منسوجات فنی

جذب امواج رادیویی
توسط فراماده جاذب پارچه‌ای

محمد مومنی‌نسب[1] | سیدمنصور بیدکی [1] |محسن هادی‌زاده[1] | مسعود موحدی [2]

در این پژوهش برای نخستین بار به روش چاپ جوهرافشان و با به‌کارگیری جوهرهای واکنش دهنده، ساختار فراماده جاذب امواج رادیویی ساخته شد. ساختار فراماده جاذب بر پایه تشدیدگر یکپارچه حلقه صلیب نازی بر روی پارچه چاپ شد. فراماده جاذب پارچه‌ای شامل سلول واحد، لایه دی‌الکتریک (پارچه) و صفحه زمین است که اجزای فلزی آن از جنس نقره به‌وسیله جوهرهای واکنش دهنده ایجاد شدند.

ساختار فراماده جاذب پارچه‌ای به‌وسیله نرم‌افزار HFSS شبیه‌سازی و جهت برآورده شدن نرخ جذب تقریباً کامل، ابعاد آن بهینه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که نرخ جذب فراماده جاذب پارچه‌ای، در فرکانس تشدید بیشتر از ۹۹ % است. فراماده جاذب پارچه‌ای چاپ شده بر بستر پلی‌استر و پنبه-پلی‌استر به ترتیب در گستره فرکانس ۹۸۸ / ٦ GHz / ٦٢٨ / ٦ و ١٢٦ GHz / ٧٠٣٧ / ٦ دارای نرخ جذب بالای ۹۰ % هستند.

۱- مقدمه

واژه فراماده برای نخستین بار توسط والسر به‌صورت زیر توضیح داده شد: فراماده‌ها به‌عنوان کامپوزیت‌های مایکروسکوپی تعریف می‌شوند که دارای ساختاری سه بعدی، بشر ساخته مصنوعی(و به‌صورت آرایه‌ای متناوب از یک سلول واحد، برای تولید ترکیبی بهینه، طراحی شده‌اند که در طبیعت یافت نمی‌شوند و به یک تحریک خاص، دو یا چند پاسخ می‌دهند.

نخستین آزمایش‌های ریزموج توسط اسمیت و همکاران بر روی گونه نوظهوری از مواد

مصنوعی که به‌اصطلاح فراماده خوانده می‌شدند، انجام شد. ساختارهای فراماده جاذب به‌طور معمول بر روی صفحات انعطاف‌ناپذیر (از جمله فیبر مسی FR۴) ساخته می‌شوند که سلول واحد آنها به روش لیتوگرافی نوری یا انحلال انتخابی ایجاد شده‌اند اما در مقابل زیرلایه پارچه‌ای، انعطاف‌پذیر، مقرون به صرفه و در دسترس است. فراماده جاذب ریزموج پارچه‌ای با دو فرکانس تشدید و قابلیت جذب بالای ۹۰ % ، و نرخ جذب ۹۸ % در باند X ساخته شدند. همچنین فراماده جاذب ریزموج انعطاف‌پذیر با نرخ جذب نزدیک ۱۰۰ % و با باند گسترده (برای باندX و Ku) به روش چاپ شابلونی جهت کاربردهای پوشیدنی ارائه شدند. یکی از روش‌های نوین چاپ که ساخت الگوهای رسانا و جاذب‌های امواج الکترومغناطیسی را به‌طور مستقیم و افزایشی امکان‌پذیر کرده است، روش چاپ جوهرافشان است.

این فناوری چاپ دارای فرآیند ساخت غیر تماسی، سریع، مقرون به صرفه و سازگار با محیط است.

چاپ جوهرافشان جهت ایجاد لایه‌های رسانا نقره به‌وسیله جوهرهای بر پایه آب و به‌منظور ایجاد خطهای ریزنواری انتقال‌دهنده موج رادیویی استفاده شده است. در روشی نوین، استحصال شیمیایی فلزات در فرآیند چاپ جوهرافشانی انجام گرفته است.

در این روش محلول نمک فلزی و محلول عامل کاهنده که در آن هر یک مانند یک جوهر از طریق نازل‌های چاپگر جوهرافشان بر سطح زیرلایه پاشیده می‌شوند با یکدیگر واکنش داده و سرانجام، استحصال شیمیایی فلز بر روی زیرلایه صورت می‌پذیرد.

