مبانی و اصول سنجش از دور

(قسمت دوم)

نوشته : Lilesand. Kiefer
مترجم : مهندس حمید مالمیریان

۱-۳) فعل و انفعالات انرژی در اتمسفر زمین:

بدون در نظر گرفتن منبع، تمام تابش‌هایی که توسط سنجنده‌های دورسنجی آشکار می‌شوند، مقداری از مسافت داخل اتمسفر زمین را طی می‌کنند که به آن Path Length می‌گویند. طول پیموده شده توسط اشعه‌های تابشی می‌تواند به طور گسترده‌ای تغییر یابد. برای مثال، عکسبرداری هوایی نتیجهٔ نورخورشید است که دوبار از میان ضخامت کل اتمسفر زمین در مسیر منبع تا زمین و از زمین تا سنجنده عبور می‌کند. از طرف دیگر، یک سنجندهٔ حرارتی نصب شده در هواپیما مستقیماً انرژی ساطع شده از اشیاء روی زمین را آشکار می‌کند. بنابراین در این رابطه طول مسیر نسبتاً کوتاه از تابش ساطع شده در اتمسفر زمین وجود دارد.اثر خالص اتمسفر زمین با اختلافهای موجود «در طول مسیرتابش» (Path length) و همچنین با میزان انرژی سیگنال احساس شده توسط سنجنده، شرایط موجود اتمسفر و طول موج اشعه تابشی تغییر می‌کند. به علت طبیعت تغییرپذیری اثرات اتمسفر زمین، این موضوع را براساس نوع هر یک از سنجنده‌ها در فصول آینده مورد بررسی قرار خواهیم داد. در اینجا ما تنها مایلیم یک ایدهٔ کلی راکه اتمسفر زمین می‌تواند بر آنها نسبت به سایر موارد اثرات قابل توجهی داشته باشد، (نظیر شدت و ترکیب طیفی تابشی موجود بر هر سیستم سنجش) معرفی کنیم. این اثرات اساساً از طریق مکانیزم پخش اتمسفر و جذب به‌وجود می‌آید.

پخش (Scattering)

به علت وجود ذرات در اتمسفر زمین و پخش نور، پراکندگی تشعشعات غیرقابل پیش‌بینی است. هنگامی که تشعشعات با مولکولهای موجود در اتمسفر و سایر ذرات بسیار ریزی که قطر آنها بسیار کوچکتر از طول موج ناشی از فعل و انفعالات تابش می‌باشد برخورد می‌کنند، پخش (پراکندگی Reyleigh) به‌طور معمول رخ می‌دهد. اثر پخش «ری لی» با توان چهارم طول موج نسبت معکوس دارد. بنابراین کپشش بسیار زیادتری برای پخش طول موجهای کوتاه به وسیلهٔ این مکانیزم پخش نسبت به طول موجهای بلند وجود دارد.

یک آسمان آبی جلوه گاهی از اثر پخش «ری لی» می‌باشد. اگر اثر پخش نبود، آسمان سیاه به نظر می‌رسید. اما همین‌که نور خورشید به اتمسفر زمین برخورد می‌کند، آن امواج با طول موج کوتاه‌تر (آبی) را فراگیرتر از سایر طول موجهای مرئی پخش می‌کند. نتیجتاً ، ما یک آسمان آبی را می‌بینیم. هُنگام طلوع و غروب خورشید، به هر صورت اشعه‌های خورشید مسافت زیادتری از جو زمین را نسبت به وسط روز می‌پیمایند. با وجود مسیر پیمایش طولانی‌تر، پخش و جذب طول موجهای کوتاه، به‌طوری کامل هستند که ما تنها طول موجهای بلندتر، نارنجی و قرمز راکه کمتر پخش شده‌اند می‌بینیم.

پخش «ری لی» یکی از دلایل اصلی به‌وجود آمدن مه یا هاله (Haze) در تصویر است. به‌طور دیداری، هاله، کنتراست و یا "crispness" یک تصویر را از بین می‌برد. در عکسبرداری رنگی ، هاله منجر به ایجاد یک زمینهٔ آبی - خاکستری در تصویر می‌شود، به‌ویژه هنگامی‌که تصویر از ارتفاع بالا گرفته می‌شود. هاله اغلب می‌تواند در عکسبرداری به‌وسیلهٔ قرار دادن یک فیلتر درجلوی عدسی دوربین که امواج طول موج کوتاه را از خود عبور ندهد از بین برود، یا حداقل به مینیمم برسد.

نوع دیگر پراکندگی عبارت است از پراکندگی می (Mie scatter) و آن هنگامی است که قطر ذرات موجود در اتمسفر زمین، لزوماً برابر طول موجهای انرژی سنجش شده می‌شوند، رخ می‌دهد. بخار آب و گردوغبار دلایل اصلی پخش می (Mie) هستند. این نوع پراکندگی ، در مقایسه با پخش «ری لی » تمایل به نفوذ در طول موجهای بزرگتر دارد. اگرچه پخش «ری لی» تمایل به گسترش تحت اکثر شرایط جوی را دارد، لکن پخش «می» در شرایط جوی تقریباً ابری قابل توجه است.

یک پدیدهٔ مزاحم‌تر موسوم به «بخش غیرانتخابی» یا« nonselective scatter » نام دارد و آن هنگامی رخ می‌دهد که قطر ذراتی که موجب پخش می‌شوند بسیار بزرگتر از طول موج انرژی سنجش شده می‌باشد. قطرات آب، برای مثال یک چنین پراکندگی را ایجاد می‌کنند. آنها معمولاً دارای قطری حدوداً بین ۵ تا ۱۰۰ میکرومتر هستند و تمامی طول موجهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی را تقریباً به طور مساوی پراکنده می‌سازند. نتیجتاً، این پراکندگی نسبت به طول موج، غیرانتخابی است یعنی "nonselective". در طول موجهای مرئی، مقادیر مساوی از نورهای آبی، سبز و قرمز پخش می‌شوند، بنابراین مه و ابرها به‌صورت سفید ظاهر می‌شوند.

