



اصول سنجش از دور

(رشته زمین شناسی)

فرهاد محرمی دکتر علیرضا جعفری راد

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

نه	پیشگفتار
۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر سنجش از دور
۲	۱-۱ تعریف سنجش از دور
۳	۲-۱ موج الکترومغناطیسی
۵	۳-۱ طیف الکترومغناطیسی
۱۰	۴-۱ واکنش با اتمسفر
۱۸	۵-۱ تابش - واکنش با هدف
۲۶	۶-۱ مشخصات تصویر
۲۹	خودآزمایی فصل اول
۳۱	فصل دوم: سنجنده
۳۲	۱-۲ تعریف سنجنده
۳۲	۲-۲ تقسیم‌بندی سنجنده‌ها
۳۳	۱-۲-۲ تقسیم‌بندی سنجنده‌ها بر اساس منبع انرژی
۳۵	۲-۲-۲ تقسیم‌بندی سنجنده‌ها بر اساس بازده اطلاعاتی
۳۵	۳-۲-۲ پوینده‌های چند طیفی
۴۰	۴-۲-۲ سنجنده‌های حرارتی
۴۱	۵-۲-۲ سنجنده‌های رادار
۴۳	۳-۲ سنجنده‌های متداول در سنجش از دور
۴۳	۱-۳-۲ طیف سنج اشعه گاما
۴۵	۲-۳-۲ دوربین‌های هوایی
۴۹	۳-۳-۲ MSS سنجنده
۵۲	۴-۳-۲ سنجنده نقشه‌بردار موضوعی
۵۳	۵-۳-۲ رادیومتر پیشرفته با تفکیک خیلی زیاد (AVHRR)
۵۴	۶-۳-۲ رادار با گشودگی حقیقی

۵۵	۲-۳-۷ رادار با گشودگی ترکیبی (SAR)
۵۶	۲-۴ مدار گردش ماهواره‌ها
۵۶	۲-۴-۱ ارتفاع
۵۷	۲-۴-۲ شکل مدار گردش
۵۷	۲-۴-۳ زاویه انحراف
۵۷	۲-۴-۴ دوره گردش
۵۸	۲-۴-۵ دوره تکرار
۶۲	خودآزمایی فصل دوم
۶۵	فصل سوم: سکوها
۶۶	۳-۱ تعریف سکو
۶۶	۳-۱-۱ سکوهای زمینی
۶۷	۳-۱-۲ سکوهای هوایی
۶۸	۳-۲ ماهواره‌ها
۶۸	۳-۲-۱ مقدمه
۶۹	۳-۲-۲ ماهواره مشاهده منابع زمینی
۶۹	۳-۲-۳ ماهواره لندست
۷۷	۳-۲-۴ ماهواره اسپات
۸۲	۳-۲-۵ سنجنده‌ها و ماهواره‌های اقیانوس شناسی
۸۶	۳-۲-۶ ماهواره IRS
۸۸	۳-۲-۷ ماهواره‌های هواشناسی
۹۳	۳-۲-۸ ماهواره JERS
۹۳	۳-۲-۹ ماهواره IKONOS
۹۵	۳-۲-۱۰ ماهواره TERRA
۹۷	۳-۲-۱۱ ماهواره Quickbird
۹۸	۳-۲-۱۲ ماهواره Geoek-1
۹۹	۳-۲-۱۳ ماهواره worldview-1
۱۰۰	۳-۲-۱۴ ماهواره worldview-2
۱۰۱	۳-۲-۱۵ ماهواره‌های فراطیفی (Hyperspectral)
۱۰۶	خودآزمایی فصل سوم
۱۰۷	فصل چهارم: تصحیحات رادیومتری
۱۰۷	۴-۱ مقدمه
۱۰۸	۴-۲ اصلاحات آرایه‌ای
۱۰۹	۴-۲-۱ جا افتادگی متناوب خطوط
۱۱۰	۴-۲-۲ نوار نوار شدن
۱۱۲	۴-۲-۳ نمونه تصادفی و لکه‌ای
۱۱۳	۴-۳ تصحیحات جوی
۱۱۳	۴-۳-۱ تیرگی هوا
۱۱۴	۴-۳-۲ تصحیح زاویه خورشید
۱۱۵	۴-۳-۳ تصحیح نور آسمان
۱۱۶	خودآزمایی فصل چهارم

