بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

بررسی جذب امواج الکترومغناطیسی در منسوجات پوشش داده شده با ذرات کربن بلک، نانولوله کربن و پودر فلزی

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی نساجی

علیرضا وزیری

اساتید راهنما

دکتر سید مجید مرتضوی

دکتر حسین حسنی

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی نساجی- شیمی نساجی و علوم الیاف

آقای علیرضا وزیری

تحت عنوان

بررسی جذب امواج الکترومغناطیسی در منسوجات پوشش داده شده با ذرات کربن بلک، نانولوله کربن و پودر فلزی

در تاریخ ۸۹/۹/۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- اساتید راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید مجید مرتضوی، دکتر حسین حسنی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد
۳- استاد داور	دکتر حسین توانائی
۴- استاد داور	دکتر امیر برجی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سعید آجلی

تقدیر و تشکر

در آغاز شایسته است تا به رسم بندگی، خداوندگار منان را حمد و سپاس فراوان گویم که همواره یادش مایه آرامش است و یاری‌اش مدام و بی‌منت. از محبت بی‌دریغ پدر و مادر مهربانم که در دوران تحصیل همواره با دلسوزی مشوق و پشتیبانم بوده‌اند و همسر عزیزم که دلگرمی یادش قوت قلبم بود، کمال سپاسگزاری را دارم. هم چنین از زحمات اساتید محترم، مهندسین و دانشجویان صمیمی و مهربان دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان و دوستانی که مرا در این راه یاری نموده‌اند و به ویژه اساتید ارجمند، آقایان دکتر سید مجید مرتضوی، دکتر حسین حسنی و دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد که با راهنمایی‌های خود راه‌گشای اینجانب بوده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر مهربان، مادر فداکار، برادر خوب

و همسر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱
فصل اول: مطالعات و تحقیقات ۲
۱-۱ مقدمه و هدف ۲
۱-۲ طیف الکترومغناطیسی ۴
۱-۳ رادار ۷
۱-۳-۱ تاریخچه استفاده از امواج الکترومغناطیسی در رادار ۷
۱-۳-۲ اصول رادار ۷
۱-۳-۳ انواع رادار ۹
۱-۳-۴ کاربردهای تجهیزات رادار ۹
۱-۴ تکنولوژی استتار و حرکت پنهان ۱۰
۱-۴-۱ سطح مقطع راداری RCS ۱۱
۱-۵ انواع راههای کاهش سطح مقطع راداری ۱۲
۱-۵-۱ شکل‌دهی ۱۲
۱-۵-۲ حذف غیر فعال ۱۳
۱-۵-۳ حذف فعال ۱۴
۱-۵-۴ مواد جاذب رادار (RAM) ۱۴
۱-۶ انواع ساختارهای مواد جاذب رادار ۱۵
۱-۶-۱ لایه دالنباخ ۱۶
۱-۶-۲ پرده سالزبری ۱۶
۱-۶-۳ لایه‌های ژائومن ۱۷
۱-۷ اساس کار پرده سالزبری ۱۸
۱-۸ خواص مایکروویو در مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی ۱۹
۱-۸-۱ نفوذپذیری الکتریکی ε ۲۱
۱-۸-۲ تانژانت تلفات $\tan \delta_e$ ۲۱
۱-۹ ترکیبات اساسی یک ماده جاذب مایکروویو ۲۳
۱-۹-۱ ماتریس جاذب ۲۳
۱-۹-۲ پرکن جاذب ۲۳
۱-۱۰ انواع ماتریسهای مورد استفاده در جاذب امواج ۲۳
۱-۱۰-۱ الاستومرها ۲۳
۱-۱۰-۲ رزین‌ها ۲۴
۱-۱۰-۳ فوم‌ها و لانه زنبوری‌ها ۲۴
۱-۱۱ انواع پرکنهای مورد استفاده در جاذبها برای جذب امواج ۲۵

