بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سازه‌برج‌ها و دکل‌های مخابراتی

Structural Arrangements for Telecom Towers & Masts

تألیف و ترجمه: مهندس سید محی‌الدین ثقت‌الاسلام

Seyed Mohyeddin Seghatoleslam

سرشناسه	ثقت الاسلام، محی الدین، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدیدآور	سازه برج ها و دکل های مخابراتی: ویژه مهندسين سازه و مخابرات/ تالیف و ترجمه سید محی الدین ثقت الاسلام.
مشخصات نشر	تهران: نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	۲۰۸ ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۸۷-۵
وضعیت فهرست نویسی	فیا
موضوع	دکل های رادیو و تلویزیون
رده بندی کنگره	TK ۶۵۶۵/د۷ ۱۳۹۳
رده بندی دیویی	۳۸۲۳/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	۳۵۳۷۴۹۱

سازه برج ها و دکل های مخابراتی

مهندس سید محی الدین ثقت الاسلام

نوآور

۱۰۰۰ نسخه

محمدرضا نصیرنیا

اول - ۱۳۹۳

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۸۷-۵

تألیف و ترجمه:

ناشر:

شمارگان:

مدیر تولید:

نوبت چاپ:

شابک:

قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخر رازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۶۶۴۸۴۱۸۹

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نبش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴

فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸ - ۶۶۴۰۲۵۷۹

فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

فروشگاه ۵: تبریز، خ امام، فلکه دانشگاه، اول خ دانشگاه، کتابفروشی علامه تلفن: ۴۱۱۳۳۴۱۶۶۹ - ۴۱۱۳۳۴۱۹۸۶

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

Preface

Telecommunication is an important part of modern society. Nowadays, it may be clear to everyone that radio and television are of particular importance to broadcast news and information to all parts of the world, and have enormous cultural implications. With the use of technological development in the last few decades, the scope of operation and efficiency of these forms of mass media have increased daily. The facility of global coverage for transmitters has been enhanced with the use of satellites. In the meantime, it is essential to build ground transmitter antennas and construct metal and concrete towers & masts to install telecom antennas to transmit waves to conventional receivers.

The design and build of telecom structures is a very specialised issue, which requires the cooperation of several specialists involved in such projects including telecom, structural, geotechnical engineers, and architects. These structures can be constructed as symbolic and landmark structures in urban areas or may be erected at the top of mountains.

Undoubtedly the structural aspects of telecom towers and masts should play a significant role in the mind of the architect and designer. As a result, the realisation of all architectural ideas depends on structural assessment.

How should these elegant and powerful structures, which represent the power and glory of human civilization, be constructed? What are the factors influencing their design and locations? What factors impact their effective height, and the answers to these questions and many others, have been examined in this book.

The present book consists of 12 chapters and is in Persian. The evolution of communication technology is discussed in the first chapter. In the subsequent chapters of the book, the types of telecom structures, as well as the antenna array and radiation patterns, have been described concisely. Moreover, in Chapters 4, 5, and 6, the construction and the technical issues of the antennas, as well as the basic structures supporting them, have been discussed in detail. The fundamentals of the structural design of the telecom towers and masts have been explained in Chapters 9 and 10, and examples of a few existing towers and masts have been examined. At the end of the book, a glossary of antennas and related equipment has been added for the use of the readers.

The 2nd edition of the book 'Structural Arrangements for Telecom Towers & Masts' was published by Noavar Publications in 2019.

Seyed Mohyeddin Seghatoleslam

پیشگفتار

اهمیت تبادل اطلاعات و نقش سیستم های مخابراتی و خبررسانی، امروزه بر همگان آشکار می باشد، به گونه ای که عصر حاضر، دوران انقلاب اطلاعاتی نامیده شده است.

در این میان رادیو و تلویزیون، اهمیت ویژه ای را در رساندن اخبار و اطلاعات به اقصی نقاط جهان دارا بوده، و اثرات فرهنگی عظیمی در جامعه بر جای می گذارند. هم اینک با استفاده از پیشرفتهای تکنولوژی چند دهه اخیر، روز به روز بر حیطه عمل و کارآیی این تاسیسات افزوده شده و با بکارگیری ماهواره های مخابراتی، امکان پوشش جهانی برای فرستنده ها بوجود آمده است. در این میان نیاز به آنتن های فرستنده زمینی و احداث دکل ها و برج های فلزی و بتونی، برای نصب آنتن های فرستنده جهت رساندن امواج به گیرنده های متعارف، ضروری می باشد.

به دلیل نیاز به کسب اطلاعات تخصصی در زمینه آنتن های موجود، انجمن رادیویی اروپا برای تمام مسئولین و رؤسای بنگاه های رادیو تلویزیونی سراسر جهان پرسش نامه ای فرستاد، و طی آن راجع به انواع برج ها، دکل ها، آنتن ها و فیدرهای مورد استفاده در باندهای VHF و UHF اطلاعاتی را جویا شد. پاسخ های رسیده، طیف وسیع و گسترده ای از طرح ها را در بر میگرفت، و از اهمیت نسبی عوامل تعیین کننده نوع سازه های مورد استفاده، حکایت میکرد.

در جریان این تحقیق، دو گرایش یا روند عمده آشکار شد. یکی استفاده از سایت و سازه مربوطه برای خدمات غیر مخابراتی، و دیگر توجه روزافزون به محافظت سیستم های آنتن در قبال تاثیرات منفی اقلیمی. اولین گرایش، باعث بوجود آمدن سازه هایی نظیر برج های بتونی مجهز به ایوان های عمومی تماشای مناظر و مرايا، طبقه ارتباطات میکروویو و مراکز اداری مربوطه گردیده است، و دومین گرایش، به تاثیر خواص مصالح فایبرگلاس با اتصالات رزینی و پیشرفت های حاصله در ساخت آن ها، بر می گردد. انتظار می رود استفاده از بتن مسلح در سازه های مرتفع و نیز فایبرگلاس بعنوان مصالح سازه ای، در جریان توسعه سریع و پیشرفت های مهم، بعنوان تکنیکی رو به رشد، مورد استفاده قرار گیرند. علی ایحال، مصالح سنتی یعنی فولاد گالوانیزه هم در اشکال مقاطع زاویه دار (مانند نبشی)، بصورت میله ای و هم بصورت صفحه ای، در درجه اول اهمیت قرار دارند. در اینجا لازم به ذکر است که شیوه های اتصال در حال تغییر و دگرگونی هستند، هم در اتصالات پیچ و مهره ای و هم در اتصالات پرچی. اگرچه از اتصالات جوش هم استفاده می شود، تا باعث کاهش وزن و سهولت ساخت، گردد.

امروزه مستمراً، به مسئله فشارهای حاصل از وزش باد بر مقاطع سازه ای و همچنین تعیین

سرعت باد در سطح زمین و در سطوح سازه‌ای مورد نظر، جهت تعیین تنش‌های واقعی تولید شده در عناصر سازه‌ای توجه می‌شود. جلوگیری از بروز خوردگی در مصالح و ترکیبات مختلف، همچنین احتراز از تنش‌های ناشی از خستگی و انجماد، از جمله مواردی هستند که بیش از پیش تحت مطالعه قرار دارند و این امر، از تاثیر خاص تکنیکی آنها بر کل طرح و مسایل و مشکلات فنی موجود در طراحی جزییات اجرایی آنتن‌ها، حکایت دارد.

با گسترش و توسعه اجتناب ناپذیر و دستیابی به باندهای با فرکانس بالا (یعنی باندهای IV/V برای پخش تلویزیونی، بطور خاص) ایستگاههای پخش و مخابره را باید در مکان‌هایی ساخت که ارتفاع موثر آنتن‌ها تا حد امکان، بالاتر از محیط پیرامون قرار گیرد، و همچنین رسانایی لایه‌های زیرین سطح زمین واجد اهمیت چندانی نباشد. این بدان معناست که در مواردی که نقاط مرتفعی موجود باشند باید تجهیزات را در آنجا نصب نمود و همانطور که می‌دانیم این نقاط دارای محدودیت‌های دسترسی و مشکلات حمل و نقل و دوری از تاسیسات برق می‌باشند، و در صورت عدم وجود نقاط مرتفع، می‌توان با بکارگیری دکل‌های مرتفع در زمین‌های مسطح و دشت مانند، به هدف مورد نظر دست یافت. ماهیت شبه نوری انتشار امواج UHF ممکن است منجر به سایه دار شدن تصویر در بخشی از مناطق خدماتی گردد و نتیجتاً استفاده از فرستنده‌های کوچک پخش مجدد (تقویت کننده) را الزامی گرداند.

