

ISSN: 2821-157X		https://www.jasd.khadu.ir	
	Journal of Aerospace Defense Volume 5 Issue 1 Spring2026 Pages 116-129		
Research Paper; 			
Optimization and increasing the reliability of monopole antennas by using encapsulating materials in secure AUV communications Gohar Varamini^{1*} 1. Department of Electrical Engineering, Bey. C., Islamic Azad University, Beyza, Iran.			
Article Information		Abstract	
Accepted: 2023/00/00 Received: 2023/00/00 Keywords:		Abstract Introduction:Reliable and secure wireless communication is essential for unmanned surface vehicles (USVs) and autonomous underwater vehicles (AUVs), where compact antenna systems with high isolation and stable performance are required despite severe space constraints. This study proposes a compact encapsulated monopole diversity antenna designed to improve communication reliability while minimizing mutual coupling between antenna elements. Methods:A dual-band encapsulated monopole antenna with a shared circular radiator was designed and fabricated on an FR4 epoxy substrate (dielectric constant of 4.4 and loss tangent of 0.02). The antenna incorporates two perpendicular feed structures, radiator slots, a dumbbell-shaped radiator, and a ground stub to enhance impedance matching and isolation. The overall antenna dimensions are 11.4 × 5.3 × 1.6 mm, operating at 2.4 GHz and 5.8 GHz. Its performance was evaluated through simulated and experimental analyses, including S-parameters, return loss, radiation patterns, diversity gain, and envelope correlation. Findings:The proposed antenna achieved excellent impedance matching with a return loss of approximately 25 dB at both operating frequencies. The shared-radiator configuration significantly reduced the antenna size while maintaining high performance. Both simulated and measured results demonstrated approximately 20 dB improvement in isolation compared with conventional directly coupled antenna elements. In addition, the antenna exhibited satisfactory radiation characteristics, low envelope correlation, and effective diversity performance, making it suitable for reliable wireless communication in compact platforms. Conclusion:The proposed encapsulated dual-band monopole antenna provides a compact, lightweight, and high-isolation solution for unmanned surface and underwater platforms. Its shared-radiator architecture, enhanced impedance matching, and reduced mutual coupling improve communication reliability and system integration, making it a promising candidate for secure wireless applications in autonomous marine vehicles and other space-constrained systems.	
Keywords: Encapsulating materials Monopole antenna Unmanned aerial vehicle Radiation pattern Return loss			
Corresponding Author: Gohar.Varamini@iau.ac.ir			
Gohar Varamini1.(2026). Optimization and increasing the reliability of monopole antennas by using encapsulating materials in secure AUV communications. <i>Journal of Aerospace Defense</i> , Vol 1(Issue5), Page 116-129.			



فصلنامه علمی دفاع هوافضایی

دوره ۵ شماره ۱
بهار ۱۴۰۵
صفحات ۱۱۶ - ۱۲۹



مقاله پژوهشی؛

بهینه سازی و افزایش ضریب اطمینان عملکرد آنتن های تک قطبی با

بکارگیری مواد کپسوله کننده در مخازنات امن AUV

گوهر ورامینی*

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

چکیده	اطلاعات مقاله
چکیده : مقدمه: سامانه های شناور سطحی و زیرسطحی خودران بدون سرنشین (USV/AUV) به آنتن هایی با ابعاد کوچک، ضریب اطمینان بالا، ایزولاسیون مناسب و قابلیت برقراری ارتباطات امن نیاز دارند. در این پژوهش، یک آنتن تک قطبی کپسوله شده با ساختاری فشرده و دو بانده ارائه شده است که با هدف کاهش کوپلینگ متقابل، افزایش ایزولاسیون و بهبود قابلیت اطمینان در سامانه های دریایی خودران طراحی شده است.	تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:
روش: آنتن پیشنهادی با دو عنصر تابشی دارای شکاف، رادیاتور مشترک دایره ای، ساختار دمبل برای بهبود تطبیق امپدانس و استاب صفحه زمین طراحی و روی زیر لایه اپوکسی FR4 با ثابت دی الکتریک ۴.۴ و تانژانت تلفات ۰.۰۲ پیاده سازی شد. ابعاد آنتن $۱۱.۴ \times ۵.۳ \times ۱.۶$ میلی متر بوده و در دو فرکانس ۲.۴ و ۵.۸ گیگاهرتز عمل می کند. عملکرد آنتن از طریق شبیه سازی و اندازه گیری با استفاده از پارامترهای S، تلفات بازگشتی، بهره تنوعی، الگوی تابشی و ضریب همبستگی پوششی ارزیابی شد.	کلیدواژه ها: فونت و سایر کلیدواژه ها: مواد کپسوله کننده آنتن تک قطبی خود ران بدون سرنشین الگوی تابشی تلفات بازگشتی
یافته ها: نتایج نشان داد آنتن پیشنهادی با وجود ابعاد بسیار کوچک، تطبیق امپدانس مطلوبی با تلفات بازگشتی نزدیک به ۲۵ دسی بل در هر دو باند فرکانسی ارائه می دهد. استفاده از رادیاتور مشترک موجب کاهش قابل توجه ابعاد کلی آنتن شده و در عین حال عملکرد مناسب آن حفظ شده است. همچنین، نتایج شبیه سازی و اندازه گیری بهبود حدود ۲۰ دسی بل در ایزولاسیون بین عناصر تابشی نسبت به ساختارهای متداول را نشان داد. علاوه بر این، الگوی تابشی مناسب، بهره تنوعی مطلوب و همبستگی پایین بین عناصر آنتن، کارایی بالای سامانه را تأیید کرد.	نتیجه گیری: آنتن تک قطبی کپسوله شده پیشنهادی، با برخورداری از ساختار فشرده، عملکرد دو بانده، ایزولاسیون بالا و کاهش کوپلینگ متقابل، راهکاری مناسب برای ارتباطات بی سیم ایمن و پایدار در سامانه های شناور سطحی و زیرسطحی خودران بدون سرنشین ارائه می دهد. ویژگی های این آنتن، آن را به گزینه ای مناسب برای کاربردهای مخابراتی دریایی، سامانه های خودمختار و سایر تجهیزات با محدودیت فضا تبدیل می کند.
استناد: گوهر ورامینی. (۱۴۰۵). ایجاد پوشش اپوکسی اصلاح شده با نانوحامل کربنی و چارچوب کامپوزیتی جهت محافظت از خوردگی حفره ای در سازه های هوافضایی. دفاع هوافضایی، دوره ۵ (شماره ۱)، صفحه ۱۱۶-۱۲۹.	نویسنده مسئول: Gohar.Varamini@iau.ac.ir

