

آنتن پچ مایکرواستریپی پهن باند مینیاتوری با ساختار فراکتالی برای کاربردهای (۱۸۵۰-۱۹۹۰ MHz) PCS

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات، دانشگاه صنعتی سهند
استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز
استادیار مرکز تحقیقات مخابرات ایران

عبدالعزیز کلتی
سعید نیکمهر
غلامرضا داداشزاده

چکیده

در این مقاله یک ساختار فراکتالی جدید، برای اولین بار معرفی شده است. با اعمال ساختار فراکتالی پیشنهادی بر روی آنتن پچ مربعی، میزان فشرده‌سازی بسیار خوبی در مقایسه با نتایج تحقیقات گزارش شده محققین دیگر به دست آمده است. برای جبران کاهش پهنای باند آنتن که در طی روند فشرده‌سازی ساختار حادث می‌شود، از تغذیه پروب-T استفاده شده است. به کارگیری این روش تغذیه، پهنای باند امپدانس آنتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد و آن را برای کاربردهای PCS (Personal Communication Systems) در محدوده فرکانسی GSM1900 مناسب می‌سازد. اثر پارامترهای مختلف ساختار تغذیه بر روی مکان هندسی امپدانس ورودی آنتن نیز ارایه شده است. برای بررسی اعتبار نتایج حاصل از شبیه‌سازی، آنتن پیشنهادی ساخته شده و در آزمایشگاه آنتن مرکز تحقیقات مخابرات ایران (ITRC) مورد تست و اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری به طور کامل نتایج شبیه‌سازی را تایید کردند.

کلمات کلیدی: آنتن پچ مایکرواستریپی، فراکتال، کاربردهای PCS.

A Miniaturized Wideband Fractal Patch Antenna for PCS Applications (1850-1990 MHz)

A. Kalteh Sahand University of Technology
S. Nikmehr Faculty of Electrical and Computer Engineering,
University of Tabriz
G. Dadash Zadeh Iran Telecom Research Center

Abstract

In this paper a novel fractal shape structure is introduced. Application of the proposed fractal shape to a square patch antenna represents a very good reduction size in comparison to the previously reported works. To compensate for the reduction in the antenna bandwidth, which occurs during the miniaturization process, the T-probe feeding method is used. By using this feeding method, the impedance bandwidth of the antenna is increased, which makes the antenna appropriate for PCS applications in the frequency range of GSM 1900. The effects of various parameters of the feed structure on the input impedance of the antenna are also presented in this paper. In order to validate the simulation results, the antenna was fabricated. The results of testing and measurements of the fabricated antenna in the antenna Laboratory of Iran Telecommunication Research Center (ITRC) verified the simulation results.

Key words: Microstrip patch antenna, Fractal, PCS applications.

۱- مقدمه

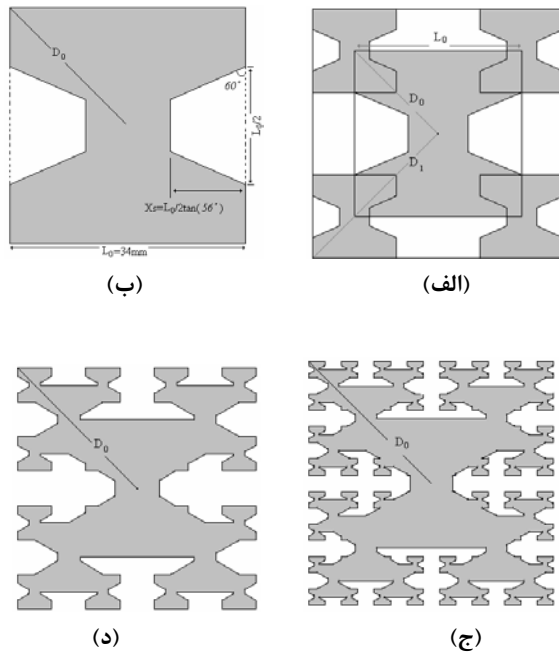
از مزایای آنتن‌های پیچ مایکرواستریپی می‌توان به سازگاری با MMICها (Microwave Monolithic Integrated Circuits)، سادگی و آسانی ساخت اشاره نمود. اما این آنتن‌ها دارای معایبی از جمله پهنای باند باریک و ابعاد بزرگ در باند فرکانسی پایین می‌باشند. در حال حاضر، نیاز به آنتن با ابعاد کوچک، به ویژه در تجهیزات مخابرات دستی افزایش یافته است. تکنیک‌های زیادی از جمله پهنای اتصال کوتاه و پچهای پیچ و خم‌دار برای مینیاتوری کردن آنتن پیچ مورد بررسی قرار گرفته و استفاده می‌شوند [۱ و ۲].

