

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأثير امواج الكتر ومغناطيس بر بدن انسان

تدوين و گردآوری:

دکتر مسعود کاوش تهرانی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر

معصومه عباسی

سرشناسه:	کاوش تهرانی، مسعود، ۱۳۴۱-، گردآورنده.
عنوان و نام پدیدآور:	تأثیر امواج الکترومغناطیس بر بدن انسان/ تدوین و گردآوری مسعود کاوش تهرانی، معصومه عباسی.
مشخصات نشر:	تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر. انتشارات ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری:	[۶]، ج، ۱۰۸ ص: مصور(رنگی)، جدول، نمودار(رنگی).
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۷۷۳۶-۸۴-۵
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیبا.
یادداشت:	کتابنامه.
یادداشت:	واژه‌نامه.
موضوع:	الکترومغناطیس.
موضوع:	الکترومغناطیس- اثر فیزیولوژیکی.
موضوع:	الکترومغناطیس- جنبه‌های بهداشتی.
موضوع:	امواج رادیویی- اثر فیزیولوژی.
موضوع:	امواج رادیویی- جنبه‌های بهداشتی.
شناسه افزوده:	عباسی، معصومه، ۱۳۶۹-، گردآورنده.
شناسه افزوده:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر. انتشارات ۱۳۹۸
رده‌بندی کنگره:	QC ۷۶۰
رده‌بندی دیویی:	۵۳۷
کتابشناسی ملی:	۵۸۱۲۸۰۰



عنوان کتاب: تأثیر امواج الکترومغناطیس بر بدن انسان
تدوین و گردآوری: مسعود کاوش تهرانی- معصومه عباسی
ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
طرح روی جلد: مهناز نیک بخت
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: دانشگاه صنعتی مالک اشتر
صفحه‌آرایی رایانه‌ای: مهدی ملایی
ویراستار ادبی: زهرا جاویدی
شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ: اول، پاییز ۱۳۹۸
قیمت: ۴۲۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-7736-84-5

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.
نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، معاونت پژوهش و فناوری،
مدیریت دانش، انتشارات. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست مطالب

پیشگفتار مولف	أ
جدول اختصارات	ت
جدول نمادها	ج
فصل اول: مروری بر امواج الکترومغناطیس	۳
۱-۱- ماهیت امواج الکترومغناطیس	۳
۲-۱- روابط حاکم بر امواج الکترومغناطیس	۴
۳-۱- طیف موج الکترومغناطیس	۶
۴-۱- امواج الکترومغناطیس یونیزه و غیر یونیزه کننده	۷
فصل دوم: کاربرد امواج رادیویی در ابزارهای مورد استفاده‌ی روزانه	۱۳
۱-۲- مقدمه	۱۳
۲-۲- اساس کار فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی	۱۳
۳-۲- برجهای انتقال یا ارسال رادیو و تلفن همراه	۱۴
۴-۲- وای فای (Wi-Fi)	۱۶
۵-۲- اجاق مایکروفر	۱۶
۶-۲- رادارها	۱۷
۷-۲- دیگر منابع	۱۷
۸-۲- مقایسه میزان تابش برخی منابع امواج رادیویی	۱۷
فصل سوم: تأثیر امواج رادیویی بر سلامتی انسان	۲۱
۱-۳- مقدمه	۲۱
۲-۳- اثرات مستقیم و غیرمستقیم تشعشعات رادیویی بر بدن انسان	۲۱
۱-۲-۳- اثرات مستقیم امواج رادیویی	۲۱
۲-۲-۳- اثرات غیرمستقیم	۲۳
۳-۳- تأثیر امواج رادیویی (به‌ویژه تلفن همراه) روی بخش‌های مختلف بدن	۲۳
۱-۳-۳- تأثیر بر عملکرد هموگلوبین خون	۲۳
۲-۳-۳- تأثیر روی غشاهای سلولی انسان	۲۴
۳-۳-۳- تأثیر در عملکرد مغز	۲۴
۴-۳-۳- تأثیر بر دستگاه عصبی بدن	۲۵
۵-۳-۳- تأثیر بر دستگاه قلب و عروق	۲۶

۲۷.....	۳-۳-۶- سرطان
۲۷.....	۳-۳-۷- تأثیر رادیوگرافی بر بخش‌هایی از بدن
۲۸.....	۳-۳-۸- آمالگام دندان و خطر در معرض تابش امواج الکترومغناطیس قرار گرفتن
۳۰.....	۳-۳-۹- حساسیت شدید الکتریکی
۳۰.....	۳-۳-۱۰- آسیب‌پذیری کودکان در برابر امواج رادیویی
۳۱.....	۳-۳-۱۱- عقیمی
۳۱.....	۳-۳-۱۲- امواج الکترومغناطیس و اثرات دیگر
۳۵.....	فصل چهارم: استانداردها و حدهای مجاز پرتوگیری
۳۵.....	۴-۱- مقدمه
۳۶.....	۴-۲- هدف از ارائه‌ی این متن
۳۷.....	۴-۳- بیشترین حد مجاز
۳۸.....	۴-۴- کارگران در معرض تابش امواج رادیویی و مایکروویو
۳۸.....	۴-۴-۱- حد شدت میدان (محدودیت اندازه میدان)
۴۱.....	۴-۴-۲- محدودیت‌های اساسی نرخ جذب ویژه یا SAR
۴۱.....	۴-۴-۳- حد مجاز برای جریان القایی و تماسی
۴۴.....	۴-۴-۴- حد مجاز شدت قله میدان در میدان‌های پالسی
۴۴.....	۴-۵-۵- در معرض تابش قرار گرفتن افرادی که شغل آن‌ها با امواج رادیویی و مایکروویو ...
۴۴.....	۴-۵-۱- حد مجاز شدت میدان
۴۵.....	۴-۵-۲- محدودیت‌های پایه‌ای نرخ جذب ویژه (SAR)
۴۶.....	۴-۵-۳- حدود مجاز جریان‌های تماسی و القایی
۴۸.....	۴-۵-۴- بیشترین حد مجاز مقدار قله میدان در میدان‌های پالسی
۴۸.....	۴-۶- متوسط زمانی
۴۸.....	۴-۶-۱- بازه‌ی فرکانسی ۰/۰۳ تا ۱۵۰۰۰ مگاهرتز
۴۹.....	۴-۶-۲- فرکانس ۱۵ تا ۳۰۰ گیگاهرتز
۴۹.....	۴-۷- اندازه‌گیری و ارزیابی
۴۹.....	۴-۷-۱- اندازه‌گیری میدان - میانگین‌گیری فضایی
۵۰.....	۴-۷-۲- ارزیابی
۵۰.....	۴-۷-۳- اندازه‌گیری جریان‌های تماسی و القایی
۵۰.....	۴-۸- مکان و نصب
۵۰.....	۴-۸-۱- قواعد پایه
۵۱.....	۴-۸-۲- توصیه‌های عمومی

