

1,26 GHz REZONANS FREKANSINDA ÇALIŞAN ÇİFT TABAKALI YÜKSEK KAZANÇLI MİKROŞERİT DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN TASARIMI

Kadir ÖZENÇ*, **M. Emre AYDEMİR****, **Ahmet ÖNCÜ*****

* Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Yeşilköy, 34149, İstanbul

** Hava Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yeşilköy, 34149, İstanbul

*** Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bebek, 34342, İstanbul

kozenc@hho.edu.tr, m.aydemir@hho.edu.tr, ahmet.oncu@boun.edu.tr

(Geliş/Received: 30.04.2013; Kabul/Accepted: 22.08.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, 1,26 GHz rezonans frekansında çalışan, yüksek kazançlı tek elemanlı, çift taban malzemeli ve hava boşluklu mikroşerit yama anten tasarımı sunulmaktadır. Çift tabaka tekniği, bize anten üretiminde kolay üretim sağlamanın yanı sıra, her iki tarafı bakır olan alt tabaka, bir yüzeyin toprak düzlemi, diğer yüzeyin ise bu çalışma için ihtiyaç durumunda bir yükseltici, dizi anten tasarımlarında besleme ağı tasarlanmasına imkan sağlayarak yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu tasarımda, yüksek kazanç, dar bant genişliği, düşük yan demet seviyeleri, geniş kapsama alanı ve üretim kolaylığı haricinde düşük maliyetli bir üretim ayrıca hedeflenmiştir. Bunun için, pahalı ve yalıtkan kaybı düşük olan malzemeler kullanmak yerine, kolay temin edilebilen ve ucuz olan iki adet FR4 (Fire Resistant 4) taban malzemesi kullanılmıştır. Bu iki tabaka arası hava boşluğu ile ayrılarak, yalıtkan taban malzeme üzerinde oluşan elektrik alanı yoğunluğu ve etkin dielektrik sabiti azaltılmıştır. Böylece, düşük kayıplı yüksek kazançlı tek eleman mikroşerit yama anten elde edilmiştir. Çalışma, önerilen antenin simülasyon programı (CST Microwave Studio) ile yapılan benzetimini ve yansısız odada yapılan ölçüm sonuçlarını içermektedir. Elde edilen benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen anten, başta canlı tespit radar sistemleri olmak üzere küresel konumlama sistemleri ve kablosuz haberleşme sistemleri için kullanımı uygundur.

Anahtar Kelimeler: Çift tabaka, dikdörtgen yama anten, eş eksenli hat besleme (probe feed) , hava boşluğu, yüksek kazanç.

DESIGN OF A 1.26 GHz HIGH GAIN MICROSTRIP RECTANGULAR PATCH ANTENNA USING DOUBLE LAYER

ABSTRACT

In this paper, we introduce a method using double layer with airgap to design a high gain single element microstrip rectangular patch antenna operating at 1.26 GHz. Double layer technique provide us easy fabrication, besides, under layer consisted of double-sided copper ensure using one side as ground plane and other side as feed network for higher gain array antenna. We have purposed to obtain high gain microstrip patch antenna which has wide coverage area and low side lobe level using a simple method of designing. In addition, low cost fabrication also has been taken into account. To do that, we used a widely available FR4 (Fire Resistant 4) material and instead of using low-loss and expensive substrates, we inserted an air gap between radiating and ground planes. This air gap reduces both the electric field concentration on the lossy epoxy and the effective dielectric constant of the radiating plane. Therefore, a low-loss and high-gain single element rectangular patch antenna is obtained. The simulation results conducted by CST Microwave Studio and measurement results carried out in an anechoic chamber of the proposed antenna are included in this study. The close similarity between simulation results and measurement results has been observed. This proposed antenna is appropriate to use in especially life detection radar systems, global position satellite systems and wireless communication systems.