۱۱۷	فصل پنجم: تصحیحات هندسی
۱۱۷	۱-۵ مقدمه
۱۱۹	۲-۵ جابجایی ارتفاعی
۱۲۰	۳-۵ رویکرد دو بعدی
۱۲۲	۱-۳-۵ زمین مرجع کردن
۱۲۴	۲-۳-۵ کدگذاری
۱۲۷	۴-۵ رویکردهای سه بعدی
۱۲۸	۱-۴-۵ تبدیل یک بعدی
۱۲۸	۲-۴-۵ تولید تصویر متعامد شده
۱۲۹	۳-۴-۵ تبدیل سه بعدی
۱۳۱	خودآزمایی فصل پنجم
۱۳۳	فصل ششم: بارزسازی و نمایش تصویر
۱۳۳	۱-۶ مقدمه
۱۳۴	۲-۶ درک رنگ‌ها
۱۳۵	۱-۲-۶ الگوی سه محرکی
۱۳۶	۲-۲-۶ فضاهاى رنگی
۱۴۰	۳-۶ نمایش داده‌های تصویری
۱۴۰	۱-۳-۶ نمودار مستطیلی
۱۴۳	۲-۳-۶ نمایش تصاویر تک باندی
۱۴۴	۴-۶ ترکیب رنگی
۱۴۶	۱-۴-۶ کاربرد فضاهاى RGB و IHS برای تلفیق تصاویر
۱۴۷	۵-۶ عملکردهای فیلتری
۱۴۹	۱-۵-۶ فیلتر کاهش نوفه
۱۵۱	۲-۵-۶ فیلتر آشکارساز لبه
۱۵۱	خودآزمایی فصل ششم
۱۵۵	فصل هفتم: تفسیر بصری تصویر
۱۵۵	۱-۷ مقدمه
۱۵۷	۲-۷ درک و تفسیر تصویر
۱۵۷	۱-۲-۷ قدرت بینایی انسان
۱۵۷	۲-۲-۷ عناصر تفسیر
۱۶۱	۳-۲-۷ دید سه بعدی
۱۶۳	۳-۷ کاربرد تفسیر بصری تصاویر
۱۶۳	۱-۳-۷ تهیه نقشه پوششی خاک با استفاده از عکس‌های هوایی
۱۶۵	۲-۳-۷ تولید نقشه پوششی از داده‌های چند طیفی
۱۶۹	۴-۷ جنبه‌های کیفی
۱۷۱	خودآزمایی فصل هفتم
۱۷۳	فصل هشتم: طبقه‌بندی رقومی تصاویر
۱۷۳	۱-۸ مقدمه
۱۷۵	۲-۸ اصول طبقه‌بندی تصویر

۱۷۵	۸-۲-۱ فضای تصویر
۱۷۵	۸-۲-۲ دیاگرام پراکنش
۱۷۸	۸-۲-۳ طبقه‌بندی تصاویر
۱۸۰	۸-۳ فرآیند طبقه‌بندی تصویر
۱۸۱	۸-۳-۱ آمایش جهت طبقه‌بندی تصاویر
۱۸۲	۸-۳-۲ طبقه‌بندی تصویر نظارت شده
۱۸۳	۸-۳-۳ طبقه‌بندی تصویر نظارت نشده
۱۸۵	۸-۳-۴ الگوریتم‌های طبقه‌بندی
۱۸۹	۸-۴ اعتبار سنجی نتایج
۱۹۱	۸-۵ مشکلات طبقه‌بندی تصویر
۱۹۳	خودآزمایی فصل هشتم
۱۹۵	پاسخنامه
۱۹۷	منابع

پیشگفتار

نخست سپاس خدای رحمان را که اینجانبان را مورد لطف قرار داد تا از جمله طالبان علم و معرفت باشیم و قدمی هرچند ناچیز در راه ارتقا و اعتلای دانش پژوهان ایران زمین برداریم.

فن‌آوری سنجش از دور شامل اندازه‌گیری و ثبت انرژی بازتابی از سطح زمین و جو در برگیرنده آن از یک مکان مناسب بالاتر از سطح زمین است. پرتوهای بازتابی که از نوع امواج الکترومغناطیس هستند، می‌توانند دارای منابع گوناگونی همانند پرتوهای خورشیدی، پرتوهای حرارتی اجسام یا حتی پرتوهای مصنوعی (پرتوهای راداری) باشند. پرتوهای بازتابیده شده از اجسام زمینی توسط سنجنده‌های ویژه‌ای در مقیاس هوابرد و یا فضا برد، به صورت قابل نمایش و پردازش ثبت و ذخیره می‌شوند.

سنجش از دور در بسیاری از زمینه‌های علمی و تحقیقاتی کاربردهای گسترده‌ای دارد به‌خصوص آنکه با پیشرفت‌های شگرفی که در باب ارتقای دستگاه‌های سنجده صورت پذیرفته است، امکان خلق تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی، طیفی و زمانی خارق‌العاده‌ای میسر شده است. از جمله کاربردهای فن سنجش از دور می‌توان به استفاده از آن در امور نظامی، زمین‌شناسی، آب‌شناسی، اکتشاف مواد معدنی، شیلات، جغرافیا، مطالعات زیست‌شناسی، مطالعات زیست محیطی، هواشناسی، کشاورزی، جنگل‌داری، توسعه اراضی و به‌طور کلی مدیریت منابع زمینی اشاره کرد.

سنجش از دور می‌تواند تغییرات دوره‌ای پدیده‌های سطح زمین را نشان دهد و در بررسی مواردی چون تغییر گستره‌های شهری و روستایی، پوشش‌های گیاهی اعم از

جنگل‌ها و مراتع، تغییر حد و مرز پیکره‌های آبی چون دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها، تغییر مورفولوژی سطح زمین و غیره بسیار مفید است. افزون بر این یک سامانه سنجش از دور با توجه به این که بر اساس ثبت تغییرات و اختلافهای بازتابش الکترومغناطیسی از پدیده‌های مختلف عمل می‌کند، می‌تواند حد و مرز پدیده‌های زمینی شامل مرز انواع خاک‌ها، سنگ‌ها و گیاهان گوناگون را مشخص کند. سنجش از دور در هواشناسی و اندازه‌گیری میزان خسارت ناشی از بلایای طبیعی همچون زلزله، سیل، سونامی، آتشفشان و آتش‌سوزی جنگل‌ها، کشف آلودگی در پیکره‌های آبی نیز کاربرد دارد. بدون تردید استفاده از فن‌آوری سنجش از دور نه تنها سرعت انجام مطالعات وابسته به علوم زمین را بیشتر می‌کند، بلکه از نظر دقت، هزینه و نیروی انسانی نیز بسیار مقرون به صرفه‌تر است.

