

Design and Fabrication of Ultra-Wide Band Microstrip Antenna Using Three Layers Incomplete Earth Structure in Tumor Detection and Identification

Behnam Dorostkar Yaghouti¹, Gohar Varamini² Ahmad Dolatkah³

1- Department of Information and Communication technology, Amin police university, Tehran, Iran

2- Department of Electrical Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

3- Department of Information and Communication technology, Amin police university, Tehran, Iran

E-mails: behnam_dorostkar@cmps2.iust.ac.ir*, Gohar.Varamini@iau.ac.ir, ict.ahmad93@gmail.com

* corresponding author: behnam_dorostkar@cmps2.iust.ac.ir

Short Abstract

Microwave and electromagnetic radiation techniques have emerged as efficient and non-invasive approaches for tumor detection and diagnosis. In this context, microstrip antennas are considered promising candidates in medical applications due to their lightweight structure, low fabrication cost, and ease of integration with imaging systems. However, limitations such as narrow bandwidth and non-optimized radiation patterns often hinder their performance in precise biomedical scenarios. This paper presents the design and fabrication of a novel ultra-wideband (UWB) monopole antenna incorporating a modified defected ground structure (DGS). The proposed antenna is fed by a coplanar waveguide (CPW) and constructed on an FR-4 substrate with a relative permittivity of 4.3, standard thickness of 1.6 mm, and compact dimensions of 30×35 mm². The fabricated prototype exhibits a wide operating frequency range from 3 to 11 GHz with a maximum gain of 4.1 dBi. The measured results show good agreement with simulations and confirm the improved bandwidth and polarization purity. Owing to its compact size and enhanced radiation characteristics, the proposed design is highly suitable for integration into microwave imaging systems for accurate tumor detection in medical diagnostic.

Keywords: Antenna, microstrip, ultra-wide band, medical imaging, New Defective Earth Pattern

Short Introduction

The UWB systems offer high accuracy and precision due to the large time resolution of UWB signals. Also, UWB-based biomedical systems offer advantages such as low power operation, improved multipath performance, simple transceiver architecture, short-range and low-data-rate wireless data transmissions, due to high energy efficiency, good coexistence, high range resolution, low radiated power, high penetration capability, low hardware complexity, and good interference resilience. In UWB systems, it has become a challenge to design antennas able to work in such a frequency range with pulsesoduction.

Proposed Work and Methodology

The ultra-wideband antenna designed with maximum gain (4.1 dB peak gain) operates in 3-11 GHz. Simulation results are measured and discussed in detail. Various parametric studies based on numerical simulations are involved to reach the optimal design by monitoring the effects of adding slices on the performance of the proposed antennas.

Conclusion

This paper presents a design and experimental validation of an ultrawideband (UWB) antenna for medical applications working in the frequency band of 3–11 GHz. The proposed antenna with defected ground structure (DGS) is designed and printed on the FR4 substrate material with an overall size of 35mm × 30mm × 1.6mm which operates over the UWB frequency range.

References

- [1] P. Li et al., "Breast Cancer Detection Using Ultra-Wideband Antenna and Thermal Imaging," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 67, no. 3, pp. 801–809, 2020.
- [2] A. Smith et al., "Design and Analysis of Ultra-Wideband Microstrip Antenna Using Optimization Techniques for Breast Cancer Detection," in IEEE Int. Conf. Antennas Propag. (ICAP), 2021, pp. 123–128.
- [3] S. Gupta et al., "Breast Cancer Detection using Ultra-Wideband Microstrip Antenna and Artificial Neural Networks," IEEE Sens. J., vol. 22, no. 6, pp. 9680–9687, March 2022.

طراحی و ساخت آنتن میکرواستریپ فرا پهن باند با استفاده از ساختار زمین ناقص سه لایه در تشخیص و شناسایی تومور

بهنام درستکار یاقوتی

استادیار گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع علوم انتظامی امین، تهران، ایران
گوهر ورامینی

استادیار گروه مهندسی برق، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

احمد دولتخواه

استادیار گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع علوم انتظامی امین، تهران، ایران

چکیده

امواج مایکروویو و تابش‌های الکترومغناطیسی، به‌عنوان روشی نوین و غیرتهاجمی، نقش مؤثری در آشکارسازی و تشخیص تومورها ایفا می‌کنند. در این راستا، آنتن‌های میکرواستریپ به دلیل وزن سبک، هزینه ساخت پایین و قابلیت یکپارچه‌سازی با سامانه‌های تصویربرداری، گزینه‌ای مناسب در کاربردهای پزشکی به شمار می‌آیند. با این حال، محدودیت‌هایی نظیر باند فرکانسی باریک و الگوی تشعشعی غیربهمینه، عملکرد آن‌ها را در کاربردهای دقیق پزشکی تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مقاله، یک آنتن فراپهن‌باند تک‌قطبی با ساختار زمین ناقص نوین ارائه و ساخته شده است. طراحی پیشنهادی با تغذیه CPW و استفاده از زیرلایه FR-4 با گذردهی نسبی ۴.۳، ضخامت ۱.۶ میلی‌متر و ابعاد فشرده 30×35 میلی‌متر انجام شده است. آنتن ساخته‌شده در بازه فرکانسی ۳ تا ۱۱ گیگاهرتز، با بیشینه بهره ۴.۱ دسی‌بل، عملکرد مناسبی از خود نشان داده و نتایج اندازه‌گیری با شبیه‌سازی‌ها تطابق مطلوبی دارد. بهبود پهنای باند و خلوص پلاریزاسیون از مزایای کلیدی این طراحی است. مدل پیشنهادی، با توجه به کیفیت تشعشعی و فشردگی ابعادی، گزینه‌ای مؤثر در سیستم‌های تصویربرداری مایکروویو پزشکی جهت شناسایی توده‌های سرطانی محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی

آنتن، میکرواستریپ، فراپهن‌باند، تصویربرداری پزشکی، الگوی زمین ناقص جدید

نام نویسنده مسئول: دکتر بهنام درستکار یاقوتی

ایمیل نویسنده مسئول: behnam_dorostkar@cmps2.iust.ac.ir

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

تاریخ (های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

۱- مقدمه

مراحل اولیه بیماری می‌باشد [۱-۲]. انتظار می‌رود که میزان بروز این نوع بیماری از ۱۴ میلیون نفر به ۲۲ میلیون نفر در دو دهه آینده افزایش یابد [۳]. همچنین گزارش‌ها نشان می‌دهند که سالانه حدود ۲۷۰۰ مورد جدید ابتلا به سرطان پستان در مردان شناسایی می‌شود و نزدیک به ۵۰۰ نفر نیز در اثر این بیماری جان خود را از دست می‌دهند. با وجود شیوع کمتر سرطان پستان در مردان نسبت به زنان، میزان مرگ‌ومیر در میان مردان به دلیل فقدان آگاهی عمومی، شناخت ناکافی از علائم بیماری، و مراجعه دیرنگام به مراکز درمانی، قابل توجه است. این واقعیت، ضرورت ارتقاء سطح آموزش و اطلاع‌رسانی را در حوزه سلامت مردان برجسته می‌سازد. در مجموع، تشخیص زودهنگام همچنان به‌عنوان مؤثرترین راهکار در مدیریت و درمان

توده‌های نامتعارف به حضور و تکثیر سلول‌های غیرطبیعی در بدن اشاره دارند که می‌توانند به بافت‌های سالم حمله کرده و آن‌ها را آلوده سازند. سرطان پستان، به‌عنوان شایع‌ترین نوع سرطان در میان زنان جهان، سهم قابل‌توجهی از آمارهای ابتلا را به خود اختصاص داده است. بر اساس گزارش‌های اپیدمیولوژیک، تنها در سال ۲۰۱۷، بیش از ۲۵۰۰۰۰۰ مورد جدید از سرطان پستان در ایالات متحده شناسایی شد. همچنین، احتمال ابتلای زنان آمریکایی به این بیماری در طول زندگی، حدود ۱۲ درصد برآورد شده است که نشان‌دهنده ضرورت توجه ویژه به راهکارهای مؤثر تشخیص و درمان در