فراکتال‌ها به عنوان یکی دیگر از روش‌های دستیابی به آنتن‌های پیچ مینیاتوری ارائه شده‌اند. در حالت کلی فراکتالها اشکال غیر اقلیدسی هستند که دو خاصیت اصلی آنها خود-تشابهی و نحوه فضا پرکنی منحصر به فرد آنها نسبت به شکل‌های اقلیدسی است. در کاربردهای آنتنی، از خاصیت خود تشابهی فراکتالها برای دستیابی به آنتن‌های با عملکرد چند باند و از خاصیت فضا پرکنی منحصر به فرد آنها برای داشتن آنتن‌هایی با اندازه کوچک استفاده می‌کنند [۳ و ۴]. در آنتن‌های صفحه‌ای، فرایند فراکتال باعث می‌شود که طول مرزی یک مساحت محدود افزایش یابد. به خاطر این خاصیت، فراکتالها به عنوان یک تکنیک مهم برای مینیاتوری کردن آنتن پیچ مورد توجه قرار گرفته‌اند [۵].

در این مقاله، یک ساختار فراکتالی جدید ارائه شده است. پیش-فراکتال حاصل از تکرار سوم روال ایجاد فراکتال، با تغذیه پروب T، به عنوان آنتن پیچ مینیاتوری پهن باند معرفی شده است. طراحی آنتن شامل دو مرحله می‌باشد. ابتدا، آنتن با استفاده از یک ساختار آغازگر جدید، ایجاد می‌شود. در این مرحله، آنتن فراکتالی حاصل از تکرار سوم، بیش از ۷۱/۴٪ نسبت به پیچ مربعی، با همان مشخصات تشعشعی کوچکتر شده است. تنها ایراد این روند کوچک‌سازی، کم شدن پهنای باند آنتن است که در مرحله دوم برای جبران آن از روش تغذیه پروب T استفاده شده است [۶]. با این روش پهنای باند امپدانسی بیش از ۱۵/۰۷٪ برای آنتن فراکتالی در اندازه‌گیری به دست آمده است که آنرا برای کاربردهای PCS در محدوده فرکانسی ۱۸۵۰-۱۹۹۰MHz مناسب می‌سازد.