۱- مقدمه

همان طور که مشخص شده است ۷۰ درصد از کره زمین را آب تشکیل می‌دهد و بیشترین حمل و نقل و ارتباطات از طریق دریا انجام می‌شود، بنابراین، ارتباطات دریایی بخش مهمی از زندگی روزمره به شمار می‌آیند [۱]. در واقع تعداد زیادی کشتی یا شناور در اقیانوس‌ها دور از دسترس هستند. در نتیجه، ارتباطات اقیانوسی قابل اعتماد نقش مهمی در عملیات دریایی ایفا می‌کنند [۲]. به دلیل پیشرفت در وسایل نقلیه خودران بدون سرنشین، ربات‌ها بدون هیچ گونه نظارت یا کنترلی، به هر نقطه از اقیانوس سفر می‌کنند [۳].

برای انتقال اطلاعات، که توسط این وسایل نقلیه خودران بدون سرنشین با کشتی میزبان یا به یک ایستگاه زمینی جمع‌آوری می‌شود، الزامی وجود دارد، اما تطابق آنها بر روی اقیانوس تحت تأثیر متغیرهای مختلفی قرار می‌گیرد، در نقطه‌ای که امواج الکترومغناطیسی بر روی سطح اقیانوس پخش می‌شوند، انعکاس، پراکندگی و پراش وجود دارد [۴]. با افزایش تقاضا برای نرخ داده بالا، آنتن‌ها توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند و به عنوان یک فناوری کلیدی در ارتباطات موج میلی‌متری در نظر گرفته می‌شوند. [۵]. فناوری طراحی آنتن‌های تک قطبی به دلیل ویژگی‌های امیدوارکننده شان مانند افزایش سرعت انتقال داده، مساحت پوشش و مقاومت در برابر محو شدن مسیرهای چندگانه، به شدت توصیه می‌شود [۶]. با این حال، کوپلینگ متقابل به دلیل انتشار امواج سطحی و ایزولاسیون ناکافی بین عناصر یک سیستم، باعث عملکرد ضعیف امپدانس و تابش شده و ظرفیت کانال را کاهش می‌دهد. افزایش فاصله فیزیکی بین رادیاتورهای روشی ساده برای دستیابی به ایزولاسیون بالا است، اما منجر به اندازه بزرگ آنتن می‌شود. [۷]. محققان تلاش کرده‌اند روش‌هایی را برای به حداکثر رساندن تراکم بسته‌بندی و در عین حال افزایش ایزولاسیون بین رادیاتورهای توسعه دهند. بنابراین، بهینه‌سازی کوپلینگ متقابل در سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم قابل توجه خواهد بود [۸].

زمانی که سیگنال‌ها نیاز به انتقال در فواصل بسیار طولانی دارند، سیگنال‌ها به خط دید نیاز دارند که فرکانس آنها باید بسیار بالا باشد. [۹]. علاوه بر این، تغییرات در لایه مرزی جو باعث انعکاس سیگنال می‌شود و مستقیماً بر رفتار موج و مسیرهای انتشار تأثیر می‌گذارد و منجر به تار شدن داده‌های مسیر می‌شود. با در نظر گرفتن شرایط دریایی، وضعیت اقیانوس، همچنین با در نظر گرفتن لایه‌های سیکلونی، تأثیر بسیار نزدیکی بر انتقال و دریافت امواج الکترومغناطیسی در صفحه اقیانوس دارد [۱۰]. این تأثیرات به صراحت برای ارتباطات در فواصل قابل توجه (بیش از چند صد متر یا ۲ یا ۳ کیلومتر) مسئله‌ساز هستند. یکی از برنامه‌های مهم، جابجایی وسایل نقلیه بدون سرنشین خودکار و وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین یا کشتی اصلی در مجاورت یکدیگر با هدف نهایی به منظور بهبود عملکرد کانال رادیویی است [۱۱]. این امر باعث اتلاف زمان و همچنین منابع می‌شود. به عنوان مثال، سوخت بیشتری مصرف خواهد شد زیرا حرکت بین وسایل نقلیه به صورت طولانی‌تر خواهد بود.

ارتباط رابط فضایی یک روش رایج است که با موانع متعددی روبرو است، از جمله عدم پوشش کامل ماهواره توسط اکثر چارچوب‌های سازه‌ای با تأثیر کم و همچنین هزینه‌های نسبتاً بالا و نرخ اطلاعات پایین که در بر می‌گیرد همچنین بهبود قابل توجهی در کانال رادیویی که برای ارتباط با کمک

رله‌های ارتباطی استفاده می‌شود، وجود دارد [۱۲]. با این حال، برای ایجاد موقعیت مکانی مناسب، به یک سطح برجسته نیاز دارد. برای رفع این مشکلات، مطلوب است که آنتن‌هایی مخصوص وسایل نقلیه بدون سرنشین خودران ساخته شود که نسبتاً بهره بیشتری داشته باشند و در نتیجه سیگنال‌ها را در فواصل بیشتر تا ۱۰۰ متر ارسال و دریافت می‌کنند [۱۳]. پارامترهای آنتن توسط وسایل نقلیه بدون سرنشین خودران محدود می‌شوند زیرا اندازه وسایل نقلیه بدون سرنشین خودران معمولاً کوچک است [۱۴]. آنتن با استفاده از یک ماده پوششی پوشانده می‌شود تا در زیر سطح آب از آن محافظت شود، برای زمانی که یک وسیله نقلیه بدون سرنشین خودران در حال حرکت است [۱۵]. دلرین ماده پوششی معمولی است که به دلیل عملکرد عالی آن در کاربرد زیر آب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶]. ممکن است به دلیل این ماده، کیفیت سیگنال از بین برود. در نتیجه، در این پژوهش، از مواد متمایزی برای ساخت آنتن استفاده شده است و بهترین ماده برای آنتن با در نظر گرفتن مقداری که با طراحی آنتن در نرم‌افزار شبیه‌سازی FEKO به دست آمده است، تعیین می‌شود همچنین آنتن طراحی شده در باند فرکانسی ۲.۴ گیگاهرتز کار خواهد کرد.