جذب

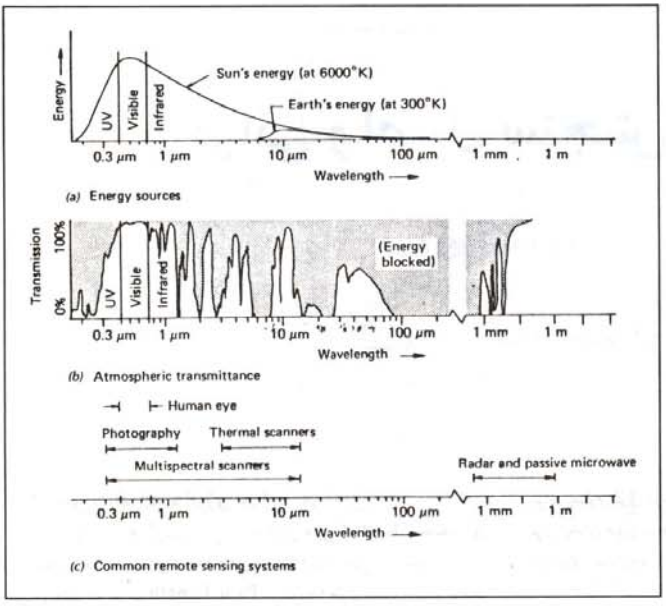
در مقایسه با پراکندگی یا پخش، جذب اتمسفر منجر به انتقال قابل توجهی از انرژی به ذرات موجود در اتمسفر می‌شود. این پدیده معمولاً شامل جذب انرژی در یک طول موج داده شده می‌گردد. در این رابطه مهم‌ترین جذب کننده تشعشعات خورشیدی عبارت هستند از:

بخار آب، دی‌اکسید کربن و اُزون. از آن‌جایی که این گازها مایل به جذب انرژی الکترومغناطیسی در باندهای مربوط به طول موجهای خاصی هستند، این گازها به طور قابل ملاحظه‌ای برمکانهایی که به‌وسیلهٔ یک سیستم سنجش از دور شخصی نگاه می‌شود تأثیر می‌گذارند.

محدوده‌ای از طول موجها، که در آن اتمسفر زمین به ویژه عبور دهندهٔ انرژی‌است موسوم به‌پنجرهٔ اتمسفر (Atmospheric windows) می‌باشد.

نگاره (۱-۵) روابط داخلی بین منابع انرژی و خصوصیات جذبی اتمسفر را نشان می‌دهد. نگاره a (۱-۵) توزیع طیفی انرژی تابش شده به‌وسیلهٔ خورشید، ساطع شده به‌وسیلهٔ عوارض زمینی را نشان می‌دهد. این دو منحنی دو منبع انرژی را که متداول‌ترین منابع به‌کار رفته در سنجش از دور هستند را نشان می‌دهد. در نگارهٔ b (۱-۵)، محدوده‌های طیفی که در آنها اتمسفر زمین مانع از عبور انرژی است هاشور خورده است. اخذ داده‌های سنجش از دور محدود به مناطقی از طیف می‌شوند که اتمسفر زمین مانع از عبور انرژی نیست. توجه کنید در نگارهٔ c (۱-۵) که محدودهٔ حساسیت طیفی چشم انسان (محدودهٔ باند «مرئی») هم بر پنجره اتمسفر زمین و نیز بر حداکثر انرژی تابشی خورشید منطبق می‌باشد.

انرژی «گرمایی» ساطع شده از زمین، نشان داده شده به وسیله



نگاره (۱-۵): روابط داخلی بین منابع انرژی و خصوصیات جذبی اتمسفر

منحنی کوچک (a)، از طریق پنجره‌های بین ۳ تا ۵ میکرومتر و ۸ تا ۱۴ میکرومتر با استفاده از وسایلی نظیر اسکنرهای حرارتی، سنجیده می‌شوند.

اسکنرهای چندطیفی به‌طور هم‌زمان از طریق محدوده‌های باریک طول موج چندگانه که می‌توانند در نقاط مختلف محدودهٔ طیفی از مرئی تا مادون قرمز حرارتی قرار گیرند، سنجش می‌کنند. سیستم‌های رادار و سیستم‌های میکروویو غیرفعال از طریق پنجره‌ای که در محدودهٔ ۱ میلی‌متر تا ۱ متر قرار دارد فعالیت می‌کنند.

نکته مهمی که باید از نگاره (۱-۵) آموخت، عبارت است از : فعل و انفعال و وابستگی داخلی بین منابع اولیه انرژی الکترومغناطیسی، پنجره‌های اتمسفر زمین که از طریق آن پنجره‌ها انرژی منبع ممکن است به عوارض سطحی زمین برسد و یا انرژی ساطع شده از عوارض سطحی زمین از پنجرهٔ اتمسفر زمین عبور نماید، و حساسیت طیفی سنجنده‌های موجود جهت ثبت انعکاس‌ها می‌باشد.

انسان نمی‌تواند به دلخواه سنجندهٔ مورد استفاده را برای هر نوع مأموریت سنجش از دوری انتخاب کند و موظف به منظور نمودن موارد ذیل می‌باشد:

۱) حساسیت طیفی سنجنده‌های موجود؛

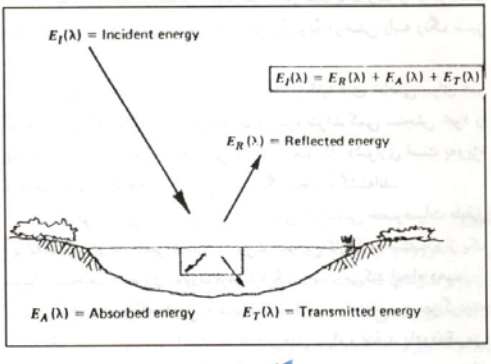
۲) وجود و یا عدم وجود پنجره‌های اتمسفر زمین در محدودهٔ طیفی یا محدوده‌های طیفی که انسان می‌خواهد سنجش کند؛

۳) منبع، مقدار و ترکیب طیفی انرژی موجود در این محدوده‌ها

و نهایتاً به هر صورت، انتخاب محدودهٔ طیفی سنجنده باید براساس روشی که انرژی با عوارض تحت بررسی برخورد می‌کند، باشد.

۱-۴) فعل و انفعالات انرژی در برخورد با عوارض سطحی زمینی :

هنگامی که انرژی الکترومغناطیسی برروی عارضه سطحی زمینی مورد نظر تابیده می‌شود، سه فعل و انفعال بنیادی ممکن است دراثر برخورد انرژی با عوارض رخ بدهد. این در نگاره (۱-۶) برای یک حجم از آب نشان داده شده‌است. نسبت‌های مختلفی ازانرژی تابیده شده برروی واحد حجم آب، منعکس شده، جذب شده و یا عبور نموده است. با به‌کار بردن اصل بقاء انرژی، ما می‌توانیم‌روابط داخلی این‌سه‌نوع فعل وانفعال انرژی را بنویسیم.