Keywords: Double layer, rectangular patch antenna, probe feed, air gap, high-gain.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mikroşerit yama antenler düşük profil, hafiflik, üretim kolaylığı, düşük maliyet ve entegrasyon kolaylığı gibi avantajlara sahiptirler. Bu avantajlarından dolayı uydu sistemleri, küresel konumlama sistemi, kablosuz haberleşme sistemleri ve radar sistemlerinde tercih edilirler [1]. Fakat, mikroşerit yama antenlerin dar bantgenişliği, düşük verimlilik ve düşük kazanç gibi eksikliklere sahip olmaları uygulama alanlarında kısıtlamalara neden olur [2]. Bu eksiklikleri gidermek için son zamanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Dar bantgenişliği sorunu yama üzerine veya toprak düzlemi üzerine yapılan farklı yarık şekilleri ve parazitik elementler sayesinde büyük ölçüde çözülmüştür. Yüksek kazanç elde etmek için ise pahalı taban malzemeler kullanılarak, çok elemanlı dizi antenler, elektromanyetik etkileşimli katmanlı antenler gibi tasarımı ve üretimi oldukça karmaşık olan antenler yayımlanmıştır [3]. Mikroşerit yama antenlerin performansları büyük ölçüde kullanılan taban malzemenin dielektrik sabitine ve tanjant kaybına bağlıdır. Yani dielektrik sabiti yüksek, tanjant kaybı fazla olan taban malzemeler ile özellikle düşük mikrodalga frekanslarında tasarlanan tek elemanlı yama antenlerden düşük verimlilik ve düşük kazanç elde edilmektedir [4]. Bu durum, yüksek dielektrik sabitine ($\epsilon_r = 4,4$) ve yüksek tanjant kaybına ($q=0,019$) sahip olan FR4 ile 1,26 GHz’de çalışan dikdörtgen yama anten tasarımları yapılarak araştırılmıştır. İlk olarak, mikroşerit iletim hat beslemeli (inset feed) dikdörtgen yama anten tasarımı, simülasyonu ve üretimi yapılmıştır. Yansımasız odada elde edilen ölçüm sonuçlarıyla (geri dönüş kaybı: -13,1 dB, bant genişliği: 20 MHz, kazanç: 2,3 dBi, verimlilik: % 34) simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ardından eş eksenli hat beslemeli (probe feed) dikdörtgen yama anten tasarımı, simülasyonu ve üretimi yapılmıştır. Bu antenin geri dönüş kaybının -13 dB, kazancının 1,8 dBi, % 30,2 verimlilikte olduğu görülmüştür. FR4 üzerine tasarlanan bu antenler yaklaşık 7 dBi yönlülükte olmasına rağmen, yüksek taban malzeme kaybından dolayı düşük kazanç ve düşük verimlilik elde edilebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, teflon, seramik gibi pahalı ve düşük kayıplı taban malzemeler kullanmak yerine, FR4’un yüksek taban malzeme kaybını azaltmak için, diğer bir deyişle etkin dielektrik sabitini düşürmek ve oluşan elektrik alanın taban malzeme üzerinde yoğunlaşmasını azaltmak için, çift tabaka tekniği ile ışıma yapan yüzey ve toprak tabaka hava boşluğuyla ayrılmıştır.

2. ANTEN TASARIMI (ANTENNA DESIGN)

Önerilen antenin üretiminde ve standart dikdörtgen yama anten üretiminde, aynı FR4 malzeme kullanılmıştır. Bu sayede, önerilen metodun katkısı daha iyi anlaşılacaktır. Kolay temin edilebilmesi ve düşük maliyetli olması nedeniyle bu çalışmada FR4

tercih edilmiştir [5]. Aşağıdaki tabloda anten tasarımında kullanılan FR4’a ait genel özellikler verilmiştir.

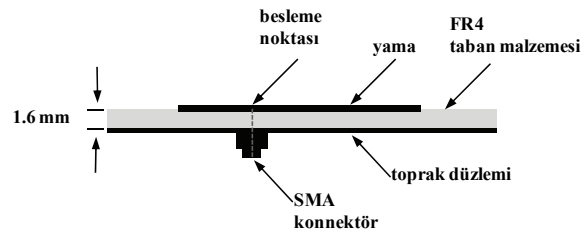
Çizelge 1: Kullanılan FR4 malzemeye ait parametreler (FR4 Substrate Parameters)

Dielektrik sabiti (ϵ_r)	4,4
Taban Malzemesi kalınlığı (h)	1,6 mm
Tanjant kaybı (q)	0,019
Bakır kalınlığı (t)	0,035 mm

Yeni tasarım antenin daha çok arama kurtarma radarları ve mikrodalga canlı tespit radar sistemleri için kullanılması düşünülmektedir. Dolayısıyla, düşük mikrodalga frekansları engellere daha iyi nüfuz edebildiği için çalışma frekansı olarak 1,26 GHz seçilmiştir [6]. Anten üretiminde 50 Ohm SMA (SubMiniature version A-Minyatür tip A konnektör) ile eş eksenli hat besleme tekniği kullanılmıştır. Bu besleme tekniğinin en önemli avantajı beslemeyi yamanın herhangi bir yerinden yapılabilmesidir [7]. Burada önemli olan anten giriş empedansının besleme hattı empedansına uyumlu olmasıdır. Ayrıca, söz konusu antenler literatürdeki birçok mikroşerit yama antenler gibi doğrusal (linear) kutuplanmıştır. Antenlerin tasarım ve benzetimi elektromanyetik simülasyon programı ile yapılmış, ardından laboratuvar ortamında kimyasal kazıma yöntemi ile üretilmiştir.

2.1. Standart Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı (Standard Rectangular Patch Antenna Design)

Standart dikdörtgen yama antenin geometrik yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Standart dikdörtgen yama antenin yandan görünüşü. (Side view of the standart rectangular patch antenna.)