ذاتی آنتن‌های میکرواستریپ محدودیت‌هایی در پهنای باند ایجاد می‌کند، استفاده از تکنیک‌های نوآورانه برای دستیابی به مشخصات UWB، به‌ویژه در کاربردهای پزشکی و تصویربرداری با وضوح بالا، به‌صورت گسترده مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در راستای افزایش پهنای باند آنتن‌های میکرواستریپ و پاسخ‌گویی به نیازهای عملکردی سیستم‌های نوین مخابراتی و تصویربرداری پزشکی، انواع مختلفی از ساختارهای اصلاح‌شده در مقالات متعددی پیشنهاد شده‌اند. از جمله این ساختارها می‌توان به آنتن پیچ با شکاف U، آنتن دو بانده با شکاف مرکزی، آنتن با شکاف مربعی مورب، آنتن مخروطی، آنتن پیچ با هندسه E شکل و نیز آنتن‌هایی با دو ناحیه شکاف‌دار اشاره نمود. هر یک از این پیکربندی‌ها با هدف افزایش پهنای باند، بهینه‌سازی تطبیق امپدانس و کنترل الگوی تشعشعی طراحی شده‌اند [۹-۱۱]، علاوه بر تغییرات در هندسه پیچ، مجموعه‌ای از تکنیک‌های مکمل نیز به‌منظور ارتقاء عملکرد آنتن توسعه یافته‌اند. از جمله می‌توان به استفاده از صفحه زمین ناقص (DGS)، تغذیه از طریق شکاف در ناحیه جداکننده میان زمین و پیچ [۱۲-۱۳] طراحی شبکه‌های تطبیق پیشرفته با امپدانس بهینه برای ترازکردن مشخصات تغذیه و تشعشع اشاره کرد [۱۴-۱۵]. این رویکردها نه‌تنها منجر به افزایش قابل توجه پهنای باند می‌شوند، بلکه در بهبود بهره، کاهش تلفات بازتابی و بهبود خلوص پلاریزاسیون نیز مؤثر بوده‌اند.

در میان روش‌های مختلف پیاده‌سازی ساختار زمین ناقص (DGS)، رایج‌ترین الگو شامل دو برش دایروی متقارن است. با وجود سادگی اجرا، این نوع ساختار در کاربردهای پزشکی که نیازمند دقت بالا، کیفیت تشعشعی مطلوب و حداقل اعوجاج هستند، عملکرد رضایت‌بخشی ارائه نمی‌دهد؛ چرا که معمولاً از ضریب کیفیت محدودی برخوردار بوده و در کاهش تداخل و بهبود خلوص سیگنال چندان موفق عمل نمی‌کند.

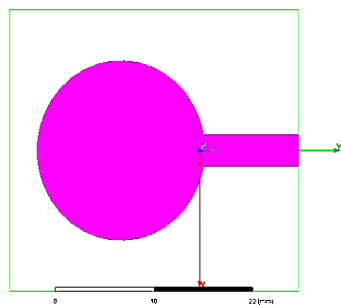
در طراحی آنتن پیشنهادی، یک ساختار نوین DGS سه‌لایه‌ای با الگوی مزدوج ارائه شده است. این ساختار شامل سه جفت عناصر مکمل در لایه زمین می‌باشد که هندسه باریک آن‌ها در لبه‌ها ضمن صرفه‌جویی فضایی در ناحیه زیرین پیچ آنتن، موجب افزایش ضریب کیفیت و بهبود پاسخ فرکانسی آنتن می‌شود. تحلیل نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری نشان می‌دهد که این ساختار، در مقایسه با صفحه‌های زمین سنتی، علاوه بر ارائه الگوی تشعشعی متقارن‌تر، موجب بهبود قابل توجه در پهنای باند و تطبیق امپدانس نیز شده است.

ساختار زمین سه‌لایه پیشنهادی با بهینه‌سازی هندسی نسبت به طراحی‌های پیشین، به کاهش تشعشعات ناخواسته، افزایش قابلیت اطمینان سیستم و ارتقاء ویژگی‌های تشعشعی کمک کرده است. این الگو به‌گونه‌ای طراحی شده که به‌خوبی با هندسه‌های تغذیه مرسوم نظیر تکه‌های مستطیلی و مثلثی سازگار بوده و در تمامی حالت‌های مورد بررسی، پهنای باند امپدانس نزدیک به ۵۰٪ ارائه نموده است. بنابراین، این طراحی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار

توده‌های غیرطبیعی و سرطانی شناخته می‌شود، چرا که می‌تواند نقش بسزایی در کاهش نرخ مرگ‌ومیر و بهبود پیش‌آگهی بیماران ایفا کند [۴]. زمانی که تشخیص در مراحل اولیه باشد، میزان بقا و نجات جان بیماران می‌تواند به ۹۷ درصد برسد. این نسبت مستلزم یافتن روشی جدید، قابل اعتماد و بسیار کارآمد در جهت تشخیص و شناسایی در مراحل اولیه است [۵]. استفاده از فناوری‌های نوین تصویربرداری پزشکی و تجهیزات تشخیصی پیشرفته، از مؤثرترین روش‌ها برای شناسایی اولیه و جلوگیری از پیشرفت بیماری‌های خطرناک نظیر سرطان محسوب می‌شود. در این میان، سامانه‌های تصویربرداری مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی، به‌ویژه در باند مایکروویو، جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند. یکی از اجزای کلیدی و تأثیرگذار در عملکرد این سامانه‌ها، آنتن‌های به‌کاررفته در ساختار آن‌هاست که نقش اساسی در کیفیت، دقت و وضوح تصویربرداری ایفا می‌کنند. به همین دلیل، طراحی و پیاده‌سازی آنتن‌هایی با ویژگی‌های مطلوب نظیر پهنای باند گسترده، بهره بالا، ابعاد فشرده و الگوی تشعشعی مناسب، به‌عنوان یکی از اهداف اصلی در پروژه‌های صنعتی و کاربردهای دقیق پزشکی مورد توجه ویژه قرار گرفته است [۶]. آنتن‌های میکرواستریپ به دلیل ویژگی‌هایی نظیر ابعاد کوچک، وزن سبک، ساختار کم‌حجم، هزینه تولید پایین و سهولت در طراحی و مونتاژ، به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ویژگی‌ها موجب شده‌اند تا این نوع آنتن‌ها در کاربردهای پزشکی نیز، به‌ویژه در فرآیندهای تشخیص و شناسایی غیرتهاجمی، اهمیت و کاربرد فزاینده‌ای پیدا کنند. با این حال، ساختارهای کلاسیک آنتن‌های میکرواستریپ عموماً از پهنای باند محدودی برخوردارند که معمولاً تنها چند درصد از فرکانس مرکزی را شامل می‌شود. در شرایطی که سیستم‌های ارتباطی و حسگری نوین نیازمند نرخ انتقال داده بالاتر و پاسخ طیفی وسیع‌تری هستند، توسعه طراحی‌های پهن‌بند ضرورتی انکارناپذیر است. در سال‌های اخیر، راهکارهای متعددی جهت افزایش پهنای باند آنتن‌های میکرواستریپ پیشنهاد شده‌اند. اگرچه برخی از این طرح‌ها به پهنای باند مناسبی دست یافته‌اند، اما اغلب از الگوهای تشعشعی دوطرفه رنج می‌برند که منجر به کاهش بهره تشعشعی می‌شود. برای غلبه بر این چالش، تکنیک‌های گوناگون پهن‌بندسازی نظیر استفاده از ساختار زمین ناقص، شکاف‌های هندسی، بارگذاری‌های متقارن، و تغییر در هندسه پیچ در طراحی این آنتن‌ها به‌کار گرفته شده است [۷-۸].