۲- تولید فراکتال و ساختار آنتن

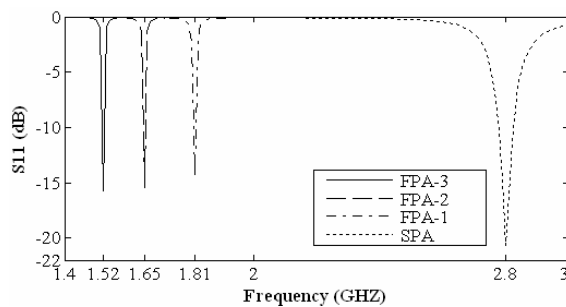
با ایجاد دو شیار دوزنقه‌ای شکل در وسط لبه‌های تشعشعی پیچ مربعی، به صورتی که در شکل (۱-الف) نشان داده شده است، ساختار آغازگر به دست می‌آید. با اعمال تبدیل هندسی و کوچک‌سازی مقیاس مطابق روال فراکتالها، آنتن پیچ فراکتالی (FPA)، ایجاد می‌شود. روال ایجاد فراکتالها به این صورت است که، ابتدا چهار کپی از آغازگر با مقیاس ۰/۲۵ ایجاد می‌شود. سپس مرکز این کپی‌ها، در گوشه‌های پیچ مربعی آغازگر قرار داده می‌شوند. به این ترتیب ساختار پیش-فراکتال (FPA-1) به دست می‌آید که در شکل (۱-ب) نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل ایجاد ساختار فراکتالی. (الف) آغازگر، (ب) تکرار اول فراکتال FPA-1، D_0 - نصف - قطر آغازگر و D_1 نصف - قطر FPA-1 است. (ج) تکرار دوم فراکتال FPA-2، (د) تکرار سوم فراکتال FPA-3

برای دستیابی به ساختار فراکتالی ایده‌آل، تکرار باید تا بی‌نهایت ادامه یابد اما برای کاربردهای آنتنی به خاطر پیچیدگی ساختار، تعداد محدودی تکرار کفایت می‌کند [۲ و ۵]. بنابراین، برای هدف در نظر گرفته شده، تکرار در مرحله سوم و با پیش-فراکتال (FPA-3) به پایان می‌رسد. برای هر FPA-n، که n تعداد

فرض شده است. افت بازگشتی ورودی (S_{11} dB) پیچها محاسبه و در شکل (۲) رسم شده است. همان گونه که از شکل مشخص است فرکانس رزونانس پیچها با افزایش تعداد فراکتالها کاهش یافته است. نتایج مربوط به کوچک شدن آنتن، به طور خلاصه در جدول (۱) آمده است. با توجه به شیفت فرکانسی در تکرار سوم مشاهده می شود که اندازه آنتن پیشنهادی نسبت به پیچ مربعی بیش از ۷۱/۴٪ کوچکتر شده است. این میزان کاهش در اندازه آنتن به بهای از دست دادن پهنای باند به دست آمده است که این پدیده در ساختارهای فراکتالی دیگر نیز مشاهده شده است [۲ و ۵]. از آنجا که پهنای باند آنتن پیچ معمولی، ذاتاً کم و در حدود ۱ تا ۲٪ می باشد، از دست دادن پهنای باند برای دستیابی به آنتن مینیاتوری مناسب به نظر نمی رسد [۲].



شکل ۲- منحنی های افت بازگشتی ورودی حاصل از شبیه سازی آنتن SPA و آنتنهای فراکتالی FPA-1، FPA-2 و FPA-3. در همه آنتن های فوق اندازه ضلع مربعی که آنتن را در بر می گیرد برابر ۳۴ mm است

برای کاربردهای PCS و دیگر کاربردهای پهن باند، فرقی نمی کند که آنتن استفاده شده SPA یا FPA-3 است. در هر صورت باید روشی برای افزایش پهنای باند آنتن انتخاب و به آن اعمال گردد. بنابراین اگر بتوان روشی برای افزایش پهنای باند FPA-3 ارائه داد می توان از این آنتن مینیاتوری به جای آنتن SPA استفاده کرد زیرا علاوه بر کوچک شدن اندازه، دارای پترن مشابه SPA است (شکل ۳).

تکرار است، نصف قطر ساختار (D_n) شکل افزایش می یابد. برای مقایسه آسان نتایج، فرض می شود سطحی که شکلها را در بر می گیرد برابر آنتن پیچ مربعی (SPA) باشد. بنابراین در تکرار n ام، مساحت با ضریب مقیاس زیر فشرده می شود.

$$S_n = \frac{D_0}{D_n} \quad (1)$$

که $D_0 = \frac{\sqrt{2}}{2} L_0$ و L_0 طول ضلع مربعی SPA است (شکل ۱-الف). همان گونه که از شکل معلوم است می توان D_n را به صورت فرمول (۲) نوشت

$$D_n = D_0 \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} \quad (2)$$

که D_n نصف قطر FPA-n است. بنابراین S_n مطابق رابطه زیر تعیین می شود.