Yama genişliği (W) ve uzunluğu (L) hesaplanırken sıralı olarak takip eden formüller kullanılmıştır [8]. Burada, ϵ_r kullanılan taban malzemeye ait dielektrik sabiti, c ışık hızı, f_0 rezonans frekansı, h kullanılan taban malzeme kalınlığı ve ΔL hat genişlemesidir.

$$W = c\sqrt{(\epsilon_r + 1)/2} / 2f_0 \quad (1)$$

$$L = \left[\frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_e}} \right] - 2\Delta L \quad (2)$$

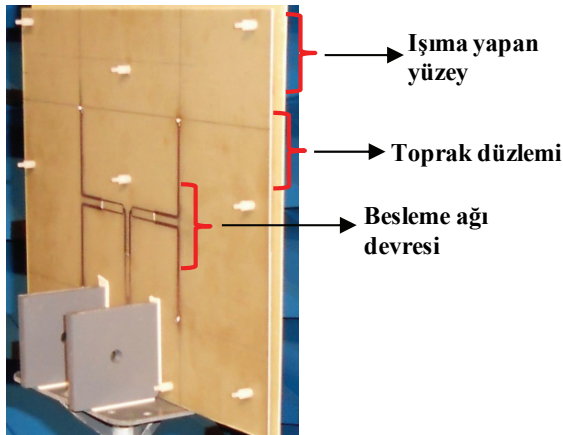
$$\epsilon_e = \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right] + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right] \sqrt{\frac{1 + 12h}{W}} \quad (3)$$

$$\Delta L = \frac{0.412h[(\epsilon_e + 0.300)(W/h + 0.264)]}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (4)$$

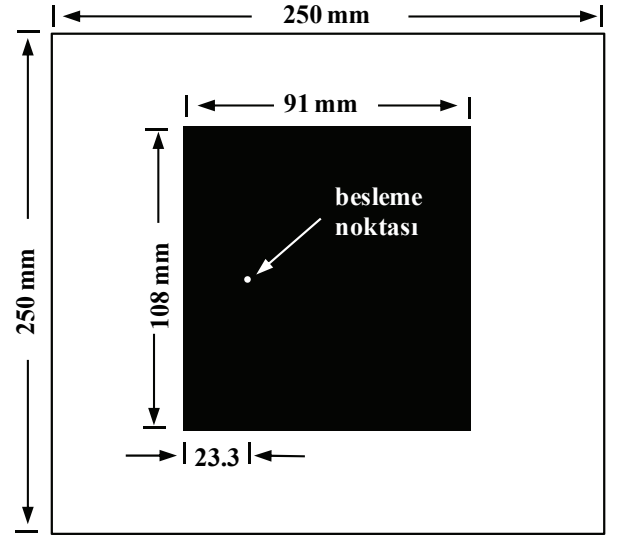
Anten besleme noktası tespit edilirken $\cos^2(\pi y_0/L)$ formülü ile anten giriş empedası 50 Ohm'a optimize edilmiştir [9]. Bu formüllerden, yama genişliği, yama uzunluğu, etkin dielektrik sabiti (ϵ_e) ve besleme mesafesi (y_0) sırasıyla 72 mm, 56 mm, 3,59 ve 15 mm olarak elde edilmiştir.

2.2. Yüksek Kazançlı Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı (High Gain Microstrip Patch Antenna Design)

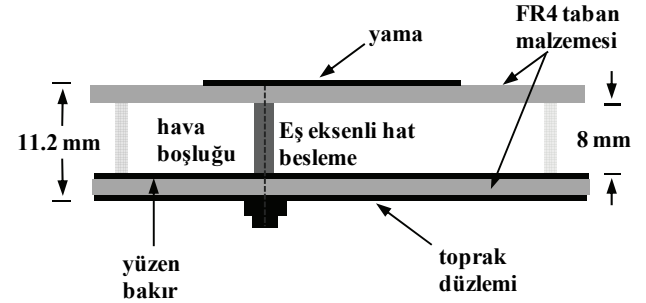
Çift tabakalı hava boşluklu dikdörtgen yama anten geometrik yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir. Üst tabaka ışına yapan dikdörtgen yamayı içerirken, alt tabaka çift tarafı bakır olan FR4 düzlemden oluşmaktadır. Şekil 3b'de gösterilen yüzen bakır yansıyıcı görevi yaparken, elektromanyetik etkileşimden dolayı anten kazancına katkı sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca, dizi anten tasarımlarında besleme ağının bu yüzeye yerleştirilmesiyle, besleme ağı devresi entegre edilmiş, daha uyumlu ve verimli bir eş eksensli hat beslemeli dizi anten gerçekleştirme imkanı sağlamaktadır. Bu metodun aksine, genellikle, besleme devresi ayrılmış eş eksensli hat beslemeli dizi anten tasarımları yapılmaktadır [21]. Şekil-2'de gösterildiği gibi, alt tabakada yer alan askıdaki bakır yüzeye besleme ağı devresi tasarlanarak bir dizi anten üretilmiştir. Dolayısıyla, öne sürdüğümüz metodun başarıyla gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir.



Şekil 2. Alt tabakanın bir yüzeyine tasarlanan mikroşerit besleme ağı devresi. (Microstrip circuit design on the one side of lower layer)



(a)



(b)

Şekil 3. Yüksek kazançlı mikroşerit yama antenin geometrik yapısı (a) üstten görünüş (b) yandan görünüş. (Geometry of the high-gain microstrip patch antenna (a) top view (b) side view.)