از سوی دیگر، آنتن‌های فراپهن‌بند (UWB) با استفاده از پالس‌های باریک در بازه‌های زمانی نانو ثانیه یا کمتر، امکان برقراری ارتباط و حسگری با رزولوشن بالا را فراهم می‌سازند. در این میان، آنتن‌های پیچ میکرواستریپ به دلیل سازگاری بالا با فناوری‌های مجتمع، سهولت پیاده‌سازی، و ساختار فشرده، به‌عنوان گزینه‌ای رایج برای طراحی آنتن‌های UWB شناخته شده‌اند. در ادبیات موضوع، طیف وسیعی از آنتن‌های پیچ UWB مورد بررسی قرار گرفته‌اند که هدف آن‌ها پاسخگویی به نیازهای مختلف عملکردی از جمله افزایش پهنای باند و بهبود مشخصات تشعشعی بوده است. از آن‌جا که ساختار

با توجه به مزایای منحصربه‌فرد سیستم‌های ارتباطی فراپهن‌بند (UWB) از جمله نرخ داده بالا، دقت مکانی بالا و توان مصرفی پایین، طراحی و مدلسازی آنتن‌های سازگار با الزامات این فناوری به یکی از حوزه‌های فعال در تحقیقات تبدیل شده است. آنتن‌های مورد استفاده در این سامانه‌ها باید قادر به تأمین پهنای باند وسیع، الگوی تشعشعی پایدار، و تطبیق امپدانس مناسب در سراسر طیف کاری UWB باشند. از این رو، رفتار فرکانسی و زمانی آنتن‌ها و تأثیر آن‌ها بر عملکرد کلی سیستم باید به‌دقت شناخته و مهندسی شود. آنتن‌های مورد استفاده در سامانه‌های UWB انواع متعددی دارند، از جمله: آنتن‌های میکرواستریپ مسطح، تک‌قطبی‌های چاپی، دوقطبی‌های جمع‌وجور، آنتن‌های شکاف مخروطی، ماتریال، و تشدیدکننده‌های دی‌الکتریک. این آنتن‌ها را می‌توان بر اساس مشخصاتی همچون بازه فرکانسی، هندسه فیزیکی، جهت‌گیری تشعشعی، و جنس مواد دسته‌بندی کرد. به طور کلی، آنتن‌های UWB در قالب طراحی‌های دو یا سه‌بعدی، جهت‌دار یا همه‌جهته توسعه یافته‌اند. در این میان، آنتن‌های وصله‌ای با تغذیه CPW به دلیل ویژگی‌هایی همچون ساختار فشرده، تطبیق‌پذیری با فناوری‌های ساخت PCB، و پتانسیل عملکرد مناسب در UWB، به عنوان گزینه‌ای جذاب مطرح شده‌اند. در مطالعات پیشین، طراحی آنتن پچ دایره‌ای با تغذیه CPW و صفحه زمین کامل، اگرچه عملکرد قابل قبولی از نظر تلفات بازگشتی ارائه می‌دهد، اما به دلیل محدودیت در پهنای باند، پاسخگوی الزامات کاربردهای دقیق UWB به‌ویژه در حوزه‌های پزشکی نیست. از این رو، بهینه‌سازی و اصلاح این نوع ساختار برای افزایش پهنای باند و پایداری الگوی تشعشعی، یک ضرورت محسوب می‌شود که در ادامه این مقاله به‌صورت هدفمند دنبال شده است.



شکل ۱- طرح اول آنتن فرا پهن باند

در فرآیند طراحی آنتن پیشنهادی، ابتدا چندین ساختار اولیه مبتنی بر هندسه‌های رایج مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفتند. این طراحی‌های اولیه، با وجود سادگی ساخت و مزایای نظری، نتوانستند نیازهای عملکردی مورد نظر به‌ویژه از نظر پهنای باند و تطبیق امپدانس را برآورده سازند. نمونه‌هایی از این طراحی‌های اولیه در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند. با بررسی نتایج، مشخص شد که محدودیت‌های ذاتی هندسه‌های اولیه، از جمله عدم تقارن در ساختار زمین و یا الگوی تشعشعی نامناسب، موجب کاهش عملکرد

نوآورانه و مؤثر در توسعه آنتن‌های فراپهن‌بند برای کاربردهای دقیق پزشکی مورد استفاده قرار گیرد.

ساختار مقاله بدین شرح است که در بخش دوم، روند طراحی آنتن میکرواستریپ شامل انتخاب ساختار پایه، مشخصات زیرلایه، روش تغذیه و بهینه‌سازی پارامترهای فیزیکی ارائه می‌شود. در بخش سوم، ساختار زمین ناقص پیشنهادی به‌عنوان رویکردی نوآورانه جهت بهبود پهنای باند و ضریب کیفیت معرفی و تحلیل می‌گردد. در بخش چهارم، نتایج حاصل از ساخت نمونه عملی آنتن و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت، در بخش پایانی مقاله، جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده و پیشنهاداتی برای ادامه تحقیقات آینده ارائه شده است.

۲- روند طراحی

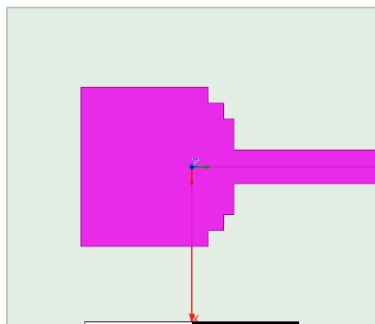
در این پژوهش، یک آنتن میکرواستریپ فراپهن‌بند با ویژگی‌هایی نظیر هزینه ساخت پایین، ابعاد فشرده، و قابلیت انعطاف‌پذیری طراحی و پیاده‌سازی شده است. ساختار پیشنهادی از یک پچ مربعی در لایه بالایی تشکیل شده که از طریق خط انتقال با ساختار CPW تغذیه می‌گردد، و در لایه زیرین نیز از یک الگوی زمین ناقص بهره می‌برد. آنتن طراحی‌شده در مقایسه با نمونه‌های متداول گزارش‌شده در مقالات پیشین، از ابعاد نسبتاً کوچکی برخوردار است (35×30 میلی‌متر مربع) که آن را برای کاربردهای محدود فضایی و قابل حمل بسیار مناسب می‌سازد. ساخت این آنتن با استفاده از فرآیندهای استاندارد تولید برد مدار چاپی انجام شده و از ماده‌ای انعطاف‌پذیر پلی‌آمید به عنوان زیرلایه استفاده گردیده است. این انتخاب نه تنها سازگاری مکانیکی آنتن را افزایش می‌دهد، بلکه امکان به‌کارگیری آن در سیستم‌های پوشیدنی یا انعطاف‌پذیر پزشکی را نیز فراهم می‌سازد. شکل ۱ ساختار هندسه آنتن فراپهن باند پیشنهادی را نمایش و ارائه می‌دهد. آنتن مورد نظر دارای یک خط تغذیه 50Ω CPW در سمت بالا و یک کانکتور SMA به منظور کاهش تشعشعات و تلفات الکترومغناطیس در انتهای خط تغذیه تشکیل شده است. مدل نهایی بر روی یک بستر FR-4، ضریب نفوذپذیری نسبی 4.3 و تانژانت تلفات 0.025 و ابعاد پیشنهادی مینیاتوری $35 \times 30 \times 1.6$ میلی‌متر مکعب بهینه شده و با استفاده از نرم افزار HFSS طراحی و مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. پارامترهای اولیه طراحی نهایی آنتن پیشنهادی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اندازه‌های طراحی آنتن

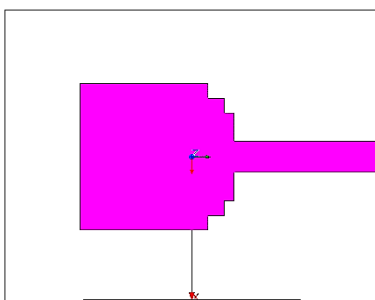
L	35mm	WP	4mm
W	30mm	wf	1.5mm
Lg	12mm	h	1.6mm
Lf	15mm	LP	2.9mm
L1	12mm		
L2	15mm		

معادل سازی مدارهای توزیعی با عناصر LC و مدل سازی های حوزه فرکانس و زمان انجام می پذیرد.

کاربردهای ساختار صفحه زمین ناقص در سال های اخیر در حوزه هایی مانند طراحی فیلترهای فرکانسی، خطوط انتقال موج مسطح، تقویت کننده ها و به ویژه در آنتن ها، گسترش قابل توجهی یافته است. استفاده از ساختار صفحه زمین ناقص در طراحی آنتن، موجب افزایش پهنای باند، بهبود بازتاب امپدانس، و کنترل بهتر الگوی تشعشعی می شود. در ادامه این پژوهش، یکی از طراحی های میانی با بهره گیری از یک الگوی ساختار صفحه زمین ناقص ساده شبیه سازی شده و در شکل ۳ نمایش داده شده است. این ساختار نسبت به نمونه های پیشین (اشکال ۱ و ۲) از پهنای باند بهتری برخوردار بوده، اما هنوز نتوانسته است الزامات عملکردی مورد انتظار به ویژه برای کاربردهای فراپهن باند در حوزه پزشکی را به طور کامل تأمین کند. این مسئله ضرورت طراحی ساختار پیشرفته تری از ساختار صفحه زمین ناقص را برجسته می سازد که در بخش بعدی مقاله ارائه خواهد شد.



