

سنجش از دور

تعریف سنجش از دور

سنجش از دور عبارتست از علم و فناوری تهیه داده‌ها توسط سنجنده‌هایی که در فاصله دور و بدون تماس با پدیده‌های سطح زمین قرار دارند و تجزیه و تحلیل این داده‌ها جهت استخراج اطلاعات مفید (Lillesand and Kiefer, 1994).

1. فیزیک سنجش از دور

انرژی الکترومغناطیسی که بوسیله سیستم‌های سنجش از دور اندازه‌گیری میشود، تحت تاثیر چند عامل قرار میگیرد که لازمست بخوبی درک شوند تا داده‌ها و تصاویر سنجش از دور بطور مناسب تعبیر و تفسیر شوند.

در سنجش از دور همانند هر سیستمی، داده‌های خام ورودی (Input data) توسط سیستم‌های مختلف تهیه تصویر (Sensor device) تهیه گردیده و سپس پردازش و تجزیه و تحلیل گردیده (Analysis) و اطلاعات مفید از آنها استخراج می‌گردد (Output information). تهیه داده‌ها متکی بر تابش الکترومغناطیس است و می‌تواند بر اساس موج و ذره بودن تابش الکترومغناطیس در نظر گرفته شود. اساس ساخت سنجنده‌ها نیز مبتنی بر خواص موج و ذره بودن تابش الکترومغناطیس است.

اگر انرژی که از دور سنجش میشود، از خورشید منشا گرفته، این انرژی:

- بوسیله ذرات اتم خورشید تابش میشود،
- در خلاء با سرعت نور انتشار مییابد،
- با اتمسفر زمین تعامل مییابد،
- با سطح زمین تعامل مییابد،
- در بازگشت، مجدداً با اتمسفر زمین تعامل مییابد، و
- در سنجنده با سیستم‌های اپتیکی، فیلترها و آشکارسازها تعامل مییابد.

برای درک چگونگی ایجاد تابش الکترومغناطیس، چگونگی انتشار آن در فضا و چگونگی تعامل آن با سایر مواد، لازم است ابتدا فرایندهای تشکیل آن تشریح شود.

چگونگی انتقال انرژی

انرژی به سه صورت میتواند منتقل شود: هدایت، همرفت و تابش.

انتقال انرژی به صورت هدایت (Conduction)

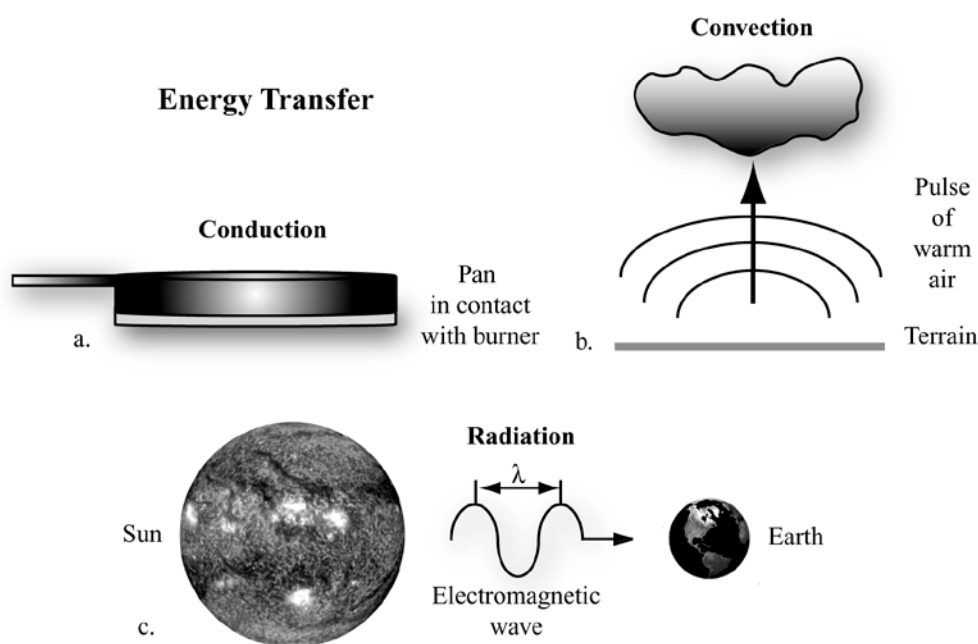
انرژی میتواند مستقیماً از یک شیء به شیء دیگر هدایت شود. مثلاً وقتی که شیء روی فلز بسیار گرم قرار داده شود (شکل a).

انتقال انرژی به صورت همرفت یا وزش گرمایی (Convection)

تابش خورشید زمین را گرم میکند و باعث میشود دمای هوای نزدیک زمین افزایش یابد. هوای کم تراکم به بالا میرود و جریانات همرفتی در جو ایجاد میکند (شکل b).

انتقال انرژی به صورت تابش (Radiation)

انرژی الکترومغناطیس در فرم امواج الکترومغناطیس از خورشید تا زمین و از میان خلاء در فضا منتقل میشود (شکل c).