۱-۱۱-۱ فریتها ۲۵
۱-۱۱-۲ کربن ۲۵
۱-۱۲ مروری بر خواص و کاربردهای کربن ۲۶
۱-۱۲-۱ مقدمه ۲۶
۱-۱۲-۲ خواص مورفولوژیکی ۲۶
۱-۱۲-۳ اندازه دانه ۲۷
۱-۱۲-۴ سطح جانبی ۲۷
۱-۱۲-۵ هدایت الکتریکی ۲۸
۱-۱۲-۶ مکانیزم هدایت الکتریکی در ترکیبات حاوی کربن ۲۸
۱-۱۲-۷ رسانایی حاصل از کربن بلک در کامپوزیتها ۲۹
۱-۱۳ مروری بر ساختار و خواص نانو لوله‌های کربن ۳۰
۱-۱۳-۱ معرفی نانولوله‌های کربنی ۳۰
۱-۱۳-۲ دامنه کاربرد نانولوله کربن ۳۱
۱-۱۳-۳ مشخصات نانولوله کربن ۳۲
۱-۱۳-۴ روشهای تولید نانو لوله کربنی ۳۲
۱-۱۴ مروری بر پارچه‌های اسپیسر و کاربرد آنها ۳۳
۱-۱۴-۱ خواص پارچه‌های اسپیسر ۳۳
۱-۱۴-۲ کاربرد پارچه‌های اسپیسر در صنایع گوناگون ۳۴
۱-۱۵ مروری بر چاپ رنگدانهها روی پارچه ۳۴
۱-۱۵-۱ غلظت دهنده امولسیون ۳۵
۱-۱۶ پوشش‌دهی و لایه‌گذاری بر روی منسوجات ۳۶
۱-۱۶-۱ محصولات پوشش‌دهی ۳۶
۱-۱۶-۲ انواع و روش‌های پوشش‌دهی ۳۷
۱-۱۷ استفاده از روش تاگوچی جهت طراحی و تحلیل آزمایشها ۳۹
۱-۱۷-۱ پیشینه روش تاگوچی ۳۹
۱-۱۷-۲ اندازه‌گیری شاخص کیفیت محصول ۴۰
۱-۱۷-۳ طراحی آزمایش به روش تاگوچی ۴۰
۱-۱۸ مروری بر تحقیقات انجام شده پیشین ۴۱
۱-۱۸-۱ پیشینه‌ی استفاده از مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی ۴۱
۱-۱۸-۲ تأثیر نوع و ساختار منسوج بر جذب امواج رادار ۴۲
۱-۱۸-۳ توسعه کامپوزیتهای جاذب رادار RAS برای محدوده بسامد باند X ۴۳
۱-۱۸-۴ مواد منعکس‌کننده رادار جهت استتار و قابلیت دید کمتر ۴۳
۱-۱۸-۵ اندازه گیری سطح مقطع راداری صفحات نازک جاذب مایکروویو در باند X (۸ تا ۱۲ GHz) ۴۴
۱-۱۸-۶ خواص مایکروویو و انعکاسی جاذب کامپوزیتی رسانای پلی استر/کربن پوست نخل ۴۵
۱-۱۹ ضرورت انجام تحقیق ۴۶
فصل دوم: تجربیات، روشها و آزمایشها **۴۸**

۲-۱ مشخصات منسوجات و مواد مصرفی ۴۸
۲-۱-۱ منسوجات مورد استفاده ۴۸
۲-۱-۲ مواد مصرفی ۵۰
۲-۲ دستگاهها، تجهیزات و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۵۱
۲-۳ عکس‌برداری ابعاد ذرات کربن توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM ۵۲
۲-۴ ارزیابی ابعاد ذرات کربن توسط میکروسکوپ نیروی الکترونی AFM ۵۲
۲-۵ ارزیابی مقاومت الکتریکی چند نوع منسوج ۵۳
۲-۶ رنگرزی پارچه پنبه‌ای با رنگ مستقیم و نحوه تهیه محلول رنگرزی ۵۴
۲-۷ استفاده از چاپ پیگمنت جهت کاربرد کربن در سطح منسوج ۵۴
۲-۷-۱ نحوه تهیه غلظت دهنده امولسیون برای چاپ پیگمنت ۵۵
۲-۷-۲ نحوه تهیه خمیر چاپ محتوی کربن برای چاپ پیگمنت ۵۵
۲-۸ آزمایشهای چاپ منسوج با خمیر حاوی کربن ۵۶
۲-۸-۱ چاپ خمیر کربن بر روی منسوج ۵۶
۲-۸-۲ نحوه بررسی پارامتر ضخامت در رفتار رسانایی لایه‌های چاپ شده ۵۷
۲-۹ استفاده از فلزات در خمیر چاپ جهت افزایش رسانایی سطحی منسوج چاپ شده ۵۷
۲-۹-۱ بررسی رسانایی سطحی با کاربرد پودر آلومینیوم در محتوی چاپ پیگمنت ۵۷
۲-۹-۲ اثر پودر آلومینیوم بر میزان رسانایی سطحی نمونه‌های چاپ شده ۵۸
۲-۹-۳ اثر پودر آلومینیوم بر میزان رسانایی سطحی نمونه A8 ..... ۵۸
۲-۹-۴ بررسی رسانایی سطحی با کاربرد پودر مس در محتوی چاپ پیگمنت ۵۹
۲-۹-۵ اثر بیندر بر رسانایی سطحی با کاربرد پودر مس در محتوی چاپ پیگمنت ۶۰
۲-۱۰ ارزیابی مقاومت سطحی منسوجات چاپ شده و پوشش‌دهی شده ۶۰
۲-۱۱ نحوه تهیه مواد و پوشش‌دهی پارچه با مواد محتوی کربن ۶۱
۲-۱۲ آزمایش جذب امواج در اتاق آنتن به صورت فضای باز ۶۲
۲-۱۲-۱ نحوه تهیه نمونه آزمایش اتاق آنتن ۶۲
۲-۱۲-۲ اتاق آزمایش آنتن ۶۳
۲-۱۲-۳ آزمایش انعکاس و جذب امواج رادار با استفاده از تجهیزات موج‌بَر ۶۴
فصل سوم: بحث و بررسی نتایج ٦٦
۳-۱ ارزیابی ابعاد ذرات کربن بلک مورد استفاده ۶۶
۳-۱-۱ بررسی نتایج آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM ۶۶
۳-۱-۲ بررسی نتایج آزمایش میکروسکوپ نیروی اتمی AFM ۶۷
۳-۲ ارزیابی مقاومت الکترواستاتیک منسوجات مختلف ۶۹
۳-۳ بررسی مقاومت الکترواستاتیک پارچه رنگرزی شده ۶۹
۳-۴ بررسی رسانایی سطحی در منسوجات چاپ شده با لایه تلفاتی ۷۰
۳-۴-۱ ارزیابی رسانایی سطحی منسوجات چاپ شده با مواد محتوی کربن بلک ۷۰
۳-۴-۲ بررسی پارامتر ضخامت در رفتار رسانایی لایه‌های چاپ شده ۷۲