$$S_n = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} \right)^{-1} \quad (3)$$

در مورد ساختار آنتن باید گفت که همه پیچها بر روی یک زیرلایه RT/Duroid به ضخامت ۱/۵۷۵ mm، ضریب گذردهی نسبی (ϵ_r) برابر ۲/۳۳ و تانژانت تلفات ۰/۰۰۰۵ چاپ شده است. زمین و پیچ فراکتالی از جنس ورقه مسی استاندارد با ضخامت ۱۷ μm و ضریب هدایت $5/8 \times 10^7$ S/m انتخاب شده اند. تغذیه همه پیچها توسط پروب انجام شده است. طول ضلع پیچ مربعی برابر ۳۴ mm در نظر گرفته شده است که در فرکانس ۲/۸ GHz رزونانس می کند. برای مقایسه آسان، پیچ مربعی که پیچهای فراکتالی را در بر می گیرد نیز دارای ابعاد ۳۴×۳۴ mm می باشد.

۳- نتایج و بهبود پهنای باند امپدانس

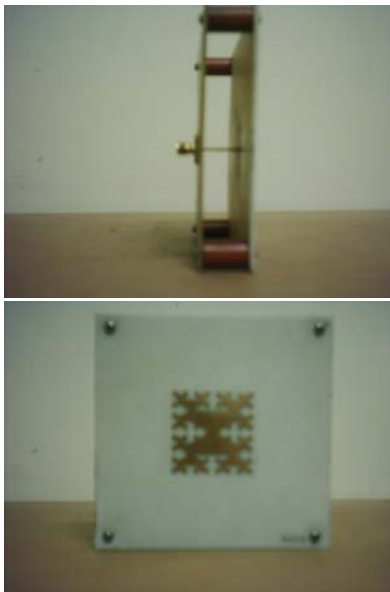
آنتن های پیچ SPA، FPA-1، FPA-2 و FPA-3 با استفاده از بسته نرم افزاری IE3D که بر پایه روش مومنت می باشد، شبیه سازی شده اند. در شبیه سازی اندازه صفحه زمین بی نهایت

صفحه زمین قرار گرفته است، با وصل کردن هادی داخلی کابل کوکسیال به این نوار، ساختار تغذیه پروب T ایجاد می‌شود. برای افزایش پهنای باند، فاصله h_2 از جنس هوا و تقریباً برابر $(\lambda/10)$ انتخاب شده است [۶، ۷ و ۸].

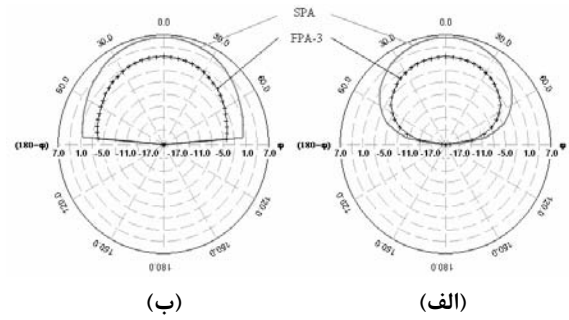
به خاطر این فاصله هوایی، ϵ_{eff} تقریباً برابر ۱ می‌شود که بر روی فرکانس رزونانس آنتن FPA-3، تاثیر گذاشته و آنرا از $1/52\text{GHz}$ به $1/84\text{GHz}$ شیفست می‌دهد. این بدان علت است که طبق رابطه (۴)، طول موج هدایت آنتن افزایش می‌یابد.