در نگارش این کتاب سعی نگارندگان بر آن بوده است که با استفاده از منابع و مآخذ معتبر و به روز مرجع کاملی برای آشنایی دانشجویان و محققان عزیز با اصول فن‌آوری سنجش از دور تدوین گردد. بر همین اساس کتاب در هشت فصل طراحی گردید. در فصل اول به ارائه مقدمه‌ای بر سنجش از دور پرداخته‌ایم که در آن مفاهیم و کلیات سنجش از دور بیان شده است. در فصول دوم و سوم مطالبی در باب آشنایی یا سنجده‌ها و سکوها به ترتیب ارائه شده است. فصل چهارم شامل مباحث مربوط به تصحیحات رادیومتری و فصل پنجم مربوط به تصحیحات هندسی می‌باشد. در فصل ششم بازسازی و نمایش تصویر توضیح داده شده و در فصل هفتم تفسیر بصری تصویر مورد بحث قرار گرفته است، سپس در پایان در فصل هشتم به طبقه‌بندی رقومی تصاویر اشاره گردیده است.

نگارندگان این کتاب بر خود واجب می‌دانند از تمامی سرورانی که در تمام مراحل تالیف اعم از ویراستاری علمی و نگارشی و همچنین چاپ آن مساعدت نموده‌اند کمال تشکر را ابراز نمایند. سعی ما بر آن بوده است که اثری عاری از کاستی و اشتباه تقدیم شما عزیزان گردد، با این حال از خوانندگان عزیز و نکته‌سنج استدعا داریم خطاهای سهوی و نواقص موجود را در جهت رفع آن به ما گوشزد نمایند تا در چاپ‌های بعدی اعمال گردد.

با تشکر و احترام

فرهاد محرمی (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)،

دکتر علیرضا جعفری‌راد (عضو علمی دانشگاه آزاد اسلامی)

پاییز ۱۳۹۲

فصل اول

مقدمه‌ای بر سنجش از دور

هدف کلی

هدف از ارائه این فصل آشناکردن شما با:

۱. تعریف سنجش از دور.

۲. عناصر اصلی در سنجش از دور.

۳. موج الکترومغناطیسی.

۴. طیف الکترومغناطیسی.

۵. شناخت انواع پراکنش.

۶. مشخصات تصویر.

هدف‌های رفتاری

پس از مطالعه این فصل شما باید بتوانید:

۱. سنجش از دور را تعریف کرده و عناصر اصلی آن را توضیح دهید.

۲. اجزای یک موج الکترومغناطیسی را شرح دهید.

۳. محدوده‌های مختلف یک طیف الکترومغناطیسی را شناسایی کنید.

۴. علل بروز پراکنش ملکولی، Mie و غیرانتخابی را توضیح دهید.

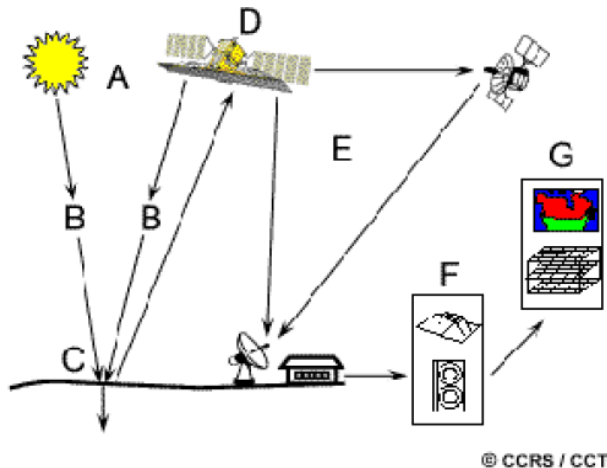
۵. پدیده‌های بازتاب، جذب و انتقال را شرح دهید.

۶. پنجره اتمسفری را توصیف کنید.

۷. قدرت تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریک را شرح دهید.

۱-۱ تعریف سنجش از دور

سنجش از دور علم اکتساب، پردازش و تفسیر تصاویری است که واکنش بین انرژی الکترومغناطیس و ماده را ضبط می‌کند. سنجش از دور، مهارت به دست آوردن اطلاعات درباره یک شیء، ناحیه یا پدیده از طریق تحلیل داده‌های به دست آمده بدون تماس مستقیم با آن شیء، پدیده و یا ناحیه می‌باشد. این عمل به وسیله سنجش و ثبت انرژی بازتاب یافته یا منتشرشده، و سپس پردازش و تحلیل آن انجام می‌پذیرد. عمل سنجش از دور مستلزم حضور هفت عنصر زیر می‌باشد (شکل ۱-۱):