۳-۴-۳ بررسی آزمون جانبی تشخیص علت بریدگی خمیر چاپ ۷۴
۳-۵ بررسی تأثیر پودر آلومینیوم بر رسانایی سطحی ۷۵
۳-۶ بررسی تأثیر پودر مس بر رسانایی سطحی ۷۸
۳-۶-۱ بررسی رسانایی سطحی با افزایش ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ درصد فلز مس ۷۸
۳-۶-۲ بررسی اثر مقدار بیندر در خمیر چاپ حاوی پودر مس بر رسانایی سطحی ۷۹
۳-۷ بررسی و تحلیل نتایج آزمایشهای جذب امواج توسط منسوجات پوشش دهی شده ۸۰
۳-۷-۱ بررسی و ارزیابی نتایج نمونه آزمایش اتاق آنتن ۸۰
۳-۸ استفاده از روش تاگوچی جهت طراحی آزمایشها ۸۳
۳-۸-۱ استفاده از آرایه L_{18} تاگوچی برای آزمایشها ۸۴
۳-۸-۲ انتخاب مقادیر مورد نظر نانولوله کربن در لایه تلفاتی برای آزمایشهای تاگوچی ۸۷
۳-۹ بررسی و تحلیل نتایج آزمایشهای جذب امواج رادار به روش تاگوچی ۸۸
۳-۹-۱ بررسی تأثیر هر یک از پارامترها بر جذب امواج باند X ۸۸
۳-۹-۲ بررسی تأثیر هر یک از پارامترها بر جذب امواج باند Ku ۸۹
۳-۹-۳ بررسی تأثیر سطوح پارامترهای نوع مواد و ضخامت لایه تلفاتی بر جذب امواج باند X ۹۰
۳-۹-۴ بررسی تأثیر سطوح پارامترهای جنس پارچه تافته و ضخامت اسپیسر بر جذب امواج باند X ۹۱
۳-۹-۵ بررسی تأثیر سطوح پارامترهای نوع مواد و ضخامت لایه تلفاتی بر جذب امواج باند Ku ۹۲
۳-۹-۶ بررسی تأثیر سطوح پارامترهای جنس پارچه و ضخامت اسپیسر بر جذب امواج باند Ku ۹۳
۳-۹-۷ بررسی آزمون واریانس جهت معنیداری تغییرات پارامترها ۹۵
۳-۱۰ بررسی نمونه‌های شماره ۱ و ۱۵ تاگوچی به عنوان جاذبهای بهینه ۹۶
نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات **۹۸**
۴-۱ جمع بندی و نتیجهگیری ۹۸
۴-۲ پیشنهادها ۱۰۱
مراجع ۱۰۲

چکیده

در صنایع نظامی، ویژگی‌های الکترواپتیکی و الکترومغناطیسی پارچه‌های با ساختار خاص که با مواد ویژه‌ای تکمیل شده‌اند، نقش مهمی در تولید منسوجات با قابلیت اختفای بالا در برابر امواج رادار ایفا می‌کند. این به معنای پنهان ماندن از دید رادار و عدم امکان تعیین حرکات اهداف از طرف دشمن با استفاده از رادار و دیگر حسگرهای الکترواپتیکی است. در این پژوهش به معرفی انواع روشهای استتار در برابر تجهیزات رادار پرداخته شده است. بر این اساس انواع ساختارهای جاذب رادار معرفی و جهت طراحی و ساخت چنین پوششهایی، از ساختاری تک لایه با عنوان "پرده سالزبری" استفاده شده است. منسوجات مختلفی از جمله پارچه‌های اِسپیسِر در طراحی و ساخت پوشش جاذب رادار باند X و Ku مورد استفاده قرار گرفت. در ساختار این پوشش از کربن بلک و نانولوله کربن به عنوان مواد تلفاتی رسانا استفاده شده و همچنین تأثیر پودر فلزاتی از قبیل مس و آلومینیوم در کارایی جاذب مورد بررسی قرار گرفته است. این مواد به وسیله تکنیک‌های چاپ و پوشش‌دهی منسوجات، روی پارچه‌های مورد نظر به کار گرفته شده است.تأثیر پارامترهای نوع مواد تلفاتی، ضخامت لایه تلفاتی، ضخامت پارچه اسپیسر و جنس پارچه پوشش دهی شده در جذب امواج الکترومغناطیسی GHz ۸-۱۸ بررسی گردید. جهت بهینه‌سازی هزینه‌ها و تعداد آزمایشهای جذب امواج رادار و همچنین تحلیل آماری و سیستماتیک نتایج، از روش طراحی آزمایش تاگوچی استفاده شد. تأثیر پارامترهای مختلف در آزمایشها و معنی‌داری پارامترهای مورد نظر و نیز رفتار سطوح مختلف هر یک از پارامترها در فرکانسهای مختلف، با استفاده از نرم افزار Minitab بررسی و تحلیل گردید. مشخص گردید که تغییرات پارامترهای نوع مواد تلفاتی و ضخامت پارچه اسپیسر از لحاظ آماری در نتایج آزمایش معنی دار است. به عنوان نتیجه نمونه‌هایی حاصل گردید که توانایی جذب ۹۹/۹۷ درصد امواج الکترومغناطیسی فرکانس ۱۰ گیگاهرتز را دارند. همچنین در پهنای باند ۸ تا ۱۵ گیگاهرتز، قادر به جذب ۹۰ درصد از امواج و در پهنای باند ۹/۳ تا ۱۲/۵ گیگاهرتز، قادر به جذب ۹۷ درصد از امواج است.