نگاره (۱ - ۶)

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad \text{معادلهٔ (۱-۶)}$$

به‌طوری‌که :

E_I انرژی تابشی، E_R انرژی منعکسه، E_A انرژی جذب شده، E_T انرژی عبورکرده بوده و تمام اجزاء انرژی تابعی از طول موج λ می‌باشند.

معادله (۱-۶) تناسبی است که روابط داخلی بین مکانیزم‌های انعکاس، جذب و انتقال را بیان می‌کند. دو نکته در ارتباط با این معادله باید مورد توجه قرارگیرد.

ابتدا، نسبتهای انرژی انعکاسی، جذبی، انتقالی برای پدیده‌های مختلف فرق خواهد داشت، (براساس شرایط عوارض و نوع مواد تشکیل دهندهٔ آنها). این اختلافها تشخیص عوارض مختلف رادر تصویر میسر می‌سازد.

دوم: وابستگی به طول موج یعنی، حتی مابین یک عارضهٔ نوعی داده شده، نسبت انرژی منعکس شده، جذب شده و انتقال یافته در طول موجهای مختلف تغییر می‌کند.

بنابراین در یک محدوده طیفی، دو عارضه ممکن است غیرقابل تشخیص باشند ولی در طول موج مربوط به باند دیگر خیلی فرق داشته باشند. در محدودهٔ طیف مرئی، این تغییرات طیفی منجر به اثر دیداری موسوم به رنگ می‌شود.

برای مثال ، هنگامی می‌گوییم که شئ «آبی» است که آن شئ به‌طور زیادی بخش آبی طیف را منعکس سازد. «سبز» هنگامی‌که به نسبت زیادی بخش سبز طیف را منعکس سازد، و غیره. بنابراین، چشم انسان تغییرات طیفی در مقدار انرژی انعکاس یافته را جهت تمیز بین اشیاء مختلف به‌کار می‌گیرد.

از آن‌جایی که بسیاری از سیستم‌های سنجش از دور در محدوده‌هایی از طول موج، فعال هستند، که در آنها انرژی انعکاس یافته فراگیر است، و انعکاس عوارض سطحی زمینی بسیار مهم هستند. بنابراین، اغلب، تفکر در خصوص رابطهٔ تعادل انرژی بیان شده به‌وسیلهٔ معادلهٔ (۱-۶)، به شکل زیر مفید است.

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)] \quad \text{معادلهٔ (۱-۷)}$$

به این معنی، که انرژی انعکاس یافته مساوی با انرژی تابشی برروی یک عارضه منهای انرژی که جذب و یا به‌وسیلهٔ آن عارضه انتقال یافته است، می‌باشد.

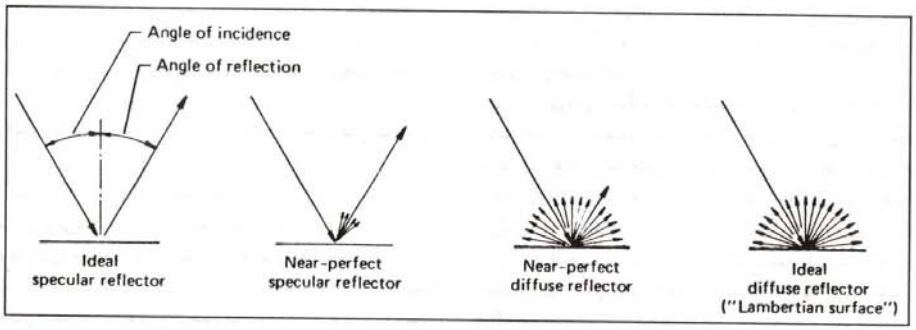
همچنین بررسی هندسی چگونگی انعکاس انرژیی که یک شئ از خود منعکس می‌سازد، با اهمیت است. این عامل تابعی از ناهمواری سطح شئ است. منعکس کننده‌های آینه‌ای (speculor)، سطوح صافی هستند که همچون آینه، خاصیت انعکاسی دارند به‌طوری‌که زاویه انعکاسی برابر است با زاویه تابشی. منعکس کننده‌های پخشی Diffuse (یا Lambertian) سطوح ناهمواری هستند که به‌طور یکنواخت نور را در تمامی جهت انعکاس می‌دهند.

اکثر سطوح زمینی نه منعکس کننده‌های کامل آینه‌ای (speculer) و نه منعکس کننده کامل پخشی (diffuse) می‌باشند. بلکه خصوصیات آنها بین دو منعکس کننده می‌باشد.

نگاره (۱-۷) وضعیت هندسی منعکس کنندهٔ آینه‌ای کامل (Specular)، آینه‌ای نزدیک کامل (near - specular)، پراکندهٔ نزدیک کامل (near diffuse) و پراکندهٔ کامل (diffuse) را نشان می‌دهد.

در مقایسهٔ ناهمواری سطح با طول موج انرژی تابیده شده به آن، ردهٔ ناهمواری سطح مورد نظر تعیین می‌شودو برای مثال، در محدودهٔ موج نسبتاً بلند رادیویی، عوارض سنگی می‌توانند به‌صورت هموار نسبت به انرژی تابشی ظاهر شوند. در مقایسه، در بخش مرئی طیف، حتی موادی همچون ماسه‌های ریز ناهموار ظاهر می‌شوند. به طور خلاصه، هنگامی‌که طول موج انرژی تابشی بسیار کوچکتر از تغییرات در ارتفاع سطح، یا ابعاد ذراتی که سطح را می‌سازند است، در این صورت سطح، یک سطح diffuse یا پخش کننده است.

انعکاس‌های ناشی از پخش در برگیرندهٔ اطلاعات طیفی مربوط به رنگ (color) سطح منعکس کننده هستندو در صورتی‌که انعکاس‌های سطوح آینه‌ای اینطور نیستند. بنابراین، در سنجش از دور، ما اکثراً علاقه‌مند به اندازه‌گیری خواص پخش انعکاسی عوارض زمینی هستیم.



