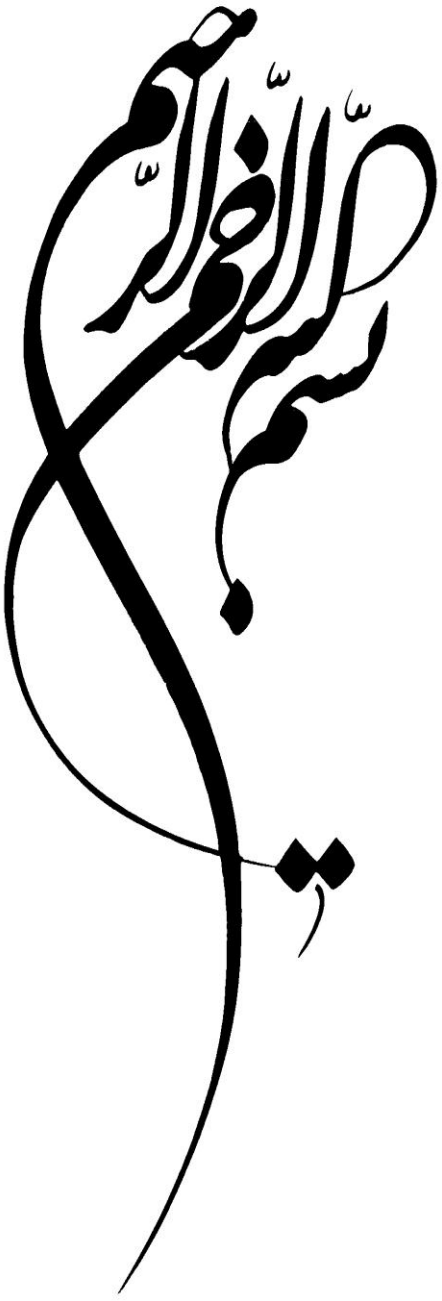

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی نساجی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی

بررسی میزان انعکاس امواج ماکروویو در پارچه‌های تاری-پودی با ساختار مختلف

استاد راهنما :

دکتر اسفندیار اختیاری

استاد مشاور :

دکتر رضا صراف شیرازی

پژوهش و نگارش :

فاطمه معدنی

بهمن ماه ۱۳۹۱

تقدیم به مهربان فرشتگانی که

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن،عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست

تقدیم به خانواده عزیزم.

و

تقدیم به او که سالهاست در انتظارش نشسته ایم...

شاید این جمعه بیاید....

شاید.....

سپاس:

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر اسفندیار اختیاری استاد راهنما و جناب آقای دکتر رضا صراف شیرازی استاد مشاورم که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

و در پایان از مسئولین کارخانه یزدباف مهندس آستانه داری، آقای طباطبایی و آقای شامی‌باف و مسئولین مرکز ماکروویو یزد مهندس سلطانی و مهندس رجایی جهت همکاری بیدریغ ایشان برای پیشبرد این پایان نامه سپاسگذارم.

چکیده:

استفاده از دستگاه های الکترونیکی با توسعه ی تکنولوژی افزایش یافته است. مدارهای الکترونیکی انرژی منفی بسوی انسان پراکنده می کنند. به تازگی، جلوگیری از رسیدن امواج الکترومغناطیسی به انسان یک موضوع مهم است. پیشگیری از برخورد امواج الکترومغناطیسی برای صنایع دفاع و بخش مخابرات نیز اهمیت دارد. امواج در برخورد با مواد عبور می کنند، جذب می شوند و یا منعکس می شوند.