فصل اول
مطالعات و تحقیقات

۱-۱ مقدمه و هدف

امواج الکترومغناطیسی بر حسب بسامدشان به نام‌های گوناگونی از جمله امواج رادیویی، ریزموج، فروسرخ (مادون قرمز)، نور مرئی، فرابنفش، پرتو ایکس و پرتو گاما خوانده می‌شوند. امواج الکترومغناطیسی ناشی از تشعشعات طبیعی و میدان‌های مغناطیسی ساخته دست بشر که توسط تجهیزات و دستگاه‌های الکتریکی تولید می‌گردد، همواره در پیرامون ما وجود دارد. محیط الکترومغناطیسی طبیعی، از منابع زمینی و پیرامون زمین تولید می‌شود. پدیده‌هایی مانند تخلیه الکتریکی در جو زمین و تشعشعات ناشی از خورشید و فضا مواردی از آن است[۱و۲].

تحقیقات زیادی در جهان انجام شده که اثرات خطرناک امواج مختلف رادیوئی، راداری و دیگر امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان را اثبات می‌کند. متخصص قلب و رئیس انجمن سلامت محیط زیست فرانسه اعلام کرد با وجود جدید بودن فناوری‌ها و پیامدهای آن‌ها، تحقیقات متعدد، از عوارض ناگوار امواج بر جسم و روح انسان خبر داده‌اند. بر اساس این گزارش[۳]، تحقیقات نشان داده است که امواج الکترومغناطیسی میزان هورمون ملاتونین (هورمون خواب) را که خواص ضد سرطانی دارد، کاهش می‌دهند. این امواج هم‌چنین بر امواج مغزی نیز اثر می گذارند. به تازگی نیز تحقیقی در مصر نشان داد که این امواج تغییراتی در آهنگ ضربان قلبی جنین ایجاد می‌کنند. به گزارش گروه ترجمه آژانس خبری فناوری اطلاعات و ارتباطات (ایستنا)، نتیجه تحقیقات

دانشمندان نشان می‌دهد که پارازیت‌های ماهواره‌ای مانند تشعشعات آنتن‌های BTS[1] تلفن همراه بر سلامتی افرادی که در معرض این امواج قرار دارند، تاثیرات بسیار زیان‌باری دارد[۴].

مرور موارد یاد شده و آگاهی از ده‌ها مورد مشابه دیگر، ضرورت انجام تحقیقات گسترده در مورد انواع روش-ها و راههای جلوگیری از تابش ناخواسته امواج الکترومغناطیسی و در نتیجه طراحی حفاظ‌ها و پوشش‌های حفاظتی و جاذب امواج الکترومغناطیسی را بیشتر می‌نماید. در دهه‌های اخیر استفاده از امواج الکترومغناطیسی در صنایع مختلف افزایش چشم‌گیری یافته است و به پوشش‌هایی احتیاج است که بتوانند اثرات نامطلوب و مخرب این امواج را کاهش دهند، تعدیل نموده و یا کاملا حذف کنند. از آن‌جایی که این امواج نقش اساسی در راه اندازی وسایل کاربردی مختلف دارند، عدم استفاده از این وسایل و یا کاهش شدت و قدرت امواج در آن‌ها امکان‌پذیر نیست. بنابراین باید به راهکارهایی جهت جلوگیری از تابش این امواج بر محیط زندگی و بدن افرادی که با آن‌ها بیشتر سروکار دارند، توجه اساسی شود. جاذب‌های امواج الکترومغناطیسی می‌توانند به صورت پوششی از برخورد این امواج با هدف مورد نظر جلوگیری نمایند[۵].

تجربه جنگ تحمیلی و هشت سال دفاع مقدس به وضوح روشن ساخت که وجود سیستم‌های امنیتی پیشرفته و تجهیزات پدافند هوایی مدرن نقش حیاتی در مقابله علیه تهاجمات دشمن ایفا می‌نماید. امروزه با پیشرفت دستگاههای شناسایی الکترونیکی از قبیل رادار و مادون قرمز، قابلیت شناسایی و کشف اهداف توسط جنگ افزارهای زمینی و هوایی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است و بنابراین دستیابی به تکنولوژی استتار در برابر امواج و تجهیزات رادار در حملات نیروهای دشمن، اهمیت فراوانی یافته است. در همین راستا تکنیک‌های جدیدی جهت استتار هواپیماهای ویژه جاسوسی و بمب‌افکن‌ها توسعه یافته است. بنابراین دسترسی به علوم و فنون اختفا و استتار تجهیزات و ادوات جنگی، امری لازم و حیاتی است. در این زمینه پیشرفتهایی جهت اختفای طبیعی و مصنوعی در برابر دید انسان و دوربین های دید در شب مادون قرمز صورت گرفته است.