۵۱	۹-۴- دستگاه‌های تولید گرمایی به وسیله‌ی امواج رادیویی و میکروویو.....
۵۲	۱۰-۴- دستگاه‌های پزشکی و تداخل الکترومغناطیسی.....
۵۲	۱۱-۴- میکروفرها.....
۵۲	۱۲-۴- رادار و دستگاه‌های ارتباطاتی.....
۵۳	۱۳-۴- دستگاه‌های الکتروانفجاری.....
۵۳	۱۴-۴- نکته‌های ایمنی برای کارکنان و نگهبانان دستگاه‌های رادیویی.....
۵۴	۱۵-۴- محافظت از افراد عادی (مردم).....
۵۴	۱۶-۴- دستورالعمل بازرسی درزمینه‌ی امواج رادیویی.....
۵۵	۱۷-۴- توصیه‌ها و ثبت اطلاعات.....
۵۵	۱۸-۴- علامت‌های هشدار.....
۵۵	۱-۱۸-۴- طراحی علامت‌های اعلام‌خطر.....
۵۶	۲-۱۸-۴- علامت‌گذاری مکان‌ها.....
۵۶	۳-۱۸-۴- علامت‌هایی که برای چسباندن به دستگاه‌ها استفاده می‌شود.....

۶۱ فصل پنجم: وسیله‌های اندازه‌گیری میدان.....

۶۱	۱-۵- مقدمه.....
۶۱	۱-۱-۵- وسیله‌های اندازه‌گیری گاوسی.....
۶۲	۲-۱-۵- وسیله‌های اندازه‌گیری در محدوده فرکانس AM رادیویی.....
۶۳	۳-۱-۵- وسیله‌های اندازه‌گیری امواج رادیویی.....

۶۷ پیوست‌ها.....

۶۷	۱- بیشترین حد مجاز پرتوگیری میدان‌های رادیویی.....
۶۹	۲- حداکثر پرتوگیری در بازه‌های زمانی زیر ۰.۱ ساعت و فرکانس‌های زیر ۱۵۰۰۰ MHz.....
۷۰	۳- تقریب میدان‌های تابشی به صورت نظری.....
۷۰	پ-۳-۱- نواحی نزدیک و دور از آنتن.....
۷۴	پ-۳-۲- میدان‌های تولیدکننده میدان نشتی.....
۷۵	پ-۳-۳- توان میانگین امواج پالسی.....
۷۶	پ-۳-۴- آنتن‌های جارویی.....
۷۹	پیوست ۴- حد مجاز برای تابش میدان‌های رادیویی پالس.....
۸۰	پیوست ۵- اندازه‌گیری و ارزیابی.....
۸۰	پ-۵-۱- میدان‌های رادیویی.....
۸۲	پ-۵-۲- نرخ جذب خاص (SAR).....

- پ-۵-۳- جریان تماسی و القایی ۸۴
- پیوست ۶ - تابش پرتو X ۸۶
- پیوست ۷- تغییرات اساسی این نسخه نسبت به ۱۹۹۱ ۸۷
- پ-۷-۱- انتقال دهنده‌های خودکار و موارد معافیتی ۸۷
- پ-۷-۲- متوسط‌گیری زمانی ۸۷
- پ-۷-۳- حد شدت قله میدان ۸۷
- پ-۷-۴- حد جریان تماسی ۸۸
- پ-۷-۵- حد جریان القایی ۸۸
- پ-۷-۶- حدود مجاز SAR ۸۸
- پ-۷-۷- حد شدت میدان‌ها ۸۹
- پ-۷-۸- مرز فرکانس پایین ۳ کیلوهرتز ۸۹
- پیوست ۸ - تعاریف ۹۰
- منابع ۹۷**
- واژه‌نامه ۱۰۳**
- واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۳
- واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ موج تخت الکترومغناطیسی، میدان الکتریکی E و میدان مغناطیسی B و ... ۴.....
- شکل ۱-۲ طیف موج الکترومغناطیس [۲]..... ۸.....
- شکل ۱-۲ نمایی از اجاق‌های مایکروفر همراه با اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن..... ۱۷.....
- شکل ۱-۵ دو گاوس سنج، سمت چپ یک گاوس سنج سه‌جزئی و سمت راست ... ۶۲.....
- شکل ۲-۵ یک نمونه از رادیو AM برای اندازه‌گیری تابش الکتروسیسته کثیف..... ۶۳.....
- شکل ۳-۵ وسیله کنترل موج SMP2 برای محدوده‌ی فرکانسی تا ۶۴.....
- شکل پیوست ۱-۱ بیشینه حد مجاز میدان الکتریکی..... ۶۷.....
- شکل پیوست ۲-۱ بیشینه حد مجاز میدان مغناطیسی..... ۶۷.....
- شکل پیوست ۳-۱ بیشینه حد مجاز جریان القایی و تماسی امواج مایکروویو و رادیویی ... ۶۸.....
- شکل پیوست ۴-۱ بیشینه حد مجاز جریان القایی و تماسی امواج مایکروویو و رادیویی ... ۶۸.....
- شکل پیوست ۱-۳ نوع آنتن و فاصله از آنتن برای نواحی میدان دور و نزدیک و ... ۷۰.....
- شکل پیوست ۲-۳ نمودار تبدیل چگالی توان برحسب شدت میدان الکتریکی..... ۷۳.....
- شکل پیوست ۳-۳ نمودار تبدیل چگالی توان برحسب شدت میدان مغناطیسی ۷۴.....
- شکل پیوست ۴-۳ میدان پالسی..... ۷۵.....
- شکل پیوست ۵-۳ فاکتور کاهش چرخشی در ناحیه میدان نزدیک..... ۷۶.....
- شکل پیوست ۱-۵ محاسبه‌ی متوسط میدان در فرکانس 27 MHz روی میدان الکتریکی ... ۸۲.....
- شکل پیوست ۲-۵ دو نمونه بارز از حالت‌هایی که فرد از طریق لمس جسم رسانای ... ۸۵.....

