölçülmüş  $S_{11}$  parametreleri (geri yansımaya katsayısı), Şekil 14'te gösterilmiştir.

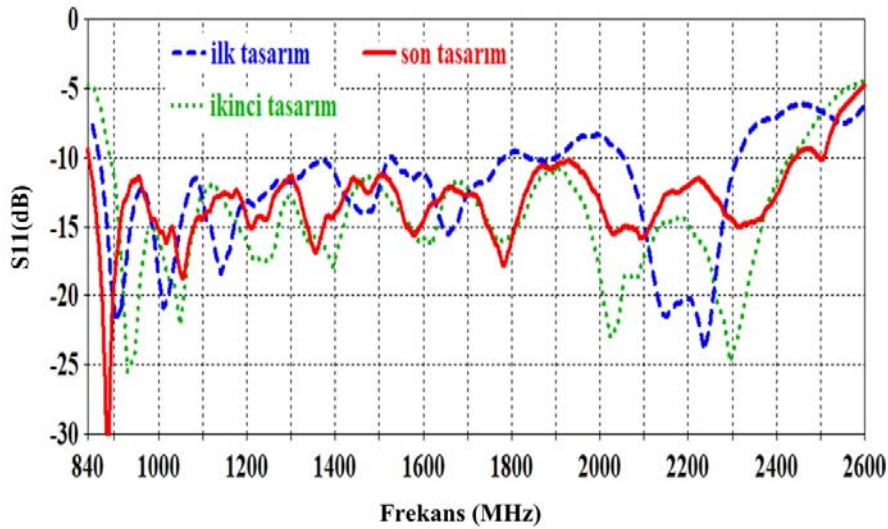
Şekil 14'te verilen sonuçlara ve 10 dB geri dönüş kaybı eşik seviyesine göre, herhangi bir boyut küçültme işlemi uygulanmayan “ilk tasarım”daki 0,86 GHz – 2,3 GHz frekans bandı, “ikinci tasarım”daki antende boyut küçültme de yapılarak 0,89 GHz – 2,45 GHz'e çekilmiştir. Yarığın açılması ile oluşturulan “son tasarım”da ise, 10 dB geri dönüş kaybı için antenin çalışma frekans bandı 0,84 GHz – 2,5 GHz'e genişletilmiştir. Boyutları sırasıyla  $152 \text{ mm} \times 124 \text{ mm}$ ,  $133,5 \text{ mm} \times 124 \text{ mm}$  ve  $133,5 \text{ mm} \times 124 \text{ mm}$  olan bu üç anten içerisinde önerilen “son tasarım” LPÇKA, standart LPÇKA'ya göre %14 küçültme oranı ile en küçük boyutlara ve en geniş geri dönüş kaybı çalışma frekans bandına sahiptir.



**Şekil 12.** Önerilen “son tasarım” antenin üretilmiş halinin resmi  
(The manufacture photograph of the proposed “final design” LPDA)



Şekil 13. Önerilen “son tasarım” antenin  $S_{11}$  için ölçüm ve benzetim sonuçları  
(The simulation and measurement results for  $S_{11}$  of the proposed “final design” antenna)



Şekil 14. Çalışma boyunca üretilen antenlerin (ilk tasarım, ikinci tasarım, son tasarım) geri yansımaya katsayıları  
(Reflection coefficients of manufactured antennas (first design, second design, final design) during the study)

Antenlerin ölçüm  $S_{11}$  parametresi karşılaştırmasından sonra frekans bandı içerisinde kazanç ve ışınma örüntü performansları incelenmiştir. Çalışmada hedeflenen haberleşme uygulamalarını içeren 0,86 GHz – 2,5 GHz frekans bandı aralığında, antenlerin en düşük kazanç değeri ve kazanç değişimlerinin bulunması amacıyla üç antenin bant boyunca benzetim ile elde edilen kazanç değerleri hesaplanmış ve Şekil 15’te verilmiştir.