هدف از انتشار این کتاب، ارائه تصویری کلی از پیشرفت این عوامل، با عطف به مثال‌هایی است که در رویه‌های جاری اروپا دیده می‌شود. اطلاعات حاضر می‌تواند راهنمای مفیدی برای حل مسئله و نیز مشخص ساختن چارچوب لازم برای پاسخگویی به این شرایط باشد. شایان ذکر است که هدف، ارائه تحلیلی از اطلاعات مربوط به طراحی نیست. هر چند که از لابلای سطور این نیت، آشکار است، با این وصف، اگر چه استاندارد کردن طرح پایه‌های نگاهدارنده آنتن‌ها بعید به نظر می‌رسد (اگرچه واقعاً مطلوب می‌باشد) اما ایجاد یک ارتباط منطقی بین تیپ انتخابی و کاربری مورد نظر، می‌تواند برای سازمان‌های مخابراتی، مفید واقع شود.

همانطور که می‌دانیم، انتخاب سازه باید بر مبنای صرفه جویی اقتصادی صورت گیرد (هرچند قیمت گذاری بر روی ارزش مناطق مطلوب دشوار است)، اما همانطور که می‌دانیم هزینه اولیه هم همیشه هنگام بررسی طرح‌های مطلوب، مهمترین عامل محسوب نمی‌شود. یعنی زمانی که به دنبال طرح مطلوب هستیم، باید ابتدا با برنامه‌ریزی اولیه یک ایستگاه یا تاسیسات جدید، هزینه خاصی را تعیین و سپس در مراحل بعدی با در نظر گرفتن تغییرات احتمالی، ارزیابی هزینه مورد نظر را دوباره بازبینی کنیم.

کتاب حاضر، متشکل از دوازده فصل می‌باشد، که در هر یک از فصول، راجع به مسائل اجرایی، فنی و تکنیکی آنتن‌ها و همچنین پایه‌های نگاهدارنده آنها به تفصیل سخن رفته است، و در فصول نهم و دهم، به مبانی نظری مسائل مطروحه و همچنین به معرفی چند برج و دکل

موجود اکتفا گردیده است. در انتهای کتاب، واژه نامه آنتن ها و تجهیزات مربوطه، جهت استفاده خوانندگان گرامی به مجموعه کتاب اضافه گردیده است.

به دلیل کمبود منابع فارسی در این زمینه، کتاب حاضر، شاید اولین کتابی باشد که در رابطه با جزئیات تکنیکی آنتن ها و پایه های نگاهدارنده آنها، به کندوکاو پرداخته و طبعاً سوژه آن بدیع می باشد.

امید است که این کتاب، اثری قابل استفاده برای دانشجویان و دانش پژوهان عزیز، بخصوص متخصصین رشته های برق و الکترونیک و سازه باشد.

در خاتمه لازم به ذکر است که علیرغم دقت فراوان در امر تهیه و تنظیم مطالب، کتاب حاضر، بدون شک، خالی از اشکال نمی باشد، لذا انتظار ارشاد از طرف خوانندگان عزیز امری معقول و منطقی بنظر می رسد.

سید محی الدین ثقت الاسلام

فهرست مطالب

فصل اول / تکنولوژی ارتباطات	۱۳
۱-۱ سیر تکاملی تکنولوژی ارتباطات	۱۳
۱-۱-۱ دوره تلگراف	۱۳
۱-۱-۲ دوره تلفن	۱۴
۱-۱-۳ دوره بی سیم	۱۵
۱-۱-۴ تلویزیون	۱۶
۱-۱-۵ رادار	۱۶
۱-۱-۶ دوره ماهواره	۱۷
۱-۱-۷ اینترنت	۱۸
۱-۲ آنتن و ارتباطات	۱۹
۱-۲-۱ امواج رادیویی	۱۹
۱-۲-۱-۱ پخش امواج	۱۹
۱-۲-۱-۲ ارسال امواج	۲۰
۱-۲-۱-۳ طول امواج	۲۰
۱-۲-۱-۴ شیوه های انتشار	۲۱
۱-۲-۱-۵ طیف فرکانس امواج رادیویی	۲۸
۱-۲-۲ ساختمان آنتن و انواع آن	۲۹
۱-۲-۲-۱ آنتن لوپ	۳۰
۱-۲-۲-۲ آنتن یک قطبی	۳۰
۱-۲-۲-۳ آنتن دی پل (دوقطبی)	۳۲
۱-۲-۲-۴ آنتن یاگی	۳۳
۱-۲-۲-۵ آنتن سهموی	۳۴
۱-۲-۳ تقسیم بندی آنتن ها از نظر نوع و مقدار فرکانس	۳۵
۱-۲-۳-۱ آنتن های فرکانس بالا - HF	۳۶
۱-۲-۳-۲ آنتن های VHF/UHF	۳۶
۱-۲-۳-۳ آنتن های SHF یا آنتن های مایکروویو	۳۶
فصل دوم / عوامل موثر بر انتخاب تکیه گاه و تیپ ساختمان	۳۹
۲-۱ سایت و دسترسی	۳۹
۲-۲ پارامترهای آنتن	۴۲
۱-۲-۲ توان تشعشع موثر	۴۲

۴۲	 ۲-۲-۲ بهره آنتن
۴۳	 ۱-۲-۲ بهره موثر و بهره حقیقی
۴۴	 ۲-۲-۲-۲ الگوی تشعشع افقی
۴۵	 ۲-۲-۳ نصب المانهای تشعشعی
۴۶	 ۲-۲-۳-۱ نصب بر روی دکل‌های انتهایی
۵۰	 ۲-۲-۳-۲ نصب بر روی سازه اصلی
۵۱	 ۲-۳ استفاده از سازه نگاهدارنده آنتن برای عملکردهای دیگر
۵۵	 ۲-۴ ویژگی‌های سازه‌ای
۵۵	 ۲-۴-۱ تیپ‌های عمده سازه‌ای
۵۸	 ۲-۴-۲ توسعه بعدی
۵۹	 فصل سوم / تاثیر عوامل اقلیمی بر طراحی سازه
۵۹	 ۱-۳ بارهای باد و یخ
۵۹	 ۱-۱-۳ محاسبه فشار باد
۶۳	 ۳-۱-۲ محاسبه بار ترکیبی ناشی از یخ و باد
۶۴	 ۳-۱-۳ ثبات باد
۶۵	 ۲-۳ محافظت در برابر تغییرات جوی و آذرخش (برق آسمان)
۶۵	 ۳-۲-۱ محافظت در برابر یخ
۶۹	 ۲-۲-۳ نفوذ هوای مرطوب
۶۹	 ۳-۲-۳ محافظت در برابر برق آسمان
۷۵	 فصل چهارم / مشخصات عمومی ساختمانی
۷۵	 ۴-۱ برج‌های بتونی
۷۷	 ۴-۲ برج‌های مشبک فلزی خودایستا
۸۲	 ۴-۳ دکل‌های مشبک فلزی مهاری
۸۵	 ۴-۴ دکل‌های فلزی لوله‌ای مهاری
۸۷	 ۴-۵ سازه‌های فایبرگلاسی رزینی
۸۹	 فصل پنجم / انتخاب ارتفاع پایه نگاهدارنده آنتن‌ها
۸۹	 ۵-۱ ارتباط با بهره آنتن
۹۲	 ۵-۲ ارتباط با توپوگرافی منطقه تحت پوشش
۹۳	 ۵-۳ تاثیر انحراف دکل
۹۶	 ۵-۴ موانع سایت
۹۹	 فصل ششم / وابستگی متقابل طراحی آنتن‌ها و نگاهدارنده‌های آنها
۹۹	 ۶-۱ آنتن‌های با آرایش خطی و آنتن‌های دکل فوقانی
۱۰۲	 ۶-۲ پایداری سازه نگاهدارنده آنتن