شکل ۳ - طرح نهایی پیشنهادی

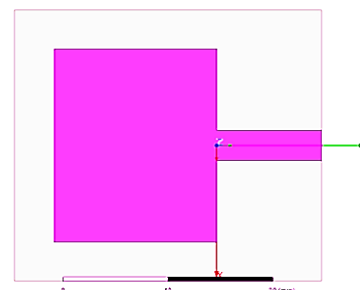


شکل ۴ - طرح نهایی آنتن پیشنهادی

اشکال ۱ و ۲ و ۳ و ۴ مراحل طراحی مختلف آنتن طراحی شده و S11 ارائه شده در شکل ۵ را نشان می دهد. در مرحله اول، طراحی اصلی شامل پچ دایروی ساده است که توسط یک خط تغذیه تحریک می شود، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است. در مرحله دوم، با تغییر پچ آنتن مستطیلی با همان خط تغذیه که در شکل ۳ نمایش داده شده است، که به تغییر و

آنتن می گردند. بر این اساس، با بهره گیری از مزایای ساختاری پچ مستطیلی و تغذیه هم صفحه، طرح جدیدی بر پایه خط تغذیه CPW توسعه داده شد (شکل ۲). در این طراحی، یک وصله مستطیلی در لایه بالا و ساختار زمین ناقص در لایه پایین قرار دارد و تغذیه از نوع جفت شدگی هم صفحه ای (CPW-fed) انتخاب شده است. با وجود بهبود در الگوی تشعشع و افزایش نسبی پهنای باند نسبت به طرح های اولیه، همچنان مقدار پهنای باند حاصل با نیازهای UWB پزشکی فاصله داشت و ضرورت اصلاحات بیشتر احساس شد.

خط تغذیه CPW یکی از خطوط انتقال پر کاربرد در طراحی سیستم های RF و میکروویو است که مزایایی نظیر ساختار کاملاً مسطح، سهولت پیاده سازی روی بسترهای PCB، عدم نیاز به اتصال بین لایه ای (via)، و تطبیق آسان با دیگر اجزای مجتمع دارد. ساختار این خط شامل یک نوار مرکزی حامل جریان در بالای زیر لایه است که در دو طرف آن، با فاصله مشخص، دو صفحه زمین قرار می گیرند. این ساختار امکان ایجاد میدان الکترومغناطیسی در صفحه را فراهم کرده و در کاهش تشعشعات ناخواسته و تلفات دی الکتریک مؤثر است.



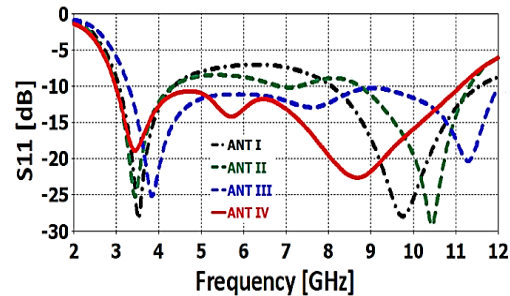
شکل ۲ - طرح دوم آنتن پیشنهادی

با توجه به مزایا و قابلیت های ساختاری صفحه زمین ناقص، استفاده از شکاف ها یا نواحی حذف شده هدفمند در لایه زمین مدارهای میکروویو به عنوان یکی از روش های مؤثر در بهینه سازی عملکرد سیستم های RF شناخته می شود. این ساختارها، که با حذف یا تغییر موضعی بخش هایی از صفحه زمین طراحی می شوند، با ایجاد تغییر در مسیر جریان های بازگشتی و میدان های الکترومغناطیسی، می توانند بهبودهایی در پارامترهایی نظیر پهنای باند، بهره تشعشعی، و کاهش قطبش متقاطع فراهم سازند. ساختارهای DGS از نظر اصول عملکردی با فناوری های قبلی نظیر ساختارهای شکاف باند فوتونی (PBG) و باند ممنوعه الکترومغناطیسی (EBG) متفاوت اند. در حالی که PBG و EBG عموماً برای مهار یا هدایت امواج در باندهای خاصی از فرکانس طراحی می شوند و نیازمند ساختارهای تناوبی سه بعدی هستند، ساختاری صفحه زمین ناقص رویکردی مسطح و فشرده تر را با هدف اصلاح امپدانس، کنترل انتشار موج و فیلتر کردن فرکانسی دنبال می کند. تحلیل نظری ساختاری صفحه زمین ناقص بر مبنای مفاهیم

۳- الگوی ساختار زمین ناقص پیشنهادی

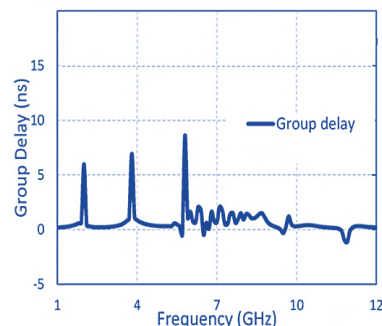
ساختار زمین ناقص باید بصورت کاملاً ذاتی شامل تلفات ذاتی کم، تضعیف گسترده و عمقی در نزدیک فرکانس رزونانس باشد. متداول‌ترین نوع صفحه زمین بصورت دایروی یا مستطیل توسط یک اسلات یا همان برش VIA است. اما این روش‌های ضریب کیفیت پایینی دارند و به فرکانس‌های کاری پایین‌تر تأثیر سو گذاشته و به همین دلیل نیاز به اصلاح زمین ناقص است. ابعاد زمین ناقص وابسته به فرکانس کاری سیستم و پهنای باند مورد نظر می‌باشد و با انتخاب مناسب و دقیق این ابعاد افزایش ضریب کیفیت و بهبود رزونانس را شامل می‌شود. ضریب دی الکتریک که در طراحی آنتن‌های میکرواستریپ بیشتر بصورت ضریب نسبی مطرح و مورد بررسی قرار می‌گیرند بر روی پچ تأثیر داشته‌اند. ثابت دی الکتریک بر سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در بستر، امپدانس مشخصه خطوط انتقال و فرکانس تشدید آنتن تأثیر می‌گذارد. ثابت دی الکتریک بر گذردهی مؤثر زیرلایه تأثیر و در نهایت بر عملکرد آنتن تأثیر می‌گذارد. ثابت دی الکتریک مواد زمین تعیین می‌کند که چه میزان میدان الکتریکی تحت تأثیر حضور ماده است و بر سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در بستر، امپدانس مشخصه خطوط انتقال و فرکانس تشدید آنتن تأثیر می‌گذارد. هنگام طراحی یک آنتن با زمین منحرف شده، ابعاد و شکل زمین منحرف شده باید بر اساس فرکانس کاری مورد نظر، الزامات تطبیق امپدانس و الگوی تابش مورد نظر تنظیم شود. در نظر گرفتن صحیح ثابت دی الکتریک تضمین می‌کند که آنتن به طور مؤثر کار می‌کند و به ویژگی‌های عملکرد مطلوب دست می‌یابد. استفاده از این روش در تحقیقات مختلفی بررسی شده اند که مراجع [۱۶-۱۷] به صورت کامل روش مطرح شده را بسط داده‌اند. در این بخش به بررسی و تحلیل زمین ناقص پیشنهادی پرداخته شده است. با توجه به اینکه شناسایی توده‌های سرطانی و انواع تومور از حساسیت و دقت بالایی می‌بایست بهره گرفته شود. متداول‌ترین نوع زمین‌های ناقص استفاده از دو برش دایروی و یا مربعی توسط یک اسلات در زیر لایه می‌باشد. در شناسایی و کاربردهای پزشکی با حساسیت بالا بدلیل جابجایی فرکانس و پهنای باند در نزدیکی فرکانس قطع و ایجاد تغییرات در تقارن الگوی تشعشعی مدل‌های سنتی از صفحه زمین چندان کارآمد و قابل اطمینان نمی‌باشند. در مدل پیشنهادی به منظور ایجاد یک ساختار با توانایی آشکارسازی و ضریب اطمینان بالا یک مدل جدید در طراحی صفحه زمین آنتن ارائه شده است. برای این منظور از سه جفت زمین ناقص به همراه یک خط ریز نواری با امپدانس پله ای طراحی و مدلسازی شده است. ساختار زمین ارائه شده دارای تلفات بازگشتی بسیار کمی در نزدیکی فرکانس تشدید می‌باشد. همین ویژگی باعث اصلاح الگوی تشعشعی و توسعه پهنای باند می‌گردد. در ادامه مدل T-Head به عنوان الگوی زمین ناقص پیشنهادی با مدل‌های سنتی مورد