چند سالی است که فناوری فرایه‌پن باند به عنوان یک پیشرفت چشمگیر در ارتباطات بیسیم باند وسیع مورد توجه قرار گرفته است [۱۷]. روش مورد استفاده در سامانه های مخابراتی فرایه‌پن باند، از سایر روشهای مخابراتی متمایز می‌باشد، چرا که برای تبادل اطلاعات و داده بین فرستنده و گیرنده از پالس های رادیویی خیلی باریک استفاده میکنند [۱۸]. استفاده از پالس های کوتاه به منظور ارسال داده ها در سیستم های فرایه‌پن باند، موجب ایجاد پهنای باندی وسیع به همراه مزایایی از قبیل ظرفیت انتقال اطلاعات بالا، مخفی بودن از دید افراد غیر مجاز، مقاومت در برابر تداخل عمدی و استفاده مشترک از پهنای باند با سایر سیستمها میشود. در عمل، به خاطر استفاده از پالسهای کوتاه در حد چند نانو ثانیه، طیف سیگنالهای ارسالی در حوزه فرکانس، محدوده وسیعی را می پوشانند [۱۹]. لذا آنچه که در این فناوری اهمیت دارد آن است که همه عناصر به کار گرفته شده در آن، بتوانند این پالسها را بدون اعوجاج عبور دهند [۲۰].

در این پژوهش به ارتباط بی سیم وسیله ارتباطی زیرآبی خودران^۱ (AUV)، با یک ایستگاه زمینی یا روی یک کشتی با باند ۲.۴ گیگاهرتز می‌پردازد. طرحی از یک آنتن مارکونی محصور شده ابتدایی که در ۲.۴ گیگاهرتز کار می‌کند در شبیه‌ساز CADFEKO شبیه‌سازی شده و نتایج تجزیه و تحلیل می‌شوند. وسیله نقلیه زیرآبی خودران (AUV) با غوطه‌ور شدن در زیر دریا، حتی زمانی که هیچ دستورالعملی توسط ناظر ارائه نشده باشد، کاوش و پردازش داده ها را ارائه می دهد. AUV ها دارای شش درجه آزادی هستند که عبارتند از: موج، نوسان، خیز، غلتش، پیچ و انحراف AUV ها و برای کشوری که منطقه دریایی وسیعی دارد، دارای نقش بسیار مهم و حیاتی هستند و به طور گسترده در تحقیقات دریایی و نقشه برداری از خطوط و به عنوان روشی در دفاع زیر دریا مورد استفاده قرار

^۱ Autonomous underwater vehicle

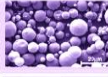
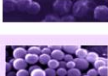
^۲ Polymethyl methacrylate

می‌گیرد. با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در AUVها، از آنها برای انجام وظایف مختلف تحقیقاتی و نظامی به دلیل کسب اطلاعات گسترده استفاده می‌شود. این اطلاعات و داده‌های به دست آمده به وسیله نقلیه ارتباطی میزبان ارسال می‌شود که اساساً بصورت یک کشتی یا شناور سطحی است که از امواج الکترومغناطیسی در صفحه دریا استفاده می‌کند، اما ماهیت موج الکترومغناطیسی به دلیل اجزای همراه که بر انتقال و دریافت امواج الکترومغناطیسی در صفحه دریا تأثیر می‌گذارند، آسیب می‌بیند. جابجایی داپلر نقش بسیار مهمی در انتقال و دریافت امواج الکترومغناطیسی ایفا می‌کند زیرا سیگنالی با فرکانس بالا به دلیل حرکت دریا تحت تأثیر این مکانیسم قرار می‌گیرد، صفحه ناهموار دریا به دلیل باد نیز بر انتقال و دریافت امواج الکترومغناطیسی تأثیر می‌گذارد، ارتباطات از راه دور نیز تحت تأثیر انعکاسی که در بالای دریا رخ می‌دهد قرار می‌گیرد و تلفات به دلیل تداخل در سطح دریا است. شبکه‌های مختلفی با استفاده از حسگرهایی که در صفحه اقیانوس کار می‌کنند، به طور ناکارآمد برای ارسال امواج الکترومغناطیسی به سیستم‌های ارتباطی مختلف واقع در نزدیکی صفحه اقیانوس، نزدیک به سطح اقیانوس یا زمانی که ارتفاع ساحل کم است، راه‌اندازی شده‌اند.

۲- مواد مورد استفاده به منظور کپسوله سازی آنتن

کپسوله کردن مواد فناوری جدیدی است که در زمینه‌های مختلف، از جمله دارورسانی، صنایع رنگ، کشاورزی و بسپارهای خودترمیم شونده و مهندسی کاربردهای فراوانی دارد. پلی‌متیل متاکریلات ۲ PMMA از جمله بسپارهایی است که به عنوان دیواره ریز کپسول‌ها استفاده می‌شود [۲۱]. روش عمده در کپسوله کردن مواد مایع با پوسته PMMA روش تبخیر حلال از امولسیون دوتایی آب-روغن-آب است. ریز کپسول‌ها ذرات کوچکی با یک پوسته جامد از جنس بسپار یا مواد معدنی حاوی قطره‌ای از مایع یا گاز به عنوان ماده هسته هستند [۲۲]. طی سال‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در زمینه کپسوله کردن مواد، در زمینه علوم شیمی، فیزیک، مهندسی و علی‌الخصوص طراحی‌های آنتن‌ها مطرح شده است [۲۳].

کپسوله کردن مواد عمدتاً به منظور ممانعت از وقوع واکنش شیمیایی بین ماده فعال و محیط مانند پرتو فرابنفش، اکسیژن و یا رطوبت، جلوگیری از عوارض ماده فعال، طولانی شدن مدت زمان ذخیره سازی، بکارگیری آسان تر جامدات و انتشار کنترل شده مواد انجام می‌گیرد [۲۴]. کپسوله کردن مواد را می‌توان به روش‌های مختلفی انجام داد و انتخاب روش به توانایی مشارکت دادن مواد در کپسول‌ها بستگی دارد. مواد هسته ممکن است دارای فاز آبی، آلی و یا معدنی باشند و روش کپسوله کردن این نوع هسته‌ها از شکل کروی یا بیضوی کپسول‌ها متأثر است [۲۵ و ۳۴].