۱۰۴	۶-۳ فیدرها
۱۰۴	۶-۳-۱ فیدرهای ابتدایی
۱۰۵	۶-۳-۲ فیدرهای مدرن
۱۰۷	فصل هفتم / کاربرد همزمان دکل‌ها و برج‌های مخابراتی برای مقاصد دیگر
۱۰۷	۷-۱ استفاده از یک دکل موجود فرستنده موج متوسط
۱۰۸	الف) سیم پیچی فیدر
۱۰۸	ب) اتصال بوسیله مبدل (ترانسفورماتور)
۱۱۰	ج) نصب فیدر VHF یا UHF در فاصله معادل یک چهارم طول موج
۱۱۱	د) عایقکاری فیدر VHF در داخل دکل
۱۱۲	ه) تغذیه تابشگر دکل بصورت موازی
۱۱۳	۷-۲ دکل‌های مربوط به آنتن‌های تقویت رادیویی
۱۱۴	۷-۳ سایر تاسیسات مناسب برج‌ها
۱۱۷	فصل هشتم / مسائل مربوط به تعمیرات و نگهداری
۱۱۷	۸-۱ سازه‌های فولادی
۱۱۹	۸-۲ مهارها و تکیه‌گاه‌ها
۱۱۹	۸-۲-۱ مهارها
۱۲۰	۸-۲-۲ تکیه‌گاه‌ها
۱۲۰	۸-۲-۳ فونداسیون‌های تکیه‌گاه‌ها
۱۲۰	۸-۳ تنظیم کشش مهارها
۱۲۲	۸-۴ حفاظت آنتن‌ها
۱۲۲	۸-۵ تعمیر و نگهداری آنتن‌ها
۱۲۴	۸-۶ بازرسی و آزمایش فیدرها و آنتن‌ها
۱۲۵	فصل نهم / مبنای محاسبات دکل‌ها و برج‌های فلزی
۱۲۵	۹-۱ فشار دینامیک پایه‌ای
۱۲۸	۹-۲ ضریب آیرودینامیک
۱۲۹	۹-۳ تشکیل یخ
۱۳۰	۹-۴ ضریب فشار
۱۳۱	۹-۵ جابجایی جانبی مجاز
۱۳۱	۹-۶ ضریب اطمینان
۱۳۱	۹-۷ کشش مجاز فولاد
۱۳۲	۹-۸ فشار مجاز زمین
۱۳۳	فصل دهم / هزینه نسبی و بررسی موردی سازه‌ها
۱۳۳	۱۰-۱ هزینه نسبی انواع مختلف سازه‌ها

۱۰-۲	نمونه‌هایی از برج‌ها و دکل‌های موجود	۱۳۶
۱۰-۲-۱	برج بتونی دورتموند	۱۳۷
۱۰-۲-۲	برج بتونی لندن (اداره پست بریتانیا)	۱۴۰
۱۰-۳-۲	برج بتونی با دکل مهاری در لاپیک	۱۴۲
۱۰-۴-۲	برج مشبک در کاخ کریستال لندن (بی بی سی)	۱۴۶
۱۰-۵-۲	برج مشبک کرایدون (اداره تلویزیون مستقل)	۱۴۸
۱۰-۶-۲	برج فولادی پیک دومیدی (سازمان رادیو تلویزیون فرانسه)	۱۵۱
۱۰-۷-۲	برج‌ها و دکل‌های اداره مخابرات دانمارک	۱۵۵
۱۰-۸-۲	دکل فولادی لوله‌ای تورفاس (بنگاه سخن پراکنی شمال آلمان)	۱۵۹
۱۰-۹-۲	دکل فولادی لوله‌ای بانگزبرگ (بنگاه سخن پراکنی شمال آلمان)	۱۶۳
	فصل یازدهم / واژگان آنتن‌ها	۱۶۹
۱۱-۱	اصطلاح‌های بنیادین برای آنتن‌ها و تجهیزات آنها	۱۶۹
۱۱-۲	ویژگی‌های الکتریکی یا پخش و دریافت در آنتن‌ها	۱۷۲
۱۱-۲-۱	اصطلاح‌های وابسته به مفهوم میدان	۱۷۲
۱۱-۲-۲	اصطلاح‌های مربوط به مفهوم توان	۱۷۸
۱۱-۳	انواع آنتن‌های تعریف شده توسط ویژگی‌های برقی یا تابندگی اشان	۱۸۳
۱۱-۴	اصطلاح‌های معین برای آنتن‌های شامل رساناهای تشعشع‌کننده (فرستنده و گیرنده)	۱۸۸
۱۱-۴-۱	سازه‌های (اندام‌های) تابش (تشعشع) کننده	۱۸۸
۱۱-۴-۲	جریان‌ها، امپدانس‌ها و مفاهیم نامی	۱۸۹
۱۱-۴-۳	دوقطبی‌ها، حلقه‌ها و آنتن‌های وابسته	۱۹۱
۱۱-۴-۴	تک قطبی‌ها و آنتن‌های نزدیک به زمین	۱۹۴
۱۱-۵-۴	آنتن‌های دیگر	۱۹۷
۱۱-۵	اصطلاح‌های ویژه برای آنتن‌ها شامل سطح پخش و دهانه‌ها (روزنه‌ها)	۱۹۹
۱۱-۵-۱	دهانه‌های پخش (تشعشع‌کننده - گیرنده فرستنده)	۱۹۹
۱۱-۵-۲	بازتابنده‌ها و آنتن‌های بازتاب دهنده	۲۰۰
۱۱-۵-۳	آنتن‌های شیپوری (شاخی)	۲۰۴
۱۱-۵-۴	عدسی‌ها و آنتن‌های عدسی دار	۲۰۶
۱۱-۵-۵	آنتن شکافی	۲۰۸
۱۱-۶	ابزارهای (دستگاه‌های - وسایل) همراه با آنتن‌ها	۲۰۸
	فصل دوازدهم / منابع و مآخذ	۲۱۳
۱۲-۱	منابع و مآخذ انگلیسی	۲۱۳
۱۲-۲	منابع و مآخذ فارسی	۲۱۴

کیلوگرم (که کروی شکل بود)، در چهارم اکتبر سال ۱۹۵۷ میلادی توسط شوروی به فضا پرتاب شد. این ماهواره وظیفه مطالعه بر روی طبقه یونسفر کره زمین، و انتشار امواج رادیویی را بعهده داشت، که در چهارم ژانویه ۱۹۵۸ میلادی از بین رفت. در پی آن، فعالیتهای فضایی گوناگون در سالهای مختلف از سوی کشورهای جهان در زمینه ارتباطات فضایی و پرتاب ماهواره‌ها صورت گرفته، و هم اکنون هم ادامه دارد.

۷-۱-۱ اینترنت

اینترنت را باید بزرگترین وسیله ارتباطی دانست که تاکنون به دست انسان، طراحی، مهندسی و اجرا گردیده است. ریشه این شبکه عظیم جهانی به دهه ۱۹۶۰ باز می‌گردد، که دولت ایالات متحده آمریکا بر روی پروژه تحقیقاتی ساخت شبکه‌ای پرقدرت، جهت ارتباطات کامپیوتری، سرمایه‌گذاری نمود. این پروژه تحقیقاتی بطور همزمان در کشورهای بریتانیا و فرانسه هم دنبال گردید. توافق بر سر اینکه اینترنت از چه زمانی به صورت یک شبکه همگانی و جهان‌شمول در آمد، بسیار مشکل است، اما می‌توان از اوایل تا اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی را دوران بسیار مهمی در این صنعت برشمرد، که گام‌های بسیار جدی در راه پیشرفت و پیشبرد این اختراع برداشته شده است. وابسته شدن تمامی فعالیت‌های بشر به اینترنت در مقیاسی بسیار عظیم و در زمانی چنین کوتاه، حکایت از آغاز یک دوران تاریخی نوین در عرصه‌های گوناگون علوم، فن‌آوری، و به خصوص در نحوه تفکر انسان دارد. شواهد زیادی در دست است، که از آنچه اینترنت برای بشر خواهد ساخت و خواهد کرد، تنها مقدار بسیار اندکی به واقعیت درآمده است.