در این تحقیق میزان حفاظت امواج ماکروویو توسط پارچه های تاری- پودی با ساختارهای مختلف به وسیله خطوط انتقال کواکسیال در آزمایشگاه ماکروویو و در محدوده فرکانس ۱۷۰۰- ۲۷۰۰ مگاهرتز و میزان جذب و انعکاس امواج در محدوده فرکانس۲۲۰۰- ۲۷۰۰ مگاهرتز اندازه-گیری شد. سیم های فلزی به عنوان پود در ساختار پارچه با تراکم ۱۵و ۲۵ و ۳۵ pick/cm وتار یکسان پنبه/پلی استر قرار گرفته‌اند. اثر طرح بافت، قطر سیم و تعداد لایه های پارچه در جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که طرح بافت ساتین ۷ در فرکانس های پایین و سرژه۳/۱ در فرکانس های بالا حفاظت، انعکاس و جذب بهتری نسبت به تافته داشتند. مشاهده شد قطر سیم هرچه بیشتر باشد، پارچه حفاظت و انعکاس بیشتری داشتند و در نهایت از مقایسه پارچه های دولا با زاویه قرارگیری سیمها نسبت به هم(۰و ۴۵ و ۹۰ درجه) مشاهده شد که حفاظت پارچه دولا با قرارگیری سیمها به صورت عمود و چهل و پنج درجه نسبت به هم بیشتر از قرار گرفتن سیمها به صورت موازی می باشد. نتایج نشان داد در مقایسه حفاظت پارچه های با پود مس و آلومینیوم جذب امواج ماکروویو برای سیم مس بهتر از آلومینیوم بود و تراکم بیشتر فلز موجب جذب بیشتر شده است.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱ پیشگفتار ۱

۱-۲ امواج الکترومغناطیس ۲

۱-۲-۱ امواج ماکروویو ۷

۱-۲-۲ کاربردهای امواج الکترومغناطیسی ۸

۱-۲-۳ رادار ۹

۱-۲-۳-۱ اصول کار رادار ۹

۱-۲-۳-۲ امواج و محدوده فرکانس رادار ۱۱

۱-۲-۴ تعامل مایکروویو با مواد ۱۲

۱-۲-۵ امواج الکترومغناطیس و انسان ۱۴

۱-۳ مقدمه‌ای بر جاذب‌های امواج الکترومغناطیس ۱۶

۱-۴ مواد جاذب ۱۸

۱-۴-۱ کربن ۱۹

۱-۴-۱-۱کربن بلک ۱۹

۱-۴-۱-۲نانو لوله کربن ۲۱

۱-۴-۲ فلزات ۲۳

۱-۴-۳ فریت ۲۴

۱-۴-۴ پلیمرهای رسانا ۲۴

۱-۴-۴-۱ پلی آنیلین ۲۵

۱-۴-۴-۲ پلی پیرول ۲۶

۱-۵ وسایل اندازه گیری ۲۶

۱-۵-۱ تجهیزات موج بر ۲۶

۱-۵-۲ اتاق آنتن ۲۷
۱-۶ ضرورت استفاده از پارچه های فلزدار ۲۸
۱-۷ منسوجات و جذب امواج الکترومغناطیس ۳۰
۱-۸ مروری بر تحقیقات انجام گرفته ۳۱
۱-۸-۱ اثرحفاظت الکترومغناطیسی پارچه های مسی با بافتهای مختلف ۳۱
۱-۸-۲ بازده محافظت الکترومغناطیسی(EMSE) در پارچه ها با فیلامنت های پلی استر فلزکاری شده: ۳۱
۱-۸-۳ فاکتورهای موثر بر عملکرد جذب رادار منسوجات با ساختارهای مختلف ۳۳
۱-۸-۴ اثر پارامترهای مختلف بر روی بازده محافظت الکترومغناطیسی منسوجات ۳۴
۱-۸-۵ بازده ی محافظت الکترومغناطیسی مواد بافته شده از نخ های مس/پنبه ۳۵
۱-۸-۶ اثر پارچه های شامل استیل ضد زنگ بر بازده محافظتی ۳۷
۱-۸-۷ خواص جذب امواج الکترومغناطیس در کامپوزیت زمینه پلیمری فریت باریم نوع M با جایگزینی کاتیونهای Zr,Mn ۳۸
۱-۸-۸ اثر حفاظتی پارچه حلقوی با ساختار ویژه در برابر امواج ماکروویو ۳۹
۱-۸-۹ بررسی اثرحفاظتی پارچه های تاری پودی در برابر امواج الکترومغناطیس ۳۹
۱-۸-۱۰ مدل سازی اثر حفاظتی الکترومغناطیسی پارچه بافته شده از سیم رسانا ۴۰
۱-۸-۱۱ حفاظت امواج الکترومغناطیس برای پارچه هایی با نخ مس/ پلی اتیلن ترفتالات ۴۱
فصل دوم: آزمایش‌ها
۲-۱ مقدمه ۴۴
۲-۲ بافت نمونه‌ها ۴۴
۲-۲-۱ دستگاه بافندگی ۴۴
۲-۲-۲ مشخصات نمونه‌ها ۴۴