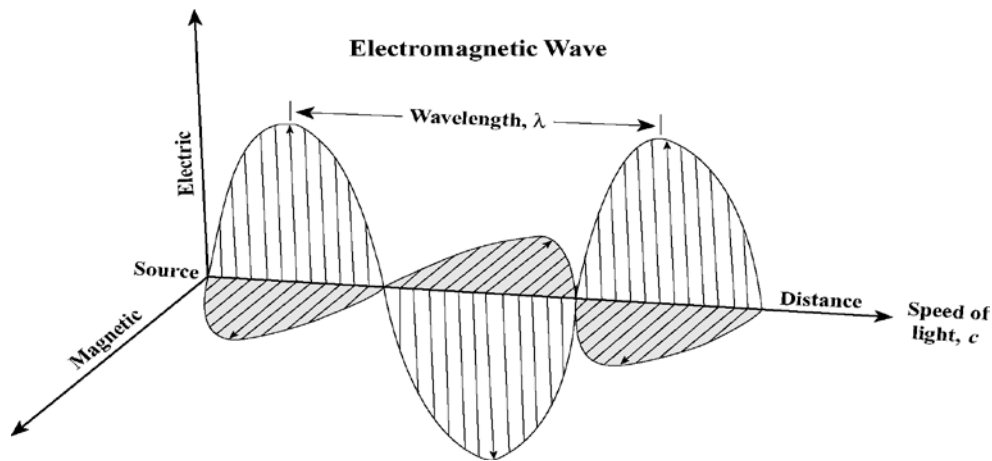


مدلها و خواص فیزیکی تابش الکترومغناطیس در سنجش از دور

تابش الکترومغناطیس دارای دو خاصیت بصورت حرکت موجی و حرکت ذره ای است. بنابراین برای درک چگونگی ایجاد تابش الکترومغناطیس، چگونگی انتشار آن در فضا و چگونگی تعامل آن با سایر مواد، مناسب است فرایند تابش الکترومغناطیس با استفاده از مدل موج (Wave) و مدل ذره (Particle) تشریح شوند.

مدل موج تابش الکترومغناطیس (Wave Model of Electromagnetic Energy)

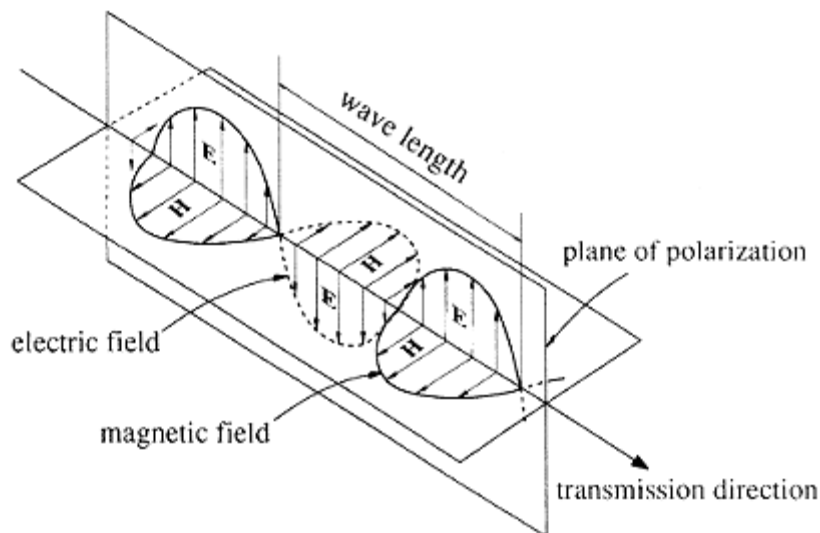
در دهه 1860، James Clerk Maxwell (1831–1879)، تئوری موجی بودن تابش الکترومغناطیس را که در فضا با سرعت نور انتشار می یابد، مطرح نمود. تابش الکترومغناطیس، زمانی ایجاد میشود که یک بار الکتریکی (Electrical charge) شتاب (accelerated) مییابد.



به این ترتیب، اگر تابش الکترومغناطیس بصورت موج در نظر گرفته شود، حاصل، یک میدان الکتریکی (Electric field) و یک میدان مغناطیسی (Magnetic field) است. بنابراین موج الکترومغناطیس از دو میدان نوسان کننده (E) و (M) تشکیل یافته که بردارهایشان بر هم عمود بوده و عمود بر جهت حرکت و با سرعت نور انتشار می یابند.

در شکل زیر، طول موج (λ)، فرکانس (f) و سرعت انتشار (c) دارای رابطه زیر هستند:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$



طول موج تابش الکترومغناطیس بستگی بطول زمانی دارد که ذره باردار شتاب یافته است و فرکانس آن (f) بستگی به تعداد شتابها (number of accelerations) در ثانیه دارد. طول موج معمولاً بصورت میانگین فاصله مابین ماگزیممهای (یا مینیممهای) یک الگوی نسبتاً پریودیک تعریف میشود و واحد آن میکرومتر (μm) یا نانومتر (nm) است.

فرکانس (f) عبارتست از تعداد طول موجهایی که در واحد زمان از یک نقطه میگذرد. موجی که در هر ثانیه یک ماگزیمم میفرستد (یک سیکل را کامل میکند)، فرکانس یک سیکل بر ثانیه یا یک هرتز ($Hertz$) یا $1Hz$ نام دارد. به این ترتیب فرکانس f که با واحد هرتز (Hz) بیان می شود، عبارتست از تعداد موجهایی که در یک ثانیه منتقل می شوند.