نگاره (۱ - ۷)

خصوصیات انعکاس عوارض سطحی معین ممکن است به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری بخشی از انرژی تابشی که منعکس شده است معین شوند. این به عنوان تابعی از طول موج اندازه‌گیری می‌شود و انعکاس طیفی (spactral Reflectand) نامیده می‌شود. و به‌صورت ریاضی به شکل زیر بیان می‌گردد.

$$P_\lambda = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} = \frac{\text{انرژی طول موج } \lambda \text{ انعکاس یافته از شئ}}{\text{انرژی طول موج } \lambda \text{ تابش شده به شئ}} \times ۱۰۰$$

معادلهٔ (۱-۸)

به‌طوری‌که P_λ (انعکاس طیفی) برحسب درصد بیان شده است.

نمودار انعکاس طیفی یک شئ به‌عنوان تابعی از طول موج، منحنی انعکاس طیفی (spectra reflectance curve) نامیده می‌شود.

شکل «منحنی انعکاس طیفی» شناختی در خصوص وضعیت طیفی یک شئ به ما می‌دهد و تأثیر بسیار زیادی در انتخاب محدوده یا محدوده‌هایی از طول موج‌ها می‌دهد که در آن طول موج‌ها، داده‌های سنجش از دور برای کاربرد خاصی اخذ می‌شوند.

نگاره (۱-۸)، به‌طور روشنی منحنی‌های انعکاسی طیفی عمومی را برای درختان کم برگ در مقابل مخروطی نشان می‌دهد.

توجه کنید که منحنی برای هر یک از انواع این پدیده‌ها به‌صورت کمیت‌ها، «نواری» یا دوپوش ترسیم شده است نه به‌صورت تک خط.

این پدیده به دلیل آن است که انعکاس‌های طیفی در یک نوع ماده، مقداری تغییر می‌کنند. به این معنی که، انعکاس طیفی یک نمونه درخت کم برگ و یک درخت کم برگ دیگر هرگز با یکدیگر شبیه نیستند. همچنین هرگز انعکاس طیفی درختان هم گونه با هم یکی نیست. ما در خصوص منحنی‌های انعکاس طیفی بعداً در این فصل صحبت خواهیم کرد.

درنگاره (۱-۸)، فرض کنید مأموریت‌انتخاب یک‌سیستم‌قابل نصب در هواپیما (یا ماهواره) به‌منظور کمک در فراهم نمودن یک نقشهٔ جنگل که در آن مناطقی که دارای درختان مخروطی است از مناطقی که درختان برگ ریز دارد تفکیک شده باشد، به شما محول گردد. یکی از سنجنده‌های انتخابی ممکن است چشمان شما باشد. در صورتی که مشکلات زیادی در خصوص این سنجنده می‌باشد. «منحنی‌های انعکاس طیفی» هرگونه‌ای از درختان در بسیاری از بخشهای طیف مرئی همپوش هستند و در جاهائی‌که هم‌پوشی وجود ندارد بسیار به یکدیگر نزدیک هستند.

بنابراین، چشم ممکن است نتواند درختان برگ ریز را از درختان مخروطی تمیز دهد.ودر نتیجه هردونوع گونهٔ درختی رابه رنگ سبز می‌بیند.

یقیناً، انسان ممکن است با استفاده از کلیدهای خاصی برای هر گونهٔ درختی نظیر اندازه، شکل، مکان و غیره بتواند کمی سنجش خود را بهبود بخشد، لکن اغلب انجام این کار از آسمان کار دشواری است به‌ویژه هنگامی‌که انواع گونه‌های درختی با یکدیگر مخلوط گشته‌اند.

چگونه‌مامی‌توانیم دونوع گونهٔ گیاهی رابراساس خصوصیات طیفی آنها به تنهایی از هم تمیز دهیم؟ ما می‌توانیم این کار را با استفاده از یک سیستم سنجنده که انرژی مادون قرمز نزدیک را ثبت می‌کند انجام دهیم.

یک دوربین که به‌وسیلهٔ فیلم مادون قرمز سیاه‌وسفید مجهز گردیده است یک چنین سیستمی است. در عکس‌های سیاه و سفید مادون قرمز، درختان برگ ریز (که دارای انعکاس مادون قرمز بیشتری نسبت به درختان مخروطی هستند) معمولاً با تُن‌های بسیار روشنتری نسبت به درختان مخروطی در عکس ظاهر می‌شوند.

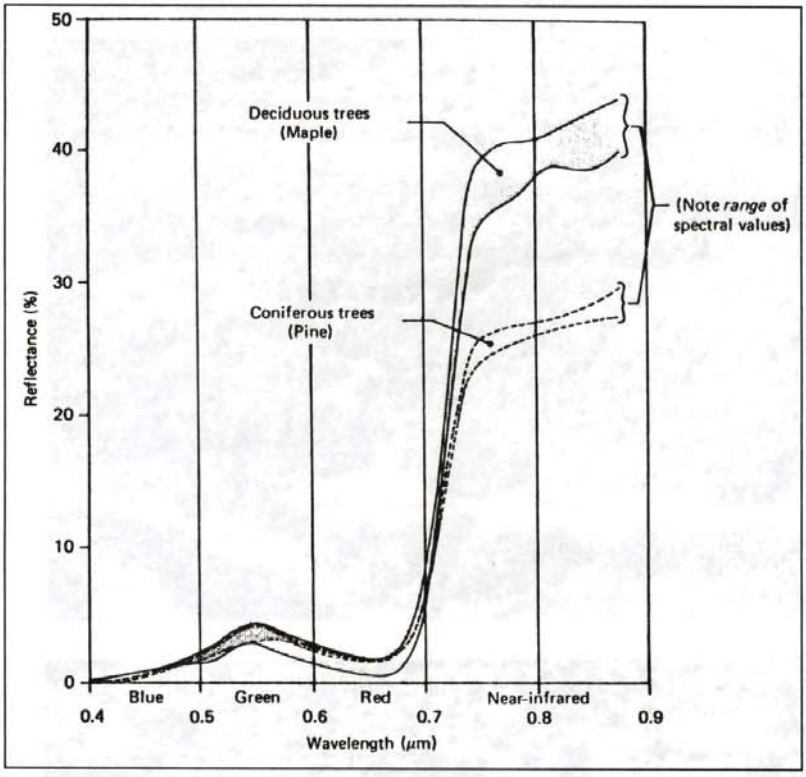
در نگاره (۱-۹) مکانهایی را که درختان مخروطی به‌وسیلهٔ درختان برگ ریز احاطه گردیده‌اند نشان داده شده است.