۲-۲-۳ سیم فلزی ۴۶
۲-۳ تجهیزات آزمایشگاه ماکروویو ۴۸
۲-۳-۱خطوط انتقال ۴۸
۲-۳-۲ مولد سیگنال ۵۱
۲-۳-۳ اسپکتروم آنالایزر ۵۲
۲-۳-۴ آنتن ۵۳
۲-۳-۵ تضعیف کننده ۵۳
۲-۳-۶ دوران دهنده ۵۴
۲-۳-۷ power meter ۵۴
۲-۴ روش آزمایش برای محاسبه میزان حفاظت، انعکاس و جذب امواج توسط نمونه ها
..... ۵۵
۲-۴-۱ مفاهیم dBm و db ۵۶
فصل سوم: بحث و بررسی
۳-۱ مقدمه ۵۹
۳-۲ اصول کلی تجزیه و تحلیل آماری نمونه‌ها ۵۹
۳-۳ اثر تراکم ۶۰
۳-۳-۱ اثر تراکم بر میزان حفاظت امواج الکترومغناطیسی ۶۰
۳-۳-۲ اثر تراکم بر میزان انعکاس امواج الکترومغناطیسی ۶۱
۳-۳-۳ اثر تراکم بر میزان جذب امواج الکترومغناطیسی ۶۲
۳-۴ اثر جنس نمونه‌ها ۶۳
۳-۴-۱ اثر جنس نمونه‌ها بر میزان حفاظت امواج الکترومغناطیسی ۶۳
۳-۴-۲ اثر جنس نمونه‌ها بر میزان انعکاس امواج الکترومغناطیسی ۶۴
۳-۴-۳ اثر جنس نمونه‌ها بر میزان جذب امواج الکترومغناطیسی ۶۵

۳-۵ اثر طرح بافت ۶۶
۳-۵-۱ اثر طرح بافت بر میزان حفاظت امواج الکترومغناطیسی ۶۶
۳-۵-۲ اثر طرح بافت بر میزان انعکاس امواج الکترومغناطیسی ۶۸
۳-۵-۳ اثر طرح بافت بر میزان جذب امواج الکترومغناطیسی ۶۹
۳-۶ اثر قطر سیم ۷۰
۳-۶-۱ اثر قطر سیم بر میزان حفاظت امواج الکترومغناطیسی ۷۰
۳-۶-۲ اثر قطر سیم بر میزان انعکاس امواج الکترومغناطیسی ۷۱
۳-۶-۳ اثر قطر سیم بر میزان جذب امواج الکترومغناطیسی ۷۲
۳-۷ اثر جهت قرار گیری سیم در پارچه ۷۳
۳-۷-۱ اثر جهت قرار گیری سیم در پارچه بر میزان حفاظت امواج الکترومغناطیسی ۷۳
۳-۷-۲ اثر جهت قرار گیری سیم در پارچه بر میزان انعکاس امواج الکترومغناطیسی ۷۴
۳-۷-۳ اثر جهت قرار گیری سیم در پارچه بر میزان جذب امواج الکترومغناطیسی ۷۵
۳-۸ اثر پارامترهای مختلف بر درصد انعکاس امواج ماکروویو ۷۶
فصل چهارم: نتیجه‌گیری
۴-۱ نتیجه‌گیری ۸۰
۴-۲ پیشنهادات ۸۱
پیوست‌ها ۸۲
منابع ۹۸

فهرست جداول

۱-۱ تقسیم بندی امواج الکترومغناطیس ۵

۱-۲ رسانایی فلزات ۲۳

۲-۱ مشخصات نمونه ها ۴۵

۲-۲ خواص هادی مس و آلومینیوم ۴۷

۲-۳ خواص فیزیکی مس و آلومینیوم ۴۸

۲-۴ مقایسه خطوط انتقال رایج در مایکروویو ۴۹

۲-۵ میزان محافظت نمونه‌ها ۵۷

۳-۱۳-۱ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان حفاظت امواج در تراکم‌های مختلف ۶۱

۳-۲۳-۱ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان انعکاس امواج در تراکم‌های مختلف ۶۱