سرعت انتشار (v) تابش الکترومغناطیس در خلاء با سرعت نور ($c=2.998 \times 10^8 m/s$) و در جو با سرعتی

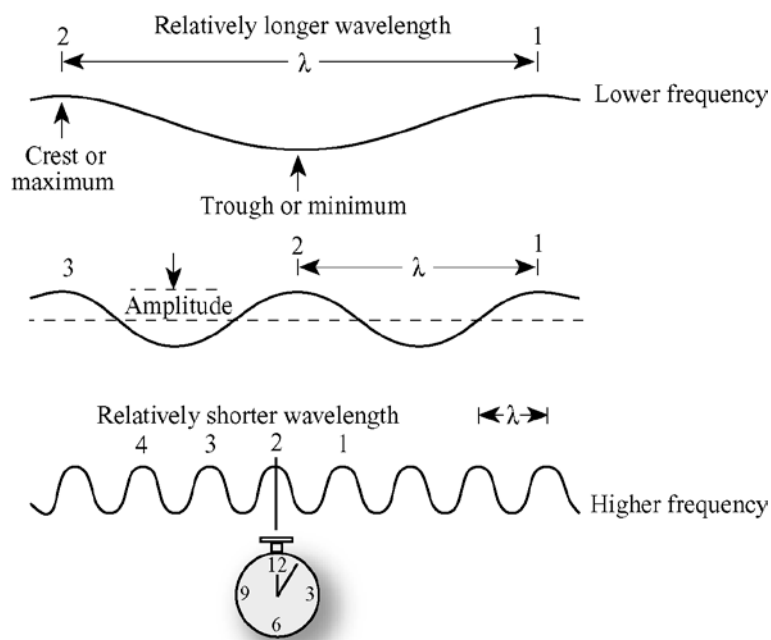
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

کمتر از آن منتشر می شود.

همانطور که ملاحظه میشود، فرکانس با طول موج نسبت معکوس دارد. هر چه طول موج بلندتر باشد، فرکانس پائین تر است و بالعکس.

شکل زیر یک برش عرضی از یک موج الکترومغناطیس و رابطه معکوس طول موج و فرکانس را نشان میدهد. دامنه یک موج الکترومغناطیس، عبارتست از ارتفاع ماگزیمم از موقعیت تعادل. در موقعیتی که ساعت قرار گرفته، میتوان تعداد ماگزیممهایی را که در یک ثانیه عبور میکنند را شمرد که بمعنی فرکانس است.

Inverse Relationship between Wavelength and Frequency



مدل ذره تابش الکترومغناطیس (Particle Model of Electromagnetic Energy)

سالها قبل از 1905، تصور میشد که نور بصورت موج پیوسته ای است. ولی آلبرت اینشتین (1879-1955) دریافت وقتی که نور با الکترون تعامل پیدا می کند، دارای خصوصیتی متفاوت است. او دریافت وقتی که نور با ماده تعامل پیدا می کند، رفتاری می کند که بنظر میرسد از اجسام منفردی بنام فوتون تشکیل شده و دارای خصوصیتی شبیه ذره بعنوان انرژی و مومنتم است. در نتیجه، اغلب فیزیکدانان چنین نتیجه گیری کرده اند که نور، نوع خاصی از ماده است. بنابراین انرژی الکترومغناطیس، گاهی بصورت خواص شبه موجی آن بیان می شود. ولی اگر انرژی با ماده تعامل می یابد، مناسب است بصورت بسته های گسسته انرژی یا کوانتا ($quanta$) بیان شود.

تئوری کوآنتوم تابش الکترومغناطیس

تئوری کوآنتوم تابش الکترومغناطیس را ارائه کردند. این تئوری اینگونه بیان میکند که انرژی بصورت بسته های گسسته ای بنام کوانتا فوتون منتقل می یابد. بنابراین تابش الکترومغناطیس را می توان بصورت فوتون یا کوانتوم نور نیز به حساب آورد که در آنصورت رابطه بین فرکانس تابش انرژی الکترومغناطیس که بصورت تئوری موج و کوآنتوم که بصورت تئوری ذره قابل بیان هستند، عبارت است از

$$E = h.f$$

که در آن f ، فرکانس و h ، ثابت پلانک (JS) $h=6.626 \times 10^{-34}$ است. با استفاده از رابطه فوق میتوان نتیجه گرفت که انرژی یک کوانتم یا فوتون با فرکانس نسبت مستقیم دارد.

همچنین با استفاده از فرمول

$$E = \frac{h.c}{\lambda}$$

که از ترکیب دو فرمول قبل بدست آمده، میتوان نتیجه گرفت که انرژی یک فوتون با طول موج تابش، نسبت معکوس دارد یعنی هرچه طول موج بلندتری مطرح باشد، محتوای انرژی آن پایین تر است. این خواص ارتباط بین انرژی و ماده را در مقیاس اتمی و مولکولی نشان می دهد.