شکل ۱-۱ هفت عنصر اصلی در سنجش از دور

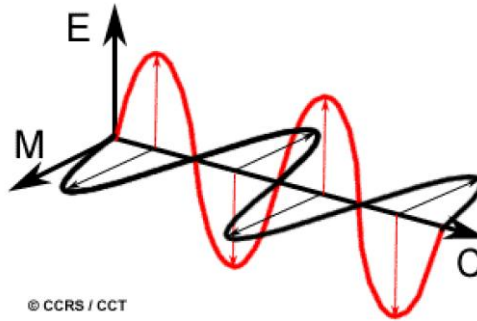
- منبع انرژی یا تابش (پراکنش نور) (A): نخستین جزء مورد نیاز برای سنجش از دور، یک منبع انرژی است که موج الکترومغناطیسی را برای تابش به شیء مورد نظر فراهم نماید.
- تشعشع و اتمسفر (B): هنگامی که انرژی به شکل موج الکترومغناطیسی بر جسمی می‌تابد، در مسیر حرکت خود با اتمسفر تماس یافته و واکنشی بین آنها رخ می‌دهد. این واکنش ممکن است هنگام بازگشت انرژی به طرف سنجنده نیز رخ دهد.
- واکنش با شیء موردنظر (C): وقتی که انرژی با هدف برخورد می‌کند، با آن واکنش

- انجام می‌دهد که این واکنش بستگی به خصوصیات هدف و موج تابیده شده دارد.
- **ثبت انرژی به‌وسیله سنجنده (D):** بعد از آنکه انرژی به‌وسیله شیء (هدف)، پراکنش و یا از آن بازتاب می‌یابد، وجود یک سنجنده (از دور و بدون تماس) برای جمع‌آوری و ثبت امواج الکترومغناطیس ضروریست.
- **ارسال، دریافت و پردازش (E):** انرژی ثبت‌شده به‌وسیله سنجنده باید (اغلب) در قالب الکترونیکی به یک ایستگاه دریافت و پردازش انتقال یابد. در واقع در این ایستگاه‌ها، داده‌ها به تصویر (هاردکپی یا رقومی) تبدیل می‌شوند.
- **تفسیر و تحلیل (F):** تصویر پردازش‌شده به‌صورت بصری، رقومی و یا الکترونیکی می‌تواند تفسیر شود. این تفسیر و تحلیل برای استخراج اطلاعات درباره شیء (هدف) مورد نظر به‌کار برده می‌شود.
- **کاربرد (G):** عنصر نهایی در سنجش از دور زمانی حاصل می‌شود که اطلاعات کسب‌شده از شیء (هدف)، برای درک و فهم بهتر از آن به‌کار گرفته شوند. حصول این مطلوب منتج به دریافت دانش بیشتر و حل مشکلات خاص در مورد آن پدیده یا شیء می‌شود.

۱-۲ موج الکترومغناطیسی

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، نخستین عنصر سنجش از دور، داشتن یک منبع انرژی برای تاباندن امواج به هدف است. این انرژی به شکل امواج الکترومغناطیسی می‌باشد.

تمامی امواج الکترومغناطیسی دارای خواص بنیادی بوده و حرکتی عمود بر یکدیگر، براساس مبانی تئوری امواج دارند. موج الکترومغناطیسی شامل یک میدان الکتریکی (E) است که بزرگی آن در جهت عمود بر مسیر حرکت موج تغییر می‌کند و شامل یک میدان مغناطیسی (M) می‌باشد (شکل ۱-۲). هر دوی این میدان‌ها با سرعت نور حرکت می‌کنند (C).



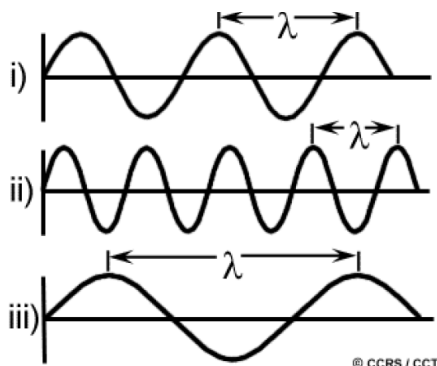
شکل ۱-۲ اجزاء یک موج الکترومغناطیس

دو مشخصه طول موج و فرکانس امواج الکترومغناطیسی به‌ویژه برای فهم سنجش از دور مهم هستند. طول موج درازای یک چرخه موج است که می‌تواند با اندازه‌گیری فاصله بین دو قله موج متوالی اندازه‌گیری شود. طول موج اصولاً به‌وسیله حروف یونانی لاندا (λ)^۱ نمایش داده می‌شود. واحد اندازه‌گیری طول موج متر و یا اجزایی از متر نظیر نانومتر (10^{-9} متر)، میکرومتر (10^{-6} متر) یا سانتی‌متر (10^{-2} متر) می‌باشد. فرکانس تعداد اموجی است که در یک زمان معین از یک نقطه ثابت می‌گذرند. فرکانس با واحد هرتز (Hz) که معادل یک چرخه در ثانیه می‌باشد و یا ضربی از هرتز اندازه‌گیری می‌شود. طول موج و فرکانس دارای رابطه‌ای به شکل فرمول زیر هستند:

$$C = \lambda V$$

λ : طول موج (هرتز)، V : فرکانس (هرتز) و C : سرعت نور (3×10^8) همان‌طور که در فرمول دیده می‌شود این دو مقدار با یکدیگر نسبت معکوس دارند. طول موج کوتاه‌تر، فرکانس بیشتر و طول موج بلندتر، دارای فرکانس پایین‌تر است (شکل ۱-۳). فهم روابط طول موج و فرکانس در امواج الکترومغناطیسی، جهت ادراک و تفسیر اطلاعات حاصل از سنجش از دور حیاتی و ضروری است.

1. lambda

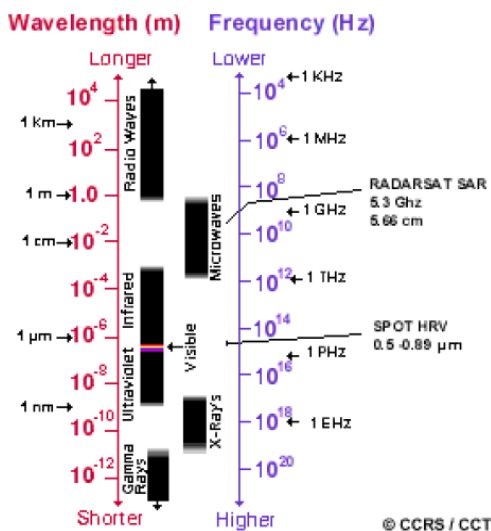


شکل ۳-۱ رابطه معکوس طول موج و فرکانس

۳-۱ طیف الکترومغناطیسی

طیف الکترومغناطیسی، گستره‌ای از طول موج‌های کوتاه شامل اشعه گاما و اشعه X تا طول موج‌های بلندتر حاوی امواج میکرو و رادیویی را پوشش می‌دهد. دامنه‌های گوناگونی از طیف الکترومغناطیسی در علم سنجش از دور به کار می‌روند. (شکل ۴-۱)

بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱ بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی

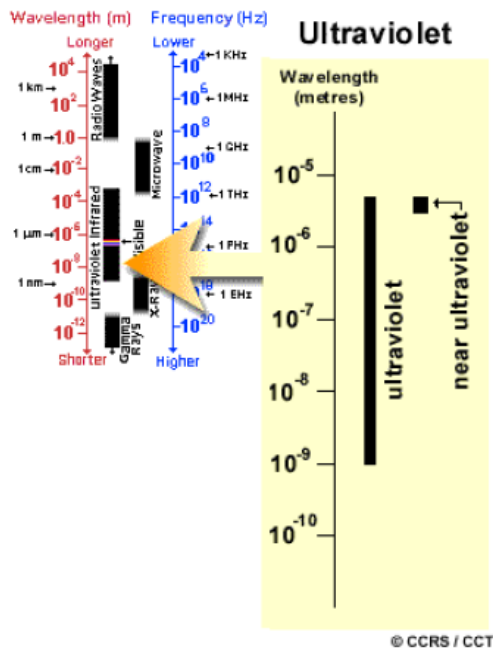
موج الکترومغناطیسی (EM) به دو روش تولید می‌شود: به وسیله امواج یا به وسیله بسته‌های انرژی یا فوتون. بیشتر ویژگی‌های انرژی الکترومغناطیسی به وسیله مدل موجی توجیه می‌شوند، ولی برخی توصیفات مدل فوتونی انرژی الکترومغناطیسی نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد، به خصوص وقتی که میزان انرژی به وسیله سنجنده چندطیفی اندازه‌گیری می‌شود. مقدار انرژی که به وسیله فوتون یک طول موج معین حمل می‌شود، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q=h \times V=h \times C/\lambda$$

جایی که Q انرژی فوتون (J)، h ضریب ثابت پلانک (6.626×10^{-34} Js)، و V فرکانس (هرتز) می‌باشد. از فرمول فوق بر می‌آید که طول موج‌های بلندتر حاوی میزان انرژی کمتری هستند. اشعه گاما (حدود 10^{-9} متر)، با انرژی‌ترین امواج و امواج رادیویی ($>1m$) حاوی کمترین میزان انرژی می‌باشند. از نقطه نظر سنجش از دور آنچه حائز اهمیت است، آن است که اندازه‌گیری انرژی برای طول موج‌های بلندتر مشکل‌تر از محاسبه انرژی برای طول موج‌های کوتاه‌تر می‌باشد.

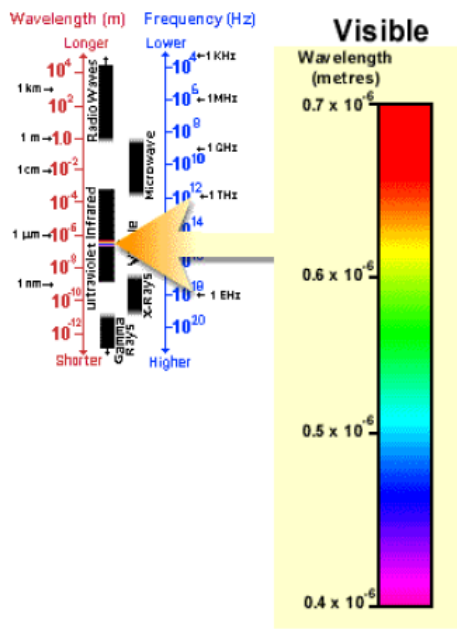
کوتاه‌ترین طول موجی که در سنجش از دور کاربرد دارد اشعه ماوراء بنفش (UV)^۱ است. این پرتو در ورای بخش بنفش از محدوده طول موج‌های مرئی قرار دارد و بدین سبب ماوراء بنفش نامیده می‌شود. سنگ‌ها، کانی‌ها و برخی مواد در سطح زمین، زمانی که تحت تابش امواج ماوراء بنفش قرار می‌گیرند از خود نور مرئی روشنی می‌تابانند. شکل ۱-۵ این بخش از طیف الکترومغناطیسی را با دقت بیشتری نشان می‌دهد.

نوری را که چشمان ما و یا سنجنده‌ها می‌توانند ثبت کنند، بخشی از طیف مرئی است. این موضوع بسیار حائز اهمیت است که مشخص گردد چه طول موج‌هایی در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیسی قرار دارند. در اطراف ما پرتوهای بسیاری وجود دارند که برای چشمانمان غیر مرئی می‌باشند ولی به وسیله سایر سنجنده‌ها قابل ثبت و تشخیص هستند. طول موج‌های مرئی، گستره‌ای مابین 0.4 الی 0.7 میکرومتر را پوشش می‌دهند. بلندترین طول موج، مرئی قرمز و کوتاه‌ترین آن بنفش می‌باشد. شکل ۱-۶ محدوده مرئی طیف الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.



© CCRS / CCT

شکل ۵-۱ بخش ماوراء بنفش از طیف الکترومغناطیسی



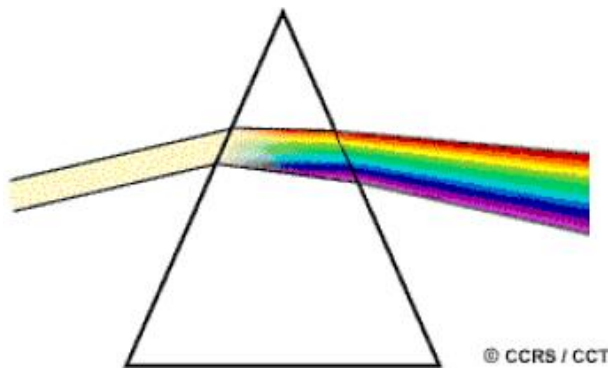
© CCRS / CCT

شکل ۶-۱ محدوده مرئی طیف الکترومغناطیسی

متداولترین طول موج‌هایی که ما در قالب نورهای گوناگون در محیط اطرافمان ادراک می‌کنیم به شرح زیر هستند:

- بنفش: ۰/۴ الی ۰/۴۴۶ میکرومتر
- آبی: ۰/۴۴۶ الی ۰/۵۰۰ میکرومتر
- سبز: ۰/۵۰۰ الی ۰/۵۷۸ میکرومتر
- زرد: ۰/۵۷۸ الی ۰/۵۹۲ میکرومتر
- نارنجی: ۰/۵۹۲ الی ۰/۶۲۰ میکرومتر
- قرمز: ۰/۶۲۰ الی ۰/۷ میکرومتر

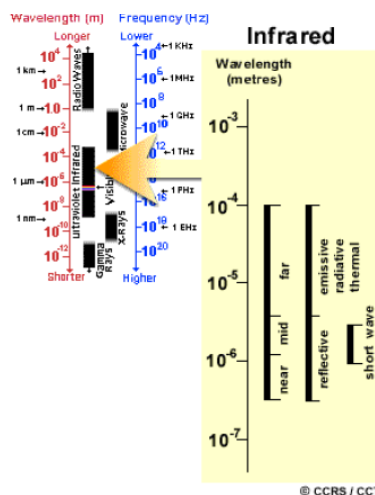
این نکته حائز اهمیت است که تنها این بخش از طیف الکترومغناطیسی می‌تواند با مفهوم رنگ‌ها در ارتباط باشد. آبی، سبز و قرمز رنگ‌های اصلی و یا به عبارت دیگر طول موج‌های اصلی از طیف مرئی هستند. آنها بدین سبب رنگ‌های اصلی نامیده می‌شوند که هیچ‌کدام از آنها از امتزاج دو رنگ دیگر نمی‌توانند ایجاد شوند، اما تمامی رنگ‌های دیگر می‌توانند از ترکیب این سه رنگ اصلی شکل گیرند. هرچند ما نور خورشید را به صورت یکنواخت و همگن مشاهده می‌کنیم، ولی در واقع نور خورشید از طول موج‌های گوناگون در محدوده‌های ماوراء بنفش، مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی تشکیل یافته است. در شکل ۱-۷ اجزاء رنگی بخش مرئی از تشعشع خورشیدی وقتی که نور خورشید به یک منشور تابانده می‌شود قابل مشاهده است.



شکل ۱-۷ اجزاء رنگی بخش مرئی از تشعشع خورشیدی

بخش دیگری از طیف الکترومغناطیسی که در علم سنجش از دور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، دامنه مادون قرمز (IR)^۱ می‌باشد که گستره‌ای حدود ۰/۷ میکرومتر الی ۱۰۰ میکرومتر (۱۰۰ برابر عریض‌تر از محدوده مرئی) را پوشش می‌دهد. ناحیه بالاتر از ۵۰ میکرومتر را ناحیه مادون قرمز دور، ناحیه بین ۰/۸ تا ۲/۵ میکرومتر ناحیه مادون قرمز نزدیک و ناحیه بین ۸ تا ۲۵ میکرومتر را ناحیه اثر انگشت می‌نامند. محدوده مادون قرمز می‌تواند براساس خصوصیات پرتوی به دو گروه مادون قرمز بازتابی^۲ و مادون قرمز حرارتی^۳ تقسیم گردد.