۳-۳ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان جذب امواج در تراکم‌های مختلف ۶۲

۳-۴ مقایسه میانگین حفاظت امواج در دوجنس مس و آلومینیوم ۶۳

۳-۵ مقایسه میانگین انعکاس امواج در دوجنس مس و آلومینیوم ۶۵

۳-۶ مقایسه میانگین جذب امواج در دوجنس مس و آلومینیوم ۶۶

۳-۷ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان حفاظت امواج در طرح بافت‌های مختلف ۶۷

۳-۷ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان انعکاس امواج در طرح بافت‌های مختلف ۶۸

۳-۹ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان جذب امواج در طرح بافت‌های مختلف ۶۹

۳-۱۰ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان حفاظت امواج در تراکم‌های مختلف ۷۰

۳-۱۱ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان انعکاس امواج در تراکم‌های مختلف ۷۱

۳-۱۲ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان جذب امواج در تراکم‌های مختلف ۷۲

۳-۱۳ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان حفاظت امواج در پارچه های تک لایه و دولایه با جهت گیری مختلف سیمها ۷۳

۳-۱۴ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان انعکاس امواج در پارچه های تک لایه و دولایه با جهت گیری مختلف سیم‌ها ۷۵
۳-۱۵ خروجی آزمون F برای مقایسه میزان جذب امواج در پارچه های تک لایه و دولایه با جهت گیری مختلف سیم‌ها ۷۵

فهرست شکل‌ها

۱-۱ برهمکنش میدان الکتریکی ومغناطیسی ۳
۱-۲طیف امواج الکترومغناطیس و کاربرد آن‌ها ۴
۱-۳ امواج الکترومغناظیس ۷
۱-۴ اصول کار رادار ۹
۱-۵ امواج و محدوده فرکانس مورد استفاده در رادار ۱۱
۱-۶ رادارها و باند مورد استفاده‌ی آن‌ها ۱۱
۱-۷ آلوتروپ‌های کربن موجود در طبیعت ۱۹
۱-۸ نانولوله‌ی کربنی، گرافیتی است که به شکل لوله در می‌آید ۲۲
۱-۹ انواع نانولوله ها ۲۲
۱-۱۰ رسانایی پلیمرهای رسانا و فلزات ۲۴
۱-۱۱ ساختار پلی آنیلین ۲۵
۱-۱۲ ساختار پلی پیرول ۲۶
۱-۱۳ نمای شماتیک کانال موج ۲۶
۱-۱۴ تجهیزات موج بر ۲۷
۱-۱۵ تجهیزات اتاق آنتن شامل اتاق ناپژواک، فرستنده وگیرنده‌ی امواج ۲۷
۱-۱۶ چرخش ۳۶۰ درجه کالا ۲۸
۱-۱۷ اثر حفاظتی کالا در مقابل امواج الکترومغناطیس ۳۰
۱-۱۸ تاثیر نرخ تخلل پارچه بر بازده محافظتی ۳۲

۱-۱۹ تاثیر ضخامت بر بازده‌ی محافظتی ۳۲
۱-۲۰ توان بازگشتی جاذب برحسب دسی بل ۳۴
۱-۲۱ اثر طرح بافت بر بازده ی محافظت الکترومغناطیس ۳۶
۱-۲۲ اثر تراکم نخ استیل بر *ESME* ۳۷
۱-۲۳ اثر در صد فلز روی میزان حفاظت الکترومغناطیسی ۴۰
۱-۲۴ اثر تراکم پودی روی میزان حفاظت الکترومغناطیسی ۴۰
۱-۲۵ اثر تراکم بر میزان حفاظت امواج ماکروویو ۴۱
۱-۲۵ پارچه های تاری- پودی ۴۲
۱-۲۷ حفاظت نمونه ها در فرکانس ۱۵- ۳۰۰۰ مگاهرتز ۴۲
۲-۱ ماشین بافندگی ۴۴
۲-۲ سیم‌های فلزی ۴۶
۲-۳ ساختار خطوط انتقال مختلف ۴۹
۲-۴ اجزای کابل کواکسیال ۵۰
۲-۵ اتصال دهنده ۵۱
۲-۶ Synthesized Sweep Generator ۵۲
۲-۷ اسپکتروم آنالایزر ۵۲
۲-۸ آنتن ۵۳
۲-۹ شکل و ساختار یک سیرکولاتور و کاربرد آن ۵۴
۲-۱۰ پاور متر، سیگتال زنراتور و اسپکتروم آنالایزر ۵۵
۲-۱۱ نحوه قرار گیری اجزا آزمایش ۵۵
۲-۱۲ امواج در برخورد با نمونه‌ها ۵۶
۳-۱ مقایسه میزان حفاظت الکترومغناطیسی در تراکم‌های مختلف ۶۰
۳-۲ مقایسه میزان انعکاس الکترومغناطیسی در تراکم‌های مختلف ۶۲