امروزه استفاده از منسوجات در حوزه‌های مختلف زندگی چنان گسترده گردیده که هیچ بخشی از جنبه‌های زندگی انسان بدون استفاده مؤثر از آن‌ها امکان‌پذیر نیست. بر همین اساس در چند دهه اخیر، محصولات نساجی در فناوری‌های نوین نقش مهمی یافته‌اند، به طوری که منسوجاتی نظیر منسوجات پزشکی، منسوجات صنعتی و منسوجات نظامی دایره مصرف وسیعی را در بر گرفته‌اند. این گستره وسیع، از منسوجات عمومی بیمارستانی تا الیاف و پارچه‌های به کار رفته به عنوان بافت‌های پیوندی و اعضای بدن و یا انواع فیلترهای صنعتی را شامل می‌گردد. در این بین، منسوجاتی که به عنوان پوشش در کاربردهای گوناگون استفاده می‌شود از توجه ویژه‌ای برخوردار است. این پوشش‌ها شامل کاربردهایی نظیر چادرهای خواب، چادرهای اتومبیل، پوشش‌های صنعتی، پوشش‌های ضدآب و یا ضد حریق و غیره هستند. هر کدام از این پوشش‌ها در دامنه استفاده‌ی خود، به عنوان حفاظ یا مانع به‌کار می-رود.

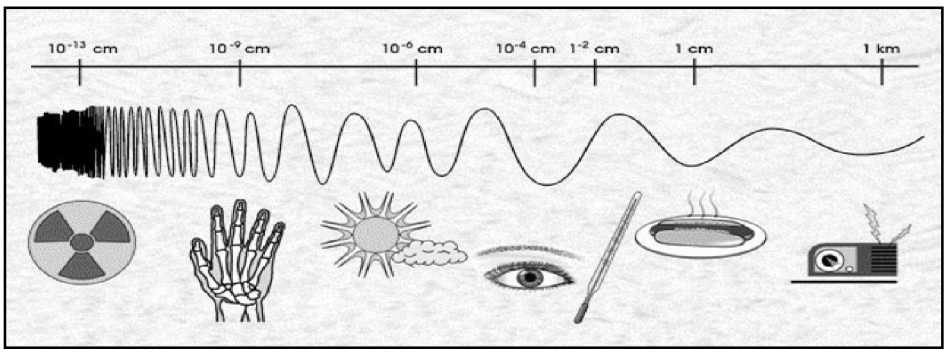
[1] Base Tranceiver Station

با الهام از این ایده‌ها، در این پژوهش، با روش‌های تکمیل، چاپ و پوشش‌دهی، منسوجات ویژه‌ای به عنوان پوشش برای جذب امواج الکترومغناطیسی طراحی و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. این پوشش‌ها را می‌توان بسته به نوع بسامد امواج، در زمینه‌های مختلف صنعتی، پزشکی، خانگی و به ویژه نظامی به کار گرفت. در این پژوهش با استفاده از ترکیب پارچه‌های سه بعدی موسوم به اسپیسر[1] و پارچه تافته و در ادامه پوشش دهی آن با استفاده از ذرات کربن بلک و هم‌چنین نانولوله چند جداره کربن به بررسی جذب امواج الکترومغناطیسی توسط چنین پوششی پرداخته شده است. با ترکیب دانسته‌های علوم امواج الکترومغناطیسی با شاخه علوم مهندسی نساجی، منسوجاتی تولید گردیده است که می‌توان از آن‌ها به عنوان پوشش‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی استفاده کرد. در این پژوهش عموما امواج الکترومغناطیسی مایکروویو موسوم به باند X و Ku مورد بررسی قرار گرفته است. این امواج بسامدی در محدوده ۸ تا ۱۸ گیگاهرتز دارند و در ماهواره‌ها، رادارهای رهگیری و شناسایی هواپیماها، جنگ‌افزارها، ادوات نظامی و غیره به کار می‌روند[۶].

در این پژوهش، برای جذب انرژی الکترومغناطیسی، از نانوذرات کربن بلک و نانولوله کربن به عنوان ماده تلفاتی در ساختار جاذب امواج الکترومغناطیسی استفاده شده که موجب تلفات انرژی می‌گردد. تلفات انرژی به صورت تبدیل انرژی الکترومغناطیسی به انرژی گرمایی صورت می‌گیرد[۷]. همچنین تأثیر پودر فلزات آلومینیوم و مس در مواد تلفاتی بر کارایی جاذب رادار مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲ طیف الکترومغناطیسی

طیف الکترومغناطیسی، بازه وسیعی از امواج با کاربردهای متفاوت را شامل می‌گردد. این بازه، طول موج‌های کمتر از 10^{-15} متر تا طول موج‌هایی در مقیاس کیلومتر را در بر می‌گیرد. امواجی مانند پرتوهای گاما و پرتوهای X در ابتدا و سپس پرتوهای مادون قرمز، نور مرئی و ماوراءبنفش و در انتهای طیف الکترومغناطیسی، امواج رادیویی و امواج صوتی وجود دارند(شکل ۱-۱)[۲].



شکل ۱-۱ طرحی از گستره امواج الکترومغناطیسی [۲و۵]

[1] Spacer Fabric

بدیهی است که این محدوده وسیع، موجب می‌گردد استفاده از این امواج در جنبه‌های مختلف علـوم و زنـدگی بشر مورد توجه قرار گیرد. در ادامه نمونه‌هایی از کاربردهای مختلف طیف الکترومغناطیسی آورده شده است.

- امواجی با طول موج کمتر از نانومتر به علت بسـامد بـالا کابردهـای صـنعتی ویـژه‌ای دارنـد. پرتوهـای گامـا و پرتوهای ایکس کاربردی در مصارف صنعتی، پزشکی و رادیولوژی از این دسته امواج محسوب می‌شوند. این محدوده از امواج، بسامدی بیش از $۱۰^{۱۷}$ هرتز دارند. (شکل ۱-۲).