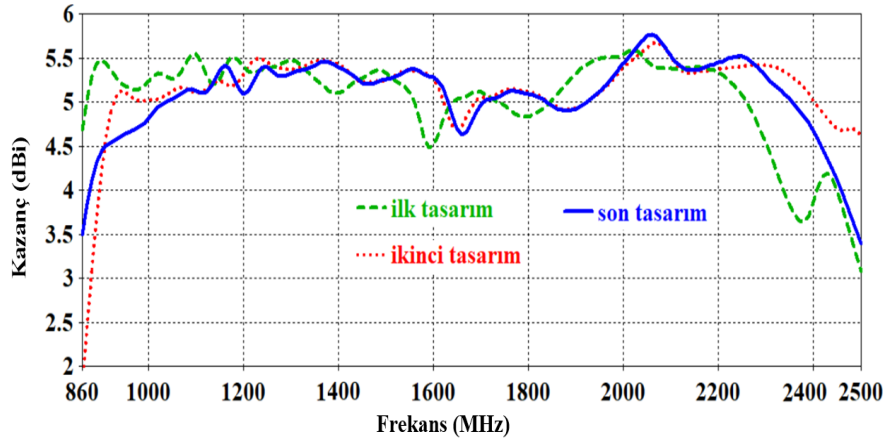
Şekil 15’te 0,86 GHz – 2,5 GHz arası verilen gerçekleşen benzetim kazanç değerlerine göre, “ilk tasarım” antenin 0,87 GHz – 2,3 GHz arası 10 dB geri dönüş kaybı bulunduğu için özellikle 2,3 GHz’den sonra geri dönüş kaybının ciddi şekilde kötüleşmesinden dolayı kazanç değerleri hızlı bir şekilde düşmektedir. Bu çalışmada hedeflenen 0,86 GHz – 2,5 GHz bandı düşünüldüğünde bu anten en az 3 dBi gerçekleşen kazanç ve 2,5 dBi değerinde kazanç değişimi vermektedir. “İkinci tasarım” anten, diğer iki tasarıma kıyasla 2,3 GHz’den sonraki üst frekans

bandında daha iyi kazanç değerleri vermekte iken özellikle frekans alt bandındaki 0,86 GHz’e yakın bölgede kazanç değerleri 1,8 dBi seviyelerine kadar düşmektedir. Buna bağlı olarak 0,86 GHz – 2,5 GHz bandında ikinci antenin kazanç değişimi 4 dBi seviyelerine kadar çıkmaktadır. Ayrıca 2,4 GHz’den sonraki frekanslar için “ikinci tasarım” anten her ne kadar daha iyi kazanç değerleri verse de hızlıca azalan geri dönüş kaybı değerleri nedeniyle bu frekanslarda bu antenin kullanımını sistem performansı açısından zorlaşmaktadır. Öte yandan çalışma frekans bandı 0,9 GHz ile 2,4 GHz arasında olan uygulamalar için bu anten, diğer antenlere göre daha iyi geri dönüş kaybı ve minimum kazanç performansına sahip olup bu frekans bandı içerisindeki kazanç değişimi neredeyse 1 dBi değerindedir. Böylece “ikinci tasarım” anten 0,9 GHz – 2,4 GHz frekans aralığında “son tasarım” anten için iyi bir alternatif olarak düşünülebilir. RFID (863 MHz – 868 MHz) ve 2,4 GHz Wi-Fi/Bluetooth (2400 MHz – 2484 MHz) uygulamalarını da içerecek şekilde bu çalışmada hedeflenen 0,86 GHz – 2,5