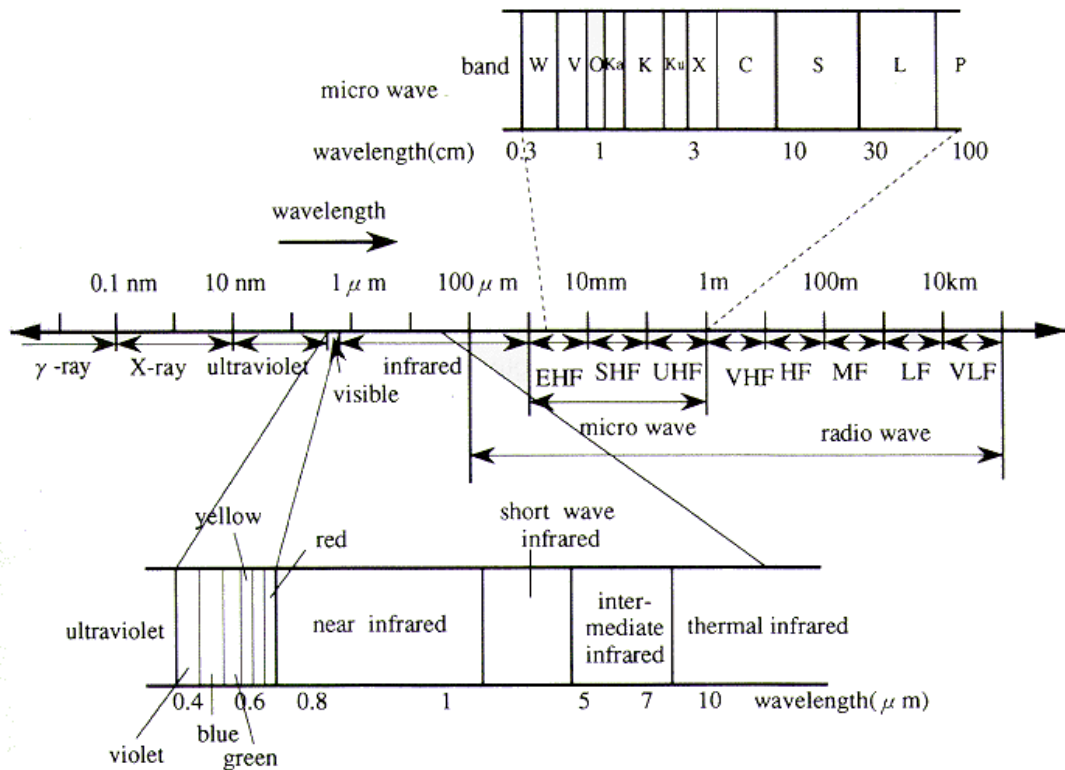
Energy of Quanta (Photons)

انرژی فوتونها (quanta)، از اشعه گاما تا امواج رادیویی را در طیف الکترومغناطیس شامل می شود:

Energy (J)	Frequency (Hz)	Wavelength	Type of radiation	Absorption by atmosphere
10^{-28}	10^5	1000 km	Long radio waves	Radio window
10^{-29}	10^4	100 km	Radio	
10^{-30}	10^3	10 km		AM broadcast
10^{-27}	10^6	1 km	FM, TV broadcast	
10^{-28}	10^7	100 m		Shortwave radio
10^{-29}	10^8	10 m	Infrared	
10^{-30}	10^9	1 m		Visible
10^{-31}	10^{10}	10 cm	Optical window	
10^{-32}	10^{11}	1 cm		Ultraviolet
10^{-33}	10^{12}	1 mm	X ray	
10^{-34}	10^{13}	100 mm		Gamma ray
10^{-35}	10^{14}	10 μm = 10^{-6} m		
10^{-36}	10^{15}	10 μm		
10^{-37}	10^{16}	100 μm		
10^{-38}	10^{17}	10^8 μm		
10^{-39}	10^{18}	10^{10} m		
10^{-40}	10^{19}	10^{12} m		
10^{-41}	10^{20}	10^{14} m		
10^{-42}	10^{21}	10^{16} m		

طیف الکترومغناطیس

طیف الکترومغناطیس، یک طیف پیوسته است بصورت شکل زیر:



برخی قسمتهای طیف الکترومغناطیس بر اساس کاربردهایی که از هر محدوده وجود دارد نامگذاری شده است. در محدوده مرئی و مادون قرمز انرژی گسیل یا انعکاسی که به وسیله سنجنده اندازه گیری می شود بستگی به خواصی از قبیل رنگ، رطوبت، ساختار سلولی در داخل گیاهان، منابع کانی، و غلظت مواد معلق در آب دارد. در انتهای محدوده مادون قرمز که مادون قرمز حرارتی است مقدار حرارت سطح و نزدیک به سطح مواد و در محدوده مایکروویو با استفاده از سیستم تصویر برداری فعال رادار، میزان رطوبت سطح و توپوگرافی سطح اندازه گیری می شود. بنابراین هر محدوده از طیف الکترومغناطیس دارای قابلیت اندازه گیری خص و صیاتی از مواد مختلف می باشد. گاهی این اندازه گیری ها آنقدر به هم نزدیک هستند که مواد متفاوت قابل تفکیک نیستند.