۳-۳ مقایسه میزان جذب الکترومغناطیسی در تراکم‌های مختلف ۶۳
۳-۴ مقایسه میزان حفاظت الکترومغناطیسی درجنس سیم مختلف ۶۴
۳-۵ مقایسه میزان انعکاس الکترومغناطیسی در جنس سیم مختلف ۶۵
۳-۶ مقایسه میزان جذب الکترومغناطیسی در جنس سیم مختلف ۶۶
۳-۷ مقایسه میزان حفاظت الکترومغناطیسی در بافت‌های مختلف ۶۷
۳-۸ مقایسه میزان انعکاس الکترومغناطیسی در بافت‌های مختلف ۶۸
۳-۹ مقایسه میزان جذب الکترومغناطیسی در بافت‌های مختلف ۶۹
۳-۱۰ مقایسه میزان حفاظت الکترومغناطیسی در قطر سیم‌های مختلف ۷۰
۳-۱۱ مقایسه میزان انعکاس الکترومغناطیسی برای قطر سیم مختلف ۷۱
۳-۱۲ مقایسه میزان جذب الکترومغناطیسی در قطر سیم‌های مختلف ۷۲
۳-۱۳ مقایسه میزان حفاظت الکترومغناطیسی در در پارچه های تک لایه و دولایه با جهت گیری مختلف سیمها ۷۴
۳-۱۴ مقایسه میزان انعکاس مغناطیسی در در پارچه های تک لایه و دولایه با جهت گیری مختلف سیمها ۷۴
۳-۱۵ مقایسه میانگین میزان جذب مغناطیسی در در پارچه های تک لایه و دولایه با جهت گیری مختلف سیمها ۷۶
۳-۱۶ اثر تراکم بر درصد انعکاس امواج ۷۶
۳-۱۷ اثر جنس سیم فلزی بر درصد انعکاس امواج ۷۷
۳-۱۸ اثر نوع بافت بر درصد انعکاس امواج ۷۷
۳-۱۹ اثر قطر سیم بر درصد انعکاس امواج ۷۸
۳-۲۰ اثر جهت‌گیری تعداد لایه‌ها بر درصد انعکاس امواج ۷۸

فصل اول :

کلیات

۱-۱ پیشگفتار:

میدانها و تابش‌های الکترومغناطیس از ویژگی‌های محیطی جوامع امروزی هستند. در سالهای اخیر که کاربرد وسایل الکتریکی و الکترونیکی به سرعت رشد داشته مباحث استحفاظ الکترومغناطیسی اهمیت یافته است. استحفاظ الکترومغناطیسی فرآیندی است که باعث کاهش انتقال تشعشعات الکترومغناطیسی به انسان و تجهیزات می گردد و مانع تداخل امواج الکترومغناطیسی می شود. منسوجات به دلیل خواص ویژه، در زمینه ی جذب امواج الکترومغناطیس مورد توجه قرار گرفته‌اند. از طرفی با پیشرفت دستگاه های شناسایی از قبیل رادار و مادون قرمز، قابلیت شناسایی و کشف اهداف توسط ادوات جنگی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است در نتیجه دستیابی به تکنولوژی استتار در برابر امواج و تجهیزات رادار در حملات نیروهای دشمن اهمیت فراوانی یافته است. بنابراین دسترسی به علوم و فنون اختفا و استتار تجهیزات جنگی امری لازم و ضروری می باشد.