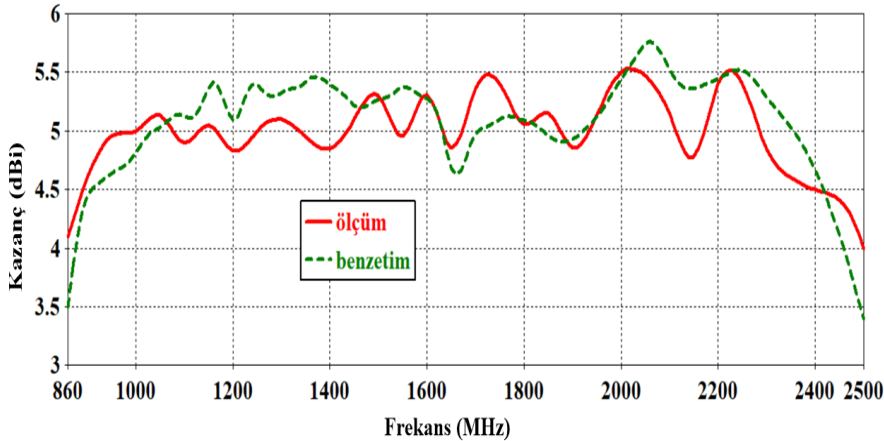
GHz frekans bandı düşünüldüğünde “son tasarım” anten, diğer iki antene göre en ideal çözüm olarak gösterilebilir ve bu bant içerisinde üç anten arasında en yüksek minimum kazanç ve en düşük kazanç değişimini vermektedir. Önerilen “son tasarım” LPÇKA’ın benzetim ve ölçüm kazanç değerleri 0,86 GHz – 2,5 GHz aralığı için Şekil 16’da verilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçları arasında en fazla 0.5 dBi seviyesinde farklar görülmekte olup bu anlamda ilgili sonuçların oldukça tutarlı olduğu söylenebilir. Şekil 16’da verilen ölçüm sonuçlarına göre bu çalışmada önerilen “son tasarım” anten için 0,86 GHz – 2,5 GHz frekans bandı içerisinde 4,75 dBi  $\pm$  0,75 dBi kazanç değerleri ile minimum 4 dBi kazanç ve 1,5 dBi’lik kazanç değişimi gözlemlenmektedir. Ayrıca bu bandın büyük bir kısmını kapsayan 0,9 GHz – 2,4 GHz frekans aralığı düşünüldüğünde önerilen antenin kazanç performansı 5 dBi  $\pm$  0,5 dBi olarak çok daha iyidir. 0,86 GHz – 0,9 GHz ve 2,4 GHz – 2,5 GHz frekans bölgelerinde Şekil 13’ten de görülebileceği üzere üretilmiş antenin  $S_{11}$  performansı benzetim sonuçlarına göre daha iyi olduğu için bu durum üretilen antenin kazancının da bu frekanslarda daha yüksek elde edilmesine sebep olmuştur. Şekil 14’te verilen sonuçlar

ile bağlantılı olarak önerilen antenin frekans bandı en az 10 dB’lik geri dönüş kayıp değeri düşütülerek 0,84 GHz – 2,5 GHz olarak verilmiş idi. Fakat özellikle 0,84 GHz – 0,86 GHz bölgesindeki kazanç değerlerinin hem yönlülük hem de geri dönüş kayıp değerlerindeki hızlı düşüş sebebiyle 3,5 dBi’ya kadar gerilemesi durumu görülmüştür. Bu sebeple bant içerisinde hem en az 10 dB geri dönüş kaybı hem de en az 4 dBi kazanç değeri (dolayısı ile 1,5 dBi kazanç değişimi) verecek şekilde önerilen antenin çalışma frekans bandı 0,86 GHz ile 2,5 GHz arası seçilmiştir. Bu frekans bandı, çalışmada hedeflenen kablosuz haberleşme uygulamalarının (RFID, GSM, GPS, 3G, Bluetooth ve 2,4 GHz Wi-Fi) en alt (863 MHz) ve en üst (2484 MHz) frekans değerlerini kapsaması bakımından da yeterlidir.