اینترنت، سامانه‌ای جهانی از شبکه‌های رایانه‌ای بهم پیوسته^۱ است، که از پروتکل اینترنت برای ارتباط با یکدیگر استفاده مینماید. به عبارت دیگر اینترنت، شبکه شبکه‌هاست، که از میلیون‌ها شبکه خصوصی، عمومی، دانشگاهی، تجاری و دولتی در اندازه‌های محلی و کوچک، تا جهانی و بسیار بزرگ تشکیل شده است، که با آرایه وسیعی از فناوریهای الکترونیکی و نوری به هم متصل گشته‌اند. اینترنت در برگیرنده منابع اطلاعاتی و خدماتی گسترده‌ایست، که برجسته‌ترین آنها وب جهان گستر^۲ می‌باشد. سازمان‌ها، مراکز علمی و تحقیقاتی و موسسات متعدد، نیازمند دستیابی به شبکه اینترنت برای ایجاد وبسایت، انجام تحقیقات و یا استفاده از امکانات دیگر این سیستم، می‌باشند. بسیاری از رسانه‌های ارتباطی سنتی، مانند تلفن و تلویزیون نیز با استفاده از اینترنت، تغییر شکل داده‌اند و یا مجدداً تعریف شده‌اند، و همچنین خدماتی جدید همچون صدا و تصویر روی پروتکل اینترنت ظهور کرده است. انتشار روزنامه و کتب علمی و مجلات با استفاده از این تکنولوژی راحت تر و سریعتر گردیده و تغییر شکل از وضعیت سنتی خود

1. Interconnected computer networks

2. World Wide Web (WWW)

داده‌اند. همچنین اینترنت اشکال جدیدی از تعامل بین انسانها را از طریق پیام‌رسانی فوری، تالار گفتگو و شبکه‌های اجتماعی بوجود آورده است. اهمیت عظیم و شگرف این وسیله ارتباطی بر کسی پوشیده نمی‌باشد، اما به دلیل اینکه موضوع اینترنت، مستقیماً با مباحث مطروحه در این کتاب مرتبط نمی‌باشد، به همین توضیح مختصر بسنده می‌گردد، و در ادامه به بحث در باره آنتن و ارتباطات رادیویی پرداخته می‌شود.

۲-۱ آنتن و ارتباطات

۱-۲-۱ امواج رادیویی

امواج رادیویی، گونه‌ای از امواج الکترومغناطیسی است، که طول موج آن در طیف الکترومغناطیسی بلندتر از مادون قرمز است. همانند دیگر موج‌های الکترومغناطیسی، موج‌های رادیویی نیز با سرعت نور حرکت می‌کنند. موج‌های رادیویی بصورت طبیعی توسط آذرخش و اجرام فلکی تولید می‌شوند. موج‌های رادیویی تولید شده بصورت مصنوعی، در سیستم‌های ارتباطی ثابت و متحرک، سخن‌پراکنی، رادار و دیگر سیستم‌های ناوبری، ارتباطات ماهواره‌ای، شبکه‌های رایانه‌ای و بسیاری دیگر، کاربرد دارند. فرکانسهای مختلف موج‌های رادیویی، دارای ویژگی‌های انتشار مختلفی در هواکره زمین، هستند. موج‌های رادیویی بلند، ممکن است بخشی از زمین را بصورت مداوم پوشش دهند. موج‌های رادیویی کوتاه نیز می‌توانند با پخش شدن بسوی یونوسفیر، بازتاب شده و کل کره زمین را سیر کنند. طول موج‌های کوتاه‌تر، امکان بازتاب و خم‌شدگی بسیار کمی دارند، و فقط می‌توانند در خط دید، سیر کنند.

۱-۲-۱-۱ پخش امواج

مطالعه بر روی این پدیده الکترومغناطیسی، با مطالعه بر روی بازتاب، شکست، قطبش، انکسار و جذب آن، که اهمیت اساسی در مطالعه چگونگی حرکت موج‌های رادیویی در فضای آزاد و بر سطح زمین دارد، انجام گرفته است.

"هنریش هرتز" (۱۸۵۷-۱۸۹۴) آلمانی ضمن آزمایشات خود، ثابت نمود که صوت و نیروی برق را می‌توان به شکل امواج در فضا پخش کرد و همان‌طور که در سطح آب با انداختن یک سنگ، موج تولید می‌شود، صدای انسان و جریان الکتریسیته درون یک سیم هم می‌توانند، موج در فضا پخش نمایند. براساس آزمایشات وی، هرگاه انرژی الکتریکی به امواج تبدیل شود، هنگامی که این امواج به یک سیم یا جسم دیگری که هادی برق است، برسند، همان امواج در آن ایجاد می‌شود و انرژی الکتریکی را از مرکز اصلی به آن منتقل می‌کند. این آزمایشات مبنای ساختمان دستگاه‌های فرستنده و گیرنده، تلگراف و بی سیم قرار گرفتند و بعد از مدتی برای انتقال صدای انسان در رادیو، مورد استفاده واقع شدند. امواج رادیویی که اختراع "هرتز"

می‌باشند، به امواج هرتزی معروف شده‌اند.

۲-۱-۲-۱ ارسال امواج

به طور کلی دو روش برای انتقال علائم فیزیکی نظیر صوت، تصویر، دیتا، فرمان و غیره، بین دو نقطه از فضا وجود دارد. روش اول، ارسال علائم به کمک خطوط (سیم‌های) انتقال، و روش دوم؛ که انتقال را در ابعاد وسیع‌تری مقدور می‌سازد، استفاده از انتشار امواج رادیویی از طریق فضا است. در این روش علائم مورد نظر به کمک مبدل‌های خاص، به علائم الکتریکی تبدیل شده و این علائم روی علائم الکتریکی با فرکانس بسیار بالاتر، مدوله می‌شوند. مدوله‌سازی یکی از امور مهمی است که برای انتقال موثر و مطمئن اطلاعات در فرستنده‌ها صورت می‌گیرد. علائم فرکانس مدوله شده، تقویت شده و از طریق آنتن فرستنده که می‌تواند انرژی الکتریکی را به انرژی الکترومغناطیسی تبدیل کند، در فضا و در جهات مورد نظر به صورت امواج الکترومغناطیس، انتشار می‌یابد. این امواج توسط آنتن گیرنده، که عکس عمل آنتن فرستنده را انجام می‌دهد، دریافت می‌شود و آنتن، فقط بخشی از انرژی امواج الکترومغناطیسی را که حاوی علائم فیزیکی است، دریافت می‌کند. علائم دریافتی توسط آنتن به کمک یک گیرنده، انتخاب، آشکارسازی و تقویت شده و توسط مبدل‌هایی که عکس عمل مبدل‌های قبلی را انجام می‌دهند، جهت استفاده، در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌گیرد. امواج رادیویی با سرعت نور حرکت کرده و از آن جا که به خط مستقیم حرکت می‌کنند، برای این که انتقال صورت گیرد، باید آنتن گیرنده در دید آنتن فرستنده قرار داشته باشد. در نتیجه، فرستنده‌ها باید در نقاط مرتفع زمینی نصب شوند؛ تا منطقه بزرگی را پوشش دهند. البته فواصل دور را نیز می‌توان با بازتابش امواج رادیویی در یونوسفر تحت پوشش قرار داد. یونوسفر لایه گازی یونیزه شده در اتمسفر بالای سطح زمین؛ می‌باشد. امواج الکترومغناطیسی معمولاً با توجه به تواتر نوسان یا فرکانس آن‌ها؛ یعنی تعداد ارتعاشاتشان در یک ثانیه و همچنین طول آن‌ها مشخص می‌شوند. این امواج رادیویی، با واحد اندازه‌گیری "هرتز" (که معادل یک ارتعاش، یک گردش، یک دور یا یک سیکل در ثانیه است)، مورد سنجش قرار می‌گیرند.

۳-۱-۲-۱ طول امواج

مسئله طول امواج در سیستم ارتباطات رادیویی اهمیت خاصی دارد؛ چراکه اگر طول امواج معلوم نباشد، ضبط آن‌ها عملی نیست. برای شناخت بهتر طول موج، مثال امواج آب، دوباره یادآوری می‌گردد. همان‌طور که امواج ناشی از پرتاب یک شیء به داخل آب، با توجه به بزرگی و کوچکی شیء پرتاب شده، با فواصل کمتر و یا زیاده‌تر، به کناره آب می‌رسد، امواج رادیویی نیز فواصل زمانی مختلفی دارند. این فواصل زمانی، برای موج‌های کوچک، کمتر و

برای امواج بزرگتر، زیادتر است. بنابراین هر قدر تعداد امواج زیادتر باشد، طول آنها کمتر است. باید در نظر داشت، که فاصله امواج روی آب، با سرعت آنها ارتباط دارد و این سرعت، متناسب با عامل پیدایش آنها، متغیر است. در صورتی که سرعت امواج الکتریکی ثابت بوده و سرعت آنها معادل سرعت نور است. کوتاه ترین امواج (با طول موج کمتر از ده پیکومتر) که تواتر آنها بیش از 30 میلیارد میلیارد دور در ثانیه است، با اشعه گاما و دیگر اشعه های کیهانی تطبیق می کنند و امواج با طول موج ده نانومتر تا ده پیکومتر، با اشعه ایکس انطباق دارند. طول امواج اشعه نورانی رؤیت شدنی، بین 4 تا 700 نانومتر میلی متر بوده و تواتر آنها بین 375 تا 750 هزار میلیارد دور در ثانیه است. شایان ذکر است که طول امواج هرتزی مورد استفاده انسان، بیش از نیم میلی متر بوده و به 30 کیلومتر هم می رسد. تواتر این گونه امواج، بین هزار میلیارد تا ده هزار دور ثانیه، متغیر است.