۱-۲ امواج الکترومغناطیس:

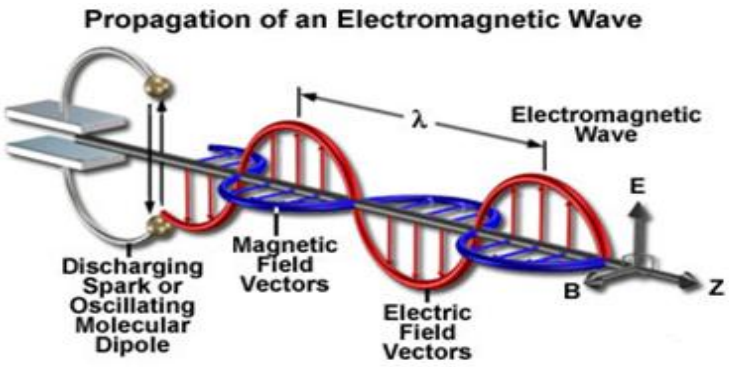
مبدا علم الکتریسیته به مشاهده معروف تالس ملطی در ۶۰۰ سال قبل از میلاد بر میگردد. در آن زمان تالس متوجه شد که یک تکه کهربای مالش داده شده خرده های کاغذ را میرباید. از طرف دیگر مبدا علم مغناطیس به مشاهده این واقعیت برمیگردد که بعضی از سنگها (یعنی سنگهای ماگنتیت) بطور طبیعی آهن را جذب می‌کند. این دو علم تا سال ۱۱۹۹-۱۸۲۰ به موازات هم تکامل می یافتند. هانس کریستان اورستد (۱۷۷۷-۱۸۵۱) مشاهده کرد که جریان الکتریکی در یک سیستم میتواند عقربه قطب نمای مغناطیسی را تحت تاثیر قرار دهد. بدین ترتیب الکترومغناطیس به عنوان یک علم مطرح شد. این علم جدید توسط بسیاری از پژوهشگران که مهمترین آنان مایکل فاراده بود تکامل بیشتری یافت. جیمز کلارک ماکسول قوانین الکترومغناطیس را به شکلی که امروزه می‌شناسیم، در آورد. این قوانین که معادلات ماکسول نامیده میشوند، همان نقشی را در الکترومغناطیس دارند که قوانین حرکت و گرانش در مکانیک دارا هستند.

یکی از نتایج بسیار مهم معادلات ماکسول ، مفهوم طیف الکترومغناطیسی است که حاصل کشف تجربی موج رادیویی است. قسمت عمده فیزیک امواج الکترومغناطیسی را از چشمه‌های ماورای زمین دریافت می‌کنیم و در واقع همه آگاهی هایی که درباره جهان داریم از این طریق به ما می‌رسد. بدیهی است که فیزیک امواج الکترو مغناطیسی خارج از زمین در گسترده نور مرئی از آغاز خلقت بشر مشاهده شده‌اند. در طیف فیزیک امواج الکترو مغناطیس که از برهمکنش میدان الکتریکی و مغناطیسی بوجود می آید (شکل ۱-۱) هیچ شکافی وجود ندارد. یعنی هر فرکانس دلخواه را می‌توانیم تولید کنیم .

برای مقیاس‌های بسامد یا طول موج ، هیچ حد بالا یا پائین تعیین شده ای وجود ندارد . قسمت عمده این فیزیک امواج دارای منبع فرازمینی هستند. فیزیک امواج الکترومغناطیسی جزو امواج عرضی هستند. فیزیک امواج الکترومغناطیسی از طولانی‌ترین موج رادیویی ، با طول

موج‌های معادل چندین کیلومتر ، شروع شده پس از گذر از موج رادیویی متوسط و کوتاه تا نواحی کهموج ، فروسرخ و مرئی امتداد می‌یابد. بعد از ناحیه مرئی فرابنفش قرار دارد که خود منتهی به نواحی اشعه ایکس ، اشعه گاما و پرتوی کیهانی می‌شود. نموداری از این طیف که در آن نواحی قراردادی طیفی نشان داده می‌شوند در شکل۱-۲ آمده است که این تقسیم بندی‌ها جز برای ناحیه دقیقا تعریف شده مرئی لزوما اختیارینند. [۱]