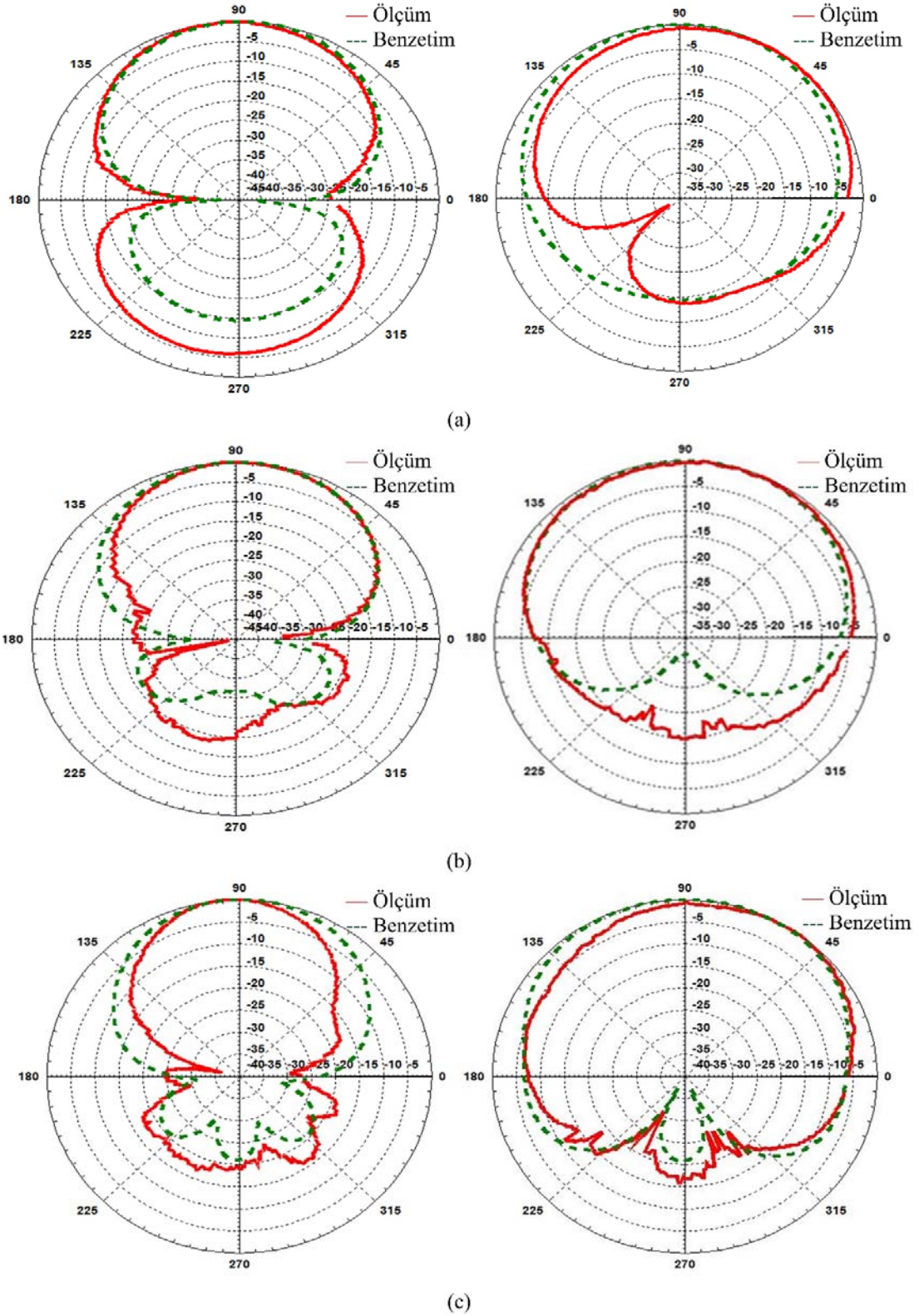
Önerilen “son tasarım” LPÇKA’ın kazanç değerlerinden sonra ışına örüntüleri de ölçümler ile elde edilmiştir. Antenin çalışma frekans bandının alt, orta ve üst frekans bölgelerine karşılık gelen 1 GHz, 1,5 GHz ve 2,25 GHz için Şekil 17’de verilen ışına örüntülerinin ölçümleri, Yaşar Üniversitesi Anten ve Mikrodalga Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 15. “İlk tasarım”, “ikinci tasarım” ve “son tasarım” LPÇKA’ların benzetim kazanç değerleri (Simulation gain values of “first design”, “second design” and “final design” LPDAs)



Şekil 16. Önerilen “son tasarım” antenin benzetim ve ölçüm ile elde edilen gerçekleşen kazanç değerleri (Realized gain values of the proposed “final design” antenna obtained with simulation and measurement)



Şekil 17. Önerilen antenin E-düzlem (solda) ve H-düzlem (sağda) üzerindeki ışınma örüntüleri (a) 1 GHz frekansında (b) 1,5 GHz frekansında (c) 2,25 GHz frekansında  
(Radiation patterns of the proposed antenna on E-plane (left) and H-plane (right) at (a) 1 GHz (b) 1,5 GHz (c) 2,25 GHz)

**Tablo 2.** Bu çalışmada önerilen anten ile literatürdeki benzer antenlerin performans karşılaştırılması  
(Comparison of the proposed antenna in this study with similar antennas in the literature)

Anten	Frekans bandı (GHz)	Bant genişlik oranı	Boyutlar (en × boy) (mm)	Elektriksel uzunluk	Kazanç değerleri (dBi)
[22]	2,1 – 3,2	1,52:1	57,4 × 51,2	0,402 $\lambda_L$ × 0,358 $\lambda_L$	~4,7
[23]	0,92 – 2,16	2,3:1	203 × 120	0,623 $\lambda_L$ × 0,368 $\lambda_L$	5 ± 2
[24]	0,784 – 2,25	2,87:1	160 × 150	0,418 $\lambda_L$ × 0,392 $\lambda_L$	5,4 ± 0,8
[25]	1,75 – 4,2	2,4:1	135 × 62	0,79 $\lambda_L$ × 0,36 $\lambda_L$	3,5 ± 4
Önerilen	0,86 – 2,5	2,91:1	133,5 × 124	0,383 $\lambda_L$ × 0,356 $\lambda_L$	4,75 ± 0,75