بهبود S11 کمک می‌کند، اما آنتن فقط در ۳.۵ گیگاهرتز و ۱۰.۵ گیگاهرتز کار می‌کند. مجدداً در مرحله سوم، یک پچ تغییر یافته با صفحه زمین کامل معرفی شده است که بخشی از باند UWB را زیر ۱۰- دسی بل نگهداری می‌کند، آنتن از ۳.۳ تا ۹ گیگاهرتز و ۹.۳ تا ۱۲ گیگاهرتز کار می‌کند که می‌توان در (شکل ۴) مشاهده کرد و این یک باند فرکانسی مورد نیاز نیست. برای دستیابی به کل طیف فرکانسی از ۳ تا ۱۱ گیگاهرتز، یک صفحه زمین ناقص بصورت ساختار زمین ناقص چند لایه مزدوج به پچ آنتن در مرحله قبلی اضافه شده است، همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- S11 (dB) - مراحل مختلف طراحی آنتن UWB ارائه شده

میزان اعوجاج در آنتن فراپهن باند می‌تواند با استفاده از تأخیر گروه مشخص شود. یک تأخیر گروه پایدار با کمترین عدم یکنواختی همیشه در کل دامنه فرکانسی فراپهن باند در یک سیستم UWB مطلوب است. برای ایجاد شرایط، دو آنتن مشابه به صورت روبه رو در فاصله مناسب قرار می‌گیرند. تأخیر گروه آنتن فراپهن باند پیشنهادی را نشان می‌دهد. تأخیر گروه آنتن پیشنهادی تا حدودی یکنواخت است. به منظور کارآمدی، آنتن فراپهن باند در حالت ایده آل باید دارای یک تأخیر گروهی ثابت باشد. اما به دلیل وجود تلفات مختلف در مواد مورد استفاده برای طراحی آنتن، کمی انحراف قابل قبول است. عملکرد تأخیر و انتقال گروه مسطح این آنتن را برای بسیاری از کاربردهای مفید مناسب می‌کند. تجزیه و تحلیل دامنه زمانی یکی دیگر از عوامل مهم در طراحی آنتن فراپهن باند است، زیرا برای درک انتشار از طریق آنتن مفید است.



شکل ۶- تأخیر گروه در کل باند عملکرد آنتن

جدول ۲- مقایسه بین ساختار زمین ناقص

فرکانس های قطع GHz	شکل	فرکانس های قطع GHz	شکل
۱۳٫۹۶ ۱۵٫۲	Rectangular -head	۱۲٫۲۵ ۱۴٫۰۲	H-head
۱۰٫۲۵	T-head این مقاله	۱٫۲ ۲٫۱	

جدول ۳- مقادیر پارامتر های ساختار

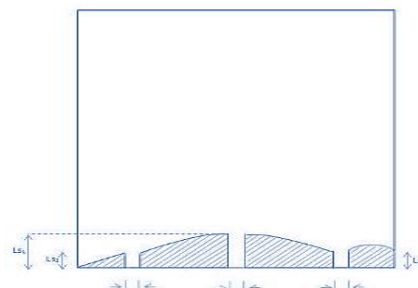
L1	۲٫۴	X1	۰٫۹
L2	۱٫۶	X2	۰٫۹
L3	۲٫۴	X3	۱
K1	۱	P1	۱٫۳
K2	۰٫۷	P2	۲٫۸
K3	۱٫۳	P3	۴٫۳
y1	۰٫۲	y3	۰٫۸
y2	۰٫۲	y4	۰٫۱

۴- ساخت آنتن و تحلیل نتایج

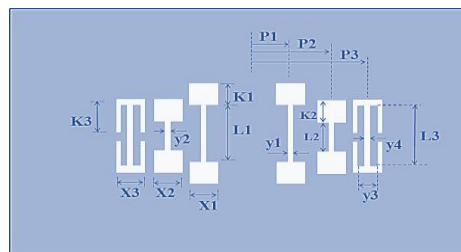
فرآیند طراحی آنتن پیشنهادی طی چند مرحله بهینه‌سازی پیوسته انجام گرفته و در هر مرحله، به‌منظور رفع محدودیت‌های عملکردی، اصلاحات ساختاری اعمال شده است. در نخستین گام، یک آنتن با پیچ دایروی ساده (ANT I) طراحی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که این ساختار تنها در بازه فرکانسی ۳٫۵ تا ۹٫۸ گیگاهرتز عملکرد مناسبی دارد و قادر به پوشش کامل پهنای باند مورد نظر در کاربردهای فرایهن باند نمی‌باشد. در مرحله دوم (ANT II)، با اعمال تغییراتی در هندسه پیچ و ساختار زمین، گسترش محدودی در پهنای باند حاصل شد. با این حال، ساختار به‌دست‌آمده همچنان نتوانست بازه کامل فرکانسی ۳ تا ۱۱ گیگاهرتز را در بر گیرد و دستیابی به مشخصات فرایهن باند محقق نشد. در مرحله سوم (ANT III)، با بهره‌گیری از اصلاحات هدفمند در هندسه پیچ، الگوی زمین ناقص و بهینه‌سازی پارامترهای کلیدی، ساختاری حاصل شد که قادر به پوشش کامل باند فرایهن باند از ۳ تا ۱۱ گیگاهرتز گردید. طراحی نهایی پس از چندین مرحله شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پارامتری تثبیت شد.

اولین تحلیل پارامتری بر روی طول صفحه زمین (Lg) انجام شد. برای این منظور، مقادیر مختلفی از طول زمین بین ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۸ نمایش داده شده است، افزایش طول صفحه زمین منجر به بهبود تطبیق امپدانس در بازه فرکانسی هدف گردید و در نتیجه، پهنای باند آنتن به‌طور محسوسی گسترش یافت. این اصلاح،

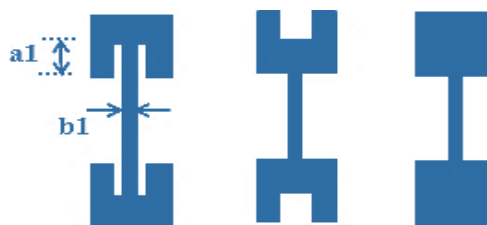
مقایسه قرار گرفته است. جدول ۲ مقایسه‌ای میان ساختارهای مختلف زمین ناقص مورد بررسی در این پژوهش را ارائه می‌دهد. در این جدول، عملکرد ساختار پیشنهادی با نمونه‌های متداول از نظر ابعاد، پهنای باند، تقارن شعشی و ضریب کیفیت تحلیل شده و به‌وضوح برتری نسبی طراحی سه‌لایه جدید نسبت به گزینه‌های سنتی مانند DGS دایروی مشخص شده است. جدول ۳ شامل مقادیر دقیق پارامترهای طراحی هندسی آنتن پیشنهادی است. این جدول مشخصاتی نظیر طول و عرض پیچ، ابعاد زمین، عرض خط تغذیه، موقعیت شکاف‌ها و سایر متغیرهای بهینه‌شده در فرآیند طراحی را فهرست می‌کند که مبنای شبیه‌سازی و ساخت نمونه نهایی بوده‌اند.