پدیده‌های الکترومغناطیسی در فیزیک کلاسیک تحت قوانین ماکسول بررسی می‌گردد. طبق نظریه ماکسول[۱] هرذره باردار متحرک از خود انرژی ساطع می‌کند. امواج الکترومغناطیسی گستره ی وسیعی از امواج را از نظر طول موج و فرکانس شامل می شود. این امواج از نظر ماهیت و سرعت کاملا یکسان هستند و تنها در طول موج و فرکانسشان تفاوت وجود دارد. انتشار این امواج نیازی به محیط مادی ندارد. [۲]

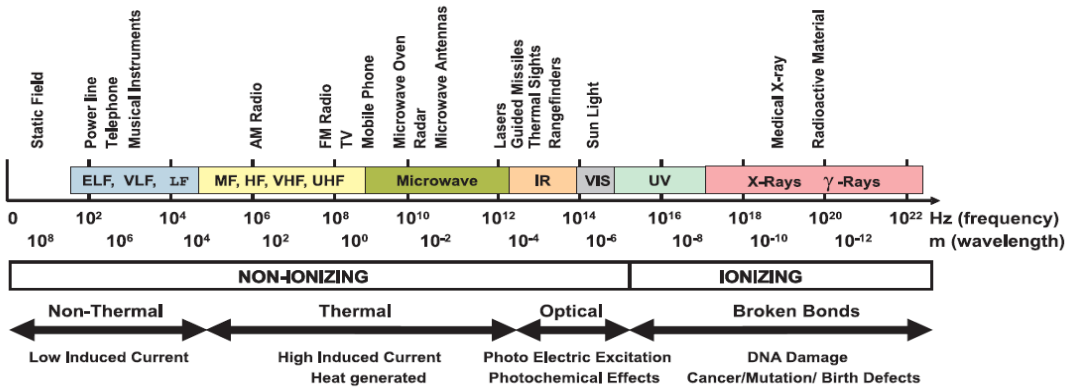


شکل ۱-۱ برهمکنش میدان الکتریکی ومغناطیسی[۲]

بازه ی امواج الکترومغناطیس طول موج هایی در مقیاس کیلومتر مانند امواج رادیویی تا طول موج های کم تر از 10^{-15} مانند پرتوهای گاما را در برمی گیرد.

---

۱. Maxwell



شکل۱-۲ طیف امواج الکترومغناطیس و کاربرد آن ها[۳]

این محدوده ی وسیع باعث افزایش کاربرد این امواج در زمینه های مختلف می گردد. طول موج های کم تر از نانومتر که امواج گاما و ایکس هستند در مصارف صنعتی و پزشکی کاربرد دارند.

امواج مادون قرمز، مرئی و ماورای بنفش که دارای طول موج ۱ نانومتر تا ۱۰میکرومتر می باشند در مواردی چون دستگاه های کنترل از راه دور، دیدبانی در شب، دندانپزشکی و انتقال اطلاعات به وسیله ی فیبر نوری و... استفاده می گردند.

برای عکسبرداری و ردیابی اجسام از امواج با طول موج ۱۰میکرومتر تا ۱ میلی متر استفاده می گردد.

امواج ۱ میلی متر تا ۱۰سانتی متر که ماکروویو نامیده می شوند در کاربردهایی چون تلفن همراه، مایکروفر و رادارها مورد استفاده واقع می شوند.

امواج با طول موج ۱۰ سانتی متر تا چندین کیلومتر در صدا و سیما کاربرد دارند.[۳]

طول موج یک سیگنال الکترومغناطیسی با فرکانس یا بسامد آن رابطه معکوس دارد، بدین معنی که بالاترین فرکانس کوتاه ترین طول موج را دارا می‌باشد. (جدول ۱-۱) در کل سیگنال‌های

با طول موج‌های بلند تر مسافت بیشتری را می‌پیمایند و از قابلیت نفوذ بهتری در میان اجسام در برابر سیگنال‌های دارای طول موج کوتاه برخوردارند. [۴]

جدول ۱-۱ تقسیم بندی امواج الکترومغناطیس [۴]