هدف از این پژوهش، طراحی و چاپ سلول واحد فراماده جاذب امواج رادیویی

جدول ۱-مشخصات زیرلایه‌های استفاده شده

نوع زیرلایه	ثابت دی‌الکتریک(ε_r)	تانژانت تلفات($\tan\delta$)	تراکم نخ‌تار	تراکم نخ‌پود	ضخامت(μm)	وزن سطح(g/m^2)
پارچه پلی‌استر(۱۰۰٪)	۱/۷۴۸ [۱۹]	۰/۰۰۴۴ [۱۹]	۳۳	۲۴	۲۱۷	۱۱۴
پارچه پنبه-پلی‌استر(۵۰٪-۵۰٪)	۳/۷ [۲۰]	۰/۰۲۰۵ [۲۰]	۴۴	۳۰	۱۹۳	۱۲۵
پارچه پنبه‌ای(۱۰۰٪)	۲/۰۷۷ [۱۹]	۰/۰۳۱۴ [۱۹]	۲۴	۲۳	۲۱۳	۱۴۰

بر بستر پارچه‌ای است که به‌روش چاپ جوهرافشانی و با به‌کارگیری جوهرهای واکنش دهنده ساخته می‌شود.

سلول واحد فراماده جاذب به‌وسیله نرم‌افزار HFSS شبیه‌سازی و ابعاد آن بهینه شد.

نتایج شبیه‌سازی، نرخ جذب تقریباً کاملی را برای فراماده جاذب پارچه‌ای نشان داد. در این روش نوین صفحه زمین و سلول واحد فراماده جاذب با ابعاد بهینه، با پاشش جوهرهای عامل کاهنده و نمک فلزی بر روی زیرلایه‌ای از جنس پارچه، چاپ شدند.

۲. اصول تجربی

۲. ۱. مواد و تجهیزات به کار رفته

در فرآیند چاپ، دو محلول واکنش‌دهنده آسکوربیک اسید و نقره نیترات به ترتیب به‌عنوان عامل کاهنده و نمک فلزی با درصدهای وزن به حجم (w/v) بهینه ۳۰ % و ۲۵ / ۵۰ % استفاده شدند. چاپگر جوهرافشان HP Deskjet 1220C با سامانه گرمایی و وضوح تصویر dpi ۱۲۰۰ × ۶۰۰ به کار رفت.

سه نوع پارچه با بافت تافته طبق جدول ۱ به عنوان زیرلایه برای چاپ فراماده جاذب امواج رادیویی استفاده شد.

جهت بهبود میزان رسانایی طرح‌های چاپ‌شده، اتوی پرسی SAYONA مُدل SI-۳۱۹ «شبیه‌ساز ساختارهای فرکانس بالا» به کار رفت. نرم‌افزار«شبیه‌ساز ساختارهای فرکانس بالا» جهت شبیه‌سازی‌ها استفاده شد.

برای اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی الگوهای چاپی؛ دستگاه چهار الکترود تماسی، منبع تغذیه DC و مولتی‌متر به کار رفت.

جهت بررسی مورفولوژی و اندازه‌گیری ضخامت لایه نقره‌ای تشکیل شده؛ میکروسکوپ الکترونی به کار رفت.

۲،۲. روش انجام آزمایش‌ها

در فرآیند چاپ جوهرافشانی خط‌های انتقال و الگوهای جاذب امواج رادیویی؛ نخست کارتریج محتوی محلول آسکوربیک اسید، داخل چاپگر قرار گرفت و با توجه به تعداد مراحل چاپ بهینه AAAAGG-AAAAGG-AAAAGG A نشانه چاپ یک مرحله کاهنده و G نشانه چاپ یک مرحله عامل نمک فلزی است) چهار بار پی‌درپی محلول آسکوربیک اسید چاپ شد و در مرحله بعد کارتریج محتوی نقره نیترات داخل چاپگر قرار گرفت و دو بار پی‌درپی محلول نقره نیترات با هم‌پوشانی تقریباً کامل بر روی الگوی چاپ‌شده با محلول آسکوربیک اسید، چاپ گردید.(این روند برای سه بار تکرار شد)

با این کار، محلول نقره نیترات با محلول آسکوربیک اسید واکنش داده و لایه‌ای از ذرات نقره بر سطح زیرلایه استحصال می‌گردد.