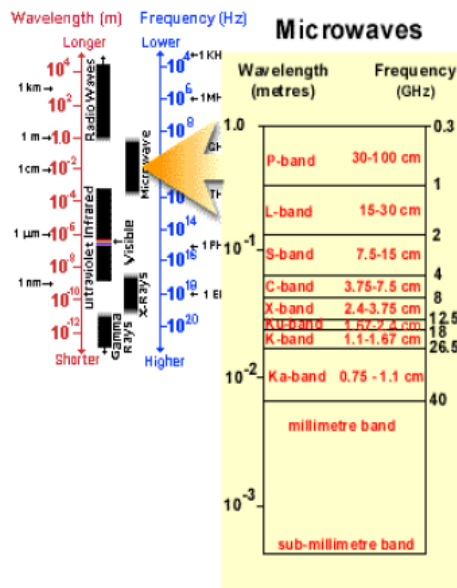
کاربردهای پرتو مادون قرمز بازتابی در سنجش از دور، مشابهت بسیاری با بخش مرئی پرتو از طیف الکترومغناطیسی دارد. مادون قرمز بازتابی گستره ۰/۷ تا ۳ میکرومتر از طیف الکترومغناطیسی را دربر می‌گیرد. محدوده مادون قرمز حرارتی کاملاً متفاوت با بخش مرئی و مادون قرمز بازتابی می‌باشد، به‌طوری که این بخش به شکل حرارت از سطح زمین بازتاب می‌شود. مادون قرمز حرارتی پهنه‌ای حدود ۳ میکرومتر تا ۱۰۰ میکرومتر در طیف الکترومغناطیسی را تشکیل می‌دهد. شکل ۸-۱ پهنه مادون قرمز را در طیف الکترومغناطیسی نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱ گستره موج مادون قرمز در طیف الکترومغناطیسی

1. Infrared
2. Reflected IR
3. Thermal IR

بخش امواج میکرو^۱ که در سال‌های اخیر کاربردهای فراوانی در سنجش از دور یافته است، دامنه یک میلی‌متر الی یک متر را از طیف الکترومغناطیسی دربر می‌گیرد. این بخش شامل طولانی‌ترین طول موج‌هایی است که در سنجش از دور به کار می‌روند. بخش‌هایی از آن که دارای طول موج کوتاه‌تری هستند، خواصی مشابه با مادون قرمز حرارتی دارند، درحالی که قسمت‌های با طول موج طویل‌تر، برای پخش امواج رادیویی استفاده می‌گردند. شکل ۹-۱ دامنه امواج میکرو را نشان می‌دهد.



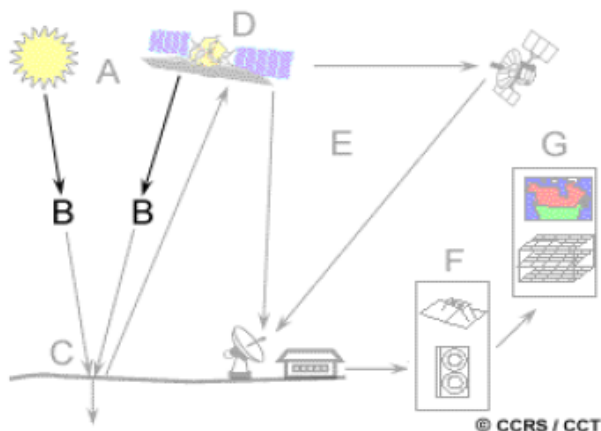
© CCRS / CCR

شکل ۹-۱ دامنه امواج میکرو

۴-۱ واکنش با اتمسفر

پیش از آنکه امواج تابشی مورد استفاده در سنجش از دور به سطح زمین برسند، به‌ناچار از میان اتمسفر زمین می‌گذرند (شکل ۱۰-۱). ذرات و گازهای موجود در اتمسفر می‌توانند بر روی امواج تابشی تأثیر بگذارند. این اثرات باعث بروز ساز و

کارهایی چون پراکنش^۱ و جذب^۲ می‌شوند. پراکنش زمانی رخ می‌دهد که امواج تابشی الکترومغناطیسی در واکنش با اجزاء و یا ملکول‌های گازی بزرگ موجود در اتمسفر از مسیر اصلی خود منحرف می‌شوند. میزان پراکنش به عوامل گوناگونی چون طول موج تابش، فراوانی ذرات و گازهای موجود در اتمسفر و به فاصله‌ای که موج تابشی از میان اتمسفر می‌گذرد بستگی دارد.



شکل ۱-۱۰ عبور امواج تابشی از میان اتمسفر زمین

- انواع پراکنش عبارتند از:

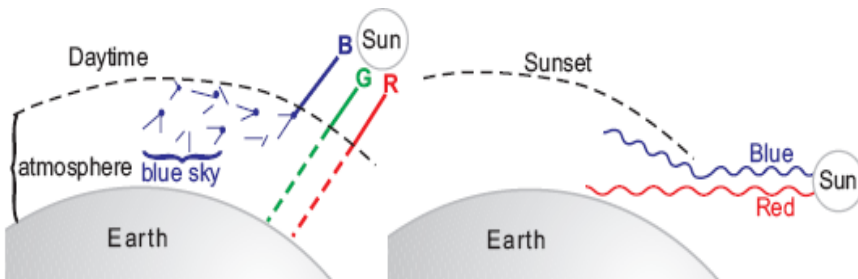
پراکنش مولکولی^۳: این نوع پراکنش زمانی اتفاق می‌افتد که ذرات موجود در اتمسفر بسیار کوچک‌تر از طول موج امواج تابشی باشد. ذرات موردنظر می‌توانند ذرات ریز غبار و ملکول‌های گازی نظیر اکسیژن و نیتروژن باشند. پراکنش مولکولی سبب می‌شود طول موج‌های کوتاه‌تر انرژی، از طول موج‌های بلندتر بیشتر پراکنده شوند (شکل ۱-۱۱).



شکل ۱-۱۱ پراکنش بیشتر طول موج‌های کوتاه‌تر از طول موج‌های بلندتر به سبب پراکنش مولکولی. (ITC, 2001)

این نوع پراکنش، سازوکار اصلی در اتمسفر بالایی محسوب می‌گردد. علت اساسی آنکه آسمان در طول روز آبی دیده می‌شود این نوع پراکنش است. هنگامی که نور خورشید از میان اتمسفر می‌گذرد، طول موج‌های کوتاه‌تر طیف مرئی نظیر آبی، بیش از طول موج‌های مرئی بلندتر پراکنش می‌یابند.

در هنگام طلوع و غروب خورشید، نور مسیر طولانی‌تری را در مقایسه با نیم‌روز می‌پیماید و پراکنش طول موج‌های کوتاه‌تر به شکل کامل‌تری انجام می‌پذیرد. در این مواقع، تمامی طول موج‌های کوتاه‌تر به‌طور کامل پراکنش یافته و تنها امواج با طول موج‌های بلندتر به سطح زمین می‌رسند، در نتیجه در هنگام طلوع و غروب خورشید، آسمان به رنگ نارنجی و یا قرمز ظاهر می‌شود (شکل ۱-۱۲).

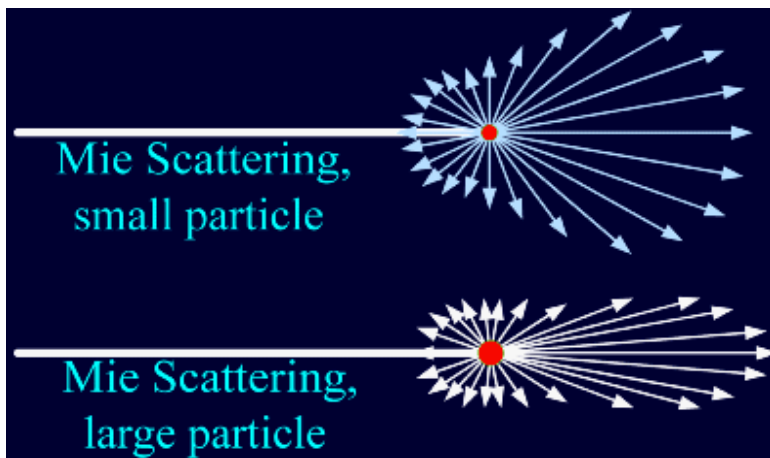


شکل ۱-۱۲ پراکنش ملکولی علت رنگ آبی آسمان در طول روز و رنگ نارنجی و یا قرمز آن هنگام طلوع و غروب خورشید می‌باشد. (ITC, 2001)

در سنجش از دور، پراکنش ملکولی مهم‌ترین نوع پراکنش محسوب می‌گردد. این ساز و کار سبب تغییر ویژگی‌های طیفی در نور بازتاب یافته می‌گردد. در عکس‌های رنگی که از مناطق با ارتفاع زیاد تهیه می‌شوند، عامل آبی‌شدن تصاویر، این پدیده می‌باشد که باعث کم‌شدن تباین عکس‌ها شده و به‌عنوان یک اثر منفی در تفسیر عکس‌ها به‌شمار می‌رود. هنگامی که با داده‌های تصاویر رقومی سروکار داریم این نوع پراکنش امکان گروه بندی تصویر را محدود می‌نماید.

- **پراکنش Mie:** این نوع پراکنش زمانی رخ می‌دهد که طول موج امواج تابشی مشابه با اندازه ذرات اتمسفر باشد. غبار، گرده، دود و بخار آب مهم‌ترین دلایل پراکنش Mie هستند (شکل ۱-۱۳). در این ساز و کار طول موج‌های بلندتر، بیشتر تحت

تأثیر واقع می‌گردند. پراکنش Mie اغلب در بخش پایینی اتمسفر، جایی که ذرات درشت‌تر موجودند رخ می‌دهد. این پدیده به ویژه وقتی که شرایط ابری حکم‌فرماست بروز می‌کند. پراکنش Mie تمام دامنه طیفی را از نزدیک ماوراء بنفش تا نزدیک مادون قرمز تحت تأثیر می‌گذارد.



شکل ۱-۱۳ پراکنش Mie

- **پراکنش غیرانتخابی^۱:** این پراکنش زمانی اتفاق می‌افتد که اندازه ذرات اتمسفر بسیار بزرگ‌تر از طول موج تابشی باشد. ذرات شاخصی که سبب این پدیده می‌شوند شامل قطرات آب و غبار بزرگ هستند. پراکنش غیرانتخابی مستقل از اندازه طول موج می‌باشد، زیرا تمامی طول موج‌ها به یک میزان پراکنش می‌یابند. مهم‌ترین مثال از این پراکنش، بروز مه و ابر به رنگ سفید است، زیرا نور آبی، سبز و قرمز به یک میزان و همگی پراکنده می‌شوند (نور آبی + نور سبز + نور قرمز = نور سفید). ابرها به صورت مستقیم (عدم اجازه به نفوذ امواج نوری) و غیرمستقیم (ایجاد سایه بر روی سطح زمین) به عنوان عاملی مضر در سنجش از دور به‌شمار می‌روند (شکل ۱-۱۴).