شکل ۱-۲ کاربردهای امواج الکترومغناطیسی با طول موج کمتر از نانومتر[۸]

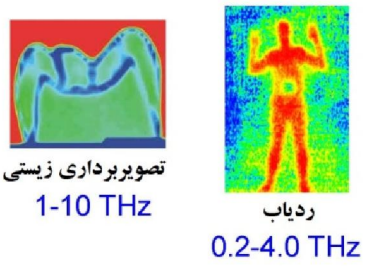
- امواجی با طول موج ۱ نـانومتر تـا ۱۰ میکرومتـر شـامل مـادون قرمـز، مرئـی و مـاوراء بـنفش مـی‌باشـد. امـواج الکترومغناطیسی در محدوده مذکور در دندانپزشکی، سولاریوم[۱]، دستگاه‌های کنترل از راه دور، دید در شب، نورهای مختلف رنگی و انتقال داده از طریق فیبرهای نوری استفاده می‌گردد. بسـامد ایـن امـواج $۱۰^{۱۳}$ تـا $۱۰^{۱۷}$ هرتز است(شکل ۱-۳).

شکل ۱-۳ کاربرد امواج با طول موج ۱ نانومتر تا ۱۰ میکرومتر[۸]

- امواجی با طول موج ۱۰ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر، مرز میان امواج نور مرئی و امـواج مـایکروویو مـی‌باشـند. ایـن دسته از امواج به سبب محدوده بسامدشان (در محدوده ۱ تِراهرتز) موسوم به امواج تِراهرتز هستند. همـان طـور که شکل ۱-۴ نشان می‌دهد اساساً از این طیف، در زمینه‌های عکسـبرداری از یاختـه‌هـا و موجـودات زیسـتی و همچنین ردیابی اجسام استفاده می‌شود.

---

[۱] استفاده از پرتوهای ویژه‌ی نور خورشید جهت تغییر رنگ پوست و حمام آفتاب



شکل ۱-۴ کاربرد امواج تراهرتز با طول موج ۱۰ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر[۸]

- امواجی با طول موج ۱ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر عموما به نام امواج مایکروویو[1] یا ریزموج شناخته می‌شوند. این امواج در دستگاههای پرکاربردی چون تلفن همراه، مایکروفر و انواع رادارها استفاده می‌شود(شکل ۱-۵). این امواج بسامدی در محدوده ۱ تا ۱۰۰ گیگاهرتز دارد.

شکل ۱-۵ کاربرد امواج مایکروویو با طول موج ۱ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر[۸]

- امواجی با طول موج ۱۰ سانتی‌متر تا چند کیلومتر عموما در کاربردهای صدا و سیما و بی‌سیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسامد این امواج از چند هرتز که امواج صوتی محدوده شنوایی انسان می‌باشد تا چند صد مگاهرتز گستردگی دارد. مجموع این امواج و امواج مایکروویو، امواج رادیویی نامیده می‌شود[۲،۵و۸](شکل ۱-۶).

شکل ۱-۶ کاربرد امواج مایکروویو با طول موج ۱۰ سانتی‌متر تا چند کیلومتر [۸]

[1] Microwave

۱-۳ رادار

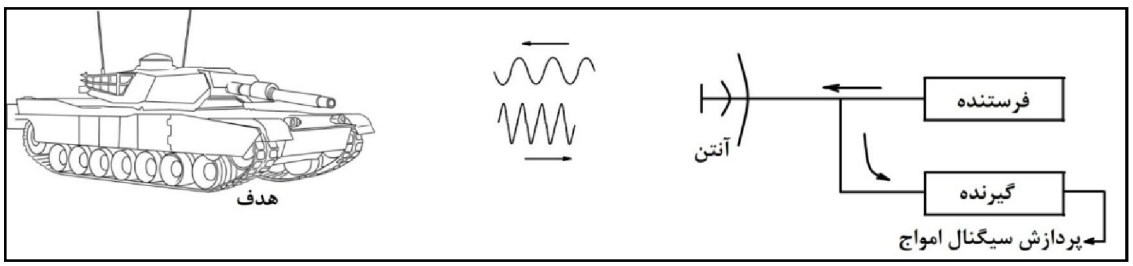
رادار یک دستگاه رادیویی است که با ارسال و دریافت امواج رادیویی برای شناسایی و ردیابی اجسام متحرک و اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های آنها مانند سرعت و ارتفاع و غیره به‌کار می‌رود. واژه رادار به معنای آشکارسازی به کمک امواج رادیویی[۱] است. توسعه و کاربرد اصلی رادار در صنایع نظامی و هوانوردی است [۶].

۱-۳-۱ تاریخچه استفاده از امواج الکترومغناطیسی در رادار

اولین تجربه در مورد بازتابش امواج رادیویی توسط هرتز[۲][۶] آلمانی در سال ۱۸۸۶ بدست آمد. پس از گذشت مدت زمان کمی، اولین رادار که از آن برای آشکارسازی کشتی‌ها استفاده شد، مورد بهره برداری قرار گرفت. در سالهای ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ پیشرفت‌هایی در جهت ساخت رادار با قابلیت تعیین فاصله اهداف صورت گرفت. اولین رادارهای تصویری در طی جنگ جهانی دوم برای آشکارسازی و موقعیت‌یابی کشتی‌ها و هواپیماها استفاده شد. بعد از جنگ جهانی دوم، رادار پروازی با دید جانبی[۳] (SLAR) جهت جستجوی اهداف نظامی و کشف مناطق نظامی ساخته شد. این گونه رادارها با داشتن آنتن در سمت چپ و راست مسیر پرواز، قادر به تفکیک دقیقتر اهداف مورد نظر بودند. در سال ۱۹۵۰ با توسعه سیستم‌های SLAR و تکنولوژی رادار دهانه ترکیبی[۴] (SAR)، گامی در جهت دستیابی به تصاویر با کیفیت بالا برداشته شد. در سال ۱۹۶۰ از رادارهای هوایی و فضایی علاوه بر کاربردهای نظامی، در نقشه برداری‌های جغرافیایی و اکتشافات علمی و غیره نیز استفاده گردید [۶و۹].