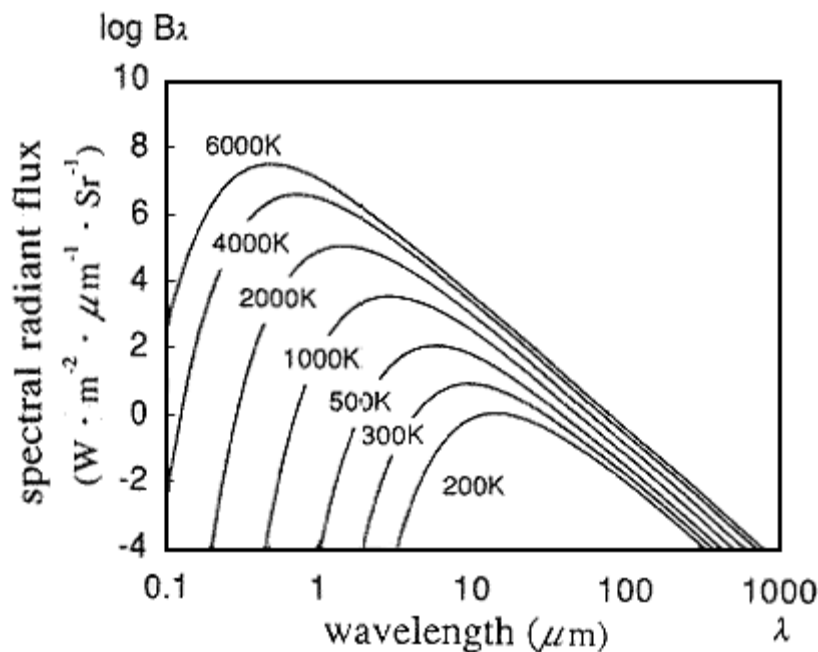
قانون جابجایی Wien

در طبیعت مشاهده میشود که تمام اجسام دارای درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق (-273°C)، امواج الکترومغناطیس را در محدوده وسیعی از طول موج ها گسیل می دارند. هر چه دما افزایش می یابد، محدوده طول موج های گسیلی، وسیع تر می شوند.

با تغییر حرارت یک جسم طول موج غالب (λ_{\max}) نیز جابجا میشود. این جابجایی، بر اساس رابطه

$$\lambda_{\max} = \alpha/T$$

بیان میشود است که در آن ($\alpha=2898\mu\text{mK}$) است. این قانون، قانون جابجایی Wien نام دارد. همانطور که از شکل ملاحظه میشود، با افزایش درجه حرارت، طول موج غالب به سمت طول موجهای کوچکتر میل می کند. کره زمین بصورت جسم سیاه کامل و با دمای تقریبی 300K (27°C)، طول موج غالب را در 9.7 میکرومتر دارد.



جسم سیاه کامل (Perfect Blackbody)

یک جسم سیاه کامل (Perfect Blackbody) تمام تابشی که به آن رسیده است را جذب کرده و حداکثر مقدار تابش را در تمامی طول موجها گسیل (emit) میدارد. این جسم فرضی در واقع هیچ نوری را منعکس نمی کند و بنابراین به رنگ سیاه است.

قانون استفان - بولتزمن (Stephan-Boltzman)

جمع کل مقدار تابشی که بوسیله یک جسم سیاه کامل در تمام طول موجها گسیل می شود با توان چهارم درجه حرارت مطلق آن رابطه مستقیم دارد.

$$W = \sigma T^4$$

که در آن

W ، انرژی تابیده شده بر واحد سطح جسم در ثانیه

T ، درجه حرارت مطلق (کلوین)

σ ، ثابت Stephan-Boltzman و مقدار آن برابر با $5.669 \cdot 10^{-12} \text{W/cm}^2 \text{K}^4$ است.

بنابراین با افزایش حرارت، انرژی تابشی گسیل شونده توسط یک شی سریعتر افزایش می یابد. این قانون را قانون استفان-بولتزمن میگویند.

ضریب گسیل (Emissivity)

عکس العمل اشیاء واقعی با یک جسم گسیل کننده کامل متفاوت است. اشیاء واقعی انرژی را در مقدار کمتری نسبت به یک جسم سیاه کامل گسیل می دارند. مقدار انرژی که یک جسم واقعی در طول موج مفروضی گسیل میدارد نسبت به مقدار انرژی که یک جسم سیاه کامل در همان طول موج گسیل می دارد، ضریب گسیل آن شی (Emissivity) نام دارد و معمولاً آن را با نماد ϵ نمایش می دهند. بنابراین ضریب گسیل (ϵ) عبارت است:

$$\epsilon = \frac{a}{b}$$

که در آن a عبارت است از مقدار انرژی که یک جسم واقعی در طول موج مفروضی گسیل میدارد و b عبارت است از مقدار انرژی که یک جسم سیاه کامل در همان طول موج گسیل می دارد. رابطه استفان-بولتزمن برای یک جسم واقعی بصورت

$$W = \epsilon \sigma T^4$$

در می آید که ϵ همان ضریب گسیل است. برای جسم سیاه کامل، ϵ برابر 1 ولی برای اشیاء واقعی، کوچکتر از 1 و بزرگتر از 0 است:

$$0 < \epsilon < 1$$

قانون پلانک (Planck's law)