نام موج	بسآمد
اشعه گاما	از فرکانس ۱۳۰ اگزا هرتز تا ۱۳۰۰ اگزا هرتز
اشعه ایکس سخت (HX)	از فرکانس ۱۳ اگزا هرتز تا ۱۳۰ اگزا هرتز
اشعه ایکس نرم (SX)	از فرکانس ۳۰ پتا هرتز تا ۱۳ اگزا هرتز
اشعه فرا بنفش دور (EUV)	از فرکانس ۳ پتا هرتز تا ۳۳ پتا هرتز
اشعه فرا بنفش نزدیک (NUV)	از فرکانس ۷۵۰ ترا هرتز تا ۳ پتا هرتز
نور مرئی	از فرکانس ۴۰۰ ترا هرتز تا ۷۵۰ ترا هرتز
فروسرخ نزدیک (NIR)	از فرکانس ۲۱۴ ترا هرتز تا ۴۰۰ ترا هرتز
موج کوتاه فروسرخ (SIR)	از فرکانس ۱۰۰ ترا هرتز تا ۲۱۴ ترا هرتز
موج متوسط فروسرخ (MIR)	از فرکانس ۳۷,۵ ترا هرتز تا ۱۰۰ ترا هرتز
موج بلند فروسرخ (HIR)	از فرکانس ۲۰ ترا هرتز تا ۳۷,۵ ترا هرتز
فروسرخ بسیار دور (FIR)	از فرکانس ۳۰۰ گیگا هرتز تا ۲۰ ترا هرتز
بسامد مافوق بالا (EHF) (ریزموج)	از فرکانس ۳۰ گیگا هرتز تا ۳۰۰ گیگا هرتز
بسامد بسیار بالا (SHF) (ریزموج)	از فرکانس ۳ گیگا هرتز تا ۳۰ گیگا هرتز
بسامد فرابالا (UHF) (ریزموج)	از فرکانس ۳۰۰ مگا هرتز تا ۳ گیگا هرتز
بسامد خیلی بالا (VHF)	از فرکانس ۳۰ مگا هرتز تا ۳۰۰ مگا هرتز
بسامد بالا (HF)	از فرکانس ۳ مگا هرتز تا ۳۰ مگا هرتز
بسامد متوسط (MF)	از فرکانس ۳۰۰ کیلو هرتز تا ۳ مگا هرتز
بسامد پایین (LF)	از فرکانس ۳۰ کیلو هرتز تا ۳۰۰ کیلو هرتز
بسامد خیلی پایین (VLF)	از فرکانس ۳ کیلو هرتز تا ۳۰ کیلو هرتز
بسامد در حد صوت (VF)	از فرکانس ۳۰۰ هرتز تا ۳ کیلو هرتز
بسامد بسیار پایین (ELF)	از فرکانس ۳۰ هرتز تا ۳۰۰ هرتز

در زیر بخشی از کاربردهای این امواج با ذکر محدوده فرکانسی آمده است:

- رادیوهای AM از ۵۳۵ کیلو هرتز تا ۱.۷MHz
- رادیوهای موج کوتاه: ۵۰۹ MHz تا ۲۶.۱ MHz

- رادیوهای باند شهری: MHz۲٦.۹٦ تا MHz۲۷.٤۱
- رادیوهایFM :از ۸۸ تا MHz۱۰۸

و برخی تقسیمات جزئی‌تر عبارتند از:

- سیستم‌های دزدگیر، دربازکن بدون سیم پارکینگ و ... : در حدود MHz۴۰
- تلفن‌های بدون سیم متداول: در حدود MHz ٤۰ الي MHz ٥۰
- هواپیماهای مدل کنترلی: در حدودMHz۷۲
- ماشین‌های اسباب‌بازی رادیو کنترلی: درحدود MHz۷٥
- گردنبند ردیابی حیوانات: MHz۲۱٥ الي MHz۲۲۰
- تلفن‌های سلولی (مانند موبایل):MHz۸۲٤ الي MHz۸٤۹
- تلفن‌های جدید بدون سیم:در حدود MHz۹۰۰
- سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای:۱.۲۲۷ MHz الي ۱.٥۷۷ MHz

دردسته بندی امواجی که قبلا ذکر شد هر گروه کاربردهای خاص خود را دارد در زیر برخی از آنها آمده است :

۱-متحرک هوانوردی

۲-ناوبری رادیویی

۳- آماتور

۴-آماتور ماهواره‌ای

۵-پخش همگانی صدا

۶- متحرک خشکی

۷-متحرک دریایی

۸- هواشناسی ماهواره‌ای

۹-تعیین موقعیت رادیویی و ماهواره‌ای