روش	شکل‌شناسی کپسول	مزایا	معایب
پسپارش درجا		۱. ایجاد دیواره‌های محکم، فشرده و ترد ۲. سهولت تهیه میکروکپسول‌ها	۱. امکان کپسوله کردن هسته‌های خاصی به دلیل حساسیت شدید فرایند به قطبیت ماده هسته و پسپار و بسته
پسپارش امولسیون		۱. ایجاد دیواره‌هایی با استحکام بالا ۲. ایجاد دیواره‌های ضخیم ۳. گستره توزیع اندازه کپسول محدود ۴. مقیاس تهیه بزرگ	۱. دشوار بودن کپسوله کردن هسته‌های آبی ۲. عامل امولسیون‌ساز و پسپارش خاص ۳. گستره توزیع اندازه وسیع ۴. توانایی یکپار بارگیری هسته
تجمع لایه-لایه		۱. سازگار با هسته‌های آبی یا آلی ۲. سهولت حضور آمارگر ۳. امکان بارگیری مجدد هسته ۴. گستره توزیع اندازه کپسول محدود	۱. دشواری تهیه کپسول‌ها ۲. استحکام ساختاری ضعیف دیواره ۳. دشوار بودن جداسازی کپسول‌ها در هنگام خشک شدن ۴. نیازمندی برخی هسته‌ها به اسید قوی در مراحل تهیه میکروکپسول
توده‌ایی		۱. تهیه آسان کپسول‌ها ۲. سهولت استفاده در کاربردهای زمان رهایازی و رهایازی حرارتی	۱. نیاز به هسته‌های دپری دوست ۲. استحکام کم دیواره هسته ۳. کند بودن سرعت تشکیل دیواره ۴. امکان یکپار بارگیری هسته ۵. گستره توزیع اندازه کپسول وسیع
جدایش فاز داخلی		۱. دیواره‌های دارای استحکام بالا ۲. قابل استفاده برای پسپارهای غنی از کربن ۳. مناسب برای رهایازی حرارتی	۱. محدودیت قابلیت رهایازی ۲. نیاز به هسته‌های دپری دوست ۳. امکان یکپار بارگیری هسته ۴. گستره توزیع اندازه کپسول وسیع ۵. محدودیت ترکیبات پسپار هسته/بسته محدود

شکل ۱. روش های متداول کپسوله سازی - شکل شناسی - مزایا و معایب

هنگام انتخاب ماده پوشش‌دهنده برای ساخت آنتن، چندین استاندارد در نظر گرفته شده است؛ قبل از انتخاب ماده پوشش‌دهنده، باید اطمینان ایجاد شود که این ماده می‌تواند شرایط بحرانی زیر سطح آب را تحمل کند، زیرا وسایل نقلیه بدون سرنشین خودران می‌توانند بدون تغییر شکل یا تغییر شکل در جایی زیر سطح دریا حرکت کنند. استحکام ماده باید به اندازه کافی قوی باشد تا شرایط بحرانی را تحمل کند و باید عاری از خوردگی باشد، زیرا وسیله نقلیه می‌تواند هفته‌ها زیر سطح آب بماند. در جدول زیر، مواد پوشش‌دهنده‌ای را که برای کاربردهای زیر آب مناسب هستند، فهرست کرده‌ایم.

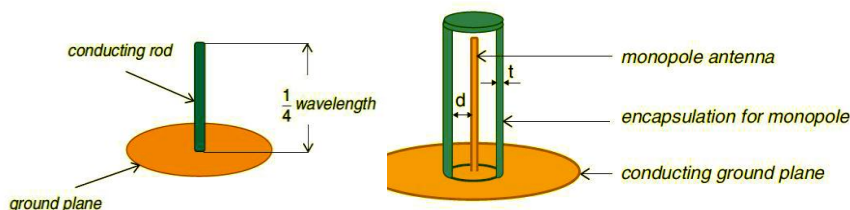
جدول ۱: مواد پوشش دهنده آنتن مورد استفاده

جذب آب ۲۴ ساعت	چگالی جرمی کیلوگرم بر متر مکعب	ثابت دی الکتریک در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز	اتلاف عامل	مواد مورد استفاده	ردیف
۰.۱	۱۳۲۵	۳.۷۴	۰.۰۰۲	PET	۱
۰.۲	۱۱۲۵	۲.۵۶	۰.۰۲	PETG	۲
۰.۲۵	۱۲۷۰	۳.۰۷	۰.۰۱۵	ULTEM	۳
۰.۱۸	۱۱۰۰	۳.۴۷	۰.۰۲۵	Hydex 301	۴
۰.۱۴	۱۴۱۰	۳.۰۷	۰.۰۰۱	Tecaform AH	۵
۰.۱۹	۱۱۰۰-۱۴۲۰	۳.۵	۰.۰۹۶	PVC	۶
۰.۲۵	۱۲۱۰	۴.۰۴	۰.۰۵	Delrin	۷

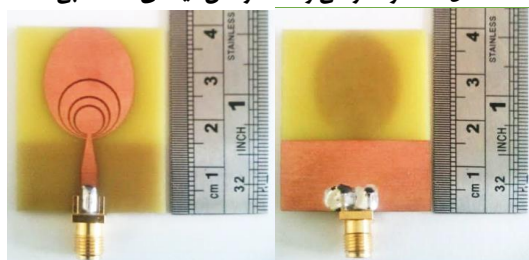
۳- ساختار و پیکربندی روش ها

آنتن تک قطبی نوعی آنتن است که به صورت میله‌ای طراحی شده است و در بالای یک صفحه رسانا قرار می‌گیرد و معمولاً نسبت به سطح آنتن قائم قرار می‌گیرد [۳۱ و ۳۲]. به صفحه مذکور صفحه زمین می‌گویند. پس منظور از زمین در این نوع آنتن‌ها، با زمین عرفی فرق دارد. منبع تغذیه در این نوع آنتن‌ها در بین میله و زمین قرار می‌گیرد و یک سر آن به میله و سر دیگر آن به زمین وصل می‌شود. این آنتن در مقابل آنتن دوقطبی قرار دارد که دارای دو میله است که منبع تغذیه بین آن دو میله قرار می‌گیرد. یک آنتن تک‌قطبی پایه [۲۷، ۲۸] برای فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز در نظر گرفته شده است. میله رسانا روی صفحه زمین که دایره‌ای شکل است قرار گرفته است؛ و