$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (4)$$

از آنجا که این پدیده برای هر دو آنتن SPA و FPA-3 رخ می‌دهد، بنابراین قابلیت کوچک‌سازی فراکتال خدشه‌دار نمی‌شود. چون آنتن پیچ مایکرواستریپی فراکتالی مذکور برای کاربردهای PCS در محدوده $1850-1990\text{MHz}$ کاربرد دارد مقدار $L_0 = 33/33\text{ mm}$ محاسبه شده است. برای بررسی اعتبار نتایج حاصل از شبیه‌سازی، آنتن پیشنهادی ساخته شد. شکل (۵) تصویر این آنتن ساخته شده را نشان می‌دهد. مراحل تست و اندازه‌گیری در آزمایشگاه آنتن و در اتاق بدون انعکاس مرکز تحقیقات مخابرات ایران (ITRC) انجام گرفت.

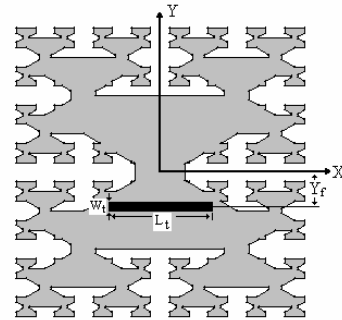


شکل ۵- تصویر آنتن ساخته شده از دو نمای مختلف

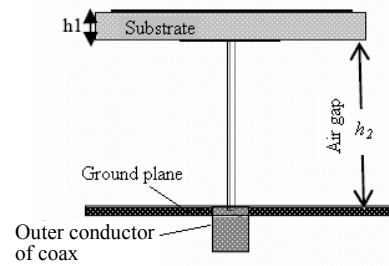


شکل ۳- پترن تشعشعی پیچ فراکتالی FPA-3 و SPA (الف) دایرکتیویته در صفحه E، (ب) گین در صفحه H

برای افزایش پهنای باند FPA-3، تغذیه پروب T پیشنهاد می‌شود. آنتن پیشنهادی با این روش تغذیه در شکل (۴) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) ساختار آنتن فراکتالی FPA-3 با تغذیه پروب- T نما از بالا، (ب) نمای آنتن از روبرو

آنتن FPA-3 فوق بر روی زیرلایه RT/Duroid با مشخصات $\tan \delta = 0/0005$ و $h_1 = 1/575\text{ mm}$ ، $\epsilon_r = 2/33$ چاپ شده است. در زیر این زیرلایه، نوار فلزی مستطیلی به فاصله h_2 از

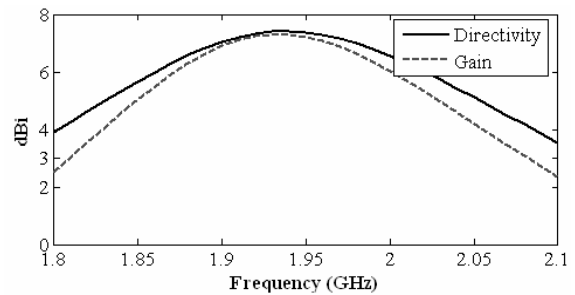
پروب T برابر ۰.۷/۱۵٪ به دست آمده است. این میزان پهنای باند، آنتن پیشنهادی را برای کاربردهای PCS قابل استفاده می‌سازد.

با تغییر محل تغذیه و ابعاد نوار T می‌توان به تطبیق امپدانسی خوب رسید. شکل شبیه‌سازی شده (۸-الف)، تغییرات مکان هندسی امپدانس ورودی آنتن در چارت اسمیت را برحسب پارامتر L_f نشان می‌دهد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که با کاهش طول نوار حلقه رزنانس به طرف پایین چارت شیفت می‌یابد و قسمت مرکزی حلقه نیز به سمت چپ حرکت می‌کند.