در نگاره a (۱-۹) (طیف مرئی) با وجود آنکه درختان مخروطی دارای شکل مشخص مخروطی و درختان برگ ریز دارای نوک‌های گردی می‌باشند، تمیز بین این گونه‌های گیاهی واقعاً غیرممکن است.

در نگاره b (۱-۹) (مادون قرمز نزدیک)، درختان مخروطی دارای تن‌های قابل تمیز تیره‌تری هستند. در یک چنین تصویری وظیفهٔ تمیز بین درختان برگ ریز و درختان مخروطی تقریباً بسیار ساده می‌شود. در حقیقت، اگر ما بتوانیم به‌صورت الکترونیکی این نوع تصویر را اسکن کنیم و نتایج را برحسب تن تصویر به کامپیوتر وارد نمائیم، امکان خود کار نمودن مأموریت‌های تهیه نقشه به وجود خواهد آمد. بسیاری از برنامه‌های تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور صرفاً تلاش در انجام این کار را دارند.

برای آنکه این طرح‌ها همراه با موفقیت باشند، پدیده‌هایی که لازم است از یکدیگر تمیز داده شوند، باید به لحاظ طیفی تفکیک‌پذیر باشند.

نگاره (۱ - ۸)



تجربه نشان داده است که بسیاری از عوارض سطحی زمین که موردنظر می‌باشند، براساس خصوصیات طیفی آنها، قابل تمیز از یکدیگر، تهیه نقشه و مطالعه می‌باشند.

تجربه همچنین نشان داده است بعضی از عوارض سطحی زمینی مورد نظر به لحاظ طیفی نمی‌توانند از یکدیگر تفکیک شوند بنابراین، برای استفادهٔ مؤثر از داده‌های سنجش از دور، انسان باید خصوصیات طیفی عوارض خاص مورد بررسی را در هر کاربردی شناخته و درک نماید. مانند اینکه، انسان باید بداند، چه عواملی بر این خصوصیات تأثیر می‌گذارند.

انعکاس طیفی روئیدنیها، خاک و آب

نگاره (۱-۱۰) نمونهٔ منحنی‌های انعکاس طیفی را برای سه نوع اصلی از عوارض زمین نشان می‌دهد:
روئیدنیهای سبزسالم، خاک خشک موات (به رنگ خاکستری - قهوه‌ای - مشکی) و آب صاف دریاچه، خطوط در این شکل نشان‌دهندهٔ منحنی‌های انعکاس طیفی میانگین عناصر سه گانهٔ فوق است که با اندازه‌گیری‌های نمونه‌های بسیار زیاد تهیه شده است.

توجه کنید که چگونه منحنی‌ها برای هر یک از مواد قابل تمیز است. به‌طور کلی ، شکل این منحنی‌ها نمایانگر نوع و وضعیت عارضه‌ای است که مورد بررسی قرار گرفته است.

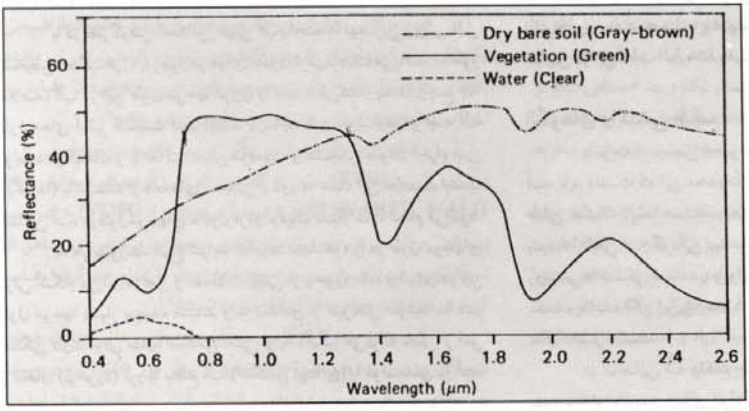
اگرچه انعکاس هر یک از عوارض به تنهایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به میانگین ترسیم شده فرق می‌کند (بیشتر یا کمتر است)، لکن این منحنی‌هانکات بنیادی اساسی‌رادرخصوص انعکاس طیفی نمایش می‌دهند.

برای مثال، منحنی‌های انعکاسی طیفی برای روییدنیهای سالم سبزرنگ تقریباً همیشه شکل «قله و دره» نشان داده شده در نگاره (۱-۱۰) را آشکار می‌سازند.

دره‌ها در بخش مرئی طیف به‌وسیلهٔ رنگ دانه‌های برگ گیاهان ایجاد می‌شوند، کلروفیل، برای مثال، جذب کنندهٔ بسیار قوی انرژی طول موج مربوط به باندهای متمرکز شده بین ۰/۴۵ تا ۰/۶۷ میکرومتر می‌باشد. بنابراین، چشمان ما روییدنی‌های سالم را به علت جذب بسیار بالای انرژی قرمز، آبی به‌وسیله برگهای درختان وانعکاس شدید انرژی (طول موج) سبز توسط آنها، به رنگ سبز می‌بینند.

نگاره (۱ - ۹)

نگاره (۱ - ۱۰)



اگر یک گیاهی مورد تنش‌های خاصی قرار گرفته است که مانع رشد طبیعی و بارورش شده، ممکن است تولید کلروفیل در آن کاهش پیدا نموده و یا بطور کامل متوقف گردد. در نتیجه جذب کلروفیل کمتری در باندهای آبی و قرمز حاصل می‌شود. در این موارد اغلب انعکاس قرمز افزایش می‌یابد تا حدی که ما گیاه را به رنگ زرد (ترکیب قرمز و سبز) می‌بینیم.

با عبور از محدودهٔ طیف مرئی به سمت طیف مادون قرمز نزدیک در طول موج تقریب ۰/۷ میکرومتر، انعکاس رویبدنی‌های سالم به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد.

در محدودهٔ طول موج بین ۰/۷ تا ۱/۳ میکرومتر، برگ یک گیاه نوعاً بین ۴۰ تا ۵۰ درصد انرژی تابش شده به آن را منعکس می‌سازد.

اکثر انرژی باقیمانده بدلیل حداقل بودن جذب انرژی در این محدودهٔ طیفی (کمتر از ۵ درصد) انتقال می‌یابد. انعکاس گیاهی با طول موج بین ۰/۷ تا ۱/۳ میکرومتر نتیجهٔ ساختار داخلی برگهای گیاهان است. از آن‌جایی که این ساختار بین گونه‌های گیاهی به شدت تغییر می‌کند، اندازه‌گیری‌های انعکاس در این محدوده اغلب تمیز بین گونه‌ها را میسر می‌سازد. حتی اگر آنها در طول موجهای مرئی یک شکل به نظر برسند.