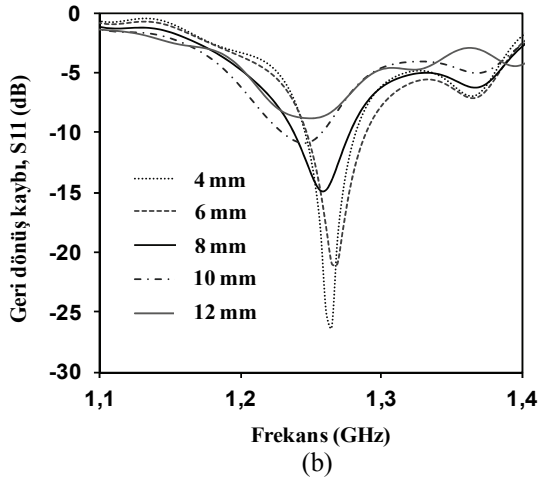
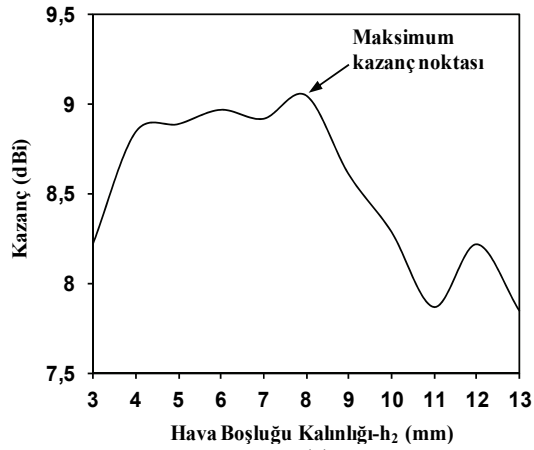
Bu tasarımda, FR4 malzemenin yüksek yalıtkan kaybını azaltmak için hava boşluğu kullanılarak etkin dielektrik sabiti (ϵ_e) 3,59'dan 1,57'ye indirgenmiştir. Bu değer aşağıda gösterildiği gibi ortalama hesaba ile elde edilmiş, ardından yama genişliği ve uzunluğu hesaplanmıştır. Burada, FR4 taban malzemeye ait dielektrik sabiti (ϵ_{r1}) 4,4, hava boşluğu dielektrik sabiti (ϵ_{r2}) 1 ve FR4 taban malzeme kalınlığı (h_1) 1,6'dır.

$$\epsilon_{ort} = \left[\frac{\epsilon_{r1}h_1 + \epsilon_{r2}h_2}{h_1 + h_2} \right] \quad (5)$$

Başlangıçta, hava boşluğu kalınlığı (h_2) 9 mm olarak ele alınmıştır. Ardından, boşluk kalınlığının kazanç ve geri dönüş kaybına etkisi simülasyon programı ile deneysel ölçümler yapılarak 8 mm'de maksimum kazanç ve verimlilik sağlanmıştır. Söz konusu optimizasyon verileri Şekil 4'de gösterilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu bölümde, önerilen antenin ve standart dikdörtgen yama antenin karakteristik özellikleri sunulmuştur. İlk olarak, anten kazancı, geri dönüş kaybı ve ışınım örüntüsü simülasyonları yapılmıştır. Ardından, üretilen antenlerin yansız oda içerisinde network analizör ve EMCO (Model:3115–Serial No.:4995) 1-10 GHz genişbant referans horn anten kullanarak ölçümleri yapılmıştır. Son olarak simülasyon ve gerçek ölçüm sonuçları karşılaştırılarak analiz edilmiştir.



Şekil 4. (a) Kazancın hava boşluğu kalınlığına göre değişimini gösteren, (b) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimini gösteren simülasyon verileri. ((a) Simulated antenna gain versus the air gap thickness graph and (b) simulated return loss versus frequency graph with respect to the air gap thickness.)

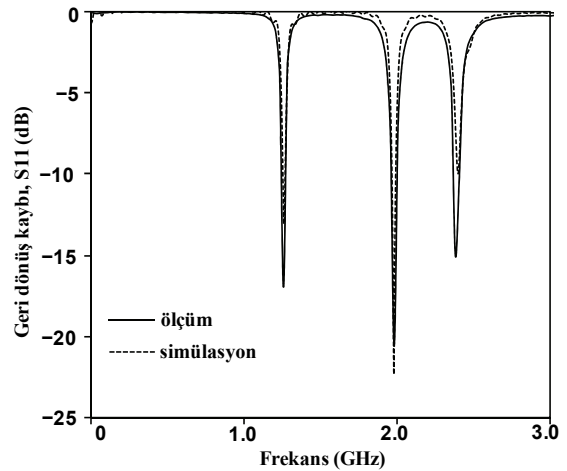
Şekil 4a'da görüldüğü gibi 5 mm ($0,02 \lambda$) ile 8 mm ($0,032 \lambda$) arasında ortalama 9 dBi kazanç elde edilirken, genellikle $0,08\lambda$ ile $0,1\lambda$ arasında seçilen standart hava boşluğuna yaklaştıkça kazancın 7 - 8 dBi civarına yaklaştığı görülmektedir [15]. Bu 7 - 8 dB'lik kazanç ortalama bir dikdörtgen yama antenden pratikte elde edilebilecek maksimum kazançtır. Ancak, seçmiş olduğumuz hava boşluğu kalınlığı,