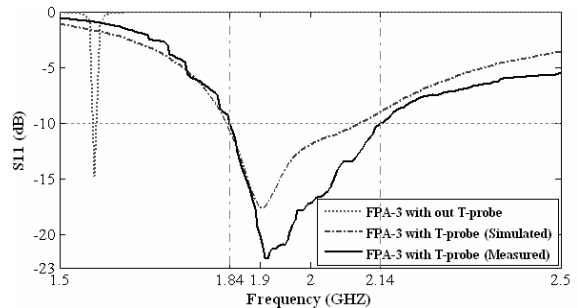
این تغییر نشان می‌دهد که با کاهش طول نوار، امپدانس ورودی آنتن افزایش می‌یابد، در واقع نوار T به صورت یک اندوکتانس سری عمل می‌کند. در شکل (۸-ب) منحنی مکان هندسی امپدانس آنتن به ازای عرضهای مختلف نوار، W_f ، نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، اثر افزایش عرض نوار تقریباً شبیه اثری است که افزایش طول نوار باعث آن می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش ابعاد آنتن چه در جهت x ها و چه در جهت y ها اثر مشابهی بر روی امپدانس ورودی آنتن دارد. شکل (۸-ج) اثر تغییر محل تغذیه روی امپدانس ورودی آنتن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که با شیفت یافتن نوار T به سمت مرکز پیچ، حلقه امپدانس کوچکتر می‌شود و به سمت چپ در نمودار اسمیت شیفت پیدا می‌کند. این رفتار امپدانس آنتن نشان می‌دهد که با شیفت دادن محل تغذیه به سمت مرکز پیچ، امپدانس ورودی آنتن کوچکتر شده و پهنای باند امپدانس آنتن نیز کاهش می‌یابد. با توجه به منحنی‌های مندرج در شکل (۸) مقدار بهینه برای پارامترهای L_f ، W_f و Y_f به ترتیب ۱.۲mm، ۱mm و ۴mm می‌باشد.

شکل (۹) پترن تشعشعی و بهره آنتن FPA-3 را در فرکانس ۱.۹GHz نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که از شبیه‌سازی آنتن پیشنهادی، بهره‌ای برابر ۶/۶dBi و پهنای پرتو نصف توان برابر با $76/4^\circ$ در صفحه‌ی E و برابر با $94/3^\circ$ در صفحه‌ی H به دست می‌آید. در اندازه‌گیری مقادیر پهنای پرتو نصف توان در صفحه‌ی E تقریباً برابر $58/5^\circ$ و در صفحه‌ی H تقریباً برابر $79/4^\circ$ به دست آمد. بیشترین بهره اندازه‌گیری شده برای آنتن پیشنهادی تقریباً برابر ۵/۹۵ dBi است.

شکل (۶) دایرکتیویته و بهره آنتن FPA-3 با تغذیه پروب T ساخته شده را بر حسب فرکانس نشان می‌دهد. منحنی‌های افت بازگشتی ورودی آنتن با تغذیه پروب T و بدون آن در شکل (۷) برای آنتن $33/33 \times 33/33$ mm نشان داده شده است. این منحنی برای S_{11} با استفاده از تحلیلگر شبکه HP872ES به دست آمده است. همان گونه که از شکل مشهود است افزایش قابل توجهی در پهنای باند به وجود آمده است.