(الف)

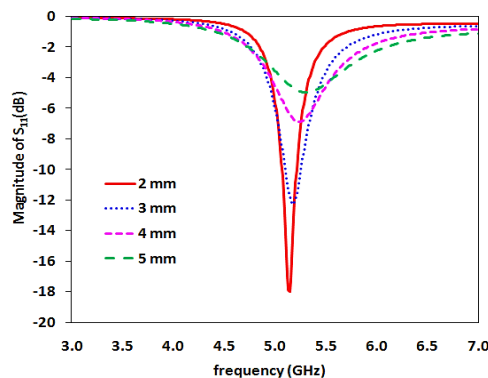


(ب)

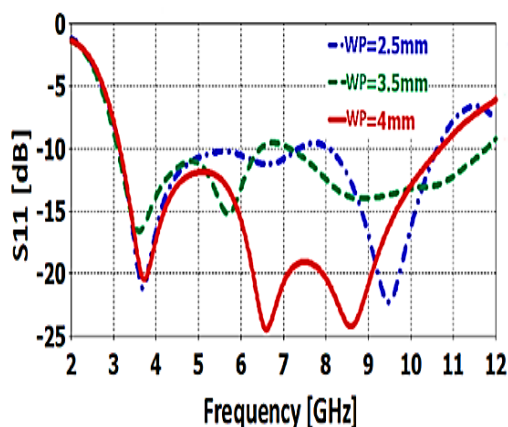


شکل ۷- الف) الگو های زمین ناقص ب) زمین ناقص مزدوج ج) مدل ارائه شده

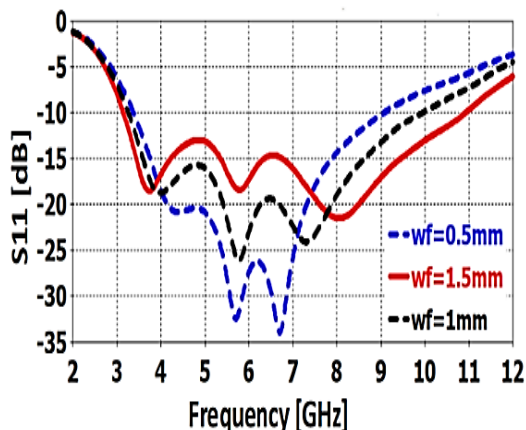
شکل بعد نشانگر مطالعه پارامتری بر روی S_{11} برای مقادیر مختلف طول شکاف و نوار و وابستگی غیر خطی به طول است که از توزیع جریان غیرخطی ناشی می‌شود با این حال با کاهش طول نوار، فرکانس‌های تشدید کاهش می‌یابند.



شکل ۹- مقدار S_{11} آنتن پیشنهادی برای مکان‌های مختلف تغذیه

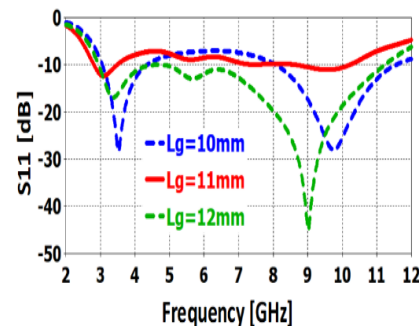


شکل ۱۰- تغییرات S_{11} برای تغییر خط تغذیه



شکل ۱۱- تغییرات S_{11} برای تغییر برش پچ آنتن

پایه‌ای برای تثبیت ساختار نهایی و دستیابی به عملکرد مطلوب آنتن در باند UWB بود.



شکل ۸- تغییرات S_{11} برای تغییرات صفحه زمین

در ادامه روند بهینه‌سازی ساختار پیشنهادی، مطالعه پارامتری بر روی عرض خط تغذیه آنتن (عرض نوار مرکزی) انجام گرفت. تغییر عرض این خط از ۲.۵ میلی‌متر به ۴ میلی‌متر منجر به گسترش قابل‌توجهی در پهنای باند آنتن گردید؛ به‌طوری‌که بازه عملکرد از حدود ۳.۵ گیگاهرتز به حدود ۷.۸ گیگاهرتز افزایش یافت. همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، افزایش عرض خط تغذیه موجب بهبود تطبیق امپدانس و افزایش میزان عبور انرژی در باندهای فرکانسی پایین‌تر گردیده است. این تغییر از منظر مهندسی الکترومغناطیس، ناشی از کاهش مقاومت مؤثر خط و بهبود توازن میدان‌های الکتریکی در ناحیه تغذیه است.

در ادامه فرآیند بهینه‌سازی ساختار آنتن، مطالعه پارامتری دیگری بر روی عرض شکاف تعبیه‌شده در ناحیه پچ انجام گرفت. هدف از این تحلیل، ارزیابی تأثیر تغییرات این پارامتر هندسی بر پهنای باند امپدانس و پایداری الگوی تشعشعی آنتن بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، مطابق با شکل ۱۰، نشان می‌دهد که با افزایش تدریجی عرض شکاف، عملکرد آنتن در بازه فرکانسی ۵.۸ تا ۸ گیگاهرتز به‌طور محسوسی بهبود می‌یابد. این بهبود عمدتاً ناشی از تغییر در توزیع جریان سطحی در پچ آنتن است که به ایجاد مسیرهای تشدید جدید منجر شده و در نتیجه، موجب گسترش پهنای باند مؤثر می‌گردد. یافته‌های این تحلیل بر حساسیت ساختار پیشنهادی به عرض شکاف تأکید دارد و نشان می‌دهد که کنترل دقیق این پارامتر می‌تواند نقش کلیدی در بهینه‌سازی پاسخ فرکانسی آنتن ایفا کند.

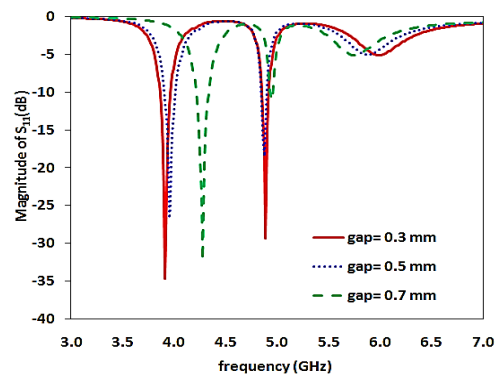
در ادامه مطالعات پارامتری اثر فاصله بین نوار و پچ و اثر طول نوار در تشدید ها را نمایش داده می‌شود. همانطور که در شکل ترسیم شده است، افزایش شکاف باعث می‌شود که خازن کاهش یابد، به دلیل کاهش شدت انرژی در شکاف بنابراین فرکانس‌های تشدید به فرکانس‌های بالاتر تغییر می‌کنند. اولین تشدید به ۴.۲۵ گیگاهرتز برای ۰.۷ میلی‌متر بدست می‌آید، در حالی که تشدید دوم که مربوط به فاصله بین نوارها است، هیچ تغییری را تجربه نخواهد کرد. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر بر تشدید آنتن، طول نوار است.

توان تابش شده توسط آنتن به کل توان ورودی (شامل هرگونه تلفات ناشی از ناکارآمدی در اجزای آنتن یا خط تغذیه) تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، راندمان تابش تمام تلفات موجود در سیستم آنتن را در نظر می‌گیرد. بهره آنتن، در مقابل، معیاری برای اندازه‌گیری جهت‌مندی تابش آنتن است و به عنوان نسبت توان تابش شده در یک جهت خاص توسط آنتن به توانی که توسط یک آنتن همسانگرد ایده‌آل (که در تمام جهات به طور یکنواخت تابش می‌کند) با همان توان ورودی تابش می‌شود، تعریف می‌گردد. بهره آنتن تلفات سیستم را لحاظ نمی‌کند و بنابراین مستقیماً بیانگر راندمان واقعی آنتن نیست. در فرکانس‌های پایین باند عملکرد آنتن، که در آن طول موج در مقایسه با ابعاد آنتن بزرگ است، هر دو پارامتر راندمان تابش و بهره کاهش می‌یابند. این موضوع به این دلیل است که اندازه فیزیکی آنتن نسبت به طول موج بسیار کوچک بوده و توان تابشی مؤثر را محدود می‌سازد. با این حال، حتی در این شرایط نیز، راندمان تابش و بهره آنتن همچنان مفاهیمی متمایز باقی می‌مانند که هر یک جنبه‌ای مجزا از عملکرد آنتن را بیان می‌کنند.