$\lambda_L$  = frekans bandı içerisindeki en düşük frekansa karşılık gelen havadaki dalga boyu

Şekil 12’de verilen koordinat sistemi ile uyumlu olarak xy düzlemindeki E-düzlem ve yz düzlemindeki H-düzlem ışına örüntüleri incelendiğinde, benzetim ve ölçüm sonuçlarının tutarlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, önerilen antenin en az 15 dB değerinde ön hüzmeye-arka hüzmeye oranına sahip olması sebebiyle Şekil 12’ye göre +y eksenine doğru yönlü bir anten olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Önerilen anten ile ilgili son karşılaştırma olarak literatürdeki benzer antenler ele alınmıştır. İlgili çalışmalar seçilirken bu çalışmada sözü edilen kablosuz haberleşme uygulamalarının tamamını ya da bazılarını kapsayacak şekilde frekans bantlarına sahip ve boyut küçültme içeren basılı LPÇKA’ler göz önünde bulundurulmuştur. Frekans bandı, boyut ve kazanç değerlerine yönelik yapılan ilgili karşılaştırma Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’deki frekans bantları, antenlerin en az 10 dB geri dönüş kayıp değeri verdiği frekans aralığı olarak alınmıştır. Boyutların elektriksel uzunluk cinsinden karşılaştırılmasında, frekans bandı içerisindeki en düşük frekansa karşılık gelen havadaki dalga boyu ( $\lambda_L$ ) kullanılmıştır. Kazanç değerlerinin karşılaştırılmasında ise, bant içerisindeki en düşük kazanç ve kazancın tutarlılığını göstermek amacıyla kazanç değişimi esas alınmıştır. Tablo 2’de verilen karşılaştırma sonuçlarına göre, önerilen antenin diğer çalışmalardaki antenlerden daha geniş frekans bandına ve daha küçük boyutlara sahip olduğu görülmektedir. Kazanç değerleri bakımından diğer antenlerin önerilen antene göre daha iyi en düşük ve en yüksek kazanç değeri verebildiği görülmekle beraber önerilen anten en az kazanç değişimini sağlamaktadır.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, şu an sıklıkla kullanılan farklı kablosuz haberleşme sistemleri (RFID, GSM, GPS, 3G, Bluetooth ve 2,4 GHz Wi-Fi) uygulamalarını kapsayan bir basılı log-periyodik çift kutuplu antenin (LPÇKA) tasarımı ve gerçekleştirilmesi sunulmuştur. Besleme yama noktası eklenmesi ve bu çalışmaya özgü olan birinci dereceden tek yarı çemberlerin kullanımı ile besleme hattı üzerine yarık açılması işlemleri sonucu standart log-periyodik çift kutuplu antene göre daha küçük boyutlarda ve daha geniş çalışma frekansına sahip bir anten elde edilmiştir.

Çalışma boyunca bu işlemlerin basamakları anlatılmış ve önerilen antenin her basamakta ortaya çıkan antene göre en geniş bant ve en düşük kazanç değişimi verme gibi

üstünlükleri gösterilmiştir. Önerilen antenin ölçüm sonuçlarına göre, 0,86 GHz ile 2,5 GHz arasında en az 10 dB geri dönüş kaybı verdiği ve yönlü bir anten olarak aynı bant içerisinde 4,75 dBi ± 0,75 dBi kazanç aralığına sahip olduğu bulunmuştur. Literatürdeki benzer çalışmalardaki benzer antenler ile karşılaştırıldığında da yine geniş bant ve boyut üstünlüğü olan bu antenin standart LPÇKA’ye göre boyutları %14 oranında azaltılmıştır. Sonuç olarak küçültülmüş boyut ve tutarlı kazanç değerlerine sahip önerilen bu antenin geniş bantlı kablosuz haberleşme sistemleri uygulamaları için oldukça uygun olduğu düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Isbell D.E., Log periodic dipole arrays, IEEE Trans. Antennas Propag., 8, 260-267, 1960.
2. Carrel R., The design of log-periodic dipole antennas, Institute of Radio Engineers (IRE) Int. Conv. Rec., 9, 61-75, 1966.
3. Yetik H., Ekşim A., Audio quality enhancement for ETSI TS 102 361 digital mobile radio standard compliant radios using volume optimization and better forward error correction scheme, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (2), 665-674, 2018.
4. Akın M., Çakır M., Yıldız D., Özgen H., Yarkan S., A low-cost, real-time, and short-range software-defined digital wireless communications transceiver design and implementation at baseband, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (2), 217-224, 2015.
5. Balanis C.A., Antenna Theory: Analysis and Design, Cilt 4, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 2016.
6. Ito H., Konno K., Sato H., Chen Q., Wideband scattering performance of reflectarray using log-periodic dipole array, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 16, 1305-1308, 2017.
7. Kayabaşı A., Akdağlı A., Usage of ANN and ANFIS methods for computing resonant frequency of slot loaded compact microstrip antennas, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (1), 105-117, 2016.
8. Michel A., Nepa P., Gallo M., Moro I., Filisan A.P., Zamberlan D., Printed wideband antenna for LTE-band automotive applications, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 16, 1245-1248, 2017.
9. Kyei A., Sim D., Jung Y., Compact log-periodic dipole array antenna with bandwidth-enhancement techniques