genellikle katmanlı antenlerde elektromanyetik etkileşimle maksimum ışınım olması için seçilen hava boşluğu kalınlığıdır [22-23]. Dolayısıyla, bu alt tabakanın elektromanyetik etkileşimden dolayı, anten arka hüzmelerini ana hüzmeye yönüne yönlendirerek yaklaşık 2 dBi kazanç katkı sağladığı, yan ve arka hüzmeye seviyelerinin düşük olmasını sağladığı düşünülmektedir. Diğer bir deyişle, katmanlı antenlerin çalışma presibinin tersi olarak, uyarılan yamanın üstündeki değil altındaki yamanın anten ışınım örüntüsüne katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Yapılan hesaplamalar ve optimizasyonlar neticesinde üretilen çift tabakalı hava boşluklu dikdörtgen yama antenin yansız oda içerisindeki fotoğrafları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Üretilen yüksek kazançlı mikroşerit yama antenin fotoğrafları. (Fabricated high gain microstrip patch antenna)

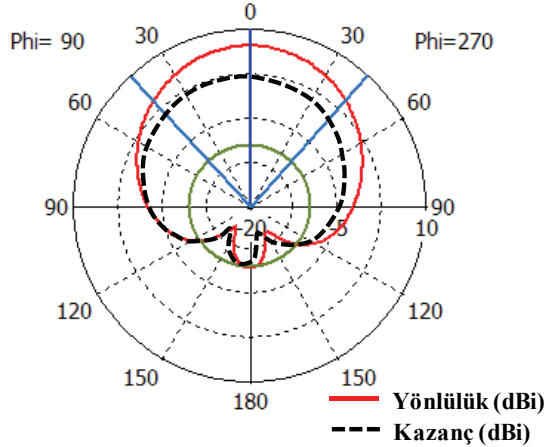
Şekil 6'da standart dikdörtgen yama antenin geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçtan, antenin 1,26 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı yaklaşık -13 dB, bantgenişliği 16 MHz ve kazancı 1,8 dB olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. Standart mikroşerit dikdörtgen yama antenin geri dönüş kaybı sonuçları. (Return loss results of the standard microstrip rectangular patch antenna.)

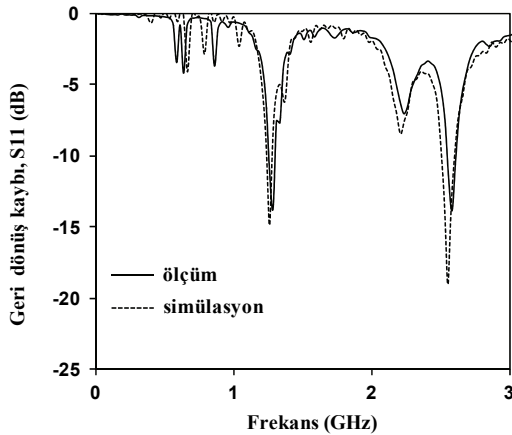
Şekil 7'de ise bu antenin ışınım modeli gösterilmektedir. Bu diyagramdan, kazanç ekseninde antenin ana hüzmelerinin 1,8 dBi genlikte ve 3 dB açısal demet genişliğinin yaklaşık 85 derece olduğu anlaşılmaktadır. Doğrusal kutuplanmış bu anten, yatay ve dikey ekseninde hemen hemen aynı açısal

genişliğe sahip olduğu için her iki ekseninde ışınım örüntüsünün çizdirilmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Ayrıca, 7 dB yönlülüğe olmasına rağmen bu projede kullanılan FR4 taban malzeme kaybından dolayı verimlilik -5,2 dB (% 30,2) olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. Standart mikroşerit dikdörtgen yama antenin ışınım diyagramı. (Radiation pattern of the standart microstrip rectangular patch antenna)

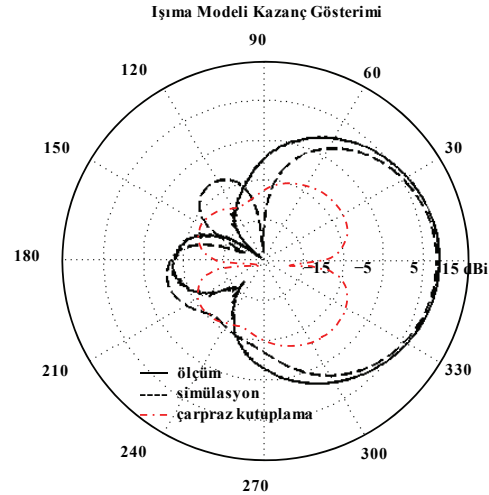
Önerilen antenin geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 8’de gösterilmiştir. Sonuçlardan, 1,26 GHz rezonans frekansında önerilen antenin -12dB geri dönüş kaybına ve 48 MHz bant genişliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Geri dönüş kaybı -10 dB’den düşük olduğu için empedans uyumunun gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 8. Önerilen antenin geri dönüş kaybının ölçüm ve simülasyon sonuçları. (Measurement and simulated return loss results of the proposed antenna.)