۱-۳-۲ اصول رادار

اجزاء تشکیل‌دهنده یک سیستم رادار، فرستنده، گیرنده، آنتن و تجهیزات الکترونیکی جهت ثبت و پردازش اطلاعات می‌باشد(شکل ۱-۷). فرستنده پالس‌های کوتاه مایکروویو را که بوسیله آنتن رادار به صورت پرتو متمرکز می‌شوند با فاصله زمانی معین تولید می‌کند. آنتن رادار بخشی از امواج بازتابیده شده از سطوح مختلف را دریافت می‌کند.



شکل ۱-۷ نمایی از روش کار تجهیزات رادار [۶]

---

۱ واژه RADAR مخفف کلمات Radio Detection And Ranging است.

[2] Hertz
[3] Side Looking Airborne Radar
[4] Synthetic Aperture Radar

با اندازه‌گیری مدت زمان ارسال پالس و دریافت پژواک‌های پراکنده شده از اشیاء مختلف می‌توان فاصله آنها و در نتیجه موقعیت آنها را تعیین نمود. با ثبت و پردازش سیگنال امواج بازتابیده توسط حسگر، تصویر دو بعدی از سطح مورد نظر تشکیل می‌گردد[۶و۹].

از آنجایی که گستره طیف امواج مایکروویو نسبت به طیف‌های مرئی و مادون قرمز وسیع‌تر می‌باشد لذا اکثر رادارها از این طیف استفاده می‌کنند. در رادارهای تصویری اغلب از طول موج‌های زیر استفاده می‌شود:

K_a-band, k-band, k_u-band, X-band, C-band, S-band, L-band

با توجه به جدول ۱-۱ تمامی طول موج‌های استفاده شده در رادارهای تصویری در محدوده سانتی‌متر است. طول موج رادار در نحوه تشکیل تصویر موثر می‌باشد. با افزایش طول موج، شاهد تصاویر با کیفیت بهتر می‌باشیم و علت آن، تغییر در نحوه فعل و انفعال سیگنال با سطح اشیاء می‌باشد[۹و۱۰].

جدول ۱-۱ بسامدهای مربوط به باند رادار [۱۱]

BAND	FREQUENCY
HF	3 MHz - 30 MHz
VHF	30 MHz - 300 MHz
UHF	300 MHz - 1000 MHz
L	1000 MHz - 2000 MHz
S	2000 MHz - 4000 MHz
C	4000 MHz - 8000 MHz
X	8000 MHz - 12000 MHz
K_u	12 GHz - 18 GHz
K	18 GHz - 27 GHz
K_a	27 GHz - 40 GHz
V	40 GHz - 75 GHz
W	75 GHz - 110 GHz

ویژگی‌های رادار نسبت به دید چشمی عبارتند از: برد زیاد، عدم وابستگی به وجود نور، عبور امواج از موانع و امکان اندازه‌گیری دقیق مشخصه‌هایی مانند فاصله، ارتفاع، سرعت.

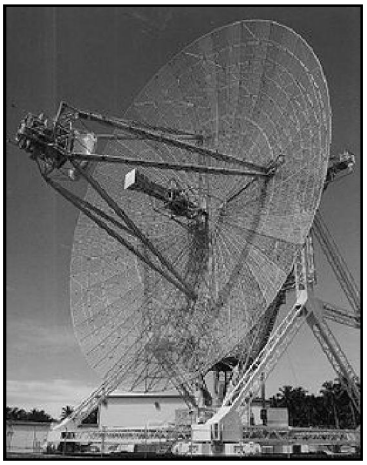
فاصله رادار تا هدف توسط اندازه‌گیری زمان ارسال و دریافت سیگنال تعیین می‌شود. طبق این روش، فاصله تا هدف از رابطه (۱-۱) به دست می‌آید [۶و۱۰].

$$R = \frac{Ct}{2} \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه، t زمان اندازه‌گیری شده برای ارسال و دریافت سیگنال است و C سرعت امواج الکترومغناطیسی در هوا تقریباً برابر با ۳×۱۰^{۸} m/s است.

۱-۳-۳انواع رادار

نوعاً رادارها به دو صورت رادار منواستاتیک[1] و بای‌استاتیک[2] وجود دارند. بنا به دلایلی از جمله صرفه‌جویی در هزینه، آنتنِ فرستنده و گیرنده رادار منواستاتیک، مشترک بوده و هر رادار تنها یک آنتن دارد (شکل ۱-۸). لذا استفاده از آنتن به صورت زمانی بین فرستنده و گیرنده تقسیم می شود به این معنا که زمانی که آنتن در اختیار فرستنده است فرآیند دریافت و زمانی که آنتن در اختیار گیرنده است فرآیند ارسال متوقف می‌شود. رادارها از نظر ساختار به دو دسته رادار پالسی و رادار موج پیوسته تقسیم می شوند [۶و۹].