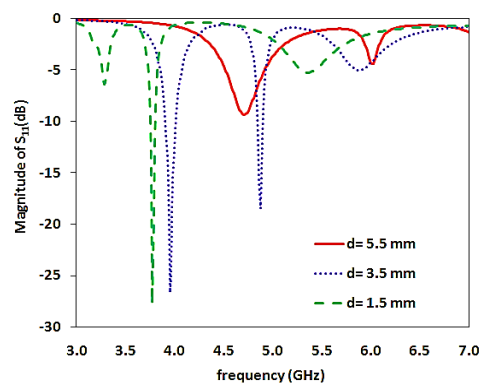
راندمان تابعی از زاویه AZ/EL نیست. ماکزیمم شدت سیگنال یک آنتن در زاویه مشخص AZ/EL، معمولاً در زاویه BORESIGHT، نسبت به آنتن ایزوتروپیک، بر حسب dBi یا dB بیان می‌شود. پهنای پرتو باریک تر دارای بهره ی بیشتر است. بهره برابر با جهت ورزی ضرب در راندمان است، یا جهت ورزی بعلاوه راندمان بر حسب dB

$$G = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (۱)$$

در مدل شماتیک بافت بدن، لایه‌ی اولیه شامل پوست و لایه‌ی بعدی شامل بافت چربی در نظر گرفته شده است. توده‌ی مشکوک نیز در ناحیه درونی این ساختار قرار دارد. در واقع، اشعه‌های میکروویو هنگام عبور از بافت‌های دارای خواص دی‌الکتریک متفاوت، رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در بافت طبیعی، به دلیل تفاوت در ساختار دی‌الکتریک، میزان پراکندگی سیگنال بیشتر از حالتی است که اشعه به سلول‌های توموری برخورد می‌کند؛ زیرا سلول‌های تومور نسبت به بافت طبیعی دارای ضریب دی‌الکتریک بالاتری هستند. به عبارت دیگر، سلول‌های توموری بیشترین میزان بازتاب سیگنال را ایجاد می‌کنند. این تفاوت در رفتار الکترومغناطیسی سبب می‌شود که سیگنال‌های پراکنده شده از بافت‌های سالم و بدخیم، در نتایج تصویربرداری به وضوح از یکدیگر قابل تفکیک باشند. چنین تمایزی، مبنایی برای روش‌های تصویربرداری میکروویو جهت تشخیص دقیق موقعیت و ماهیت توده‌های سرطانی فراهم می‌سازد.



(الف)

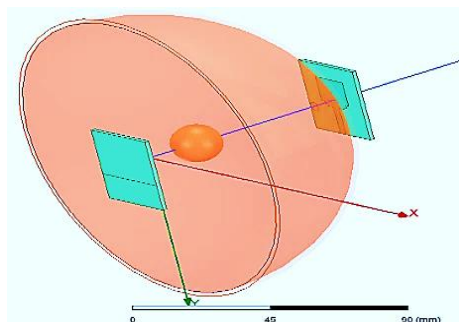


(ب)

شکل ۱۲- پارامتر S11 آنتن برای اثر (الف) شکاف (ب) طول نوار

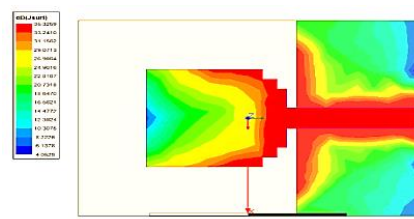
چگالی جریان سطحی آنتن فراپهن باند در باندهای فرکانسی مختلف نشان می‌دهد که آنتن نقش مهمی در ایجاد رزونانس در باندهای فرکانسی مورد نظر دارد. به عنوان مثال، چگالی جریان سطحی در ۳.۵ گیگاهرتز به نظر می‌رسد که بیشتر جریان در فرکانس ۱۰.۵ گیگاهرتز از آنتن عبور می‌کند. در حالی که در ۴.۱ گیگاهرتز، جریان فقط از طریق خط تغذیه و مقداری از جریان از طریق صفحه زمین عبور می‌کند. در ۸ گیگاهرتز، جریان اندکی در خط تغذیه منتقل می‌شود و مقداری جریان از طریق زمین تامین می‌گردد ولی در فرکانس ۱۰.۵ گیگاهرتز جریان سطحی به خوبی می‌گذرد (شکل ۱۳). آنتن پیشنهادی به عنوان یک عنصر تابشی در یک سیستم تشخیص و شناسایی توده‌های سرطانی مبتنی بر تصویربرداری میکروویو استفاده خواهد شد.

تفاوت مفهومی بین راندمان تابش و بهره آنتن در فرکانس‌های پایین باند عملکرد آنتن به این دلیل است که این دو پارامتر به صورت متفاوتی تعریف می‌شوند و جنبه‌های مختلفی از عملکرد آنتن را اندازه‌گیری می‌کنند. راندمان تابش معیاری است که نشان می‌دهد یک آنتن تا چه حد توان الکتریکی ورودی را به تابش الکترومغناطیسی تبدیل می‌کند. این پارامتر به عنوان نسبت

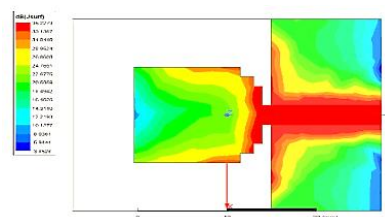


شکل ۱۴- شماتیک بخشی از بدن همراه آنتن پیشنهادی برای تصویربرداری ماکروویو

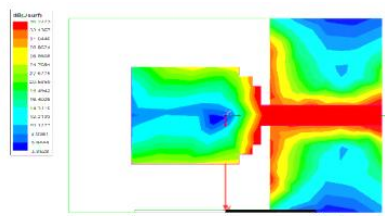
به منظور ارزیابی تجربی عملکرد آنتن پیشنهادی، یک نمونه اولیه از طراحی نهایی ساخته شد. تصویر فیزیکی نمونه در شکل ۱۴ نشان داده شده است. برای بررسی دقت طراحی، پاسخ پارامتر پراکندگی S11 نمونه ساخته شده با نتایج حاصل از شبیه سازی عددی مورد مقایسه قرار گرفت. همان گونه که در نمودارها مشاهده می شود، تطابق مناسبی بین نتایج اندازه گیری شده و شبیه سازی شده وجود دارد. هر دو پاسخ نشان دهنده پوشش کامل بازه فرکانسی تعریف شده برای کاربردهای فرایه ن باند (۳ تا ۱۱ گیگاهرتز) هستند. با این حال، تفاوت های جزئی در مقدار دقیق فرکانس های بحرانی و عمق نقاط بازگشت انرژی قابل مشاهده است. این انحراف ها عمدتاً ناشی از عوامل ساخت مانند خطای ابعادی، تیرانس مواد، کیفیت اتصالات RF و شرایط محیطی آزمایش می باشند. علی رغم این اختلافات، رفتار کلی آنتن از نظر پهنای باند و تطبیق امپدانس تأیید می شود. علاوه بر این، نمودار بهره آنتن نیز در دو حالت شبیه سازی و اندازه گیری استخراج شده و با یکدیگر مقایسه گردیده است. نتایج نشان می دهد که روند کلی تغییرات بهره در بازه فرکانسی بررسی شده حفظ شده و تفاوت ها در حد مجاز و قابل انتظار در پروژه های تجربی می باشند. عملکرد نهایی آنتن پیشنهادی با سایر طرح های گزارش شده در منابع علمی مقایسه شده و خلاصه ای از این مقایسه در جدول ۴ ارائه گردیده است. این جدول نشان دهنده بهبود نسبی در پهنای باند، بهره، ابعاد و ساختار تغذیه در مقایسه با نمونه های مشابه می باشد.