ارتفاع و قطر آن برای فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز شبیه‌سازی شده است. آنتن با ماده پوششی به طول ۱۰ متر پوشانده شده است. بررسی برای ویژگی‌های فرکانس و تتا در مقابل بهره آن انجام شده است. آنتنی که از ماده پوششی استفاده می‌کند و همچنین آنتنی که از ماده پوششی استفاده نمی‌کند در شکل نشان داده شده است. طول موج یک آنتن را می‌توان به عنوان نسبت سرعت نور به فرکانس محاسبه کرد. آنتن با فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز کار می‌کند. برای محاسبه قطر صفحه زمین‌رسانا، باید نسبت طول موج سه برابر را به دو برابر در نظر بگیریم. ارتفاع ماده پوشش‌دهنده آنتن اکنون ثابت است، با این حال عرض ماده پوشش‌دهنده با توجه به موقعیت آن از آنتن برای مواد پوشش‌دهنده مختلف ذکر شده در جدول زیر تغییر می‌کند و مقادیر تحلیل شده ذکر شده‌اند.



شکل ۲. نحوه طراحی و ساختار آنتن میله ای تک قطبی



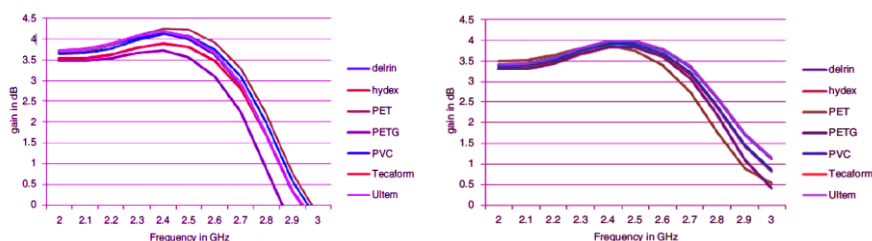
شکل ۳. پیاده سازی سطح زیرین و رویی آنتن میله ای تک قطبی

یکی از کاربردهای مهم آنتن‌های فراپهن باند ارسال داده با نرخ بسیار بالا و در فواصل کوتاه و کمتر از ۹۷ متر میباشد [۲۹]، لذا باید الگوی تابشی همه جهته در صفحه افقی داشته باشد [۳۰ و ۳۳]. یک آنتن فراپهن باند باید بتواند کلیه مولفه‌های پالس مورد نظر را تشعشع نماید، یا به عبارت دیگر باید پالس رسیده را با کمترین اعوجاج در فضا منتشر سازد البته در حالت گیرنده عکس این فرایند باید صورت گیرد. این نوع آنتنها باید VSWR کوچکی در کل محدوده فرکانسی مولفه‌های پالسی را داشته و الگوی تشعشعی همه جهته داشته باشد. یکی از چالش‌های مهم وجود تداخل بین سیستم‌های فراپهن باند و برخی باندهای فرکانسی خاص میباشد. برای جلوگیری از تداخل بایستی باندهای فرکانسی دارای همپوشانی حذف گردند. سیگنال‌های باندهای باریک ناخواسته در مکانها و زمانهای مختلف، متفاوت میباشند، بنابراین آنتن‌های با باند قطع کنترلپذیر برای حذف تداخل با سیستم‌هایی مانند وایمکس که توان زیادی ارسال میکنند، مناسبتر میباشند. آنتن‌های فراپهن باند با باند قطع کنترلپذیر را میتوان به روشهای مختلف پیاده سازی نمود. استفاده از کلیدهای دو وضعیتی، MEMS، دیودهای پین و دیودهای ورنکتور از جمله روشهای مناسب جهت ایجاد باند قطع است. اکثر ساختارهای ارائه شده تنها دارای یک باند قطع کنترلپذیر در باند WLAN هستند.

۴- تحلیل پارامترهای مقیاسی آنتن پیشنهادی

در این مقاله برای آنتن با کاربرد فرایپهن باند، آنتن مسطح تک قطبی با تغذیه میکرواستریپ برای رسیدن به حجمی فشرده مناسب برای کاربردهای بیسیم و قابل حمل، پیشنهاد شده است. این آنتن شامل یک تشعشع گر بیضوی تغذیه شده توسط خط میکرواستریپ ۵۷ اهم می باشد و یک زمین مستطیلی در سمت دیگر چاپ شده است. پهنای باند امپدانس می تواند با عریض نمودن تشعشع گر افزایش یابد. میتوان دریافت که به ازای مقادیر کوچک R_9 ، یک باند قطع در بازه کاری آن به وجود می آید و با افزایش R_9 بهبود مییابد گرچه با افزایش زیاد R_9 ، تلفات بازگشتی در فرکانسهای بالا افزایش مییابد. با توجه به مشخصات، عرض خط میکرواستریپ برای دستیابی به امپدانس مشخص ۵۷ اهم برابر با ۳ میلی متر می باشد با این وجود در صورت استفاده از خط میکرواستریپ یکنواخت برای تغذیه تشعشع گر پهنای باند امپدانس محدود خواهد شد. برای دستیابی به تطبیق امپدانس مناسب از خط باریک شونده استفاده شده است در شکل ۲ به ازای مقادیر مختلف ۲ W منحنی تلفات بازگشتی شبیه سازی شده است.

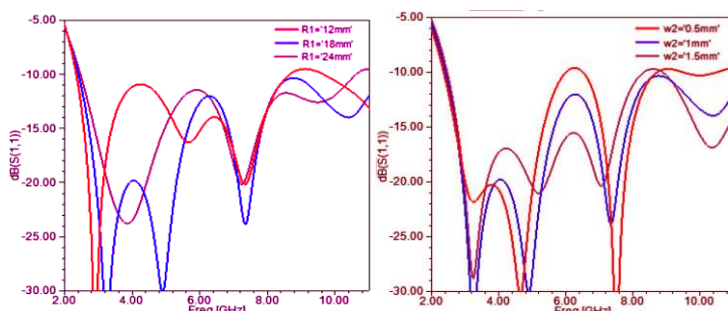
شکل زیر نتایج شبیه سازی بهره در برابر فرکانس را نشان می دهد، زمانی که کپسوله سازی با ضخامت ۵ میلی متر در فاصله صفر میلی متری از آنتن تک قطبی برای مواد مختلف قرار داده شده است که بالاترین بهره در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز برای PET با بهره ۴.۲ دسی بل و کمترین آن برای PETG با بهره ۳.۷ دسی بل است. کپسوله سازی PET در مقایسه با PETG و ۰.۵۳ دسی بل بهره بیشتری می دهد.