Şekil 9’da önerilen antenin 1,26 GHz rezonans frekansında benzetimi yapılan ve ölçülen ışınım diyagramı gösterilmiştir. Benzetim ortamında 9,05 dBi anten kazancı elde edilirken, üretilen antenin gerçek kazancı 9,58 dBi olarak elde edilmiştir. Anten ışınım diyagramı ana hüzme yönü 2 derece, 3 dB açılma demet genişliği 63,6 derece ve yan hüzme seviyesi -20 dB ölçülmüştür. Çarpaz kutuplanma kazanç seviyesinin doğrusal kutuplanma seviyesine

nispeten -10 ile -20 dB daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Doğrusal kutuplanmış bu anten, yatay ve dikey ekseninde hemen hemen aynı açılma genişliğe sahip olduğu için her iki ekseninde ışınım örüntüsünün çizdirilmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Gerçek ölçümler ile simülasyon sonuçlarının uyumlu oldukları söz konusu grafiklerden gözlemlenmektedir.



Şekil 9. Önerilen antenin ışınım modelinin ölçüm ve simülasyon verileri. (Measured and simulated radiation pattern of the proposed antenna)

Kazanç ölçümü yansımaz odada EMCO (Model:3115 – Serial No.:4995) 1-10 GHz genişbant referans horn anten kullanılarak yapılmıştır. Uzak alan etkisi göz önünde bulundurularak öncelikle referans horn anten ile alıcı anten arasındaki S_{21} parametresi ölçülmüş, ardından verici yama anten ile alıcı anten arasındaki S_{21} parametresi ölçülerek elde edilen bu iki S_{21} parametreleri arasındaki farkı referans horn anten kazancına eklemek suretiyle kazanç hesaplanmıştır. Bu hesabı yaparken aşağıdaki Friis denkleminde yararlanılmıştır. Kazanç ölçüm işlemi Şekil 10’da, elde edilen S_{21} parametreleri Şekil 11’de gösterilmiştir [10].

$$R \geq 2D^2/\lambda \quad (6)$$

Burada, R verici anten ile alıcı anten arasında olması gereken mesafe, D anten açıklığı ve λ dalga boyudur. Genel olarak bu formül, yapılan anten ölçümlerinde iyi sonuçların elde edilebilmesi için göz önünde bulundurulması gereken uzak alan etkisidir.

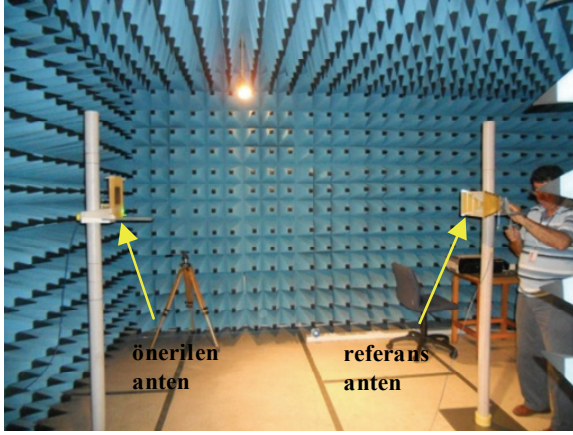
$$P_r = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r P_t \quad (7)$$

Burada, P_r alıcı antende algılanan sinyal gücü, G_t verici anten kazancı, G_r alıcı anten kazancı ve P_t verici antenden gönderilen sinyal gücüdür.

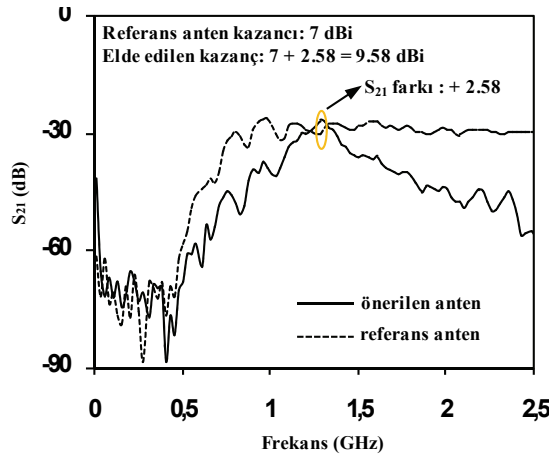
$$P_L = 10 \log(\lambda/4\pi R)^2 \quad (8)$$

$$S_{21} (dB) = P_L + G_i + G_r \quad (9)$$

Burada ise, S_{21} parametresi, P_L yol kaybı ve alıcı verici anten kazançları toplamından oluşmaktadır. Dolayısıyla, yol kaybı ve referans antenlerin kazancı bilindiği için, bu S_{21} parametresi kazancı bilinmeyen antenin referans antenden ne kadar bir kazanç farkına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Önerilen antenin yansısız oda içerisinde yapılan ölçüm işlemi. (Measurement process of proposed antenna in anechoic chamber)



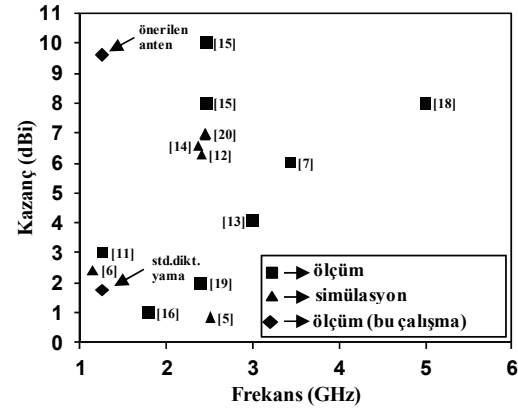
Şekil 11. Önerilen antenin ve referans antenin ölçülen S_{21} parametreleri. (S_{21} parameters of the proposed and reference antennas.)