قانون پلانک توسط Max Planck در سال 1900 ارائه شد. این قانون برای اولین بار تابش جسم سیاه کامل را دقیقاً بیان کرد. قانون پلانک مقدار انرژی الکترومغناطیس در طول موج معین را توسط یک جسم سیاه کامل در تعادل گرمایی بیان می کند. این قانون میگوید اشیا چه مقدار انرژی و در چه فرکانسی تابش می کنند. اشیا در دمای پایین، تابش پائین، در دمای بالا، تابشی بالا به حدی که به رنگ قرمز (قابل دیدن) و در دمای بسیار بالا مثل خورشید، تابشی بسیار بالا به حدی که به رنگ زرد روشن یا سفید مایل به آبی دارند. با ترکیب قانون جابجایی Wien و قانون Stephan-Boltzmann (در تئوری کوآنتوم) قانون پلانک نتیجه می شود. این قانون مقدار انرژی موجود در تابش $E(\lambda)d\lambda$ از یک جسم گسیل دهنده کامل در محدوده λ تا $\lambda+d\lambda$ را با این رابطه ارائه می دهد.

$$E(\lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

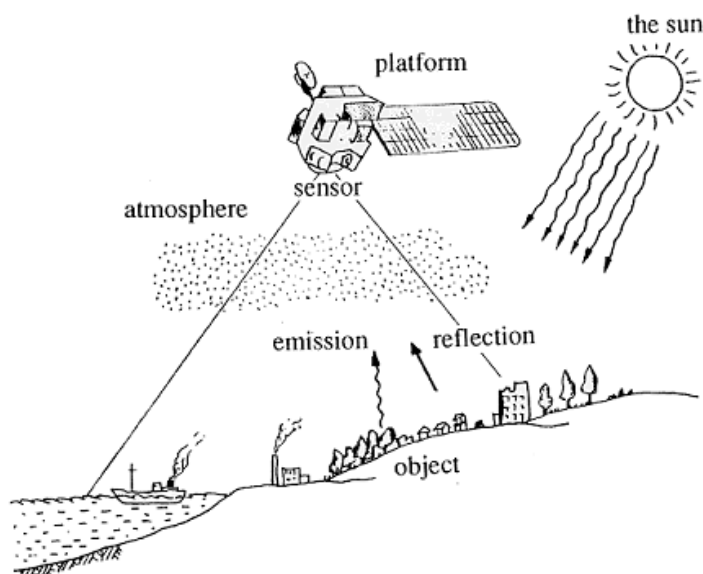
C_1, C_2 مقادیر ثابت و بترتیب برابر هستند با:

$$C_1 = 3.74151 \cdot 10^8$$

$$C_2 = 1.43879 \cdot 10^4$$

همانطور که ملاحظه می شود محاسبه مقدار انرژی گسیل شده از زمین وابسته به دمای جسم و طول موجهایی است که در آن طول موجها، اندازه گیری صورت می گیرد.

خصوصیات انعکاسی پدیده های مختلف سطح زمین (تعامل انرژی الکترومغناطیس با ماده) هر ماده، تابش الکترومغناطیس را بصورت منحصر بفرد و ترکیبی از چهار حالت: بازتابنده (reflection)، جذب کرده (absorbtion)، از خود عبور داده (refraction) و گسیل می دارد (emission). این مشخصات منحصر به فرد ماده را مشخصه های طیفی (spectral signature) می نامند. مقدار هر یک از حالتها بطول موج انرژی تابیده شده و نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ماده یا پدیده بستگی دارد.



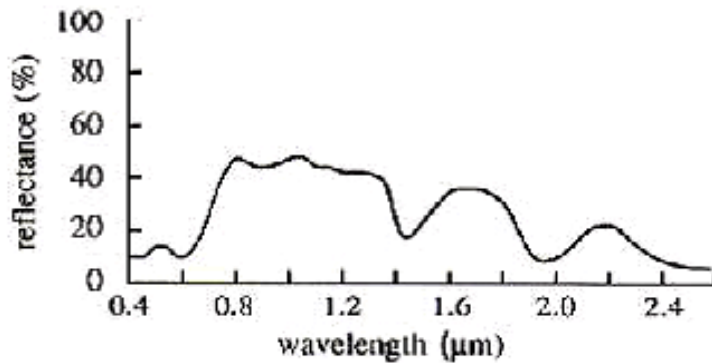
از آنجا که در سنجش از دور فقط انرژی منعکس شده یا گسیل شده اندازه گیری می شود، می توان از مقدار عبور انرژی از اجسام صرف نظر کرد. مقدار انرژی منعکس شده از یک جسم را برای هر طول موج معین، می توان تفاضل مقدار انرژی جذب شده از کل انرژی تابیده شده تلقی کرد. به عبارت دیگر در هر طول موج میزان انعکاس از یک پدیده با مقدار جذب آن دارای رابطه معکوس است. اندازه واکنشهای انعکاسی در پدیده های مختلف و در هر طول موج به شرایط مختلفی از قبیل خواص برونی یا درون سلولی پدیده، مقدار ناخالصیهای موجود در آن و نیز خصوصیات فیزیکی و ظاهری پدیده بستگی دارد. به عبارت دیگر پدیده های مختلف خصوصیات انعکاسی متفاوتی در یک طول موج معین از خود بروز می دهند. بعلاوه آنکه واکنش انعکاسی هر پدیده در طول موجهای مختلف نیز، متغیر است. بررسی و تجزیه و تحلیل این تغییرات از لحاظ تعامل انرژی الکترومغناطیس با ماده برای پدیده های اصلی طبیعت (مثل آب، خاک و پوشش گیاهی) اساس شناسایی پدیده های مختلف را در سنجش از دور تشکیل می دهد.