مانند آنکه، بسیاری از تنش‌های گیاهی انعکاس را در این محدوده از طول موج تغییر می‌دهد و سنجنده‌هایی که در این محدودهٔ طیفی فعال هستند اغلب برای مشاهدهٔ تنش‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، لایه‌های چندگانهٔ برگها در یک چتری از گیاه فرصتی برای عبور و انعکاس فراهم می‌کنند. بنابراین، انعکاس مادون قرمز نزدیک با تعداد لایه‌های برگها در یک چتر از گیاه افزایش می‌یابد و حداکثر انعکاس هنگامی رخ می‌دهد که تعداد لایه‌های برگ به ۸ عدد برسد.

افزون بر طول موج ۱/۳ میکرومتر، انرژی تابشی به روشیدنی‌ها ضرورتاً با عبور کم نور یابدون عبور انرژی جذب و یامنعکس می‌شود، افت شدید در میزان انعکاس در طول موجهای ۱/۴ و ۱/۹ و ۲/۷ میکرومتر به علت آن است که آب موجود در برگ به شدت این طول موجها را جذب می‌کند. طول موج‌ها در این محدوده‌های طیفی به «باندهای جذبی آب» یا water absorption bands موسوم هستند.

حداکثر انعکاس در طول موجهای تقریباً ۱/۶ و ۲/۲ میکرومتر بین باندهای جذبی رخ می‌دهد. در طول موجهای بیشتر از ۱/۳ میکرومتر، انعکاس برگ تقریباً با کل آب موجود در برگ نسبت معکوس دارد. این مقدار آب تابعی ازمیزان رطوبت موجود در برگ و ضخامت آن می‌باشد. منحنی خاک در نگاره (۱ - ۱۰) تعداد قابل ملاحظهٔ کمتری تغییر در نقاط «حداکثر» و «حداقل» در انعکاس نشان می‌دهد. به این معنا که، عواملی که بر انعکاس خاک تأثیر می‌گذارند در باندهای طیفی ویژه کمتری فعال هستند. بعضی از عواملی که بر انعکاس خاک اثر می‌کنند عبارت هستند از:

میزان رطوبت، ترکیبات خاک (نسبت ماسه، رس، شن) ناهمواری سطح، وجود اکسید آهن، و وجود مواد عالی در خاک. این عوامل پیچیده، متغیر و وابسته به یکدیگر هستند. برای مثال، وجود رطوبت در خاک انعکاس آنرا کاهش خواهد داد. همان‌طوری که در خصوص رویبدنی‌ها مطرح شد، این اثر در باندهای جذبی آب در طول موجهای تقریبی ۱/۴ و ۱/۹ و ۲/۷ میکرومتر حداکثر است. (خاکهای رُسی همچنین دارای باندهای جذبی هیدراکسیل در طول موج تقریبی ۱/۴ و ۲/۲ میکرومتر می‌باشند.)

وجود رطوبت در خاک به ترکیب خاک بستگی دارد: خاکهای دارای شن و ماسه معمولاً زه‌کش‌های خوبی هستند که منجر به میزان رطوبت کمی در خاک، و در نتیجه انعکاس زیاد می‌شوند.

خاکهای ریزدانه که دارای خاصیت زه‌کشی نیستند و رطوبت را در خود نگه می‌دارند معمولاً دارای انعکاس کمی هستند. در غیر آن، به هر صورت، خاک به تنهایی تمایل معکوس از خود نشان می‌دهد، خاکهای درشت دانه تیره‌تر از خاکهای ریزدانه ظاهر می‌شوند. بنابراین خواص انعکاسی یک خاک تنها در محدودهٔ ویژه‌ای از شرایط پایدار است. دو عامل دیگر که موجب کاهش انعکاس خاک می‌شود عبارت است از ناهمواری سطح و وجود مواد آلی در خاک. وجود اکسید آهن در خاک همچنین به‌طور قابل ملاحظه‌ای انعکاس در خاک را حداقل در طول موجهای مرئی کاهش می‌دهد. بهر ترتیب تحلیل کننده باید با شرایطی که با آن روبرو است ◀

ضرورتاً آشنا باشد.

با در نظر گرفتن انعکاس طیفی آب، احتمالاً مهمترین ویژگی قابل تشخیص، جذب انرژی درطول‌موجهای مادون قرمز نزدیک می‌باشد. به طور خلاصه، آب در این طول موجها انرژی را جذب می‌کند، چه ما راجع به عارضه‌های آبگیر صحبت کنیم (مانند دریاچه‌ها و جویبارها) و چه آب موجود در گیاهان و یا خاک. تعیین موقعیت و مشخص نمودن اجرام آبی (آبگیرها) با استفاده از داده‌های سنجش از دور به علت این خاصیت جذب کنندگی آب، درطول‌موجهای مادون قرمز نزدیک بسیار ساده انجام می‌شود.

به هر صورت، انواع شرایط آبگیرها ابتدا خود را در طول موجهای مرئی آشکار می‌سازد. فعل و انفعالات ناشی از برخورد ماده و انرژی در این طول موجها بسیار پیچیده هستند و به تعدادی از عوامل مرتبط با هم بستگی دارند. برای مثال، انعکاس ناشی از یک آبگیر می‌تواند ناشی از فعل و انفعال (برخورد) نور با سطح آب (انعکاس آینه‌ای) با مواد معلق در آب، یا با کف آبگیر باشد.

حتی در آبگیرهای عمیق که در آنها انعکاس در اثر برخورد با کف قابل اغماض است، خواص انعکاسی آبگیر نه فقط فی نفسه تابعی از آب بلکه همچنین مواد موجود در آن نیز می‌باشد.

آب صاف تقریباً انرژی کمی را که دارای طول موج کمتر از ۱/۶ میکرومتر است جذب می‌کند. انتقال زیاد، این طول موجها را که دارای حداکثر در بخش آبی - سبز طیف می‌باشند دسته‌بندی می‌کند. به هر صورت، همین‌که میزان گل‌آلودگی آب تغییر کند (به علّت وجود مواد آلی وغیرآلی در آب)، انتقال (و بنابراین انعکاس) تغییر چشمگیری می‌کند. برای مثال، آبهایی که شامل مقادیر زیادی مواد رسوبی معلّق ناشی از فرسایش خاک می‌باشند معمولاً دارای انعکاس مرئی بیشتری نسبت به آبهای صاف در یک منطقهٔ جغرافیایی می‌باشند. همان‌طوری‌که، انعکاس آب با تمرکز کلروفیل تغییر می‌کند.