طول موج به فاصله بین دو قله متوالی موج (یا بین هر دو نقطه تکراری موج که شکل یکسان دارند)، گفته می شود و آن را با λ نشان می دهند. موجی که دارای فرکانس بالاتری است، طول موج کوتاه تر دارد و موجی که فرکانس پایین تری دارد، طول موج بلندتری دارد. امواج رادیویی به امواج بلند، متوسط، کوتاه و بسیار کوتاه تقسیم می شوند.

تصویر شماره ۱- مقایسه پرتوهای الکترومغناطیسی از نظر نوع، طول موج، بسامد (فرکانس) و دمایی که در آن اشیاء این موج را تابش می کنند.

۴-۱-۲-۱ شیوه های انتشار

امواج رادیویی، مسیرهای متفاوتی بین فرستنده و گیرنده را طی می کنند، و مهم ترین آنها عبارتند از: امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی (تصاویر شماره ۲ و ۳).

تصویر شماره ۲- کیفیت انتشار امواج

تصویر شماره ۳- شیوه انتشار امواج رادیویی: امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی.

لازم به ذکر است که امواج ماهواره از نوع امواج فضایی می‌باشد.

تصویر شماره ۴- مسیر حرکت امواج سطحی

امواج زمینی؛ امواج زمینی امواجی هستند که مسیر حرکتشان در سطح زمین است و انحنای زمین را طی می‌کنند. امواج زمینی به امواج سطحی نیز معروف هستند. امواج زمینی موقعی وجود دارند، که گیرنده و فرستنده نزدیک سطح زمین باشند، و چون فرکانس این امواج کم است، لذا مسافت کمی را می‌توانند طی کنند.

امواج زمینی شامل:

□ موج سطحی

□ موج مستقیم

□ موج منعکس شده

می باشد. اگر طول مسیرهای امواج مستقیم و منعکس شده یکی باشند، هنگام رسیدن به آنتن گیرنده، هم فاز بوده و یکدیگر را از بین می برند. در واقع طول مسیرها یکی نیستند، و به همین دلیل همواره فقط قسمتی از موج، از بین می رود.

همواره قدرت امواج الکترومغناطیسی به نسبت عکس فاصله تا آنتن فرستنده، کاهش می یابد. ولی چون زمین یک هادی کامل نیست، قسمتی از امواج سطحی جذب زمین می شود. بعبارت دیگر، موج سطحی در اثر جذب زمین، تضعیف شده و قدرت میدان، با سرعتی بیشتر از نسبت معکوس فاصله طی شده، کاهش می یابد. افت های زمینی با افزایش فرکانس اضافه می شود و همین امر دلیل عدم امکان انتشار امواج با فرکانس های بالا، بصورت امواج سطحی است.

تصویر شماره ۵- منحنی های مربوط به رابطه قدرت میدان با فاصله و فرکانس

مشاهدات نشان داده که در فرکانس های بالاتر از ۱۵۰۰ کیلوسیکل در ثانیه (کیلوهرتز) مسئله افت ها، بحدی جدی می شود که دامنه عمل، فقط به چند مایل محدود می گردد. اثرات زمینی بر روی انتشار امواج سطحی، با جزئیات زیاد مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته و منحنی های مختلفی بدست آمده است، همانند تصویر شماره ۵ که رابطه بین قدرت میدان با فاصله و فرکانس، برای مسیرهای زمینی مختلف را نشان می دهد.

همانطوریکه در تصویر شماره ۵ ملاحظه می گردد با اضافه شدن فاصله، قدرت میدان کم می شود و نیز با افزایش فرکانس، قدرت میدان در یک فاصله مشخص از فرستنده، کاهش می یابد. موقعیکه مقدار فرکانس ۲۰۰۰ کیلوهرتز است دامنه تا ۱۰ مایل می رسد و به همین

ترتیب در فرکانس‌های بالاتر ادامه می‌یابد.

یادآوری می‌شود که موج زمینی (نوع سطحی) تنها برای فاصله‌های کوتاه با فرکانس‌های پایین و متوسط استفاده می‌شود. بنابراین برای پخش برنامه‌های رادیویی برای مسافت‌های دور (مثلاً برون مرزی) نمی‌توان از آن استفاده کرد.

امواج آسمانی؛ انتشار امواج آسمانی به نوعی انتشار اطلاق می‌گردد، که در آن امواج رادیویی منتشر شده در فضا، بعد از برخورد با لایه‌های یونیزه جو مجدداً به طرف زمین منحرف می‌گردند. انکسار در هر قشری از فضا صورت می‌گیرد. یونسفر دارای چند طبقه یونیزه شده با ارتفاعات متفاوت، غلظت‌های یونیزاسیون و مشخصات مختلف مربوط به خود می‌باشد. در ضمن هر طبقه ممکن است دارای چندین طبقه فرعی بوده که عمل انکسار در هر طبقه فرعی بطور جداگانه انجام می‌شود و بعد از چندین عمل انکسار در طبقات فرعی، موج بطرف زمین بر می‌گردد.

اینکه در چه نقطه‌ای، امواج آسمانی مجدداً به زمین بر می‌گردند، بستگی به زاویه ترک موج (زاویه آغاز انتشار) و ارتفاع طبقه یونیزه شده مورد نظر، دارد. اگر موج آسمانی با دامنه موج زمینی فرستنده به زمین برسد، پدیده "فیدینگ" (محو شدگی) ایجاد می‌شود. این پدیده بستگی به برآیند میدان دارد که با دو مولفه دارای رابطه فازی نامحدود، یعنی موج منعکس شده و موج زمینی، تعیین می‌گردد.

روابط فازی نامحدود همچنین در اثر تغییرات مکرر در مشخصات یونسفر ایجاد می‌شود. به همین دلیل همواره سعی می‌شود تا از بکارگیری امواج آسمانی جهت پخش برنامه‌های رادیویی در موج متوسط خودداری گردد، و با طراحی آنتن‌های مناسب می‌توان پخش تمام برنامه‌های رادیویی را توسط امواج زمینی انجام داد و این طراحی آنتن می‌بایست طوری باشد که قدرت موج آسمانی را کم کند، و بعبارت دیگر تنها امواج آسمانی هستند که بعد از انعکاس (بیشتر از تغییرات موج زمینی) به زمین می‌رسند و به همین دلیل ارتباطات راه دور را از این طریق امکانپذیر می‌سازد.

بنابراین، با انتخاب فرکانس متناسب و داشتن مشخصات یونسفر و تغییرات پرودیگ و غیره می‌توان از طریق انتشار امواج آسمانی، ارتباطات راه دور را انجام داد (بخصوص در مورد پخش برنامه‌های رادیویی از طریق HF¹).

ناحیه یونیزه جو، از حدود ۵۰ کیلومتری سطح زمین شروع می‌شود و تا ارتفاع حدود ۱۰۰۰ کیلومتری ادامه می‌یابد. همچنین ناحیه یونسفر، خود به سه لایه اصلی تقسیم بندی شده است، که به ترتیب (ارتفاع) به لایه‌های F, E, D معروف هستند.

1. High Frequency

تصویر شماره ۶- لایه‌های مختلف جو

تصویر شماره ۷- طبقات مختلف یونسفر در طول روز و شب

در شکل روبرو چگونگی تقسیم بندی لایه‌های مختلف یونسفر در طول شب و روز، نشان داده شده است. لایه D که موجب جذب امواج رادیویی در محدوده فرکانسی معینی می‌شود، در طول شب وجود ندارد.

لایه D در ارتفاع حدود ۶۰ تا ۹۰ کیلومتری قرار دارد و فقط در هنگام روز به وجود می‌آید. اگر چه این لایه به عنوان منعکس کننده امواج ELF و VLF و قسمتی از LF عمل می‌کند، ولی نقش عمده‌ای در جذب انرژی دارد، و در نتیجه در طول روز موجب تضعیف امواج رادیویی در باند MF و HF می‌شود. لایه E در ارتفاع حدود ۹۰ تا ۱۲۰ کیلومتری قرار دارد و چگالی یون آن در طول روز بسیار بالاتر از هنگام شب است. به همین دلیل است که

امواج رادیویی به هنگام روز در باند متوسط شدیداً در این لایه تضعیف می‌شوند. در طول شب امواج باند متوسط با کمترین تضعیف به طرف زمین منعکس می‌شوند.