پس از فرآیند چاپ، کارتریج مورد نظر باید به‌وسیله آب مقطر و حمام اولتراسونیک تحت علمیات شستشو قرار گیرد تا از گرفتگی نازل‌های آن جلوگیری شود.

به‌منظور افزایش میزان واکنش بین دو جوهر شیمیایی و تشکیل لایه‌ای یکدست از ذرات نقره، الگوهای چاپ‌شده در زیر یک پرس حرارتی با دمای ۲۰۰ C° به مدت ۲۰ sec قرار گرفتند.

$$\rho = R\frac{A}{l} \rightarrow \rho = R\frac{tw}{l}(\Omega m) \rightarrow \sigma = \frac{l}{Rtw}$$

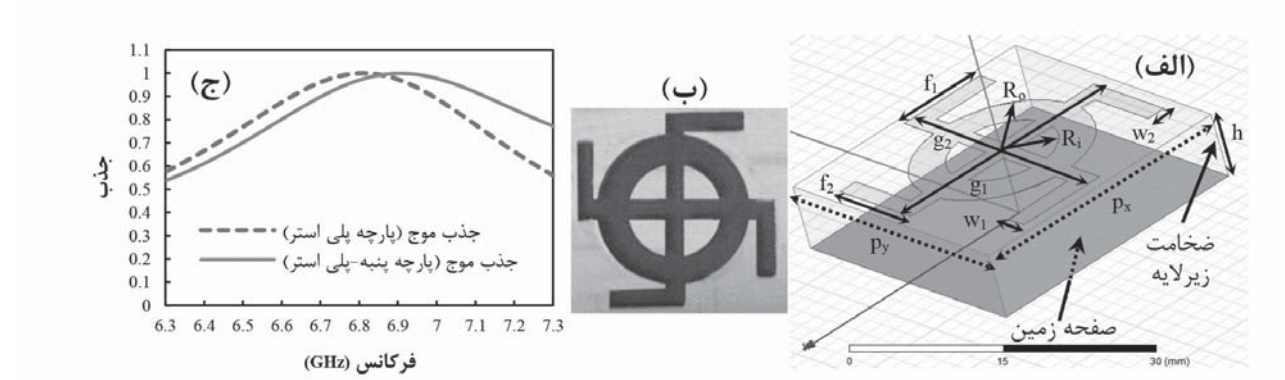
۳. نتایج و بحث

۳،۱. میزان رسانایی خط های چاپ شده بر روی پارچه

جهت شبیه‌سازی و سرانجام چاپ سلول واحد فراماده جاذب امواج رادیویی بر

جدول ۲-میزان رسانایی خط‌های چاپ شده بر روی پارچه پلی‌استر و پنبه-پلی‌استر

	نمونه	مقاومت (Ω)	رسانایی (S/m)		نمونه	مقاومت (Ω)	رسانایی (S/m)
پارچه پلی‌استر	۱	۶/۱	۲۴۴۸۹۱	پارچه پنبه-پلی‌استر	۱	۱۷/۳	۸۶۳۴۹
	۲	۷/۱	۲۱۰۴۰۰		۲	۱۸/۳	۸۱۶۳۰
	۳	۶/۵	۲۲۹۸۲۱		۳	۱۶/۹	۸۸۳۹۳
	۴	۷/۰	۲۱۳۴۰۵		۴	۱۸/۲	۸۲۰۷۹
	۵	۶/۸	۲۱۹۶۸۲		۵	۱۸/۷	۷۹۸۸۴
	میانگین		۲۲۳۶۴۰		میانگین		۸۳۶۶۷
	CV%		۶/۲۷		CV%		۴/۲۵



شکل ۱-(الف) نمای سه بعدی فراماده جاذب، (ب) فراماده جاذب چاپ‌شده بر روی پارچه و (ج) نمودار نرخ جذب شبیه‌سازی شده جاذب فراماده پارچه‌ای

روی پارچه نیاز به میزان رسانایی الکتریکی ماده چاپی بر روی پارچه است. بدین منظور خطهایی با پهنایmm ۳ و طول mm ۳۵بر روی پارچه چاپ جوهرافشانی گردید.