شکل ۴. نمودار بهره فرکانس برای مواد مختلف کپسول با ضخامت ۵ میلی متر و در فاصله صفر میلی متری از آنتن تک قطبی

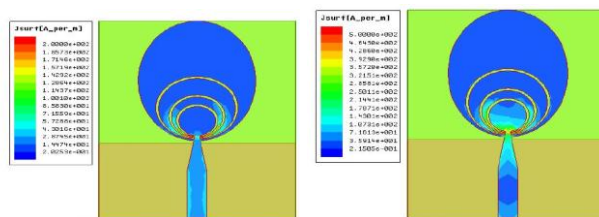
نتایج شبیه سازی بهره در برابر فرکانس را برای زمانی که کپسوله سازی با ضخامت ۵ میلی متر در فاصله ۵ میلی متری از آنتن تک قطبی برای مواد مختلف قرار می گیرد، نشان می دهد. بالاترین بهره در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز مربوط به Tecaform با بهره ۳.۹۷ دسی بل و کمترین بهره مربوط به Hydex با بهره ۳.۸۲ دسی بل است. تفاوت بین بهره های حاصل از کپسوله سازی Tecaform تنها ۰.۱۴ دسی بل است؛ همچنین همه مواد بهره مشابهی را نشان می دهند. شکل ۴ نتایج شبیه سازی بهره در برابر فرکانس را برای زمانی که کپسوله سازی با ضخامت ۸ میلی متر در فاصله ۵ میلی متری از آنتن تک قطبی برای مواد مختلف قرار می گیرد، نشان می دهد. بالاترین بهره در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز مربوط به Tecaform با بهره ۴ دسی بل و کمترین بهره مربوط به

Hydex با بهره ۳.۶۲ دسی بل است. کپسوله سازی Tecaform در مقایسه با کپسوله سازی Hydex، ۰.۶۲ دسی بل بهره بیشتری ارائه می دهد.



شکل ۵. مقدار تلفات بازگشتی در پرتو تابش های مختلف و عرض های مختلف

شکل ۵ نتایج شبیه سازی بهره در برابر فرکانس را هنگامی که کپسوله سازی با ضخامت ۱۱ میلی متر در فاصله ۵ میلی متری از آنتن تک قطبی قرار می گیرد، برای مواد مختلف نشان می دهد. بالاترین بهره در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز مربوط به PET با بهره ۳.۸۴ دسی بل و کمترین بهره مربوط به PETG با بهره ۲.۳۹ دسی بل است. تفاوت در بهره مشاهده شده برای کپسوله سازی PET و PETG حدود ۱.۴۵ دسی بل بسیار زیاد است، در حالی که سایر مواد کپسوله سازی بهره ای مشابه PET دارند. شکل ۶ نتایج شبیه سازی بهره در برابر فرکانس را هنگامی که کپسوله سازی با ضخامت ۵ میلی متر در فاصله ۱۰ میلی متری از آنتن تک قطبی قرار می گیرد، برای مواد مختلف نشان می دهد. بالاترین بهره در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز مربوط به Tecaform با بهره ۴.۰۷ دسی بل و کمترین بهره مربوط به PET با بهره ۳.۹۶ دسی بل است. می توان مشاهده کرد که اختلاف بهره بین کپسوله سازی Tecaform و PET تنها ۰.۱۱ دسی بل است؛ همچنین می توانیم ببینیم که کم و بیش همه مواد، بهره مشابهی را نشان می دهند.



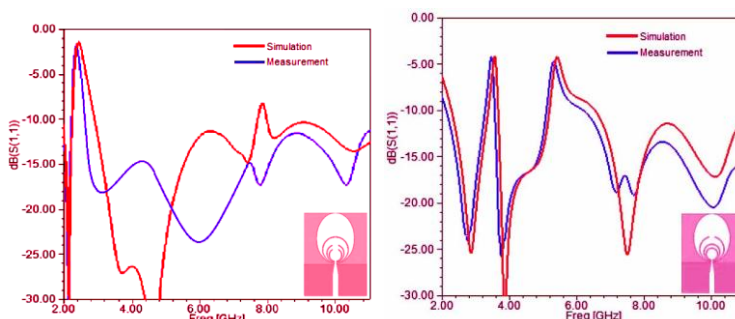
شکل ۶. جریان های سطحی آنتن چندباند (الف) جریان سطحی در $f = 2.4$ گیگاهرتز (ب) جریان سطحی در $f = 2.4$ گیگاهرتز

در این مقاله یک آنتن فراپهن باند با سه باند قطع کنترل پچ ذیر پیشنهاد شد که با تغییر وضعیت هر یک از شکاف ها تعبیه شده بر روی آنتن باندهای قطع به صورت مستقل کنترل می شوند. نتایج شبیه سازی و اندازه گیری صحت تطابق مناسبی را نشان میدهد. آنتن دارای ساختاری فشرده و

همچنین ارزان قیمت بوده و با توجه به الگوی تشعشی همه جهته آن برای بسیار از کاربردهای بیسیم و قابل حمل مناسب است.

جدول ۲: مقایسه آنتن اولیه و آنتن پیشنهادی

ردیف	الگوی تابشی	بهره	ابعاد	تطبیق امپدانس
آنتن اولیه	نامتقارن	۴.۹	11.9×11.9	٪۷
مدل پیشنهادی	کاملاً متقارن	۷.۶	10.9×10.9	٪۲۳.۶۴



شکل ۷. مقدار تلفات بازگشتی در پرتو تابشی های در حالت ساخت و شبیه سازی

همانطور که از نتایج مشاهده می شود، مشخص شده است که اگر فاصله بین ماده پوشش دهنده و آنتن را در یک مقدار خاص، مثلاً حدود ۵ میلی متر از آنتن، ثابت نگه داریم و عرض ماده پوشش دهنده برای مواد پوشش دهنده مختلف تغییر کند، آنتن بهره کمتری خواهد داشت، بنابراین آنتن باید به اندازه کافی قوی باشد تا در برابر بادهای شدید و فشار ایجاد شده توسط آب در چندین شرایط بحرانی مقاومت کند. بنابراین برای این منظور، داشتن عرض بیشتر برای ماده پوشش دهنده بسیار مؤثر خواهد بود. به همین ترتیب از نرم افزار نیز مشاهده می شود که وقتی فاصله ماده پوشش دهنده از آنتن کمتر باشد، یعنی صفر میلی متر، برای شرایطی که عرض ماده پوشش دهنده در ۵ میلی متر ثابت شده و مقادیر جداسازی بین آنتن و ماده پوشش دهنده متفاوت است، آنتن بهره بیشتری خواهد داشت.