- for the low frequency band, *IET Microw. Antennas Propag.*, 11 (5), 711–717, 2017.
10. Bozdağ G., Kuştepe A., Subsectional tapered fed printed LPDA antenna with a feeding point patch, *IEEE Antennas and Wirel. Propag. Lett.*, 15, 437-440, 2016.
  11. Cui Y., Yang L., Liu B., Li R., Multiband planar antenna for LTE/GSM/UMTS and WLAN/WiMAX handsets, *IET Microw. Antennas Propag.*, 10 (5), 502-506, 2016.
  12. Sharma A., Zuazola I.J.G., Perallos A., Multipurpose near- and far-field switched multiband coil antenna for 915-MHz/2.45/5.8-GHz RFIDs, *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, 16, 2562-2565, 2017.
  13. Chairunnisa, D.F.S., Munir A., Size reduction of printed log-periodic dipole array antenna using fractal koch geometry, *Int. Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 7, 226-236, 2015.
  14. Hsu H., Huang T., A koch-shaped log-periodic dipole array (LPDA) antenna for universal ultra-high-frequency (UHF) radio frequency identification (RFID) handheld reader, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 61 (9), 4852-4856, 2013.
  15. Krishna C.H.M., Vijay P.J., Ravi M., Compact log periodic dipole array antenna for multiband applications using S-fractal curve, *IJRET: Int. Journal of Research in Engineering and Technology*, 7 (6), 75-80, 2018.
  16. Song L., Nie Y., Wang J., A novel meander line microstrip log-periodic dipole antenna for dual-polarized Radar Systems, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 56, 123-128, 2015.
  17. Yeo J., Lee J. Miniaturized LPDA antenna for portable direction finding applications, *Etri J.*, 34 (1), 118–121, 2012.
  18. Kang C.Y., Lin S., Zhao. Z.H., Jing L.W., The simulation and experiment of a non-cross-feeding printed log-periodic antenna, *Int. J. Antennas Propag.*, 2015, 1-8, 2015.
  19. Ávila-Navarro E., Blanes J.M., Carrasco J.A., Reig J., Navarro E.A., A New Bi-Faced Log Periodic Printed, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 48 (2), 402-405, 2006.
  20. Wen Y., Wang Ding X., "Wide-beam SIW-slot antenna for wide-angle scanning phased array, *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, 15, 1638-1641, 2016.
  21. An W., Wang X., Fu H., Ma J., Huang X., Feng B., Low-profile wideband slot-loaded patch antenna with multiresonant modes, *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, 17 (7), 1309-1313, 2018.
  22. Anagnostou D.E., Papapolymerou J., Tentzeris M.M., Christodolou C.G., A printed log-periodic koch-dipole array (LPKDA), *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, 7, 456-460, 2008.
  23. Kwon O.H., Lee S., Lee J.M., Hwang K.C., A compact, low-profile log-periodic meandered dipole array antenna with an artificial magnetic conductor, *Int. J. Antennas and Propag.*, 2018, 1-10, 2018.
  24. Limpiti T., Chantaveerod A.Y., Design of a printed log-periodic dipole antenna (LPDA) for 0.8–2.5 GHz band applications, 13th International Conference on Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology ECTI-CON, Chiang Mai-Thailand, 1-4, 28 Haziran-1 Temmuz, 2016.
  25. Gheethan A.A., Anagnostou D.E., The design and optimization of planar LPDAs, *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS) Online*, 4 (8), 811–814, 2008.