افزایش تمرکز کلروفیل تمایل به کاهش انعکاس آب در طول موجهای آبی و افزایش انعکاس در طول موجهای سبز دارد. این تغییرات برای بررسی وجود و تخمین تمرکز جلبک از طریق داده‌های سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است.

داده‌های انعکاسی همچنین برای تعیین وجود یا عدم وجود رنگ‌هایی جوهر ساز و (تانین) ناشی از روییدنی‌های موجود در باتلاق‌ها در اراضی پست و مشاهدهٔ تعدادی از آلودگی‌ها نظیر آلودگیهای ناشی از نفت زباله‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بسیاری از خصوصیات مهم آب، نظیر تمرکز اکسیژن حل شده، PH و تمرکز نمک، نمی‌تواند مستقیماً از طریق تغییرات انعکاسی درآب مشاهده شود. به‌طور خلاصه، روابط داخلی بسیار پیچیده‌ای بین انعکاس طیفی آب و خصوصیات ویژه‌ای وجود دارد.

انسان باید داده‌های مرجع مناسبی را به‌منظور تفسیر صحیح اندازه‌گیری‌های انعکاسی انجام یافته برروی آب بکار برد.

بحث ما در مورد خصوصیات طیفی، روییدنی‌های خاک و آب بسیار کلی بوده است. دانشجویانی که علاقه‌مند به تحقیق و تفحص جزئی در خصوص این عناوین و همچنین عواملی که این خصوصیت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، هستند. پیشنهاد می‌شود که به انواع مراجع که تحت این عناوین در این کتاب اشاره شده است مراجعه نمایند.

الگوهای واکنشی طیف

با توجه به بررسی خصوصیات انعکاس طیفی روییدنی‌ها، خاک و آب، باید دانست که این محدودهٔ وسیع از انواع عوارض معمولاً به لحاظ طیفی تفکیک ناپذیر هستند. به‌هرصورت، میزان تفکیک پذیری بین انواع پدیده‌ها تابعی از چگونگی دید مابه‌لحاظ طیفی می‌باشد. برای مثال، آب و روییدنی‌ها ممکن است در طول موجهای مرئی دارای تقریباً انعکاس یکسان باشند، لکن این پدیده‌ها تقریباً همیشه در مادون قرمز نزدیک تفکیک‌پذیر هستند.

از آن‌جایی که واکنش‌های طیفی اندازه‌گیری شده به‌وسیلهٔ سنجنده‌های راه دور برروی انواع مختلف پدیده‌ها، بررسی نوع و یا شرایط پدیده‌ها را میسر می‌سازند، این واکنش‌ها اغلب موسوم به «نشانهای طیفی» (Spectral Signatures) هستند. منحنی‌های انعکاس طیفی و منحنی‌های تابشی (گسیلندگی) طیفی (برای طول موجهای بیشتر از ۳ میکرومتر) اغلب به این روش رجوع می‌شوند. اندازه‌گیری‌های تابش فیزیکی حاصله برروی عوارض خاص زمینی در طول موجهای مختلف نیز موسوم به «نشانه‌های طیفی» آن عوارض می‌باشند.

اگرچه حقیقت دارد که بسیاری از پدیده‌های زمینی خصوصیات انعکاس طیفی‌وباگسیلندگی‌بسیارقابل‌تمیزی‌راآشکار می‌کنند لکن این ناشی از «الگوهای واکنشی» است‌نه‌از«نشانه‌های‌طیفی». دلیل برای این امر آنست که واژهٔ «نشانه» (signature) به الگویی اطلاق می‌شود که منحصر به فرد باشد. این موضوع مربوط به حالت الگوهای طیفی مشاهده شده در جهان طبیعی نیست. همانطوری‌که‌مادیده‌ایم، الگوهای واکنشی طیفی اندازه‌گیری شده به‌وسیلهٔ سنجنده‌های دور ممکن است کمی باشند اما آنها مطلق نیستند. آنها ممکن است تفکیک‌پذیر باشند اما لزوماً منحصر بفرد نیستند.

اگرچه واژهٔ «نشانهٔ طیفی» در ادبیات سنجش از دور به‌طور متناوب مورد استفاده قرار گرفته است، لکن دانشجو همیشه باید قابل تغییر بودن «نشانه‌های طیفی را» بخاطر داشته باشد. چنانچه هدف مشخص نمودن انواع عوارض زمینی مختلف به‌صورت طیف گونه باشد این قابلیت تغییر، ممکن است موجب مشکلات جدیدی در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور شود. به هر صورت، اگر هدف تجزیه و تحلیل کننده، مشخص نمودن شرایط عوارض مختلف هم نوع باشد در این صورت ممکن است به‌منظور استخراج این اطلاعات، ناگزیر به قابلیت تغییر الگوی واکنشی طیفی باشیم.

این موضوع مربوط به کاربردهایی نظیر مشخص نمودن روییدنی‌های تنش دیده (مریض) در مقابل روئیدنی‌های سالم در داخل یک مجموعه از نمونه‌های داده شده می‌باشد. بنابراین فهم و درک طبیعت زمین منطقه‌ای که انسان با استفاده از داده سنجندهٔ از راه دور مورد بررسی قرار می‌دهد بسیار مهم است نه فقط به لحاظ آنکه قابلیت تغییرات طیفی ناخواسته رابه حداقل برساند، بلکه همچنین این قابلیت تغییر را هنگامی‌که

کاربرد ویژه‌ای به آن نیازمند است به حداکثر برساند.

ما هم اکنون به خصوصیات بعضی از اشیایی که فی نفسه بر الگوهای واکنشی طیفی خودشان تأثیر می‌گذارند، نگاه نمودیم.

«اثرات زمان» (Temporal effects) و اثرات فضایی (Spatial effects) همچنین می‌تواند وارد هر گونه تجزیه و تحلیل گردد.