شکل ۶- دایرکتیویته و گین آنتن FPA-3 با تغذیه پروب T بر حسب فرکانس

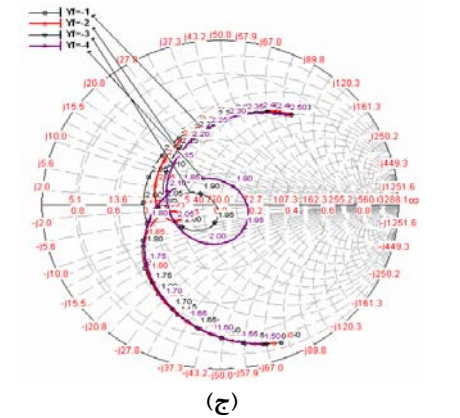
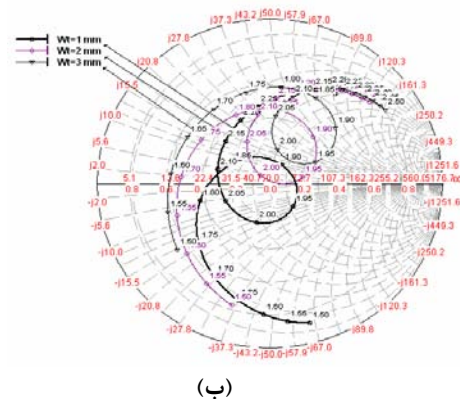
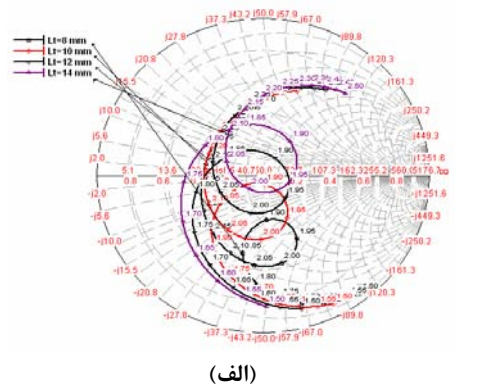
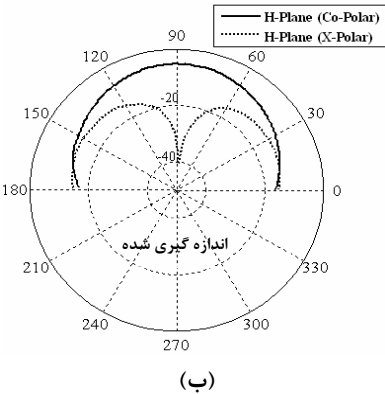
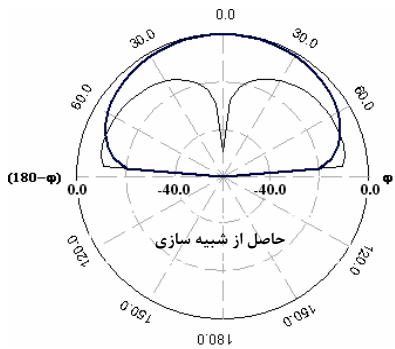
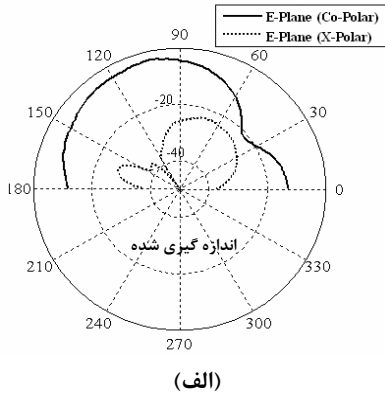
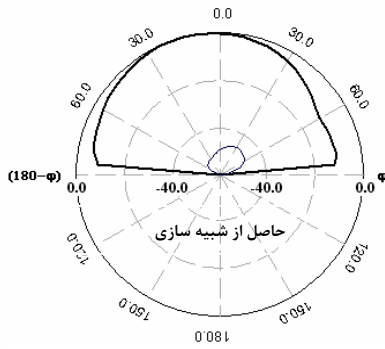


شکل ۷- منحنی‌های افت بازگشتی برای آنتن FPA-3 بر حسب فرکانس، با تغذیه پروب T و بدون آن

محاسبه درصد پهنای باند از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$BW\% = \left(2 \times \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L}\right) \times 100 \quad (5)$$

که در آن f_L و f_H به ترتیب لبه‌های بالا و پایین فرکانس‌هایی هستند که در آن‌ها S_{11} کوچکتر از -۱۰dB است. با توجه به رابطه (۵)، پهنای باند امپدانس برای FPA-3 با تغذیه