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ مقایسه میزان تابش برخی منابع تابش ۱۸
- جدول ۱-۴ حدود آستانه مجاز برای کارگرانی که با امواج رادیویی و مایکروویو سروکار دارند ۳۹
- جدول ۲-۴ محدودیت SAR برای کارگرانی که با امواج رادیویی و مایکروویو سروکار دارند ۴۱
- جدول ۳-۴ حد جریان القایی و تماسی امواج رادیویی و مایکروویو برای کارگرانی که در ۴۲
- جدول ۴-۴ حدود جریان القایی و تماسی متوسط برای پرتوگیری‌های متفاوت در ۴۳
- جدول ۴-۵ حدود مجاز تعریف‌شده برای افراد عمومی ۴۵
- جدول ۴-۶ حد مجاز SAR برای افرادی که شغل آن‌ها با امواج رادیویی و رادیویی سروکار ۴۶
- جدول ۴-۷ حدود جریان القایی و تماسی برای افرادی که شغل آن‌ها طوری است که با ۴۷
- جدول ۴-۸ حدود متوسط زمانی جریان‌های القایی و تماسی برای زمان‌های تابش در ۴۷

پیشگفتار

در این کتاب سعی شده که آسیب‌های ناشی از امواج الکترومغناطیس بر بدن انسان مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه امواج و میدان‌های الکترومغناطیسی در گستره‌ی وسیعی از انرژی، فرکانس‌ها و با اثرات متفاوت ساطع می‌شوند، نقش مثبت و منفی در زندگی جانداران، گیاهان و انسان‌ها ایفا می‌کنند. این امواج هم در طبیعت و هم در صنعت وجود دارد، با این تفاوت که وجود امواج الکترومغناطیسی در طبیعت بهینه بوده ولی در صنعت باید به صورت بهینه تولید و مورد استفاده قرار گیرد.

تلفن‌های همراه یکی از پرمصرف‌ترین تجهیزاتی است که تشعشعات الکترومغناطیسی دارد و نقش منفی میدان‌های الکترومغناطیسی و اثرات سوء آن بر اندام‌های زیستی به دلیل نبود دستورالعمل معین، آموزش صحیح بهره‌برداری و استفاده بهینه از سامانه‌های ارتباطی و مخابراتی به ویژه عدم آشنایی کاربران از تداخل و تأثیرات نامطلوب استفاده هم‌زمان تلفن همراه با وسایل دیگر مانند رایانه، ماکروویو، تلویزیون، استفاده از داروهای خاص یا داشتن بیماری و... بوده است.

فرستنده‌های مخابراتی، سامانه‌های رادار و فرستنده‌های رادیویی و تلویزیونی، اجاق‌های ماکروویو، تلفن‌های همراه و بی‌سیم، انواع گیرنده‌های امواج ماهواره و رادیو و تلویزیون از وسایلی هستند که امروزه کاربرد زیادی دارند و انسان را در معرض امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا (امواج رادیویی و مایکروویو) قرار می‌دهند؛ اگرچه اثرات سرطان‌زایی و غیرگرمایی امواج رادیویی و میکرو موج‌ها احتمالی هستند و وجود این اثرات به قطعیت نرسیده ولی رد هم نشده‌اند و به‌عنوان عوامل خطر احتمالی یا زمینه‌ساز همیشه باید مدنظر قرار گیرند. از این رو اکیداً توصیه می‌شود از وسایل و لوازم یادشده تنها در شرایط استاندارد استفاده شود؛ به‌عنوان نمونه هرگونه نشستی از اجاق مایکروفر خانگی در اثر کشیف بودن، استفاده نادرست، ضربه دیدن، خرابی درب دستگاه یا باز نگه‌داشتن در آن هنگام استفاده می‌تواند خطرناک باشد. همیشه باید از سالم بودن وسایل و استاندارد بودن آن‌ها اطمینان حاصل کرد و تنها در شرایط استاندارد از آن‌ها استفاده کرده و به توصیه‌های ایمنی در این زمینه (عدم استفاده از تلفن موبایل در بیمارستان به دلیل اثر آن بر دستگاه‌های حساسی که جان انسان دیگری وابسته به آن است)، عمل کرد.

با توجه به اینکه این موضوع، بحثی موردنیاز جامعه است، کتاب حاضر در حوزه آگاه‌سازی از خطرهای این امواج و پیشگیری از خطرهای احتمالی می‌تواند نقش ایفا کند و مخاطب آن عامه‌ی مردم و کاربرانی که با امواج الکترومغناطیس سروکار دارند و همچنین متخصصان در حوزه الکترومغناطیس، شرکت مخابرات، وزارت بهداشت و درمان و پزشکان و دندان‌پزشکان هستند.

این کتاب شامل پنج فصل است، در فصل اول مختصری در مورد ویژگی‌های امواج الکترومغناطیس صحبت شده و اینکه طیف موج الکترومغناطیس شامل نواحی مختلفی است که هر قسمت با یک میدان الکتریکی و مغناطیسی مشخص می‌شود که دارای فرکانس، طول موج و انرژی خاص است. نواحی مختلف این طیف از نظر محدوده‌ی فرکانس، انرژی، نفوذپذیری و موارد استفاده در صنعت مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل دوم، مختصری در مورد میزان و نحوه‌ی استفاده از امواج رادیویی که در برخی از منابع تابش وجود دارد، بحث خواهد شد.

در فصل سوم آسیب‌هایی که امواج رادیویی بر سلامت انسان می‌توانند داشته باشند، بررسی می‌شود. به‌طور کلی بافت‌های زنده با حداقل دو فرایند از امواج الکترومغناطیس تأثیر می‌پذیرند. مهم‌ترین علت تأثیرگذاری بر بافت زنده در فرکانس رادیویی و مایکرو موج، جذب انرژی به‌وسیله‌ی بافت زنده و ایجاد گرمای ناشی از آن است. این جذب انرژی می‌تواند از یک تحریک سلولی تا گرم شدن بافت و از یک اختلال در عملکرد درون سلولی حتی تا سوختگی سطحی یا عمقی متفاوت باشد. دومین تأثیر مستقیم این پرتوها، القاء جریان الکتریکی - مغناطیسی درون بافت زنده است. این جریان القاشده در بدن به نوبه خود بر جریان‌های داخلی بدن مانند جریان‌های موجود در دستگاه عصبی مرکزی و قلب تأثیر بسیار سوئی خواهند داشت. سایر فرایندها، تاکنون ناشناخته مانده‌اند و بسیاری از اثرات مثل سرطان‌زایی به این فرایند منتسب هستند. اثرات سوء سلامتی امواج میکرو موج و رادیویی در بدن انسان در سه دسته ۱- آثار حرارتی ۲- آثار غیرحرارتی ۳- آثار غیرمستقیم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل چهارم حدهای مجاز پرتوگیری را برای مردم عادی و کارگرانی که به دلیل شغلشان زمان زیادی در معرض تابش امواج رادیویی قرار دارند را بیان می‌کند. حدود مجاز بیان شده در این فصل، از سوی کمیته حفاظت رادیویی سلامت کانادا تهیه شده که نسخه‌ی اولیه‌ی آن در سال ۱۹۹۱ و ویرایش جدید آن در سال ۱۹۹۴ منتشر شده است؛ این متن الزامات استفاده از دستگاه‌های تولیدکننده‌ی امواج رادیویی به‌منظور ایمنی و نکات حفاظتی را بررسی می‌کند.

در فصل پنجم در مورد نحوه‌ی اندازه‌گیری میزان این امواج در محدوده‌ی زندگی و کار افراد با وسیله‌های اندازه‌گیری را بیان می‌کند. در پایان پیوست‌های لازم و واژه‌نامه فارسی به انگلیسی و برعکس و منابع قرار گرفته است.

امید است این کتاب گامی مفید برای آگاه‌سازی افراد جامعه و فرهنگ‌سازی در برابر استفاده از دستگاه‌هایی که این امواج را تولید می‌کنند، باشد.

دکتر مسعود کاوش تهرانی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر

جدول اختصارات

معادل فارسی	معادل لاتین	واژه
سوار کردن اطلاعات روی دامنه‌ی موج	Amplitude Modulation	AM
پایگاه استقرار فرستنده و گیرنده	Base Transceiver Station	BTS
جریان مستقیم	Direct current	DC
الکترومغزنگاری، ثبت فعالیت الکتریکی مغز	Electroencephalography	EEG
اختلاف محدود دامنه‌ی زمانی	Finite Difference Time Domain	FDTD
سوار کردن اطلاعات بر فرکانس موج	Frequency Modulation	FM
سامانه‌ی موقعیت‌یابی جهانی	Global Positioning System	GPS
سیستم جهانی برای ارتباطات تلفن همراه	Global System For Mobile Communication	GSM
آژانس بین‌المللی تحقیق درباره‌ی سرطان	International Agency for Research on Cancer	IARC
تابش فروسرخ	Infrared Radiation	IR
تصویرسازی تشدید مغناطیسی	Magnetic Resonance Imaging	MRI
سولفید سرب	Lead sulfide	PbS
سلنید سرب	Lead selenide	PbSe
سوار کردن اطلاعات بر موج به‌صورت پالسی	Pulse Modulation	PM
فرکانس رادیویی	Radio Frequency	RF

ث ♦ تأثیر امواج الکترومغناطیس بر بدن انسان

ریشه مربع میانگین	Root mean square	RMS
نرخ جذب ویژه	Specific absorption rate	SAR
شبکه‌سازی بی‌سیم	Wireless Fidelity	WiFi

جدول نمادها

تعریف	نماد
انرژی فوتون	W
اندازه‌ی حرکت	p
بردار انتشار	k
بردار چگالی توان پوئین تینگ	S
تراوایی خلأ	μ_0
توان	P
چگالی توان (توان گذرنده از واحد سطح)	S
ثابت پلانک	h
چگالی انرژی	u
چگالی انرژی الکتریکی	u_E
چگالی انرژی مغناطیسی	u_B
چگالی بار الکتریکی	ρ
چگالی جرمی	d_m
حجم	V
حداکثر جریان میانگین مجاز در بازه‌ی زمانی T_{exp}	I_{av}

دامنه‌ی میدان مغناطیسی	B_0
دامنه‌ی میدان الکتریکی	E_0
زمان	t
سرعت نور در خلأ	c
شدت تابش	I
ضریب شکست	n
طول موج	λ
فرکانس	ν
فرکانس زاویه‌ای	ω
گذردهی خلأ	ϵ_0
مدت زمان لازم برای میانگین‌گیری بر حسب دقیقه	T_{ex}
مساحت سطح مقطع	A
میدان الکتریکی	E
میدان مغناطیسی	B
ناحیه فرسوخ	IR
هرتز	Hz

فصل اول

مروری بر امواج الکترومغناطیس

تأثیر امواج الکترومغناطیس بر بدن انسان

فصل اول: مروری بر امواج الکترومغناطیس

۱-۱- ماهیت امواج الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیسی ناشی از آشفتگی در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هستند. در این امواج دو میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم با زمان و مکان نوسان کرده و در جهتی خاص حرکت می‌کنند. امواج الکترومغناطیسی برخلاف امواج مکانیکی برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند. امواج الکترومغناطیسی امواج عرضی هستند، یعنی جهت ارتعاشات میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر جهت انتشار موج است؛ اما امواج مکانیکی می‌تواند هم عرضی و هم طولی (جهت ارتعاش و انتشار یکی است) باشد. امواج الکترومغناطیس ذرات باردار را شامل نمی‌شود؛ اما این امواج در اثر حرکت شتابدار ذره‌ی باردار تولید می‌شوند. البته اگر موج الکترومغناطیس را با دید ذره‌ای نگاه کنیم، آنگاه می‌توانیم به آن تکانه خطی و انرژی نسبت بدهیم. نخستین امواج الکترومغناطیس که انسان تولید و آشکارسازی کرد، به‌وسیله‌ی هرتز در سال ۱۸۸۷ انجام شده است. فرستنده‌ی او بر اساس تخلیه نوسانی در سراسر یک شکاف بود. آنتن گیرنده‌ای که او به کار برد، حلقه‌ای مسی با یک برآمدگی برنجی در یک سر و کره‌ی مسی کوچکی در سر دیگر آن بود. جرقه‌ی ضعیفی که در این دو سر دیده می‌شد، آشکارسازی یک موج الکترومغناطیس فرودی را مشخص می‌کرد.

امواج الکترومغناطیسی، امواج عرضی (جهت انتشار بر جهت نوسان‌های الکترومغناطیسی عمود است، اما امواج مکانیکی می‌تواند عرضی یا طولی باشد) هستند که می‌توانند در خلأ منتشر شده و سرعت آن‌ها در خلأ مقداری ثابت و برابر $c = 2.99799 \times 10^8 \text{ m/s}$ و با دقت ۱/۱ متر بر ثانیه است. خاصیت دیگر این امواج، ذره‌ای بودن آن‌هاست، یعنی دارای انرژی و اندازه حرکت هستند که انرژی، W ، و اندازه حرکت، p ، آن‌ها نسبت مستقیم با فرکانس آن‌ها دارد و از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند.

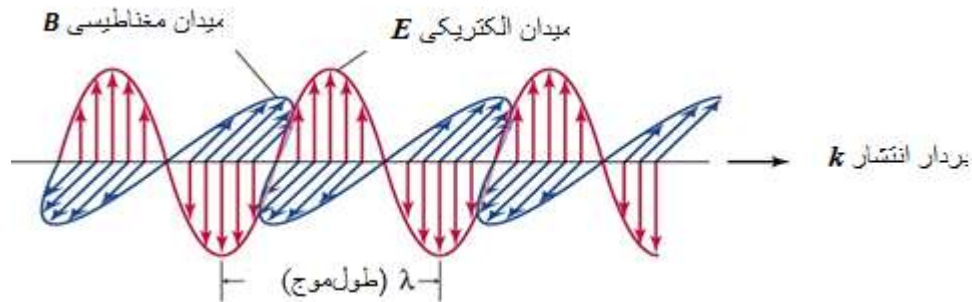
$$W = h\nu \quad (1-1)$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{W}{c} \quad (2-1)$$

که در اینجا h ثابت پلانک، λ فرکانس و λ طول موج است. در واقع موج الکترومغناطیس یک بسته انرژی است که هیچ جرمی ندارد. یکی از شکل‌های موج الکترومغناطیس که می‌شناسیم همان نور مرئی است که شامل طول‌موج‌های قرمز تا بنفش است و با شبکیه‌ی چشم قابل تشخیص و مشاهده است. رنگ قرمز نسبت به بنفش طول موج بلندتری دارد. همه‌ی امواج الکترومغناطیسی با سرعت نور حرکت می‌کنند و به شکل سینوسی در فرکانس‌های مختلف منتشر می‌شوند. هر چه موج فرکانس بالاتری داشته باشد، طول موج کوتاه‌تری خواهد داشت و موج با فرکانس بالاتر دارای انرژی زیادتری خواهد بود.

۲-۱- روابط حاکم بر امواج الکترومغناطیس

یک موج تخت الکترومغناطیس که در جهت دلخواهی در حرکت است، در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. با توجه به معادله‌های ماکسول که رفتار چنین موج‌هایی را توصیف می‌کنند؛ می‌دانیم که تغییرات هماهنگ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی همیشه بر یکدیگر و جهت انتشار (\mathbf{k}) عمودند.



شکل ۱-۱ موج تخت الکترومغناطیسی، میدان الکتریکی E و میدان مغناطیسی B و بردار انتشار k در همه جا بر همدیگر عمودند [۱].

این تغییرات برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \quad (۳-۱)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \quad (۴-۱)$$

که در آن‌ها \mathbf{E} و \mathbf{B} معرف میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و \mathbf{E}_0 و \mathbf{B}_0 دامنه‌های آن‌ها هستند. چون هر دو مؤلفه‌ی موج با بردار انتشار یکسان k و بسامد یکسان ω در حرکت هستند، طول موج و سرعت انتشار آن‌ها نیز یکسان است. علاوه بر این از نظریه‌ی الکترومغناطیس نتیجه می‌شود که $E = cB$ است. چگالی انرژی مربوط به میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عبارت است از:

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (۵-۱)$$

$$u_B = \frac{1}{2} \mu_0 B^2 \quad (۶-۱)$$

این عبارت‌ها برای میدان الکتریکی ایستای یک خازن و میدان مغناطیسی ایستای یک سیم‌لوله به‌آسانی قابل محاسبه‌اند و در حالت کلی نیز برقرارند. در اینجا $\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$ و $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}$ به ترتیب ثابت گذردهی خلأ و تراوایی خلأ است. چگالی انرژی کل عبارت است از:

$$u = u_E + u_B = \epsilon_0 E^2 = \mu_0 B^2 \quad (7-1)$$

$$u = \epsilon_0 E^2 = \mu_0 B^2 \quad (8-1)$$

اکنون توان یا آهنگ انتقال انرژی به‌وسیله‌ی موج الکترومغناطیسی را در نظر می‌گیریم. مقدار انرژی که در مدت زمان Δt از سطح مقطعی به مساحت A می‌گذرد برابر است با انرژی موجود در حجم ΔV مکعب مستطیلی به طول $c\Delta t$ ؛ یعنی

$$P = \frac{U}{\Delta t} = \frac{u\Delta V}{\Delta t} = \frac{u(AC\Delta t)}{\Delta t} = uCA \quad (9-1)$$

حال با جایگذاری u از معادله (۸-۱) در معادله (۹-۱) می‌توان به رابطه‌ی (۱۰-۱) رسید.

$$s = \frac{P}{A} = \epsilon_0 c^2 EB \quad (10-1)$$

که در اینجا s توان گذرنده از واحد سطح است و هنگامی که آن را به‌صورت کمیتی برداری در جهت انتشار موج در نظر می‌گیریم؛ بردار پوئین تینگ می‌نامند و با \mathbf{S} نمایش می‌دهند.

$$\mathbf{S} = \epsilon_0 c^2 \mathbf{E} \times \mathbf{B} \quad (11-1)$$

در بیشتر حالت‌ها، همه‌ی آنچه موردنیاز است متوسط زمانی توان گذرنده از سطح است که آن را شدت تابشی می‌گویند و با I نمایش می‌دهند.

$$I = \langle s \rangle = \epsilon_0 c^2 \langle E_0 B_0 \sin^2(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} \pm \omega t) \rangle \quad (12-1)$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon_0 c^2 E_0 B_0 = \frac{1}{2} \epsilon_0 c^2 E_0^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{c}{\mu_0} \right) B_0^2$$

عبارت‌های شدت موج، هنگامی قابل استفاده‌اند که موج الکترومغناطیسی در فضای آزاد در حرکت باشد. هنگامی که موج در محیطی با ضریب شکست n در حرکت است، باید به‌جای ϵ_0 به ترتیب $\epsilon_0 n^2$ و c/n را قرار بدهیم. در این صورت معادله‌ی (۱۲-۱) تغییر شکل نمی‌دهد. وضعیت موج الکترومغناطیسی در یک نقطه از فضای تهی را می‌توان با استفاده از دو بردار \mathbf{E} و \mathbf{B} مشخص کرد. در حالت ایستا \mathbf{E} و \mathbf{H} ($\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$) مستقل از یکدیگرند و به ترتیب با توزیع بار و شدت جریان مشخص می‌شوند. در حالت پویا، یعنی حالتی که این بردارها به زمان وابسته‌اند میدان‌ها مستقل از یکدیگر نیستند و خواهیم داشت:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (13-1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (14-1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (15-1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (16-1)$$

با همین معادله‌ها، می‌توان معادله‌های مربوط به میدان‌ها را نیز به دست آورد که در بسیاری از پدیده‌های فیزیکی مشابه آن‌ها مشاهده می‌شود.

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (17-1)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (18-1)$$

که c همان سرعت نور در خلأ است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$c = (\varepsilon_0 \mu_0)^{-1/2} \quad (19-1)$$

۳-۱- طیف موج الکترومغناطیس

طیف امواج الکترومغناطیس شامل نواحی مختلفی است که به شرح زیر تقسیم‌بندی شده است.

پرتوهای گاما: محدوده‌ی فرکانسی این ناحیه از 10^{19} Hz به بالاست. طول موج وابسته به آن از چند دهم آنگستروم شروع می‌شود. انرژی این ذرات از 10^4 eV به بالاست. به دلیل طول موج کوتاه پرتوهای گاما، خواص موجی آن با اشکال زیاد صورت می‌گیرد. منبع تولید آن هسته‌های اتمی هستند و با شمارشگرهای گایگر و سوسوزنی آشکارسازی می‌شوند.

پرتوهای ایکس: محدوده‌ی فرکانسی این ناحیه از حدود 3×10^{17} Hz تا 10^{19} Hz بوده و طول موج وابسته به آن، حدود چند آنگستروم تا چند دهم آنگستروم است. انرژی آن حدوداً از 10^3 eV تا 10^5 eV است. این انرژی به نسبت بالاست و برای موجودات زنده خطرناک است. تولید آن به وسیله‌ی تغییر حرکت یک‌ذره‌ی باردار پرنانرژی (تابش ترمزی) حاصل می‌شود و آشکارسازی آن با فیلم‌های عکاسی و اتاق‌های یونشی صورت می‌پذیرد.

ناحیه فرابنفش: محدوده‌ی فرکانس این نوع امواج الکترومغناطیس در حدود 8×10^{14} Hz تا 3×10^{17} Hz است و طول موج وابسته به آن‌ها از 300 nm تا چند آنگستروم و انرژی آن‌ها از $3/2$ eV تا 2×10^3 eV است. منابع تولید آن‌ها لامپ‌های ماورای بنفش است که با شتاب ذرات باردار توسط میدان الکتریکی و توقف این ذرات تولید می‌شود. به‌عنوان نمونه؛ لامپ‌های مهتابی و گازی منشأ تولید پرتو در این ناحیه هستند. آشکارسازی آن‌ها با استفاده از صفحه‌های فلئورسان، صفحه‌های عکاسی و سلول‌های نوری صورت می‌پذیرد.

نور مرئی: محدوده‌ی فرکانسی این نوع امواج الکترومغناطیس بسیار کم است. از بسامدهای

3.784×10^{14} Hz تا 7.69×10^{14} Hz گسترده شده و طول موج آن‌ها از 780 nm تا 390 nm است. منابع تولید آن‌ها خورشید، اجسام بسیار داغ، قوس الکتریکی و گذارهای ترازهای انرژی اتمی و مولکولی است. آشکارسازی آن‌ها با چشم، آشکارسازهای نوری و برخی آشکارسازهای نیمه‌هادی صورت می‌گیرد. انرژی آن‌ها در حدود 1 eV است.

ناحیه فرورسرخ: محدوده‌ی فرکانسی ناحیه فرورسرخ یا IR از 10^{11} Hz تا 10^{14} Hz گسترده است. طول موج وابسته به آن از 780 nm تا 1 mm است. این ناحیه را اغلب به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌کنند که عبارت‌اند از:

فرورسرخ نزدیک $780 \text{ nm} - 3000 \text{ nm}$

فرورسرخ میانی $3 \mu\text{m} - 6 \mu\text{m}$

فرورسرخ دور $6 \mu\text{m} - 15 \mu\text{m}$

فرورسرخ فرین $15 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$

انرژی این ناحیه حدوداً از 1 eV تا 10^{-3} eV است. منبع تولید این امواج اغلب، اجسام ملتهب، فوتون‌های تولیدشده به‌وسیله‌ی گذارهای اتمی، ارتعاش و چرخش برخی از مولکول‌هاست. آشکارسازی آن‌ها با ترموکوپل، انواع مختلف آشکارسازهای نیمه‌هادی مانند PbS و $PbSe$ صورت می‌گیرد.

میکروموج‌ها: ناحیه میکروموج از حدود 10^9 Hz تا 3×10^{11} Hz گسترده است. این امواج می‌توانند از جو زمین عبور کنند و نقش حساسی در ارتباطات ماهواره‌ای و نیز اخترشناسی رادیویی دارند. اغلب منابع این امواج، مدارهای الکترونیکی یا فوتون‌هایی هستند که از گذارهای اتمی ناشی می‌شوند که ترازهای انرژی آن‌ها کاملاً به هم نزدیک باشند. انرژی این امواج حدوداً از 10^{-5} eV تا 10^{-3} eV است.

امواج رادیویی: محدوده‌ی فرکانس آن‌ها از چند هرتز تا حدود 10^9 Hz است و طول موج آن‌ها از چند کیلومتر تا حدود 0.3 m است. تولید آن‌ها با مدارهای الکترونیکی و آشکارسازی آن‌ها به‌وسیله‌ی مدارهای الکترونیکی صورت می‌گیرد. انرژی آن‌ها در حدود 10^{-12} eV تا 10^{-6} eV است [۱]. شکل (۲-۱) طیف موج الکترومغناطیس را نشان می‌دهد.

۴-۱- امواج الکترومغناطیس یونیزه و غیر یونیزه‌کننده

در انتهای بالایی طیف پرتو ایکس، گاما و پرتوهای کیهانی قرار دارند که دارای سطح انرژی بسیار بالایی هستند که می‌تواند باعث آسیب به DNA و مولکول‌های زیستی شود. گفته می‌شود که بیشتر این واکنش‌ها به‌طور غیرمستقیم باعث شکستن مولکول آب و تولید رادیکال آزاد می‌شود. همچنین وجود انرژی بالا در این امواج می‌تواند باعث ایجاد تشعشعات یونیزه شده شود و آن‌ها نیز می‌توانند نوع مشابهی از آسیب‌ها همانند تابش‌های خاص یونیزه‌کننده مانند α , β , γ را در بافت‌های سلولی ایجاد کنند.

طیف الکترومغناطیس



شکل ۱-۲ طیف موج الکترومغناطیس [۲]

همه موجودات زنده به طور مستمر در معرض موج الکترومغناطیس یونیزه کننده با سطح آسیب کمتر هستند که از تابش های کیهانی به آن ها می رسند و از اثراتی که روی محیط اطراف می گذارند (ایزوتوپ های رادیواکتیو) و اثری که روی بدن افراد دارند، می توان پی به وجود آن ها برد. تابش های یونیزه کننده موجب آسیب هایی چون افزایش ریسک سرطان، نازایی یا عیوب زادوولد و ... می شوند. با کاهش فرکانس به طیف فرابنفش می رسیم که از پرتوهای کیهانی به زمین می رسند. اگر بیش از اندازه در معرض پرتوهای فرابنفش قرار بگیریم، باعث سرطان های پوستی می شود. بعد از آن به نور مرئی و فروسرخ می رسیم که زمین به وسیله آن گرم می شود. به طور واضح زمین بدون نور مرئی و تابش فروسرخ قابل زندگی نیست و همین باعث شده که تصور شود فرکانس های پایین تر از نور مرئی و فروسرخ به سلامتی انسان آسیبی نمی زنند. در فرکانس های پایین تر از فروسرخ امواج فرکانس رادیویی (RF) قرار دارد که شامل میکروموج ها (ریزموج) و فرکانس هایی است که در وسایل ارتباطی مانند رادیو، تلویزیون، تلفن همراه، رادار و همه ی شکل های ارتباطی بی سیم استفاده می شود.

در انتهای طیف، امواجی که با الکتریسیته مرتبط است، وجود دارد. میدان های الکتریکی و مغناطیسی از جنبه های مختلف با هم متفاوت اند. میدان الکتریکی تابعی از ولتاژ است و به شار جریان وابسته نیست، در حالی که میدان مغناطیسی وابستگی مستقیمی به جریان دارد و هر دو این ها با فاصله گرفتن از منبع به سرعت کم می شوند.

همه ی افراد اساساً به درجه های متفاوتی در معرض این میدان ها قرار دارند. میدان ها از طریق خط های انتقال برق، وسایل و حتی سیم برق وارد خانه ها می شوند. خطرهای فردی این امواج به چگونگی ارتباط افراد با منبع تولیدی آن وابسته است. در فرکانس های پایین تر از نور مرئی، انرژی کافی برای اینکه مستقیماً باعث آسیب رساندن به DNA انسان شود، وجود ندارد و به عنوان یک تابش

غیریونیزه کننده به حساب می آید، چون تمام میدان های الکترومغناطیسی به صورت بسته انرژی هستند، می توانند موجب گرمایش به میزان کافی شوند که این اساس کار اجاق های مایکروفر نیز هست [۲]. سؤال اساسی این است که آیا تابش های غیریونیزه کننده برای سلامتی انسان مضرند؟ برای پاسخ به این سؤال ابتدا باید منشأ این تابش ها را شناخت. به این موضوع در فصل دوم پرداخته می شود، سپس به دنبال پاسخ سؤال می گردیم.

فصل دوم

کاربرد امواج رادیویی در ابزارهای
مورد استفاده‌ی روزانه

تأثیر امواج الکترومغناطیس بر بدن انسان

فصل دوم: کاربرد امواج رادیویی در ابزارهای مورد استفاده‌ی روزانه

۲-۱- مقدمه

فرستنده‌های مخابراتی، دستگاه‌های رادار و فرستنده‌های رادیویی و تلویزیونی، اجاق‌های مایکروفر، تلفن‌های همراه و بی‌سیم، انواع گیرنده‌های امواج ماهواره و رادیوتلویزیون از وسایلی هستند که امروزه کاربرد زیادی دارند و انسان را در معرض پرتوهای الکترومغناطیسی با فرکانس بالا (امواج رادیویی و مایکروویو که در محدوده‌ی ۳۰ کیلوهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز قرار دارند) قرار می‌دهند. همچنین این امواج در پردازنده‌های صنعتی، پزشکی و محصولات مصرفی نمایان شده است.

میدان‌های الکترومغناطیسی که به‌منظور ارتباطات، پخش اخبار و دستگاه‌های رادار به کار گرفته می‌شوند، در بخش گسترده‌ای از فضا پراکنده می‌شوند؛ اما آن دسته از میدان‌هایی که در صنعت، پزشکی و دستگاه‌های مصرفی به کار برده می‌شوند، در بخش کوچکی از فضا پراکنده می‌شوند. بازتاب، پراکندگی و گسیل لحظه‌ای موج‌های رادیویی به‌وسیله‌ی چندین منبع تولید، وضعیت پیچیده‌ای را ایجاد می‌کند که «راه‌های چندگانه» در انتشار نامیده می‌شوند و در فضای هندسی فضای یکپارچه‌ای ندارند [۳]. در این فصل مختصری در مورد میزان و نحوه‌ی استفاده از امواج الکترومغناطیس در برخی از این منابع تابش بحث خواهد شد.

۲-۲- اساس کار فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی

برای اینکه بتوان تصویر و صدایی را به‌وسیله‌ی تلویزیون و رادیو دریافت کنیم از یک سری فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی استفاده می‌شود. اساس کار فرستنده و گیرنده‌ی رادیویی در یک جمله و به‌طور خلاصه سوار کردن اطلاعات صدای گوینده روی امواج الکترومغناطیس و بعد پیاده کردن اطلاعات صوتی از امواج الکترومغناطیس و پخش آن پس از تقویت از بلندگوی رادیو است. روش‌های مختلف سوار کردن اطلاعات صدا بر امواج الکترومغناطیس عبارت است از:

الف) سوار کردن اطلاعات بر دامنه‌ی موج (AM): در این روش متناسب با تغییرات صدای گوینده دامنه‌ی موج الکترومغناطیس تغییر می‌کند و محدوده‌ی فرکانس آن $1606\text{ kHz} - 526$ است؛

ب) سوار کردن اطلاعات بر فرکانس موج (FM): در این روش متناسب با تغییر صدای گوینده فرکانس موج تغییر می‌کند؛

ج) سوار کردن اطلاعات روی موج به صورت پالسی (PM): در این روش متناسب با تغییر صدای گوینده خود موج قطع و وصل می‌شود و محدوده‌ی فرکانسی آن همان محدوده‌ی AM است.

اجزای اصلی یک فرستنده‌ی رادیویی عبارت است از:

۱) تولیدکننده‌ی امواج الکترومغناطیس (نوسان‌ساز)؛

۲) تبدیل‌کننده‌ی صوت به جریان الکتریکی؛

۳) سوار کردن اطلاعات صوتی روی موج الکترومغناطیس؛

۴) منتشرکننده‌ی امواج در فضا (آنتن).

اجزای اصلی یک گیرنده‌ی رادیویی عبارت است از:

۱) گیرنده امواج از فضا (آنتن)؛

۲) تنظیم‌کننده‌ی فرکانس موردنظر (تیونر)؛

۳) آشکارسازی اطلاعات صوتی؛

۴) تقویت‌کننده‌ی صوت؛

۵) پخش‌کننده صدا در محیط (بلندگو).

صداهاى گردآوری شده به نوسانات الکتریکی تبدیل می‌شوند که فرکانس صوت اولیه است و به این نوسانات الکتریکی «سیگنال» می‌گویند. رادیو یا هر گیرنده‌ی رادیویی دیگر نیز امواج الکترومغناطیس رادیویی را جذب می‌کند. البته در محیط پیرامون ما، امواج الکترومغناطیس متفاوتی وجود دارد؛ چون طول موج هر یک از آنها منحصر به فرد است، دستگاه‌های گیرنده‌ی رادیویی طول موج‌های مشخصی را جذب می‌کند و در نتیجه تبادل امواج بدون هیچ تداخلی صورت می‌گیرد. رادیو نیز بعد از دریافت امواج، این سیگنال‌های الکتریکی را تقویت و آنها را به‌سوی بلندگو هدایت می‌کند. بلندگوها سیگنال‌های الکتریکی را به ارتعاشات صوتی تبدیل می‌کند و به این ترتیب پیامی که از این ایستگاه رادیویی ارسال شده است، شنیده می‌شود [۴]. در تلویزیون نیز فرایندهای مشابهی به شکل بالا انجام می‌شود با این تفاوت که دستگاه تلویزیون سیگنال‌های الکترونیکی مربوط به صدا و تصویری که در ایستگاه فرستنده تولید و ارسال شده است را دریافت و دوباره به صدا و تصویر تبدیل می‌کند. آنتن تلویزیون سیگنال‌های ارسالی از آنتن‌های فرستنده را دریافت می‌کند، سپس آن را با سیم به ورودی گیرنده در پشت تلویزیون می‌رساند. هنگامی که تلویزیون روشن می‌شود، سیگنال‌های صوت و تصویر از یکدیگر جدا شده و صدا به بلندگوها و سیگنال تصویر به لامپ تصویر داده می‌شود که آن را به شکل تصویر در صفحه تلویزیون به نمایش می‌گذارد [۵].

۲-۳- برج‌های انتقال یا ارسال رادیو و تلفن همراه

در تلفن ثابت هویت مشترکان با کشیدن دو رشته سیم مسی تا درب منزل یا محل کار مشخص می‌شود. در شبکه تلفن همراه که بدون سیم است؛ از لحاظ فیزیکی به جایی متصل نیست و هر لحظه