لایه F که در ارتفاع حدود ۱۵۰ تا ۸۰۰ کیلومتری قرار دارد، در هنگام روز به دو لایه فرعی، F_1 و F_2 تقسیم می‌شود، بطوری که لایه F_1 در ارتفاع حدود ۱۵۰ کیلومتری تا ۲۲۰ کیلومتری و لایه F_2 در ارتفاع حدود ۲۲۰ کیلومتری تا ۸۰۰ کیلومتری قرار دارد. آنچه در پخش صدای رادیو موج کوتاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، وجود لایه‌های E و F است. انعکاس امواج رادیویی HF در لایه F امکان برقراری ارتباط رادیویی بین نقاط بسیار دور را فراهم می‌سازد.

امواج فضایی؛ انتشار امواج فضایی به انتشار در امتداد دید نیز معروف است، چرا که باید فرستنده و گیرنده در دید مستقیم یکدیگر قرار بگیرند، تا بتوانند ارتباط برقرار کنند. در شکل زیر چگونگی انتشار امواج فضایی آمده است.

تصویر شماره ۸- انتشار امواج فضایی

انتشار امواج در فرکانس‌های خیلی بالا (VHF^1) اساساً به امواج فضایی مربوط می‌شود، که درست بالای سطح زمین در اتمسفر حرکت می‌کنند. در مسیر حرکت امواج رادیویی در فضای بالای زمین در طول انحنای زمین، نوعی خمیدگی ایجاد می‌شود که باعث افزایش دامنه امواج رادیویی می‌گردد. بنابراین در انتشار امواج رادیویی VHF فقط فاصله‌ای را انتخاب می‌کنند که آنتن‌های فرستنده و گیرنده و تکرار کننده‌های بین راه، در دید یکدیگر باشند. همانطوریکه ذکر شد امواج فضایی متشکل از امواج مستقیم و امواج منعکس شده می‌باشند و در صورتیکه طول مسیرهای طی شده مساوی باشند، یکدیگر را از بین می‌برند. با وجود این، مقدار حذف، بستگی به چندین فاکتور، نظیر مقدار فاز، ضریب فاز منعکس در نقطه تابش، پرمیوتیو و قابلیت هدایت سطح زمین و غیره دارد.

تصویر شماره ۹- کیفیت انتشار امواج فضایی الکترومغناطیس

برای کم کردن حذف، می‌بایست اختلاف بین طول مسیرها تا آنجائیکه ممکن است زیاد باشد، این کار را می‌توان توسط اضافه کردن ارتفاع آنتن فرستنده و گیرنده انجام داد. اگر ارتفاع آنتن‌ها برابر با $2h$ (دو برابر طول موج) یا بیشتر باشد، افت در زمین تقریباً قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. انتشار امواج VHF بطریق انتشار امواج سطحی، غیرممکن است، زیرا که افت مورد نظر خیلی زیاد خواهد شد. حال، قدرت میدان در یک نقطه خاص دریافت، به نسبت رابطه بین موج مستقیم و موج

1. Very High Frequency

منعکس شده، تغییر می کند، رابطه فازی فوق الذکر توسط پارامتر ضریب انعکاس تعیین می شود. تغییرات مقدار ضریب انعکاس و فاز، تابعی از زاویه تابش است. موقعیکه سطح منعکس کننده، صاف است مقدار ضریب انعکاس، زیاد خواهد بود، زیرا در سطح های تخت انرژی منعکس شده در تمام جهات پراکندگی پیدا می کنند.

قدرت کل میدان در آنتن گیرنده از طریق جمع برداری موج مستقیم و موج منعکس شده بدست می آید. در ضمن فاز موج منعکس شده، می تواند بطور مناسبی توسط طول مسیر اضافی، تغییر یابد.

در عمل و بر حسب میزان انکسار، دامنه انتشار تا حدودی بیشتر از مقدار نظری آنست. مقدار نظری دامنه انتشار از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$D = 3.57 (\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r})$$

که در آن D فاصله بین دو آنتن فرستنده و گیرنده بر حسب کیلومتر، و H_t و H_r ارتفاع (از سطح دریا) آنتن های فرستنده و گیرنده بر حسب متر، می باشد.

با در نظر گرفتن اثر خمیدگی امواج رادیویی در طول انحنای زمین، شعاع زمین را $\frac{1}{3}$ برابر مقدار واقعی آن فرض می کنند و این به معنای افزایش ماگزیمم محدوده خدماتی به میزان حدود ۱۵ درصد می باشد، که در این صورت، فرمول فوق الذکر بشکل زیر خواهد بود:

$$D = 4.124 (\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r})^1$$

امواج فضایی، برای سیستم های سیار مختلف باندهای VHF و SHF، سیستم های تلفنی چند کاناله و پخش رادیویی و تلویزیونی استفاده می شود و معمولاً دارای دو مؤلفه است: یکی به کمک یک بازتابش از زمین دور می شود و دیگری در یک خط تقریباً مستقیم بین آنتن های فرستنده و گیرنده سیر می کند.

امواج رادیویی ارسالی در اثر برخورد با موانع نظیر تپه و کوه بین آنتن های فرستنده و گیرنده، منکسر می شوند و اگر امواج از یک زاویه چرخشی عبور کنند، افتی برابر با ۶ دسی بل در قدرت سیگنال ایجاد می کنند. هرگاه مانع موجود، خط دید را مسدود نماید، مقدار افت حاصل به میزان موثری افزایش می یابد.

انتشار امواج UHF^۲ نیز بر اساس همان اصول امواج VHF صورت می گیرد. طول موج امواج UHF کوچکتر است و این امر باعث می شود که اشیاء کوچکتر بتوانند ایجاد انعکاس نمایند. هم چنین آنتن های مربوط به این گونه امواج دارای ابعاد کوچکتری هستند و بهره و قابلیت هدایت آنها را می توان تا حدودی افزایش داد.

۱. در صورتیکه D بر حسب مایل، و H_t و H_r بر حسب فوت باشند، این فرمول به شکل زیر اصلاح می گردد:

$$D = 1.415 (\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r})$$

2. Ultra High Frequency

۵-۱-۲-۱ طیف فرکانس امواج رادیویی

همانطور که قبلاً گفته شد؛ طیف فرکانس امواج رادیویی، محدوده‌ای از فرکانس‌هاست، که برای ارتباط دو نقطه از فضا، به کار برده می‌شود. طرق مختلف انتشار امواج رادیویی به میزان زیادی به فرکانس آن‌ها، بستگی دارد، و در هر روش و برای هریک از آنها طیف فرکانس خاصی استفاده می‌شود.

به طور کلی می‌توان گفت، طیف امواج الکترومغناطیسی، شامل فرکانس‌های بسیار پایین تا فرکانس‌های بسیار بالا است. این طیف، بسته به نوع و کاربرد، به نواحی مختلفی تقسیم می‌شود و طیف فرکانس امواج رادیویی، تنها ناحیه کوچکی از این طیف است؛ که برای انتقال علائم مختلف از طریق فضا، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

امواج الکترومغناطیسی بر حسب فرکانسشان به نام‌های گوناگونی خوانده می‌شوند: امواج رادیویی، ریزموج، مادون قرمز، فرابنفش، پرتو ایکس و پرتو گاما. این پرتوها، به ترتیب افزایش فرکانس، در جدول زیر مرتب شده‌اند.

نام طیف	از فرکانس	تا فرکانس	به انگلیسی
اشعه گاما	۳۰ اگزا هرتز	۳۰۰ اگزا هرتز	γ
اشعه ایکس سخت	۳ اگزا هرتز	۳۰ اگزا هرتز	HX
اشعه ایکس نرم	۳۰ پتا هرتز	۳ اگزا هرتز	SX
فرابنفش دور	۳ پتا هرتز	۳۰ پتا هرتز	EUV
فرابنفش نزدیک	۳۰۰ ترا هرتز	۳ پتا هرتز	NUV
موج کوتاه مادون قرمز	۳۰ ترا هرتز	۳۰۰ ترا هرتز	NIR
موج متوسط مادون قرمز	۳ ترا هرتز	۳۰ ترا هرتز	MIR
موج بلند مادون قرمز	۳۰۰ گیگاهرتز	۳ ترا هرتز	FIR
فرکانس مافوق بالا (ریزموج)	۳۰ گیگاهرتز	۳۰۰ گیگاهرتز	EHF
فرکانس بسیار بالا (ریزموج)	۳ گیگاهرتز	۳۰ گیگاهرتز	SHF
فرکانس فرا بالا (امواج رادیویی)	۳۰۰ مگاهرتز	۳ گیگاهرتز	UHF
فرکانس خیلی بالا (امواج رادیویی)	۳۰ مگاهرتز	۳۰۰ مگاهرتز	VHF
فرکانس بالا (امواج رادیویی)	۳ مگاهرتز	۳۰ مگاهرتز	HF

MF	۳ مگاهرتز	۳۰۰ کیلوهرتز	فرکانس متوسط (امواج رادیویی)
LF	۳۰۰ کیلوهرتز	۳۰ کیلوهرتز	فرکانس پایین (امواج رادیویی)
VLF	۳۰ کیلوهرتز	۳ کیلوهرتز	فرکانس خیلی پایین (امواج رادیویی)
VF/ULF	۳ کیلوهرتز	۳۰۰ هرتز	فرکانس در حد صوت / فرکانس بسیار پایین (امواج رادیویی)
SLF	۳۰۰ هرتز	۳۰ هرتز	فرکانس خیلی زیاد پایین (امواج رادیویی)
ELF	۳۰ هرتز	۳ هرتز	فرکانس فوق العاده پایین (امواج رادیویی)

۲-۱-۲ ساختمان آنتن و انواع آن

به طور کلی آنتن از یک سیم مستقیم تشکیل شده است، که اگر در فرستنده به کار رود، امواج فرستنده را به امواج الکترومغناطیس تبدیل نموده و پخش می‌نماید، و اگر در گیرنده به کار رود، امواج الکترومغناطیسی موجود در فضا را دریافت نموده و تبدیل به امواج الکتریکی نموده و جهت آشکار شدن، به مدار گیرنده می‌دهد.

معمولاً در گیرنده‌ها، هر آنتن به ازاء یک فرکانس مشخصی، به تشدید درآمده و به ازاء آن فرکانس، ولتاژ ماگزیمم مشخصی تولید می‌نماید. هرگاه طول آنتن متناسب با طول موج دریافتی باشد، موج کاملاً در آنتن قرار می‌گیرد، و اصطلاحاً می‌گویند آنتن رزونانس شده و یا به تشدید در آمده است، یعنی آنتن با موج رسیده هماهنگ شده است و در این حالت ولتاژی که به آنتن رسیده، حداکثر است.

البته نیازی نیست که همیشه طول آنتن حتماً با طول موج رسیده کاملاً برابر باشد، زیرا جهت رفع این مشکل، سیم پیچی را به همراه یک یا دو خازن متغیر به آنتن اضافه می‌کنند، تا حالت تشدید را در آنتن بوجود آورند.

اکنون برای شناسائی بهتر آنتن، اول به شرح کلی و مختصر تعدادی از آنتن‌ها از نظر شکل پرداخته می‌شود و سپس بطور اختصار در مورد آنتن‌ها در فرکانس‌های مختلف شرح داده می‌شود.

آنتن‌ها از نظر شکل، دارای طیف بسیار گسترده‌ای می‌باشند، و به انواع بسیار متفاوتی تقسیم می‌گردند. ذیلاً به تعدادی از آنها اشاره می‌گردد:

- آنتن لوپ
- آنتن یک قطبی
- آنتن دوقطبی
- آنتن یاگی
- آنتن سهموی

تصویر شماره ۲۱- یک آنتن سهموی، بزرگترین وسیله برای ارتباطات ماهواره‌ای
آنتن‌های سهموی، در کاربردهایی مانند لینک‌های باز پخش مایکروویو که سیگنال تلویزیون و
تلفن را بین شهرهای نزدیک انتقال می‌دهند، لینک‌های بیسیم شبکه گسترده (WAN) و شبکه
محلی (LAN) برای انتقال دیتا، ارتباطات ماهواره‌ای و آنتن‌های ارتباطی فضاییما، و همچنین در
تلسکوپ‌های رادیویی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۲-۱ تقسیم‌بندی آنتن‌ها از نظر نوع و مقدار فرکانس

همانطور که قبلاً گفته شد، تفاوت اصلی بین آنتن‌هایی که در فرکانس‌های مختلف کار می‌کنند،
در اندازه و شکل آنهاست. بجز مقدار فرکانس، بهره آنتن، قابلیت تحرک آنتن و پرتو تشعشعی
مورد نیاز، همه در شکل فیزیکی آنتن اثر تعیین کننده دارند.
یادآوری می‌شود که موج فرستنده در میدان الکترومغناطیسی نوسان می‌کند، و موج توسط آنتن
گیرنده دریافت می‌شود. تعداد نوسان موج در یک ثانیه را فرکانس گویند. هر چه فرکانس
بیشتر شود، طبق رابطه زیر طول موج کمتر است:

$$C = f \times \lambda$$

C = سرعت امواج الکترومغناطیس است که برابر با 300×10^8 سانتیمتر بر ثانیه است.

f = فرکانس موج فرستنده بر حسب هرتز

λ = طول موج بر حسب سانتیمتر

بنابراین در رابطه بالا چون C مقدار ثابتی است، فرکانس با طول موج نسبت عکس پیدا می‌کند.
هر چه طول موج کوتاهتر باشد، فرکانس بالاتر است، و برعکس هر چه فرکانس پایین تر
باشد، طول موج بلندتر است.

طول آنتن‌ها بستگی به طول موج، و طول موج هم بستگی به فرکانس دارد. بنابراین برحسب فرکانس
مورد نیاز طول موج را بدست آورده و با استفاده از طول موج، اندازه آنتن مشخص می‌شود.

برای فهم بهتر موضوع، نمونه‌هایی از آنتن مورد استفاده در فرکانس‌های مختلف، در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۳-۱ آنتن‌های فرکانس بالا - HF

باند HF از ۳ مگاهرتز تا ۳۰ مگاهرتز را می‌پوشاند، و مقدار $\lambda/2$ (طول آنتن) برای این فرکانس‌ها، از ۵ متر تا ۵۰ متر است. این آنتن‌ها، از نوع آنتن‌های دوقطبی $\lambda/2$ (نیم موج) و آنتن یک قطبی می‌باشد. آنتن HF معمولاً بین دو پایه بطور افقی محکم کشیده می‌شود، و پایه‌ها خود بوسیله سیم‌های حایل فلزی محکم شده‌اند. البته خود آنتن نسبت به پایه‌ها عایق‌بندی شده است.

آنتن یک قطبی HF معمولاً بطور قائم وصل می‌شود. نظر به اینکه این آنتن شبیه به شلاق است، آنرا آنتن شلاقی نیز می‌خوانند. طول این آنتن، بستگی به فرکانس دارد. مزیت اصلی این نوع آنتن قائم، یکنواخت بودن تشعشع آن در تمام جهات یک صفحه افقی است. به همین دلیل از این نوع آنتن HF برای سیستم ارتباطات رادیویی با پوشش وسیع، استفاده می‌شود.

۱-۲-۳-۲ آنتن‌های VHF/UHF

این نوع آنتن‌ها نیز از نوع آنتن‌های فرکانس بالا است، که باند فرکانسی آنها از ۳۰ مگاهرتز تا ۳ گیگاهرتز را می‌پوشاند. طول $\lambda/2$ معادل آنها از ۵ سانتیمتر تا ۵ متر خواهد بود. در عمل، حد پائین طول، ۲۵ سانتیمتر است.

آنتن‌هایی که در این باندها بکار می‌روند، بعلت بهره بالائی که مورد نیاز است، اکثراً از آنتن‌های دوقطبی تاشده (دی پل دوپل) با منعکس کننده و جهت دهنده‌ها، استفاده می‌شود (مجموعه آنتن یاگی). اندازه آنها نسبتاً کوچک است، بطوریکه براحتی بر روی پشت بامها و دکل‌های آنتن، قابل نصب هستند. آنتن‌های تلویزیون در پشت بامها، نمونه آنتن‌های VHF-UHF (دوقطبی تاشده)، هستند.

۱-۲-۳-۳ آنتن‌های SHF یا آنتن‌های مایکروویو

برای باند فرکانس‌های فوق‌العاده بالا که بین ۳ گیگاهرتز تا ۳۰ گیگاهرتز قرار دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. حدود طول موج از یک سانتیمتر تا ۱۰ سانتیمتر تغییر می‌کند، و بعلت این طول موج بسیار کوچک، فرکانس‌های SHF معمولاً فرکانس مایکروویو، نامیده می‌شوند. ماهیت فرکانس‌های مایکروویو باعث می‌شود که خطوط انتقال برای حمل سیگنال‌های مورد استفاده، از نوع موجبر، باشند.

در واقع انرژی فرکانس‌های رادیویی مایکروویو به توسط دیواره‌ای فلزی در داخل موجبر

محبوس می‌شود. ابعاد موجبر (سطح مقطع) بوسیله پایین‌ترین فرکانسی که از آن عبور می‌کند، معین می‌گردد. این موج الکترومغناطیس در داخل موجبر حرکت می‌کند.

موجبری که سیگنال رادیویی را حمل می‌کند، بطور مناسبی خم شده و انتهای آن در کانون کاسه آنتن قرار دارد. کاسه آنتن، امواج الکترومغناطیس را که از درون موج، به آنتن میتابد، کانونی کرده، و بصورت یک شعاع باریک بداخل فضا می‌فرستد. سیگنالهای (امواج) میکروویو بسیار شبیه به امواج نوری عمل می‌کنند. آنها می‌توانند مانند اشعه نورانی، کانونی شوند و یا منعکس گردند.

اندازه نسبی کاسه منعکس کننده آنتن، نسبت به طول موج، بهره آنتن را تعیین می‌کند. هر چه کاسه آنتن بزرگتر باشد، میزان بهره بالاتر خواهد بود.

آنتن‌های کاسه‌ای بطور گسترده در ارتباطات رادیویی نقطه به نقطه میکروویو بکار می‌روند. همانطور که در نوع آنتن سهموی گفته شد، این آنتن در ارتباطات میکروویو رادار و ماهواره مورد استفاده قرار می‌گیرد. بهره این آنتن نسبت به آنتن‌های طولی (یک قطبی، دوقطبی و غیره) بسیار بهتر است و همین بهره فوق‌العاده است که آنتن‌های سهموی را یک ضرورت حیاتی برای سیستمهای میکروویو تبدیل کرده است. گاهی اوقات کاسه آنتن‌های میکروویو به دلیل اندازه و قطر بزرگشان، از سطوح فلزی مشبک ساخته می‌شوند. این امر برای کم کردن فشار باد، و بار ناشی از آن بر روی دکل‌های حایل آنتن است. البته اندازه سوراخ‌های شبکه، باید در مقایسه با طول موج فرکانس اعمال شده، کوچک باشند.

منعکس کننده‌های مسطح نیز معمولاً در سیستمهای ارتباط میکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منعکس کننده‌ها، برای تغییر جهت دسته شعاع انرژی میکروویو از یک مسیر به مسیر مشخص دیگر، بکار می‌روند.

گاهی اوقات در سیستمهای میکروویو، منعکس کننده‌های غیرفعال در بالای دکل، و آنتن سهموی در پایین آن نصب می‌شود. این عمل وقتی انجام می‌شود که ارتفاع دکل مورد نیاز از حد معینی (معمولاً ۸۰ متر) تجاوز کند. این امر را برای جلوگیری از اتلاف موج در طول آنتن بالای دکل و رادیو فرستنده که باعث اتلاف انرژی می‌شود، انجام می‌دهند. کاسه اصلی، انرژی فرکانس رادیویی را به طرف منعکس کننده بالای دکل می‌فرستد. جهت منعکس کننده طوری تعیین شده که اشعه میکروویو بطرف آنتن معین و مورد نظر بعدی فرستاده می‌شود.

کاسه‌های آنتن بوسیله روکش، پوشانده می‌شوند. این روکش‌ها جهت جلوگیری از جمع شدن باران، برف و حتی گاهی گرد و خاک در داخل کاسه‌هایی است که بطور افقی، نصب می‌شوند. وجود اشیاء خارجی در درون کاسه می‌تواند پرتو تشعشعی را تغییر داده، و بطور قابل ملاحظه‌ای در بهره آنتن اثر گذارد. ماده‌ای که روکش آنتن از آن ساخته می‌شود، معمولاً از نوعی پلاستیک درست شده، که برای سیگنالهای میکروویو شفاف می‌باشند.

فصل دوازدهم

منابع و مأخذ

۱-۱۲ منابع و مأخذ انگلیسی

{۱} Site selection for VHF and UHF transmitting stations , E.B.U. Technical Monograph No. 3104, 1965.

{۲} Technical data used by the European VHF/ UHF Broadcasting Conference, Stockholm 1961 . Published by the I.T.U. Geneva.

{۳} Atlas of ground-wave propagation curves for frequencies between 30 Mc/s and 300Mc/s . Published by the I.T.U. Geneva.

{۴} Renoir, M., Dassonville, R., Destrade, M. and Pham van Cang, L.: Les antennes C.S.F. pour la television en ondes decimetriques (C.S.F. antennas for television at decimetric wavelengths). Chesneau, R.: Antennes de television C.F.T.H. pour ondes decimetriques (C.F.T.H. television antennas for decimetric waves). L'Onde Electrique, No. 452, November, 1964, issue dealing with television on decimetric waves.

{۵} Bononyi, J. and Wills, R.G. : The development of transmitting aerials for bands IV and V. Sound and Vision Broadcasting, Vol. 5, No. 3, Winter 1964/ 65.

{۶} WBAL, WJZ and WMAR build the world's first three antenna candelabra. R.C.A. Broadcast News, Vol. 106, December, 1964.

{۷} Television satellite stations. E.B.U. document TECH. 3079, 1959.

{۸} Shellard, H.C.: Extreme wind speeds over the United Kingdom for periods ending 1959. The Meteorological Magazine, Vol. 91, No. 1, February, 1962.

{۹} Report No. 14 of the Institut fur Rundfunktechnik, Hamburg, June, 1959.

{۱۰} Drabowitch, S.: L'antenne a panneau directif et ses dispositifs d'alimentation (Directional panel aerials and feeding arrangements). Revue Technique C.F.T.H., No. 23, September, 1959.

- {۱۱} Rateau, M.: Les antennes panneaux a fentes pour ondes decimetriques (Slot antennas: Principles and practice). L'Onde Electrique, No. 452, November, 1964, issue dealing with television on decimetric waves.
- {۱۲} Hanneman, I.G., Ramboll, B.J. and Mogensen, Ib: Steel masts and towers for the Danish Radio and TV broadcasting systems. Teleteknik, Vol. 2, No. 1, 1958.
- {۱۳} Hayden, J.R.: Tall television towers. Boston Society of Civil Engineers Journal, October, 1957.
- {۱۴} Transmitting aerial systems for Band I. Document No. 3909 E, International Television Conference, June, 1963.
- {۱۵} The degradation of existing services caused by the erection of a new mast at an existing site. B.B.C. Research Department Report No. E 083.
- {۱۶} Hill, P.C.J.: Measurement of reradiation from lattice masts at VHF. Proceedings of the I.E.E., Vol. 111, No. 12, December, 1964, pp. 1957-1968.
- {۱۷} Berner, H.: Die Antennenanlage auf dem Donnersberg (The aerial installation on the Donnersberg). SEL Nachrichten, Vol. 11, No. 2, 1963, pp. 86-92.
- {۱۸} Huber, F.R. and Neubauer, H.: Die Goubau-Leitung im praktischen Einsatz (Practical utilisation of a Goubau line). Rohde & Schwarz Mitteilungen, No. 13, April 1960, pp. 332-343.
- {۱۹} Thielcke, H.: The sharing by VHF and UHF transmitters of medium-wave transmitter sites. E.B.U. Review, No. 83-A, February, 1964.
- {۲۰} General Characteristics of aerial towers and masts for metric and decimetric waves. (Information furnished by Members of the E.B.U.). E.B.U. document Com. T. 148 (September, 1961)
- {۲۱} Towers and Masts for VHF & UHF transmitting aerals. F.D.Bolt, E.B.U. Technical Centre, Technical Monograph, No. 3103, 1965

۱۲-۲ منابع و مأخذ فارسی

- {۲۲} شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، فرهنگنامه برق IEC
- {۲۳} سجاد پورنقی باهوش، مخابرات دیجیتال؛ مقاله وبلاگ ۱۳۹۱
- {۲۴} سید حسن حسینی الست، دنیای شگفت انگیز ارتباطات ماهواره‌ای، سروش ۱۳۶۳