۵- نتیجه گیری:

در این پژوهش به ارتباط بی سیم زیرآبی خودران، با ایستگاه زمینی یا روی یک کشتی با باند ۲.۴ گیگاهرتز پرداخته شده است. طرح پیشنهادی از آنتن مارکونی محصور شده ابتدایی در CADFEKO شبیه سازی شده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. وسیله نقلیه زیرآبی خودران (AUV) با غوطه ور شدن در زیر دریا، حتی زمانی که هیچ دستورالعملی توسط ناظر ارائه نشده باشد، کاوش و پردازش داده ها را ارائه می دهد. AUV ها دارای شش درجه آزادی هستند و دارای نقش بسیار مهم هستند و به طور گسترده در تحقیقات دریایی و نقشه برداری از خطوط و به عنوان روشی در دفاع زیر دریا مورد استفاده قرار می گیرد. این مطالعه یک آنتن تک قطبی کپسوله شده به منظور ایجاد ضریب اطمینان بالا در شناور سطحی و زیر دریایی خود ران بدون سرنشین با طراحی ساده و کم حجم را ارائه شده است. که در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز با کاهش کوپلینگ متقابل بین عناصر آنتن پیاده سازی

شده است. طرح پیشنهادی از دو عنصر تابشی با شکاف در رادیاتورها برای ایجاد ایزولاسیون بالا بین رادیاتورهای آنتن و مواد کپسوله مناسب به منظور بهینه سازی عملکرد، مخابرات امن و افزایش ضریب اطمینان در AUV استفاده می گرددو با ساختار فشرده که در مقایسه با آنتن های قبلی، دارای کوچکترین اندازه است. آنتن دایره ای فشرده با رادیاتور مشترک که در فرکانس دوگانه کار می کند، با آنتن های سنتی متفاوت است، رادیاتور طراحی شده توسط دو عنصر آنتن به اشتراک گذاشته شده است که اندازه کلی سیستم را تا حد زیادی کاهش می دهد. سطح بالایی از تطبیق به شکل دمبل در رادیاتور و امتداد یک استاب روی زمین حاصل می شود و رادیاتور مشترک توسط دو ساختار تغذیه عمود بر هم تغذیه می شود. در مقایسه با المان آنتن مستقیم، بهبود ۲۰- دسی بل در ایزولاسیون برای نتایج شبیه سازی شده و اندازه گیری شده است.

مراجع:

- [1] V. Dankan Gowda, A. Pola, J. R. Hershey, Z. Chen, J. Le Roux, and S. Watanabe, "Deep clustering: discriminative embeddings for segmentation and separation," in *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2022
DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0330-7.ch008>
- [2] Z. Wang, J. Le Roux, and J. R. Hershey, "Multi-channel Deep Clustering: Discriminative spectral and spatial embeddings for speaker-independent speech separation," in *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2023.
- [3] Akhtar, M.S., Ekbal, A., Cambria, E.: How intense are you? predicting intensities of emotions and sentiments using stacked ensemble [application notes]. *IEEE Computational Intelligence Magazine* 15(1), 64–75 (2020)
- [4] M. Alajeely, R. Doss, and A. Ahmad, "Routing Protocols in Opportunistic Networks – A Survey," *IETE Tech. Rev.*, vol. 35, no. 4, pp. 369–387, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1080/02564602.2017.1304834>
- [5] K. Ahmad, M. Fathima, M. S. Hossen, J. Ahamed, and K. A. Bin Ahmad, "Opportunistic Networks: An Empirical Research of Routing Protocols and Mobility Models," *SN Comput. Sci.*, vol. 4, no. 5, p. 652, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02054-y>
- [6] Alhussan, A., M. Talaat, F., El-kenawy, E.S., Abdelhamid, A., Ibrahim, A., Khafaga, D., Alnaggar, M.: Facial expression recognition model depending on optimized support vector machine. *Computers, Materials and Continua* 76, 499–515 (06 2023).
<https://doi.org/10.32604/cmc.2023.039368>
- [7] R. Dalal, M. Khari, J. P. Anzola, and V. Garcia-Diaz, "Proliferation of Opportunistic Routing: A Systematic Review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 5855–5883, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3136927>
- [8] Li, H., Wang, N., Yang, X., Wang, X., Gao, X.: Towards semi-supervised deep facial expression recognition with an adaptive confidence margin. 2022 *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* pp. 4156–4165 (2022), <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:247618790>
- [9] Li, S., Deng, W.: Reliable crowdsourcing and deep locality-preserving learning for unconstrained facial expression recognition. *IEEE Transactions on Image Processing* 28(1), 356–370 (2019). <https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2868382>
- [10] Liu, F.: Artificial intelligence in emotion quantification : A prospective view. *CAAI Artificial Intelligence Research* 3, 9150040 (2024).
<https://doi.org/10.26599/AIR.2024.9150040>, <https://www.sciopen.com/article/10.26599/AIR.2024.9150040>
- [11] S. Esmaili and J. Ghasemi, "A location-aware covert communication protocol in inter-environmental communication applications," *Alexandria Eng. J.*, vol. 123, pp. 592–609, 2025.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.03.087>
- [12] Liu, F., Wang, H.Y., Shen, S.Y., Jia, X., Hu, J.Y., Zhang, J.H., Wang, X.Y., Lei, Y., Zhou, A.M., Qi, J.Y., Li, Z.B.: Opo-fcm: A computational affection based occpad-ocean federation cognitive modeling approach. *IEEE Transactions on Computational Social Systems* 10(4), 1813–1825 (2023). <https://doi.org/10.1109/TCSS.2022.3199119>
- [13] E. H. Houssein, M. R. Saad, Y. Djenouri, G. Hu, A. A. Ali, and H. Shaban, "Metaheuristic algorithms and their applications in wireless sensor networks: review, open issues, and challenges," *Cluster Comput.*, vol. 27, no. 10, pp. 13643–13673, 2024.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04619-9>
- [14] D. Bahrepour, N. Evaznia, and T. Khodabakhshi, "A New Resource Allocation Method Based on PSO in Cloud Computing," *Int. J. Web Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 13–21, 2024.
DOI: <https://doi.org/10.22133/ijwr.2024.457539.1216>
- [15] Liu, H., Cai, H., Lin, Q., Li, X., Xiao, H.: Adaptive multilayer perceptual attention network