مقدار مقاومت و میزان رسانایی خطهای چاپ شده بر روی پارچه به روش«چهار الکترود تماسی» و با به‌کارگیری فرمول ۱محاسبه شد. جدول ۲ نتایج میزان رسانایی خطهای چاپ شده بر روی پارچه پلی‌استر و پنبه-پلی‌استر را نشان می‌دهد.

شایان یادآوری است که میزان رسانایی لایه نقره‌ای استحصال یافته بر روی پارچه پنبه‌ای بسیار ناچیز و قابل اندازه‌گیری نبود.

در محاسبه میزان رسانایی (جدول ۲) l، فاصله میان دو الکترود داخلی (mm ۱۱/۱۵) است و w ، پهنای خطهای چاپ شده که به‌طور میانگین برابر mm ۳ است و t، ضخامت لایه نقره‌ای استحصال یافته بر بستر پارچه‌ای که از مشاهده تصاویر SEM به دست آمده و برابر µm ۲/۴۸۸است.

۲.۳. طراحی و شبیه‌سازی فراماده جاذب امواج رادیویی با زیرلایه پارچه‌ای

به‌منظور شبیه‌سازی سلول واحد فراماده جاذب امواج رادیویی، پارامترهای الکترومغناطیسی پارچه (جدول ۱) و میزان رسانایی لایه نقره‌ای استحصال یافته بر بستر پارچه‌ای (جدول ۲) در نرم‌افزار شبیه‌ساز HFSS لحاظ شدند. در نرم‌افزار HFSS جهت تحلیل بی‌نهایت آرایه از سلول واحد برای جاذب پیشنهادی به«روش المان محدود» از شرایط مرزی Master-Slave استفاده شد.

جهت برآورده شدن نرخ جذب نزدیک ۱۰۰ %، ابعاد سلول واحد فراماده جاذب)شکل ۱ - الف) به‌وسیله نرم‌افزار HFSS به شرح زیر بهینه و طراحی شد: g۱ =۲۷/۳۶۰، f۲ =۱۱/۵۹۲ ، fi = ۱۰/۷۵۵ ، py =۳۰/۲۴۰ ، px =۳۰/۲۴۰ ، ۸۰۰ / h = ۴/۴، g۲ = ۲۸)برای زیرلایه پلی استر و h = ۵)برای زیرلایه پنبه پلی استر(، - Ri =۶/۴۸۰، Ro = ۱۰/۸۰۰ ، w۱ = ۲/۹۱۶ و ۲/۲۱۴ = w۲(اندازه ها برحسب mm است).

در پایان با توجه به ابعاد بهینه حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزاری، سلول واحد فراماده جاذب و صفحه زمین آن بر بستر پارچه‌ای چاپ شد (شکل ۱-ب)

با توجه به نمودار شکل ۱-ج جذب موج پارچه پلی‌استر در فرکانس تشدید ۶/۸۸۰۸ GHz و پارچه پنبه پلی‌استر در فرکانس تشدید ۶/۹۰۸ GHz بالای ۹۹ % است.

جابجایی فرکانس تشدید فراماده جاذب امواج رادیویی به پارامترهای الکترومغناطیسی پارچه‌ها (ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات)، جنس و ساختمان بافت آنها بستگی دارد.

فراماده جاذب پارچه‌ای با نرخ جذب تقریباً کامل جهت کاربردهای پوشیدنی از جمله استتار وسایل جنگی و نیروهای نظامی پیشنهاد می‌شود.

۴.نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌طور موفقیت‌آمیزی فراماده جاذب امواج رادیویی به روش چاپ جوهرافشان ساخته شد.

در این روش نوین؛ صفحه زمین و سلول واحد فراماده جاذب پارچه‌ای با ابعاد بهینه، با پاشش جوهرهای عامل کاهنده و نمک فلزی بر بستر پارچه‌ای چاپ شدند. جهت بررسی و طراحی فراماده جاذب پیشنهادی، شبیه‌سازی تمام موج به‌وسیله نرم‌افزار HFSS انجام شد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که نرخ جذب جاذب فراماده پارچه‌ای نزدیک ۱۰۰ % است و همخوانی خوبی میان دو جاذب پیشنهادی وجود دارد.

این فراماده جاذب پارچه‌ای با نرخ جذب تقریباً کامل می‌تواند جهت کاربردهای پوشیدنی از جمله استتار وسایل جنگی و نیروهای نظامی استفاده شود.

پی‌نوشت

۱-دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد

۲-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد