کارگاه آموزشی کاربرد RS و GIS در آبیاری و زهکشی
۱۲ آذر ماه ۱۳۸۳

طیف الکترومغناطیس و کاربرد آن در سنجش از دور

سعید صادقیان[۱]، مهدی آخوندزاده[۲]

چکیده

لزوم شناخت دقیقتر اشیا وپدیده‌های زمینی ایجاب می‌کند که مطالعه وشناخت دقیقتری روی طیف الکترومغناطیسی و کاربرد آن در سنجش از دور صورت پذیرد. در این مقاله سعی بر آن است تا اصول ومفاهیم اولیه طیف الکترومغناطیس وکاربرد آن در سنجش از دور مورد بررسی قرار گیرد. همچنین نمونه ای از پیشرفتهای اخیر در کاربرد طیف الکترومغناطیس در سنجش از دور وسنجنده‌های فراطیفی (Hyperspectral) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقدمه

سنجش از دور عبارت است از علم و فن شناسایی و اندازه گیری اشیاء زمینی، بدون تماس مستقیم، به وسیله ثبت پرتوهای الکترومغناطیسی. برای دیدن و تهیه تصویر در محدوده دید چشم انسان وجود نور همچون نور خورشید در روز یا نور مصنوعی در شب (مثل فلاش برای عکسبرداری) الزامی‌است. نور سفید ترکیبی از رنگهای گوناگون با طول موجهای مختلف است. نور روز که اشیای خارج را با آن می‌بینیم در حقیقت ترکیبی از رنگهای مختلف است وآنچنان تعادل یافته اند که هیچ رنگی ندارند و آن را نور سفید می‌نامند. ما اجسام را در اثر نور خودشان (مثل خورشید، ستاره‌ها) یا به علت بازتاب نور از یک منبع نورانی (مثل ماه که در اثر انعکاس نور خورشید دیده می‌شود) می‌بینیم و در مجموع اجسام اطراف خودمان را به طوری که بیان شد در اثر انعکاس نور خورشید یا انعکاس نور مصنوعی مشاهده می‌کنیم. علت اینکه اجسام را رنگی می‌بینیم آن است که وقتی نور سفید به اجسام تابیده می‌شود اجسام بسته به

۱- دکترای فتوگرامتری و رئیس مرکز تحقیقات نقشه برداری کشور RC@ncc.neda.net.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و پژوهشگر مرکز تحقیقات نقشه برداری

ماهیت اتمها ومولکولهایی که از آن تشکیل شده اند، مقداری از امواج را جذب کرده و بقیه را انعکاس می‌دهند و بسته به طول موج نور منعکس شده ما می‌توانیم اجسام را به همان رنگ ببینیم.
روش صحیح برای توصیف رنگها، استفاده از منحنی‌های طیف- نورسنجی (Spectrophotometric Curve) است. یعنی میزان انعکاس نور از اجسام به باندهایی از طول موج تقسیم شده و در هر قسمت شدت طول موج اندازه گیری می‌شود، یعنی درصد انعکاس در طول موجهای مختلف تعیین می‌گردد.

امواج الکترو مغناطیسی

انرژی تابشی که از خورشید و با سرعتی ثابت (۲۹۹۷۹۳۴۵۸ متر بر ثانیه) انتشار می‌یابد، تشعشعات الکترومغناطیسی نامیده می‌شود و دسته ای از این اشعه که قابل رویت هستند نور خوانده می‌شوند.
امواج الکترومغناطیسی طول موجهای مختلفی از ۰/۳۰ آنگستروم (Angstrom) تا چند صد متر دارند و به شکل طیفی پیوسته هستند و نمی‌توان آنها را با مرزی مشخص و آشکار از هم تفکیک نمود و دامنه طیفی برای امواج شناخته شده، قراردادی بوده و تفاوت کمی‌با هم دارند. مهمترین امواج شناخته شده به تر تیب افزایش طول موج عبارتند از:
اشعه گاما (Gamma Ray)، اشعه ایکس (X-Ray)، اشعه ماورا بنفش(Ultra Violet Ray)، اشعه مرئی(Visible Ray)، اشعه مادون قرمز(Infrared Ray). اشعه مایکروویو (رادار) (Microwave Ray)، اشعه رادیویی(Radio Ray).

طیف الکترومغناطیس

اشعه‌های گاما و ایکس طول موجهای بسیار کوتاهی دارند و بوسیله جو بالا جذب شده و در کارهای سنجش از دور کاربردی ندارند. پس به طور اختصار به تشریح امواج دیگر اکتفا می‌شود.

ماورا بنفش (Ultra Violet)

طول موج این بخش از طیف در فاصله ۰/۴- ۰/۰۰۳ میکرومتر قراردارد. منبع اصلی این اشعه خورشید بوده و ٪۱۰ امواجی که به زمین می‌رسند جز این دسته هستند. لایه فوقانی اتمسفر (Ozonospher) بخش اعظم این امواج را جذب کرده و فقط انرژی مربوط به طول موجهای بلندتر از ۰/۳ میکرومتر یعنی ماوراء بنفش نزدیک، به زمین می‌رسند. بنابراین تنها این بخش از ماوراءبنفش را می‌توان به میزان کمی‌در سنجش از دور استفاده کرد.

نور مرئی (Visible Light)

ناحیه نور مرئی بخشی از طیف است که چشم انسان قادر به رویت آن است و به طور معمول در ناحیه ۰/۷-۰/۴ میکرومتر قرار دارد. اگر چه نور مرئی ناحیه بسیار کوچکی از طیف را در بر می‌گیرد، ولی در طبیعت، بیش از ٪۵۰ انرژی خور شیدی که به سطح زمین می‌رسد مر بوط به همین امواج است. نور مرئی

در اثر تجزیه به رنگهای قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی، و بنفش تقسیم می‌شود. در سنجش از دور برای ساده سازی فقط سه رنگ اصلی آن یعنی آبی، سبز، قرمز مورد توجه است.

مادون قرمز (Infrared)

محدوده این طیف از ۰/۷ میکرومتر تا ۱ میلی متر (۱۰۰۰ میکرومتر) است، البته در عمل تنها طول موجهای ۱۴-۰/۷ میکرومتر در سنجش از دور کاربرد دارند. ناحیه مادون قرمز را به دو طریق، می‌توان تقسیم بندی کرد، یکی بر اساس نزدیکی به نور مرئی که در این حالت انواع زیر را خواهیم داشت :

مادون قرمز نزدیک (Near Infrared) ۱/۳ – ۰/۷ میکرومتر

مادون قرمز میانی (Middle Infrared) ۳-۱/۳ میکرومتر

مادون قرمز دور(Far Infrared) ۳ میکرومتر تا ۱ میلیمتر(۱۰۰۰میکرومتر)

و در یک تقسیم بندی دیگر، بسته به اینکه در کدام قسمت از طیف قرار دارند، انواع زیر قابل تشخیص خواهند بود:

مادون قرمز انعکاسی(Reflective Infrared) ۳-۰/۷ میکرومتر

مادون قرمز حرارتی (Emissive, Thermal Infrared) ۱۵ – ۳ میکرومتر

منبع اصلی تولید انرژی مادون قرمز انعکاسی، خورشید است و ٪۴۰ از انرژی خورشیدی را که به زمین می‌رسد شامل می‌شود. منبع اصلی تولید انرژی مادون قرمز حرارتی گرمای ناشی از تابش خورشید به زمین ویا انرژی زمین گرمایی است. اکثر سنجنده‌ها قابلیت کار در این طول موجها را دارا هستند. این طول موج در کارهای هیدرونرمال، ژئوترمال، تهیه نقشه حرارتی سطح زمین ودریا (LST ,SST) کاربرد دارند.

امواج مایکروویو (Microwave)

این بخش از طیف، بین امواج مادون قرمز و امواج رادیویی قرار دارند و طول موج آنها از ۱ میلیمتر تا یک متر است. این امواج در شرایط بد آب و هوایی نیز قادر به عبور از جو هستند و بجز بخش اولیه، بقیه چندان تحت تاثیر اتمسفر قرار نمی‌گیرند. میزان این امواج در طیف خورشیدی بسیار ناچیز است. یعنی به طور طبیعی بسیار کم هستند، ولی با توجه به اهمیت بسیار زیاد آنها که از قابلیت عالی نفوذ چنین امواجی در ابرها و باران ناشی می‌شود، می‌توان به کمک مولدهایی در سکوها، این امواج را تولید کرده و به زمین فرستاد و بازتابش آنها را ثبت کرد. به این قبیل امواج مصنوعی رادار (Radar) اطلاق می‌شود.

رادار (Radio Detection And Ranging)

طول موجهای بلند مایکروویو و طول موجهای کوتاه رادیویی را امواج راداری می‌گویند. این امواج که غالبا به طور مصنوعی تولید شده ودر سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای طول موجی از یک سانتیمتر تا یک متر هستند، ولی عملاً امواجی با طول موج ۰/۸۶ تا ۳/۳ سانتیمتر کاربرد بیشتری دارند. این امواج از گذشته تاکنون، در کارهای نظامی‌مورد توجه بوده اند و به وسیله یک فرستنده امواج قوی در فواصل زمانی کوتاه، به صورت ضربانی و در جهت معینی ارسال شده و سپس بازتاب آنها جمع آوری

می‌گردد و چون بسیار قوی هستند تصاویر حاصله قدرت تفکیک بیشتری نسبت به امواج طبیعی مایکروویو دارند (چون امواج طبیعی مایکروویو بسیار ضعیف هستند).

این امواج قدرت نفوذپذیری زیادی در ابر و باران و مه و برگ درختان و پوشش گیاهی دارند و از آنها در بررسی زمین زیر پوشش گیاهان استفاده می‌کنند و حتی در زمین نیز قابلیت نفوذ دارند (بخصوص در طول موجهای بلندتر). بنابراین در زمین شناسی دارای کاربردهای فراوانی هستند. امواج راداری را به باندهای مختلف (P,L,S,CX,K) تقسیم می‌کنند،که از بین آنها باند K با طول موج ۲/۷-۰/۸۳ سانتیمتر و باند X با طول موج ۵/۸-۲/۷ سانتیمتر در سنجش از دور کاربرد بیشتری دارند.

محدوده اپتیکی

محدوده اپتیکی طیف الکترومغناطیسی، حدوداً از ۰/۳ میکرومتر تا یک میلیمتر می‌باشد. ولی اکثر سنجنده‌ها تنها در بخش ۱۵-۰/۳ میکرومتر آن فعالیت دارند. اپتیکی نامیده می‌شوند زیرا که عناصر ساده اپتیکی نظیر، عدسی، آئینه و غیره، برروی آنها تاثیر می‌گذارند، یعنی می‌توانند آنها را متمرکز ویا منعکس کنند.

محدوده اپتیکی شامل بخشهای زیر می‌باشند: ۰/۴-۰/۳ میکرومتر ماوراء بنفش، ۰/۷ – ۰/۴ میکرومتر مرئی، ۱/۳ -۰/۷ میکرومتر مادون قرمز نزدیک، ۳ – ۱/۳ میکرومتر مادون قرمز میانی، ۱۴-۳ میکرومتر (وبیشتر) مادون قرمز حرارتی – دفعی یا حرارتی.

محدوده اپتیکی را می‌توان به دو بخش انعکاسی ودفعی ویا حرارتی نیز تقسیم نمود.

۱- انعکاسی (Reflective)- از آنجا که اکثر پدیده‌های زمین این امواج را منعکس می‌کنند، سنجنده‌ها قادر به ثبت آنها هستند.

۲- دفعی یا حرارتی (Thermalیا Emissive)- به دلیل آنکه در اثر جذب انرژی الکترومغناطیس، دمای اجسام بالا رفته وچنین امواجی را از خود دفع می‌کنند، سنجنده‌ها تشعشعات دفعی اجسام را نیز ثبت می‌کنند.

اثر اتمسفر بر انرژی الکترومغناطیسی

انرژی الکترومغناطیسی در راه رسیدن به پدیده‌های سطح زمین از جو عبور کرده و به علت وجود گازهایی مثل دی اکسید کربن، ازن، بخار آب وهمچنین ذرات مختلف، تحت تاثیر جو قرار می‌گیرند و این تاثیر، از لحاظ چگونگی و میزان تاثیر در طول موجهای مختلف متفاوت است. عمده ترین آثار اتمسفر بر انرژی الکترومغناطیسی، عبارتند از پخش اتمسفری و جذب اتمسفری.

پخش اتمسفری (Atmospheric Scattering)

پخش عبارت است از انتشار نامنظم امواج به وسیله ذرات موجود در جو، و یا عبارت است از (انحراف : جذب و دفع مجدد انرژی الکترومغناطیسی به وسیله جو، هنگام عبور از آن). این پدیده باعث می‌شود که جو از یک طرف انرژی خورشیدی را کاهش دهد و از طرف دیگر خود نوعی منبع انرژی شود.

جذب اتمسفری (Atmospheric Absorption)

قسمتهایی از طیف الکترومغناطیسی به علت وجود بخار آب ودی اکسید کربن وازن دچار پدیده جذب می‌گردند. به طوریکه در بعضی از طول موجهابه طور کامل مانع رسیدن امواج به زمین می‌شوند ولی در بعضی قسمتها امواج به زمین می‌رسند.

محدوده‌هایی از طیف الکترومغناطیسی راکه تحت تاثیر جو واقع نمی‌شوند یا به میزان کمی‌تحت تاثیر قرار می‌گیرند و به میزان قابل ملاحظه ای از آن عبور کرده وبه زمین می‌رسند، روزنه‌های جوی می‌نامند.

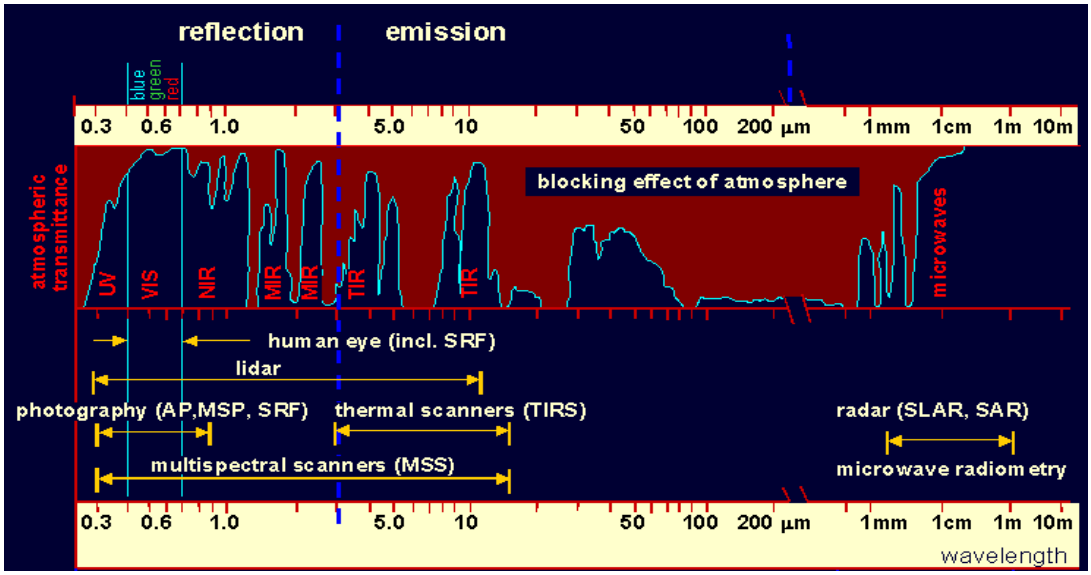
مهمترین روزنه‌های جوی در سنجش از دور عبارتند از :

روزنه جوی محدود بین ۰/۴–۱/۱ میکرومتر در بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک

روزنه جوی محدود بین ۳/۵–۵ میکرومتر در بخش مادون قرمز حرارتی

روزنه جوی محدود بین ۸–۱۴ میکرومتر در بخش مادون قرمز حرارتی

در بخش امواج مایکروویو نیز که طول موجهای یک میلی متر تا یک متر دیده می‌شوند، روزنه‌های جوی زیادی وجود دارند، و غیر از بخش اولیه آن، بقیه چندان تحت تاثیر جو قرار نمی‌گیرند.



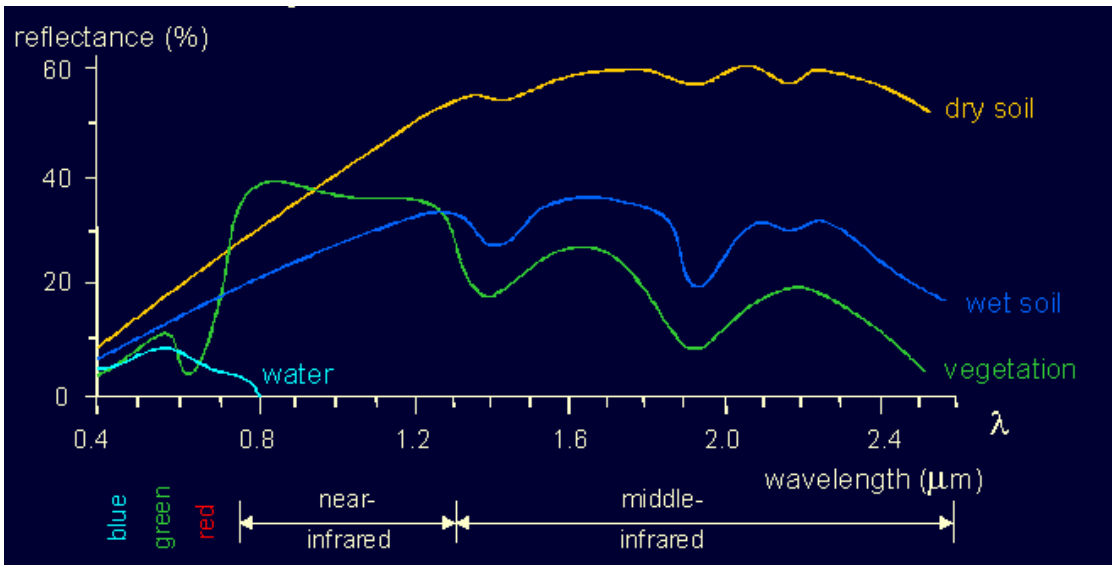
شکل(۱)– طیف الکترومغناطیس و روزنه‌های جوی

خصوصیات انعکاس طیفی پدیده‌های مختلف سطح زمین

بازتاب امواج الکترومغناطیسی، پس از برخورد با پدیده‌های مختلف زمین، به وسیله سنجنده‌هائی که برروی سکوهای مختلف تعبیه شده اند ثبت و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، بنابراین ضروری است که خصوصیات بازتابش پدیده‌های عمده سطح زمین شناخته شوند. برای ثبت رفتار طیفی پدیده‌های مختلف یکسری اندازه گیریهای زمینی نیز برای بررسی نتایج ثبت شده در سنجنده نیز انجام می‌گیرد.

شکل (۲)- ثبت رفتار طیفی پوشش گیاهی

امواج الکترومغناطیسی به هنگام برخورد با پدیده‌های سطح زمین ممکن است دچار سه حالت انعکاس، جذب یا عبور شوند. نسبت انرژی منعکس شده، جذب شده و عبور یافته در مورد پدیده‌های مختلف، برای یک طول موج تفاوت داشته وبستگی به نوع ماده و شرایط و وضعیت آنها دارد. این اختلافات، شناخت پدیده‌های مختلف را برروی تصویر، میسر می‌سازد. همچنین باید توجه داشت که نسبت انرژی در سه حالت یاد شده برای یک پدیده معین نیز در طول موجهای مختلف فرق می‌کند. بنابراین وقتی که شناخت دو پدیده در یک محدوده طیفی، به دلیل تشابه نسبت حالتهای سه گانه فوق، میسر نباشد ممکن است که در محدوده طیفی دیگر کاملا متفاوت بوده و تفکیک و شناخت آنها از یکدیگر را میسر سازد. در شکل زیر وضعیت انعکاسی سه پدیده آب، خاک وگیاه را مشاهده می‌کنید.



شکل(۳) – وضعیت انعکاس طیفی آب، خاک (مرطوب وخشک) و گیاه

با مشاهده این شکل و مقایسه انعکاس طیفی آب، خاک و گیاه می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت:

الف- واکنش طیفی پدیده‌های مختلف در مقایسه با هم، وهریک از آنها در طول موجهای مختلف، تفاوت دارد.

ب- در محدوده طیف مرئی، انعکاسهای آب، گیاه وخاک نزدیک به هم هستند.

ج- در محدوده مادون قرمز نزدیک، آب انعکاسی ندارد، بنابراین آب براحتی در چنین تصاویری از دیگر پدیده‌ها تفکیک می‌شود.

د- انعکاسهای گیاه وخاک، در دو ناحیه مادون قرمز میانی ونزدیک، بر عکس هم هستند.

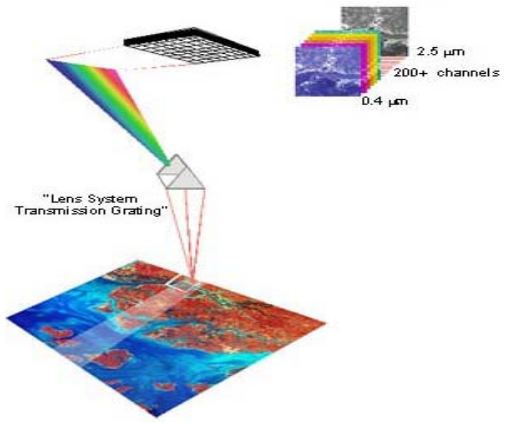
با توجه به نکات فوق اهمیت و لزوم تصویربرداری به شکل چند باندی، برای شناخت وتفکیک هرچه بهتر و دقیق تر پدیده‌های مختلف روشن می‌گردد و به همین دلیل است که همواره برای افزایش قدرت تفکیک طیفی و ایجاد باندهای طیفی گوناگون و مناسب با پدیده‌های مختلف و هدفهای از پیش تعیین شده تلاش می‌شود.

تصویربرداری فراطیفی (Hyperspectral Imaging)

سنجش از دور فراطیفی (Hyperspectral Remote Sensing) یا تصویربرداری طیف‌نگاری (Imaging Spectrometry) جمع آوری، بکارگیری وتحلیل داده‌های سنجنده‌هایی است که از میان قدرت تفکیکهای مکانی (به تعبیری کوچکترین شیء قابل تفکیک روی زمین)، طیفی (توانایی ثبت یک ناحیه تاحد ممکن باریک از طیف الکترومغناطیس بازتابیده شده از سطح)، رادیومتریکی (توانایی ثبت پرتوهای دریافت شده در یک گستره بزرگ عددی) و زمانی (مدت زمان بین دو تصویربرداری متوالی از یک منطقه) تاکید بیشتری روی قدرت تفکیک طیفی دارند.