شکل ۸- مطالعه پارامتری تغییرات امپدانس ورودی آنتن. (الف) مکان هندسی امپدانس آنتن بر حسب پارامتر L_t ، (ب) مکان هندسی امپدانس آنتن بر حسب پارامتر W_t ، (ج) مکان هندسی امپدانس آنتن بر حسب پارامتر Y_f ($Y_f = 4, 3, 2, 1$ mm)

شکل ۹- پترنهای تشعشی حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری برای آنتن فراکتالی FPA-3 با تغذیه پروب-T در فرکانس ۱/۹ GHz. (الف) پترن تشعشی و گین در صفحه E، (ب) پترن تشعشی و گین در صفحه H

جدول ۱- جدول مقایسه بین پچ مربعی و پچهای فراکتالی

پهنای باند امپدانسی BW% ($SWR \leq 2$)	درصد کاهش اندازه در مقایسه با پچ مربعی	فرکانس رزونانس (GHz)	تعداد تکرار (n=۱,۲,۳)	آنتن پچ
٪۱/۶	٪۰	۲/۸	-	آنتن پچ مربعی (SPA)
٪۰/۸	٪۵۹/۳	۱/۸۱	FPA-1	آنتن پچ فراکتالی (FPA)
٪۰/۷۵	٪۶۶/۲	۱/۶۵	FPA-2	
٪۰/۵۵	٪۷۱/۴۶	۱/۵۲	FPA-3	

۴- نتیجه گیری

در این مقاله برای فشرده سازی آنتن پچ مربعی میکرواستریپی یک ساختار فراکتالی جدید ارائه شد. مشخصات فراکتال تا تکرار سوم مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه شد که اندازهی آنتن در تکرار سوم فراکتال، ۷۱/۴٪ کوچکتر شده است. برای افزایش پهنای باند امپدانسی، روش تغذیه پروب T به کار گرفته شد. با انتخاب مناسب پارامترهای ساختار تغذیه، پهنای باند ۱۵/۰۷٪ برای FPA-3 با فرکانس رزونانس ۱۹۱۵MHz به دست می آید. با توجه به میزان فشرده سازی و پهنای باند حاصل، آنتن پیشنهادی برای کاربردهای PCS در محدوده فرکانسی ۱۸۵۰-۱۹۹۰MHz کاملاً مناسب است.

به دلیل جدید بودن ساختار و نبود داده ای در ادبیات موضوع برای مقایسه نتایج حاصل، آنتن پیشنهادی ساخته شده و در آزمایشگاه آنتن مرکز تحقیقات مخابرات ایران (ITRC) مورد تست و اندازه گیری قرار گرفت. نتایج اندازه گیری به طور کامل نتایج شبیه سازی را تایید می کنند.

مراجع

- International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2003.
- [5] Carmen Borja and Jordi Romeu, "On the Behavior of Koch Island Fractal Boundary Microstrip Patch Antenna," IEEE transactions on antenna and propagation, vol. 51, no. 6, Jun. 2003.
- [6] C. L. Mak, K. F. Lee and K. M. Luk, "Broadband patch antenna with a T-shaped probe," IEE Proc-Microwave Antennas Propag., vol. 147, no 2, Apr. 2000.
- [7] Girish Kumar and K. P. Ray, Broadband Microstrip Antennas, ARTECH HOUSE, INC, 2003.
- [8] Ramesh Garg .et al., Microstrip Antenna Design Handbook, ARTECH HOUSE INC, 2001.
- [1] Kin- Lu Wong and Kai Chang, Compact and Broadband Microstrip Antennas, John Wiley & Sons, Inc 2002.
- [2] Gianvittorio, John P. and Yahya Rahmat-Samii, "Fractal Antennas: A Novel Antenna Miniaturization Technique and Applications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 44, no 1, Feb. 2002.
- [3] Douglas H. Werner and Suman Ganguly, "an Overview of Fractal Antenna Engineering Research," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 45, no 1, Feb. 2003.
- [4] G. Tsachtsiris, et al., "A Reduced Size Fractal Rectangular Patch Antenna," IEEE