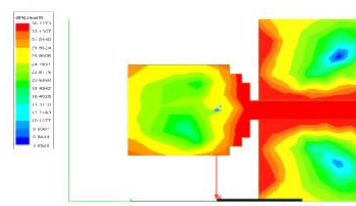
(الف)



(ب)

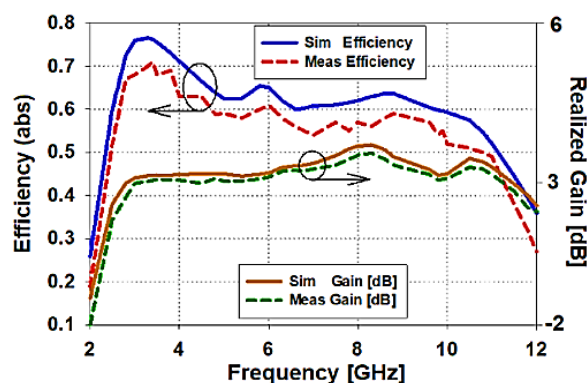


(ج)

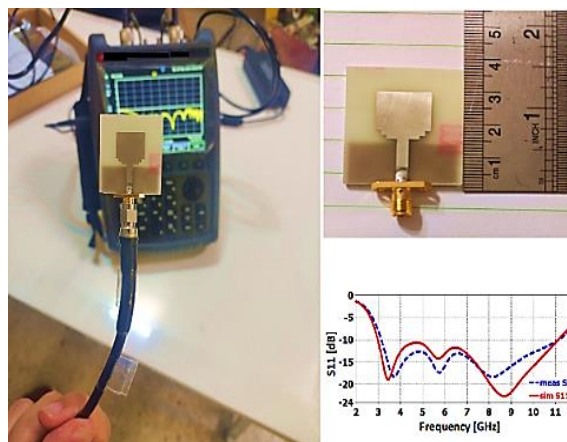


(د)

شکل ۱۳- (الف) چگالی جریان سطحی در ۳.۵ گیگاهرتز (ب) چگالی جریان سطحی در ۴.۱ گیگاهرتز (ج) چگالی جریان سطحی در ۸ گیگاهرتز (د) چگالی جریان سطحی در ۱۰.۵ گیگاهرتز



شکل ۱۶- مقایسه گین شبیه سازی شده و اندازه گیری شده و پیک بهره



شکل ۱۵- نمونه ساخته شده آنتن پیشنهادی؛ مقایسه S11 شبیه سازی شده و اندازه گیری شده

جدول ۴- مقایسه نتایج خروجی ساختار پیشنهادی با تحقیق قبلی

Ref.	Frequency Range GHz	Area (mm ²)	Electrical Size (λ_0^2)	Substrate Material	Efficiency	Gain dB
[4]	2.8-18	50×38	0.96×0.73	FR-4	-	4.32
[8]	1.9-5,6-10.6	48×55	0.63×0.72	FR-4	-	5
[9]	1.2-9.8	53×63.5	0.21×0.25	FR-4	85	5.2
[14]	2-5	100×78	0.67×0.52	Taconic TLY-5	-	3
[15]	0.83-9.8	161×140	0.45×.39	$\epsilon_r = 2.3$	-	2.3
این مقاله	3-11	35×30	0.25×0.22	FR-4	85	4.1

۵- نتیجه گیری

این مقاله به بررسی طراحی، شبیه سازی و ساخت یک آنتن فراپهن باند برای کاربردهای تصویربرداری مایکروویو در تشخیص تومورهای پستان اختصاص یافته است. ساختار پیشنهادی با بهره گیری از یک پیچ مستطیلی و تغذیه CPW، در کنار به کارگیری یک ساختار زمین ناقص نوآورانه، موفق به پوشش کامل باند فرکانسی ۳ تا ۱۱ گیگاهرتز شده است. آنتن پیشنهادی، با ابعاد فشرده $35 \times 30 \times 1.6$ میلی متر، بر روی زیرلایه ارزان قیمت FR-4 با گذردهی نسبی ۴.۳ و ضریب تلفات ۰.۰۲۵ پیاده سازی شده و از نظر بهره نیز مقدار قابل قبولی در حدود ۴.۱ دسی بل ارائه داده است. نتایج حاصل از اندازه گیری نمونه واقعی آنتن، تطابق مناسبی با شبیه سازی های عددی نشان داده و کارایی قابل اعتمادی را در شرایط عملیاتی به اثبات رسانده است. این پژوهش می تواند بستر مناسبی برای توسعه آنتن های پوشیدنی، سامانه های تشخیص بی سیم و آرایه های چندآنتنه در حوزه تصویربرداری با وضوح بالا فراهم سازد.

۶- مراجع

- [1] Yaghouti, B. D., & Yavandhasani, J. (2021). A high linearity low power low-noise amplifier designed for ultra-wide-band receivers. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 107(1), 109–120. <https://doi.org/10.1007/s10470-020-01783-x>.
- [2] T. A. Elwi, D. A. Jassim, and H. H. Mohammed, "Novel miniaturized folded UWB microstrip antenna-based metamaterial for RF energy harvesting," *Int. J. Commun. Syst.*, Vol. 33, no. 6, 2020, doi: 10.1002/dac.4305.
- [3] M. A. Aldhacebi et al., "Review of Microwaves Techniques for Breast Cancer Detection," *Sensors*, vol. 20, p. 2390, 2020.
- [4] A.R.H. Alhawari, A.H.M. Almagani, A.T. Hindi, and H. Alghamdi, "Tale Saeidi Metamaterial-based wearable flexible elliptical UWB antenna for WBAN and breast imaging applications," *Aip Adv.*, Vol. 11, no. 1, p. 015128, 2021.
- [5] Yaghouti, B. D., & Yavandhasani, J. (2022). A high linearity UWB LNA using a novel linearizer feedback, based on complementary derivation superposition techniques. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 110(3), 443–454. <https://doi.org/10.1007/s10470-021-01960-6>.
- [6] Roshani, S., Roshani, S., Jamshidi, M. B., Yaghouti, B. D., & Mahtabi, N. (2021). Design of a Compact Microstrip Coupler with Harmonics Suppression Using Resonator and Meandered Lines. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2021-

[13] M.M. Honari, M.S. Ghaffarian, and R. Mirzavand, "Miniaturized Antipodal Vivaldi Antenna with Improved Bandwidth Using Exponential Strip Arms," *Electronics*, vol. 10, p. 83, 2021.

[۱۴]

علی رضا زرخشک و پژمان رضایی ((آنتن پوشیدنی فشرده برای کاربردهای فرا پهن باند و بلوتوث)) *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، شماره ۲ صفحه ۶۸۶-۶۷۹، ۱۳۹۷

[۱۵]

پاشار زهفروش، مهدی سفیدی و علی شادمند. ((طراحی یک تک قطبی نوین برای کاربردهای UWB با مشخصه فیلترینگ دوبنده و ارزیابی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی)) *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، صفحه ۵۳-۶۰، ۱۳۹۷.

[16] Fakharian, M. M., & Rezaei, P. "Very compact palmate leaf-shaped CPW-FED monopole antenna for UWB applications." *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol.56, No.7, PP.1612-1616, 2014.

[17] Kakhki, M. B., & Rezaei, P. "Reconfigurable microstrip slot antenna with DGS for UWB applications." *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Vol.9, No.7, PP.1517-1522, 2017.

November, 1709–1717.
<https://doi.org/10.1109/PIERS53385.2021.9694738>

[7] A. Smith et al., "Design and Analysis of Ultra-Wideband Microstrip Antenna Using Optimization Techniques for Breast Cancer Detection," in *IEEE Int. Conf. Antennas Propag. (ICAP)*, 2021, pp. 123–128.

[8] S. Gupta et al., "Breast Cancer Detection using Ultra-Wideband Microstrip Antenna and Artificial Neural Networks," *IEEE Sens. J.*, Vol. 22, no. 6, pp. 9680–9687, March 2022.

[9] K. Zhang et al., "Design of Wideband Microstrip Antenna Using Nanomaterials for Breast Cancer Detection," *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 67867–67874, 2023.

[10] P. Chaudhary and A. Kumar, "Compact ultra-wideband circularly polarized CPW-fed monopole antenna," *AEU—Int. J. Electron. Commun.*, Vol. 107, pp. 137–145, 2019.

[11] X.-P. Li et al., "Compact TSA with Anti-Spiral Shape and Lumped Resistors for UWB Applications," *Micromachines*, Vol. 12, p. 1029, 2021.

[12] A. Delphine, M.R. Hamid, N. Seman, and M. Himdi, "Broadband cloverleaf Vivaldi antenna with beam tilt characteristics," *Int. J. RF Microw. Comput. Eng.*, Vol. 30, p. e22158, 2020.