همانطور که قبلاً گفته شد، هرماده یا شیء زمینی با توجه به ویژگیهای درونی وبیرونی اش مانند دما، انرژی، رنگ وبافت، عکس العمل بازتابی متفاوتی نسبت به نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی از خود نشان می‌دهد. اگر سنجنده ای قادر باشد، تمامی‌گستره طیف الکترومغناطیس را با توان تفکیک مناسب طیفی ومکانی ثبت کند، اشیاء زمینی قابل شناسایی وتشخیص خواهند بود. بنابراین سنجش از دور فراطیفی چنین تعریف می‌شود: " فن جمع آوری و ثبت همزمان تصاویر، بابیش از صدها باند کم عرض و پیوسته از طیف الکترومغناطیس " . داده‌های تصویری فراطیفی دارای مزایای بیشتری نسبت به داده‌های چند طیفی هستند. از نظر ریاضی، برای بازسازی یک طیف، هرچه فاصله نمونه برداری کوچکتر وتعداد نمونه‌ها بیشتر باشد، دقت بازسازی بهتر خواهد شد. معمولاً سنجنده‌هایی که از ۳ تا ۱۰ باند طیفی داشته باشند، جزو سنجنده‌های چند طیفی (Multi-Spectral)، از ۱۰ تا ۲۵۰ باند را جزو سنجنده‌های فرا طیفی (Hyper-Spectral) وبیش از آن تا مرز ۱۰۰۰ باند را جزو سنجنده‌های ابر طیفی (Ultra-Spectral)، طبقه بندی می‌کنند. گستره طیفی که این سنجنده‌ها ثبت می‌کنند از ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیس، حدود

۰/۴–۰/۷ میکرومتر شروع وتا ناحیه مادون قرمز نزدیک، حدود ۲/۵ میکرومتر ادامه می‌یابد. معمولاً پهنای باند این سیستمها حدود ۱۰ نانومتر است. (۲۲۰باند) HYPERION، (۲۲۴باند) AVIRIS، (۲۸۸باند) CASI و (۳۶باند) MODIS نمونه‌هایی از سنجنده‌های فرا طیفی هستند. نمونه‌هایی از کاربردهای این نوع سنجنده‌ها عبارتند از : کشاورزی و برآورد دقیق محصولات، جنگلداری و مطالعه پوششهای گیاهی، مطالعات منابع آب و شناسایی آلودگیها، اکتشاف منابع طبیعی، معدنی، زمین شناسی ونفتی، کاربرهای صلح آمیز از قبیل شناسایی و پاکسازی مناطق جنگی آلوده، کاربردهای نظامی‌و شناسایی ادوات استتار شده.



شکل (۴) نحوه تصویربرداری سنجنده‌های Hyper-Spectral

نتیجه‌گیری

هر ماده یا شیء زمینی عکس‌العمل بازتابی متفاوتی نسبت به نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی از خود نشان می‌دهد. اگر سنجنده ای قادر باشد تمامی‌گستره طیف الکترومغناطیس را با توان تفکیک مناسب طیفی ومکانی ثبت کند، اشیاء زمینی، قابل شناسایی وتشخیص خواهند بود. به همین دلیل لازم است تا مطالعه دقیقی روی طیف الکترومغناطیسی وکاربرد نواحی مختلف آن در سنجش از دور انجام پذیرد. لزوم شناخت دقیقتر پدیده‌های زمینی باعث شده تا موازی با پیشرفت در بهبودقدرت تفکیک مکانی سنجنده‌ها پیشرفتهای قابل توجهی نیز در قدرت تفکیک طیفی سنجنده‌ها (سنجنده‌های فراطیفی) صورت گیرد.

منابع

- زبیری، محمود (۱۳۷۵) " آشنایی با فن سنجش از دور وکاربرد در منابع طبیعی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۳۱۷ صفحه .
- مالمیران، حمید (۱۳۷۹) " اصول و مبانی سنجش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و فضایی"، انتشارات سازمان جغرافیایی، چاپ اول، ۳۲۰ صفحه.

_ حائز، رضا (۱۳۷۴) " اصول سنجش از دور"، مرکز سنجش از دور ایران، چاپ دوم، ۳۵۰ صفحه.

_ سعید همایونی، تحولی شگرف در عرصه فناوری سنجش از دور(تصویر برداری فرا طیفی)، ماهنامه علمی‌و فنی نقشه‌برداری (شماره ۶۴).

_ Jan Clevers, Remote Sensing Basics Digital Lecture Wageningen University, Centre of Geo-Information, Environmental Sciences ,CD.