Karşılaştırma yapabilmek için şu ana kadar üretilen antenlerin ölçüm sonuçları özet olarak Çizelge-2'de verilmiştir. Aynı zamanda, yakın zamanlarda yayınlanan tek elemanlı yama antenlerin performansları detaylı bir şekilde araştırılmış Şekil 12'de özetlenmiştir. Bu grafikten, önerilen antenin kazancı en yüksek ikinci anten olduğu görülmektedir. Temazsız çift L tipi besleme tekniği kullanılan antende üretiminin karmaşık ve zor olduğu görülmektedir [15].

Çizelge 2. Üretilen antenlerin ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of the measurement results)

Parametreler	Standart Anten	Önerilen Anten
Kazanç (dBi)	1,80	9,58
Verimlilik	-5,2 dB (%30,2)	0,24 dB (%94,6)
B/W (MHz)	16	48
Kullanılan Malzeme	FR4	FR4 / Hava
Kalınlık (mm)	1,6	1,6 / 8
Boyut (mm ²)	56x72	91x108

Yapılan bu araştırmalar neticesinde, önerilen antenin üretimi kolay, düşük maliyetli ve kazancının tek element yama anten için yüksek seviyede olduğu doğrulanmıştır.



Şekil 12. Yakın zamanlarda yayımlanan tek element mikroserit yama antenlerin, frekanskeninde karşılaştırmalı kazanç gösterimleri. Parantez içindeki rakamlar bu çalışmaların referanslarını göstermektedir. (Antenna gain versus frequency plot of the fabricated and recently reported single element patch antennas are shown. The numbers in brackets denote the references cited in this paper.)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Şu ana kadar yapılan çalışmalarda, tek elemanlı yama anten ile yüksek kazanç elde edebilmek için, yeni bir yaklaşım ile çift taban malzemeli ve hava boşluklu dikdörtgen yama anten tasarımı yapılmıştır. Bu üretim metodu ile, çalışmamızın başında hedeflemiş olduğumuz yüksek kazanç, yüksek verimliliğe ve düşük yan hüzmeye seviyesine ulaşılmıştır. Ayrıca, dikdörtgen yama tipi tercih edilerek hedeflediğimiz diğer anten karakteristikleri olan dar bant genişliği ve geniş kapsama alanı sonuçları elde edilmiştir. Önerilen anten benzetim ortamında tasarlanmış ve başarılı bir şekilde FR4 taban malzeme üzerine üretilerek performansı ölçülmüştür.

Yeni tasarım antenin ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının tutarlı olduğu gözlemlenmiş, temel dikkörtgen yama anten ile performans karşılaştırması yapıldığında, kazancın 1,8 dBi 'den 9,58 dBi'ye, verimliliğin %30,2 'dan yaklaşık % 94,6 'ya ve bantgenişliğinin ise 16 MHz'den 48 MHz'e yükseldiği tespit edilmiştir.