خصوصیات انعکاس طیفی گیاه سبز

منحنی انعکاسی گیاه سبز در سه ناحیه طیف الکترومغناطیس قابل بررسی است.

- 1- ناحیه جذب انرژی تابیده شده توسط ذرات رنگ ی (کلروفیل) موجود در گیاه که در محدوده نور مرئی (0.7-0.4) میکرومتر قرار دارد.
- 2- ناحیه عدم جذب انرژی تابیده شده که در نتیجه گیاه سبز بیشترین میزان گسیل را در محدوده مادون قرمز نزدیک (1.3-0.7) میکرومتر دارد.

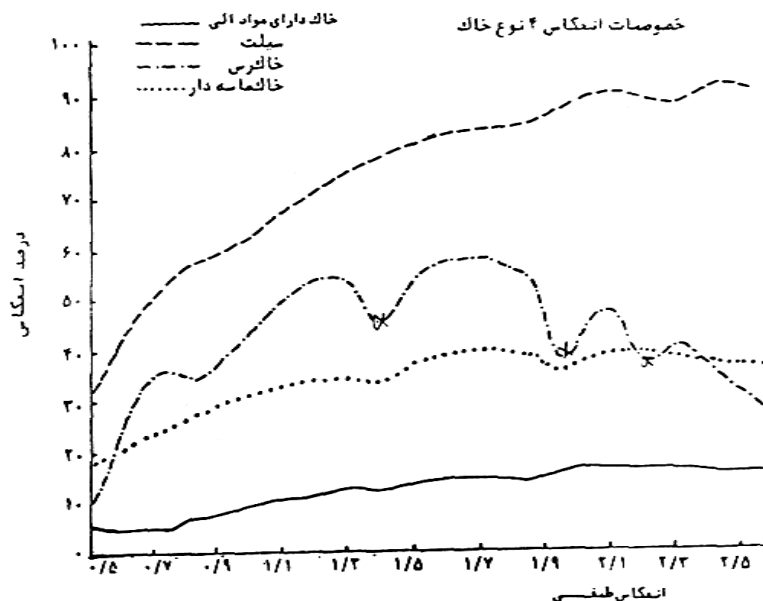
3- ناحیه جذب انرژی تابیده بوسیله رطوبت موجود در گیاه که در طول موجهای 1.4، 1.9 و 2.6 میکرومتر به حداکثر خود می رسد.



برای گیاه کلروفیل دار، دو باند جذب کلروفیل در محدوده 0.4 تا 0.5 (آبی) و 0.6 تا 0.7 (قرمز) وجود دارد. این که گیاه به رنگ سبز دیده می شود، به دلیل جذب شدید انرژی تابیده شده توسط کلروفیل برگ در طول موجهای آبی و قرمز و انعکاس انرژی در محدوده طول موج سبز میباشد.

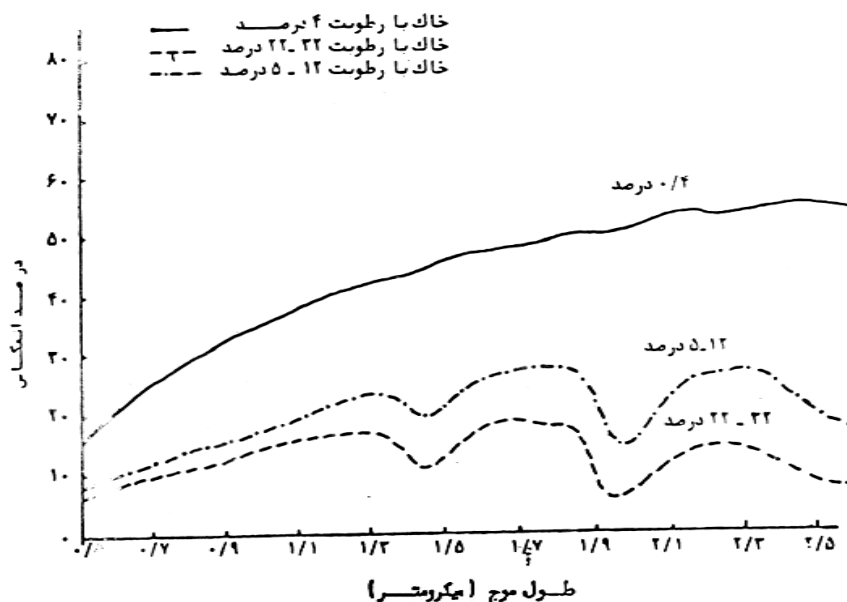
خصوصیات انعکاس طیفی خاک

- 1- بطور کلی مقدار انعکاس طیفی خاک با افزایش طول موج افزایش مییابد.
- 2- در شرایط یکسان از لحاظ رطوبت، انعکاس طیفی خاک در یک طول موج به عوامل زیر بستگی دارد.
 - a: ترکیب شیمیایی خاک
 - b: بافت و دانهبندی خاک
 - c: مقدار ناخالصیهای موجود در خاک (مواد آلی، سیلت، نمک، آهن و غیره)
- 3- به علت ساختار ویژه خاک رس یعنی ترکیب مولکولی آن با آب، کاهش شدیدی در مقدار انعکاس طیفی خاک در محدوده طولموجهای جذب آب یعنی 1.4، 1.9 و 2.6 میکرومتر مشاهده می شود.