شکل ۱-۸ یک آنتن رادار دوربرد معروف به آلتیر (altair) برای ردیابی اشیاء فضایی، این رادار در آبسنگ کواجالین مستقر است.[۱۲]

۱-۳-٤ کاربردهای تجهیزات رادار

زمانی از رادار استفاده می‌شود که غالباً یکی از اهداف زیر مد نظر باشد:

الف) تشخیص وجود یک جسم در فواصل دور که معمولاً در حال حرکت است. نظارت و رهگیری هواپیماها، موشکها، اهداف دریایی و زمینی از جمله مثالهای آن می‌باشد. رادارها قادرند اجسام ثابت و حتی اجسامی که در زیر خاک یا آوار مدفون شده اند را نیز تشخیص دهند. در بعضی موارد رادارها می‌توانند نوع جسمی را که کشف کرده‌اند مشخص کنند، به عنوان مثال رادارهای مورد استفاده در صنایع هوایی قادرند نوع هواپیما را هم تشخیص دهند.

ب) تشخیص سرعت حرکت یک جسم که از دلایل استفاده پلیس از تجهیزات راداری است. در برخی از کشورها پلیس از رادار برای شناسایی خودروهای با سرعت غیر مجاز استفاده می‌کند. امروزه رادارهای پلیس از تکنولوژی لیزر برای بدست آوردن سرعت اتومبیل‌ها برخوردار گشته‌اند که این رادار های لیزری را لیدار[3] می‌نامند. لیدارها به جای امواج صوتی از نور استفاده می‌کنند.

---

[1] Monostatic
[2] Bistatic
[3] Lidar

ج) نقشه برداری از سطوح؛ برخی سفینه‌های فضایی و ماهواره‌ها مجهز به رادار دهانه ترکیبی هستند که از آن برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی[1] از سطح سیاره‌ها و اجسام فضایی دیگر استفاده می‌کنند[۹و۱۰].

د) هواشناسان برای ردیابی و تعیین سرعت و موقعیت طوفان‌ها، تندبادها و توده‌های هوا از تجهیزات راداری بهره می‌جویند.

۱-٤ تکنولوژی استتار[2] و حرکت پنهان[3]

تکنولوژی حرکت پنهان که به نام تکنیک قابلیت شناسایی کم نیز شناخته می‌شود از جمله تاکتیک‌های نظامی و پدافند غیر عامل به شمار می‌رود. این تکنولوژی گستره‌ای از روش‌های کاربردی برای افراد، هواپیماها، کشتی‌ها، زیردریایی‌ها، موشک‌ها و دیگر ادوات نظامی را شامل می‌شود که باعث کاهش قابلیت دید (و در حالت ایده آل، نامرئی شدن) آن‌ها در برابر روش‌های تشخیص مانند رادار، مادون قرمز، سونار[4] و دیگر روش‌ها می‌گردد[۱۳].

پیشرفت این حرفه در ایالات متحده در سال ۱۹۵۸ آغاز شد. زمانی که تلاش برای جلوگیری از ردیابی هواپیمای جاسوسی U-2 آمریکا در برابر رادار اتحاد جماهیر شوروی در طی جنگ سرد با شکست روبرو شد. طراحان به توسعه اشکال ویژه‌ای برای هواپیماها پرداختند تا بتوانند با پراکنده ساختن امواج رادار، قابلیت تشخیص آن را کاهش دهند. مواد جاذب رادار نیز مورد آزمون قرار گرفت و برای کاهش یا ممانعت از سیگنال‌های رادار منعکس شده از سطوح هواپیماها بکار رفت. چنین تغییراتی در شکل بدنه و نوع مواد کاربردی، تکنولوژی حرکت پنهان را تشکیل می‌داد که هم اکنون نیز در بمب افکن نهان‌روی B-2 spirit استفاده می‌شود. در طول دهه‌ها، میلیون‌ها دلار برای توسعه این اهداف صرف شد، اما تنها کشوری که از نظر اقتصادی توانایی این تکنولوژی را دارد ایالت متحده است[۱۴].

ایده حرکت پنهان یا نهان رَوی عبارتست از انجام عملیات و یا اختفا، بدون دادن هر علامتی از نیروهای خودی به دشمن. این ایده در ابتدا از طریق استتار مورد کاوش قرار گرفت که بصورت اختلاط با زمینه‌ای بود که از نظر بصری در هم ریخته باشد. از آنجا که توانایی دانش فنی تشخیص و رهگیری در طول زمان افزایش یافته است، طراحی و اجرای هر یک از این فنون برای افراد و تجهیزات نیز تحت تأثیر قرار گرفته است. به عنوان مثال بعضی لباس‌های نظامی برای کاهش علائم مادون قرمز با مواد شیمیایی ویژه تکمیل می‌شوند.

تعریف استتار، مخفی کردن خود و تجهیزات از دید دشمن می‌باشد و بر دو نوع است:

الف) استتار طبیعی: معمولاً توسط اشیاء مجاور مانند بوته‌ها، علف‌ها و کنده درخت‌ها صورت می‌گیرد و نیازی به تغییر دادن در آنها برای استفاده نمی‌باشد.

---

[1] Topography
[2] Camouflage
[3] Stealth technology

[4] دستگاه ردیاب صوتی برای زیردریایی‌ها