- for facial expression recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 32(9), 6253–6266 (2022)
- [16] N. Evaznia, R. Ebrahimi, and D. Bahrepour, “An Energy-Aware Approach to Virtual Machine Consolidation Using Classification and the Dragonfly Algorithm in Cloud Data Centers,” *J. Inf. Syst. Telecommun.*, vol. 12, no. 48, pp. 280–290, 2025. DOI: <https://doi.org/10.61186/jist.48021.12.48.280>
- [17] Ngwe, J.L., Lim, K.M., Lee, C.P., Ong, T.S., Alqahtani, A.: Patt-lite: Lightweight patch and attention mobilenet for challenging facial expression recognition. *IEEE Access* 12, 79327–79341 (2024). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3407108>
- [18] S. Chaurasia and K. Kumar, “EEMOR: Energy Efficient Metaheuristic Opportunistic Routing Protocol for WSNs,” *Adhoc Sens. Wirel. Networks*, vol. 55, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32908/ahsw.v55.9265>
- [19] M. Sharifi Sani, S. Iranmanesh, H. Salarian, F. Tubbal, and R. Raad, “Optimizing Energy Efficiency in Opportunistic Networks: A Heuristic Approach to Adaptive Cluster-Based Routing Protocol,” *Information*, vol. 15, no. 5, p. 283, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/info15050283>
- [20] Y. Zing and N. Zhao, “Routing revolution: strategic applications of meta-heuristic AI in wireless sensor networks—a comprehensive survey,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 84, no. 35, pp. 44605–44646, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-025-20843-w>
- [21] S. Chaurasia, K. Kumar, and A. K. Kamboj, “EHRP-WSN: Energy-Efficient Hyperheuristic Routing Protocol for Wireless Sensor Networks,” *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 202, p. 156044, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2025.156044>
- [22] J. M. Belman-Flores, D. A. Rodríguez-Valderrama, S. Ledesma, J. J. García-Pabón, D. Hernández, and D. M. Pardo-Cely, “A Review on Applications of Fuzzy Logic Control for Refrigeration Systems,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 3, p. 1302, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031302>
- [23] Qian, B., Chen, H., Xu, Y., Wen, Y., Li, H., Xie, Y., Feng, D.D., Kim, J., Bi, L., Xu, X., He, X., Sheng, B.: Deep contour attention learning for scleral deformation from oct images. *The Visual Computer* pp. 1–16 (2024)
- [24] She, J., Hu, Y., Shi, H., Wang, J., Shen, Q., Mei, T.: Dive into ambiguity: Latent distribution mining and pairwise uncertainty estimation for facial expression recognition. In: 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp. 6244–6253 (2021). <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00618>
- [25] M. F. Khan, E. A. Felemban, S. Qaisar, and S. Ali, “Performance Analysis on Packet Delivery Ratio and End-to-End Delay of Different Network Topologies in Wireless Sensor Networks (WSNs),” in *2013 IEEE 9th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, IEEE, pp. 324–329, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/MSN.2013.74>
- [26] I. Yang, K., Roste, T., Bekkadal, F.: Channel characterization including path loss and Dopplereffects with sea reflections for mobile radio propagation over sea at 2 GHz. In: *Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), International Conference* (2010)
- [27] Dong, F., Lee, Y.H.: Non-Line-of-Sight Communication Links over Sea Surface at 5.5GHz. *Microwave Conference Proceedings (APMC)* (2011)
- [28] Zhang, Q., Yang, K., Shi, Y., Xidang: Oceanic Propagation Measurement in the Northern Part of the South China Sea. *Yan School of Marine Science and Technology, OCEANS 2016 Shanghai* on, 10–13 April 2016.
- [29] Mujawar, M.: Design and analysis of log-periodic dipole antenna as a proximity Fuse Antenna. In: *2020 International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech)*, Pune, India, pp. 182–185 (2020). <https://doi.org/10.1109/I4Tech48345.2020.9102636>.
- [30] Aboderin, O., Pessoa, L.M., Salgado, H.M.: Wideband dipole antennas with parasitic elements for underwater communications. *OCEANS 2017 – Aberdeen, Aberdeen*, pp. 1–6 (2017). <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2017.8084865>
- [31] Homer, D.P., Healey, A.J.: Use of artificial potential fields for UAV guidance and optimization of WLAN communications. 2004 IEEWOES, Centre for AUV Research Naval Postgraduate School, Monterey CA 93943.
- [32] Pasya, I., Zali, H.M., Saat, M., Ali, M.T., Kobayashi, T.: Buffer layer configuration for wideband microstrip patch antenna for underwater applications. 2016 Loughborough antennas

&Propagation Conference (LAPC), Loughborough, pp. 1–5 (2016).

<https://doi.org/10.1109/LAPC.2016.7807577>.

- [33] Inácio, S.I.: Antenna design for underwater radio communications. OCEANS 2016 – hanghai, Shanghai, pp. 1–6 (2016). <https://doi.org/10.1109/OCEANSAP.2016.7485705>.
- [34] Hosseini Moradi, S A and alborznia, H . (2023). Protecting electronic equipment against electromagnetic waves of ku band using single and multilayer plasma. Aerospace Defense, 2(2), 1-16. [20.1001.1.28211553.1402.2.2.3.9](https://doi.org/10.1001.1.28211553.1402.2.2.3.9)
- [35] Swetha, K., Jayasree, P.V.Y., Saradhi, V.: Orthogonal mode dual band MIMO antenna system for 5G smartphone applications using characteristic mode analysis. Circuit World, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print (2021). <https://doi.org/10.1108/CW-11-2020-0319>