Hali hazırda bu anten, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Öncü'nün yürütücülüğünü yapmakta olduğu 112E170 numaralı ve "Kablosuz Yaşam Sinyallerini Monitör Eden Cihaz Araştırma Projesi" isimli TÜBİTAK 3501- Ulusal Genç Araştırmacı Kariyer Geliştirme Projesi çerçevesinde ortaya çıkarılan canlı tespit radar cihazında başarıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, bu antenin yüksek kazançlı olması ve açılabilir genişliğinin yaklaşık 64 derece olması nedeniyle, keşif gözetleme uyduları veya GPS uyduları için kullanıma uygundur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma kısmi olarak 112E170 kontrat numaralı TÜBİTAK 3501 Ulusal Genç Araştırmacı Kariyer Geliştirme Programı projesi ve 6600 kodlu Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'ne, yansız odayı kullanmamızı sağlayarak bize anten ölçüm imkanı sundukları için teşekkür ederiz. Ayrıca, Milimetrik Teknoloji (MİLTEK) Şirketi'ne tüm laboratuvar imkanlarını kullanmamızı sağladığı için teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gao, S. C., Li, L. W., Leong, M. S. ve Yeo, T. S., "Analysis of an Hshaped Patch Antenna by Using the FDTD Method," **Prog. In Electromagnetics Research**, National University of Singapore, 165–187, 2010.
2. Aslam, A. ve Bhatti, F. A., "Improved Design of Linear Microstrip Patch Antenna Array," in **Proc. 9th Int. Symp. on Antennas Propagation and EM Theory**, 302-306, 29 Kasım - 2 Eylül, 2010.
3. Chi-Lun Mak, Hang Wong, Kwai-Man Luk, "High-gain and Wide-Band Single-Layer Patch Antenna for Wireless Communications," **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Cilt 54, No 1, 33- 40, 2005.
4. Qureshi, A. A., Afzal, M. U., Taqeer, T. ve Tarar, M. A., "Performance Analysis of FR-4 Substrate for High Frequency Microstrip Antennas" **Proceedings of the China-Japan Joint Microwave Conference (CJMW)**, 1-4 Nisan 2011.
5. Ab Wahab, N., Z. Bin Maslan, Muhamad, W. N. W. ve Hamzah, N., "Microstrip Rectangular 4x1 Patch Array Antenna at 2.5GHz for WiMax Application," in **Proc. Second Int. Conf. on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks**, 164-168, 28-30 Temmuz 2010.
6. Shabu, S., James, M., "Comparison of Single Patch and Patch Antenna Array for A Microwave Life Detection System," in **Proc. Conf on Communications and Signal Processing International**, 171-174, 10-12 Şubat 2011.
7. Chaturvedi, A., Bhomia, Y. ve Yadav, D., "Truncated Tip Triangular Microstrip Patch Antenna," in **Proc. 9th International Symposium on Antennas Propagation and EM Theory (ISAPE)**, 212-214, 29 Kasım – 2 Eylül 2010.
8. Balanis, C. A., **Antenna Theory**, 3rd. Edition ed. Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc., 722-723, 2005.
9. Samaras, T., Kouloglou, A. ve Sahalos, J. N. "Note on The Impedance Variation with Feed Position of A Rectangular Microstrip-Patch Antenna," **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, Cilt 46, No 2., 2004.
10. Pozar, D. M., **Microwave and RF Wireless Systems**, 3rd Edition ed. University of Massachusetts at Amherst: John Wiley & Sons, Inc.
11. Lei Bian, Guo, Y. X., Ong, L. C. ve Shi, X. Q., "Wideband Circularly-Polarized Patch Antenna," **Microwave Conference Proceedings, Asia-Pacific Conference Proceedings APMC**, Cilt 2, 4, 4-7 Aralık 2005.
12. Khraisat, Y. S. H. ve Olaimat, M. M., "Comparison Between Rectangular And Triangular Patch Antennas Array," **19th Inter. Conf. on Telecommunications (ICT)**, 23-25, 1-5 Nisan 2012.
13. Tangthong, Nipont, Pirajnenchai, Virote, "A Dual Wideband Cpw-Fed Planar Monopole Antenna with Single Band Notched Using Meandered Line," in **Proc. 9th Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology**, 1-4, 16-18 Mayıs 2012.
14. Parmar, P. B., Makwana, B. J. ve Jajal, M. A., "Bandwidth Enhancement of Microstrip Patch Antenna Using Parasitic Patch Configuration," in **Proc. International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)**, 53-57, 11-13 Mayıs 2012.
15. Chi-Lun Mak, Hang Wong, Kwai-Man Luk, "High-Gain And Wide-Band Single-Layer Patch Antenna for Wireless Communications," **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Cilt 54, No 1, 33-40, 2005.
16. Wozniak, M., Durka, A., Bugaj, M., Przesmycki, R., Nowosielski, L. ve Wnuk, M., "Designing and Optimization of Microstrip Rectangular Patch Antenna to Work on Human Body," in

- Proc. Int. Conf. on Microwave Radar and Wireless Com.**, Cilt 2, 752-756, 21-23 Mayıs 2012.
17. Ghaderi, M. R. ve Mohajeri, F., "A Compact Hexagonal Wide-Slot Antenna With Microstrip-Fed Monopole for UWB Application," **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, Cilt 10, 682-685, 2011.
 18. Aswad, A. K., Abdulrazak, L. F. ve Rahman, T. A., "Design and Development of High-Gain Wideband Circularly Polarized Patch Antenna," **in Proc. IEEE International RF and Microwave Conf.**, 109-111, 2-4 Aralık 2008.
 19. Nimbark, V., Korolkiewicz, Q., Lu, E., ve Liu, L., "Design of A Three Port Feed Matching Network for A Dual-Band And Dual-Polarized Rectangular Patch Antenna," **in Proc. International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)**, 1-5, 22-25 Temmuz 2012.
 20. Yildirim, A., Bulent Yagci, H. ve Paker, S., "2.4 GHz High Power Microstrip Patch Antenna Design and Realization". **in Proc. Electric-Electronic and Computer Engineering Symposium (ELECO)**, Nov. 26-28, 2008.
 21. Ali, M. T., Rahman, T. A., Kamarudin, M. R., Md Tan, M. N. ve Sauleau, R., "A Planar Antenna Array with Separated Feed Line For Higher Gain and Sidelobe Reduction" **in Progress Electromagnetics Research C**, Cilt 8, 69-82, 2009.
 22. Lee, R. Q. ve Lee, K. F., "Characteristics of a Two-Layer Electromagnetically Coupled Rectangular Patch Antenna" **Electron., Lett.**, Cilt 23, No 20, 1070-1072, 1987.
 23. Kala, P., Pant, R., Pattnaik, S. S. ve Saraswat, R. C., "Analysis of an Electromagnetically Coupled Stacked Cylindrical-Rectangular Microstrip Patch Antenna" **International Journal of Microwave and Optical Technology**, Cilt 4, No 1, 2009.