«اثرات زمانی»، عواملی هستند که موجب تغییر خصوصیات طیفی یک شیء در یک دوره‌ای از زمان می‌شوند. برای مثال، خصوصیات طیفی بسیاری از گونه‌های گیاهی تقریباً در سراسر طول یک فصل رشد، پیوسته در حال تغییر است. هنگامی‌که ممکن است داده‌های یک سنجنده را برای یک کاربرد خاص جمع آوری نمائیم. این تغییرات اغلب (آنها را) تحت تأثیر قرار می‌دهند.

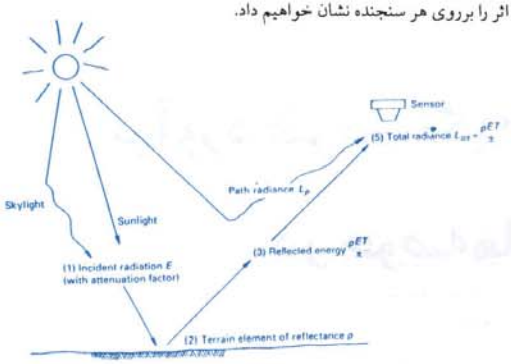
«اثرات فضایی» مربوط به عواملی می‌گردد که موجب تغییر در خصوصیات طیفی یک نوع گونهٔ گیاهی در یک زمان و در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف می‌گردد. در تجزیه و تحلیل در مناطق کوچک، موقعیت‌های جغرافیایی ممکن است یک متر از هم فاصله داشته باشند و اثرات فضایی ممکن است قابل اغماض باشند. هنگامی که داده‌های ماهواره‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، موقعیت آنها ممکن است چند صد کیلومتر از هم فاصله داشته باشند به‌طوری که (این موقعیت‌ها) ممکن است، دارای خاک کاملاً مختلف، شرایط اقلیمی متفاوت و اختلاف در روش کشاورزی باشند. «اثرات زمانی» و «اثرات فضایی» به‌طور مجازی کلیهٔ عملیات سنجش از دور را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

این اثرات معمولاً موضوع تجزیه و تحلیل انعکاس طیفی را پیچیده می‌کنند. مجدداً به هر صورت، اثرات زمانی و فضایی ممکن است کلیدهای جمع نمودن اطلاعات مورد تجسس در یک تجزیه و تحلیل باشند. برای مثال ، فرآیند «مشاهدهٔ تغییرات» براساس توانایی اندازه‌گیری «اثرات زمانی» قبلاً شرح داده شده است. مثالی از این فرآیند مشاهده تغییرات در حواشی مناطق شهری در حال توسعه به‌وسیله استفاده از داده‌های اخذ شده در دو تاریخ مختلف می‌باشد. یک مثال مربوط به یک «اثر فضایی» مفید، تغییر در ریخت برگ درختان است هنگامی‌که به آنها نوعی تنش وارد می‌شود.

برای مثال، هنگامی‌که یک درخت به‌وسیلهٔ مرض Dutch elm مریض می‌شود. برگ‌هایش ممکن است شروع به پیچیدن و خم شدن نماید، در نتیجه باعث تغییر در انعکاس درخت نسبت به درختان سالم اطراف خود می‌شود. بنابراین، حتی اگر یک اثر فضایی احتمال بروز اختلافات در انعکاسهای طیفی نوع مشابهی از پدیدهٔ (اشیاء) گردد، این اثر ممکن است به همان اندازه در یک کاربرد خاص مهم باشد.

اثرات اتمسفر در الگوهای واکنش طیفی

علاوه بر متأثر شدن به‌وسیلهٔ اثرات زمانی و فضایی، الگوهای واکنش طیفی به‌وسیلهٔ اتمسفر تحت تأثیر قرار می‌گیرند متأسفانه، انرژی ثبت شده به وسیلهٔ یک سنجنده، همیشه مقداری به علت وجود اتمسفر بین سنجنده و زمین تغییر می‌کند. ما در این سلسله مقالات شاخص‌های این اثر را برروی هر سنجنده نشان خواهیم داد.



اکنون، نگاره (۱ - ۱۱) قالب مرجع اولیه‌ای را برای فهم طبیعت اثرات اتمسفر زمین فراهم می‌کند آنچه در این شکل نشان داده شده است عبارت است از یک وضعیت عمومی از هنگامی‌که یک سنجنده انرژی خورشیدی انعکاس یافته را ثبت می‌کند.

اتمسفر برروی «میزان روشنایی»، یا «تابش» یک نقطهٔ داده شده در روی زمین تقریباً به روش متضاد اثر می‌گذارد. ابتدا، اتمسفر موجب کاهش انرژی روشن کننده یک شئ زمینی می‌گردد (و همچنین منعکس شده از شئ) ثانیاً، اتمسفر خودش به عنوان یک انعکاس دهنده عمل می‌کند، و در نتیجه موجب افزایش اثر پراکندگی و پخش، مسیرهای تابش غیرضروری (خارجی) در سیگنال آشکار شده به‌وسیلهٔ سنجنده می‌گردد. با بیان این دو اثر اتمسفر به طور ریاضی، کل تابش ثبت شده به‌وسیلهٔ سنجنده ممکن است مربوط به انعکاس شئ زمینی و تشعشعات ورودی گردد که با استفاده از معادلهٔ زیر قابل محاسبه می‌باشد.

معادله (۱-۹)
$$L_{tot} = \frac{\rho ET}{\pi} + L_p$$

به‌طوری‌که L_{tot} = کل تابش طیفی اندازه‌گیری به‌وسیلهٔ سنجنده

ρ = انعکاس شئ

E = انرژی تابشی بر چشم، انرژی ورودی

T = عبور از جو

L_p = مسیر تابش، از اتمسفر و نه از شئ

باید توجه داشت که همهٔ عوامل فوق بستگی به طول موج دارند. همچنین، همان طوری که در نگاره (۱ - ۱۱) نشان داده شده است. انرژی تابشی ناشی از دو منبع می‌شود:

۱) نور منعکس شده مستقیم خورشید.

۲) پخش «آسمان‌فروغ» که عبارت است از:

نور خورشید که قبلاً به وسیلهٔ اتمسفر زمین پخش گردیده است.

فراگیری نسبی نور خورشید در مقابل «آسمان‌فروغ» در هر تصویر داده شده‌ای شدیداً بستگی به شرایط آب و هوایی (برای مثال، آفتابی در مقابل هاله (غبارآلود) و در مقابل ابری) دارد. مانند آن که، انرژی تابشی، با تغییرات فصل و ناشی از تغییرات زاویه ارتفاع خورشید و فاصله بین زمین و خورشید تغییر می‌کند. □