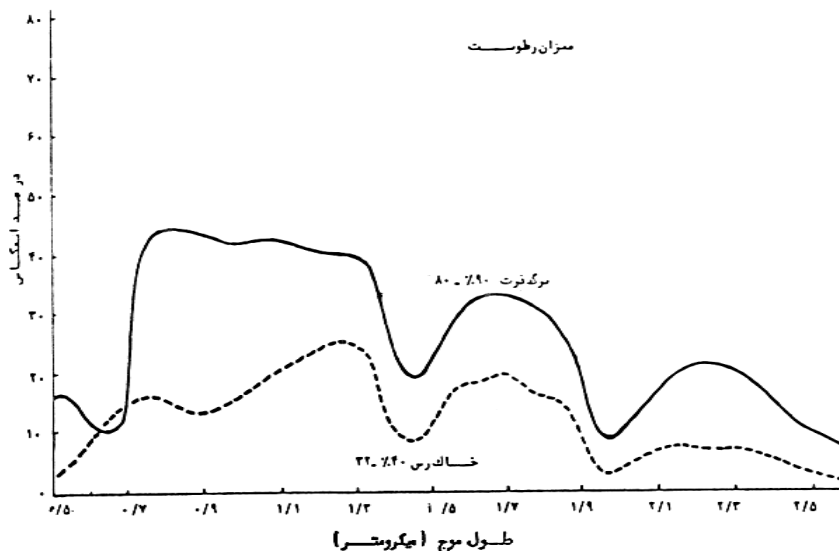
رطوبت در مقدار انعکاس طیفی خاک لنتئو قابل توجهی دارد بطوریکه:

- 1- بطور کلی با افزایش رطوبت، انعکاس خاک در تمام طولموج ها کاهش مییابد.
- 2- مقدار کاهش انعکاس حاصله از افزایش رطوبت در محدوده باندهای جذب آب (1.4، 1.9 و 2.6 میکرومتر) به مراتب بیشتر از کاهش مشاهده شده در طولموجهای دیگر است.



مقایسه خصوصیات انعکاس طیفی پوشش گیاهی با خاک رس

- 1- به علت وجود رطوبت چه در گیاه و چه در خاک، انعکاس در محدوده باندهای جذب آب برای هردو پدیده به شدت کاهش می یابد.
- 2- وجود کلروفیل در گیاه باعث جذب شدید انرژی تابیده شده در طولموجهای محدوده نور مرئی (آبی و قرمز) میگردد.
- 3- ساختار درونسلولی گیاه باعث انعکاس شدید انرژی تابیده شده در محدوده مادون قرمز نزدیک میشود در حالیکه خاک در محدوده مادون قرمز نزدیک، دارای انعکاس پایینی است. از این تفاوتها در رفتار طیفی، بعنوان یکی از روشهای جداسازی و تمایز پوشش گیاهی از خاک استفاده می شود.

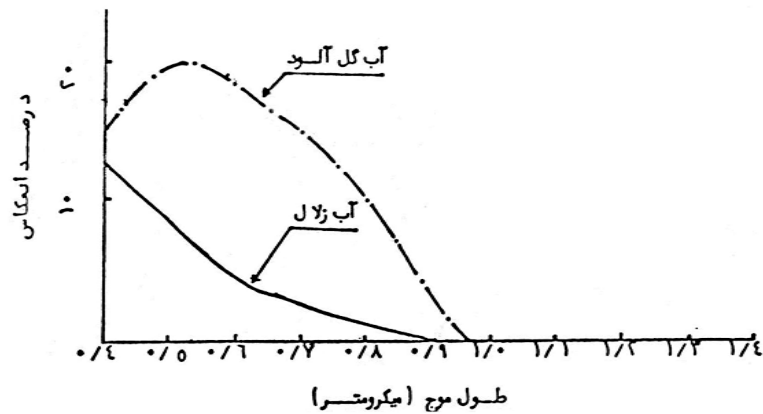


خصوصیات انعکاس طیفی آب

1- بطور کلی آب زلال، انعکاس کمتری نسبت به آب گل آلود از خود نشان می دهد و بخش زیادی از انرژی تابیده شده را جذب می کند.

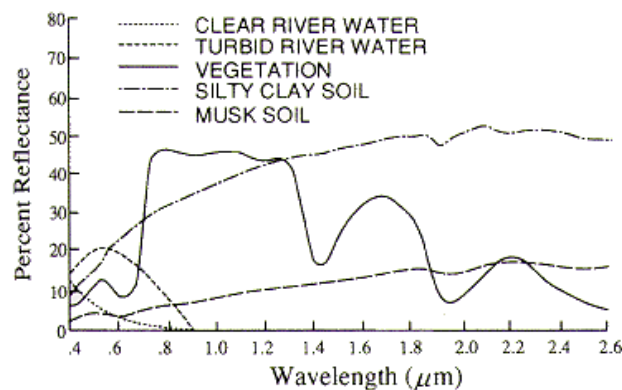
2- انعکاس طیفی آب زلال با افزایش طول موج کاهش می یابد تا جائیکه در طول موج مادون قرمز نزدیک (حدود 1.0 میکرومتر) تمامی انرژی تابیده شده به آب زلال جذب می شود.

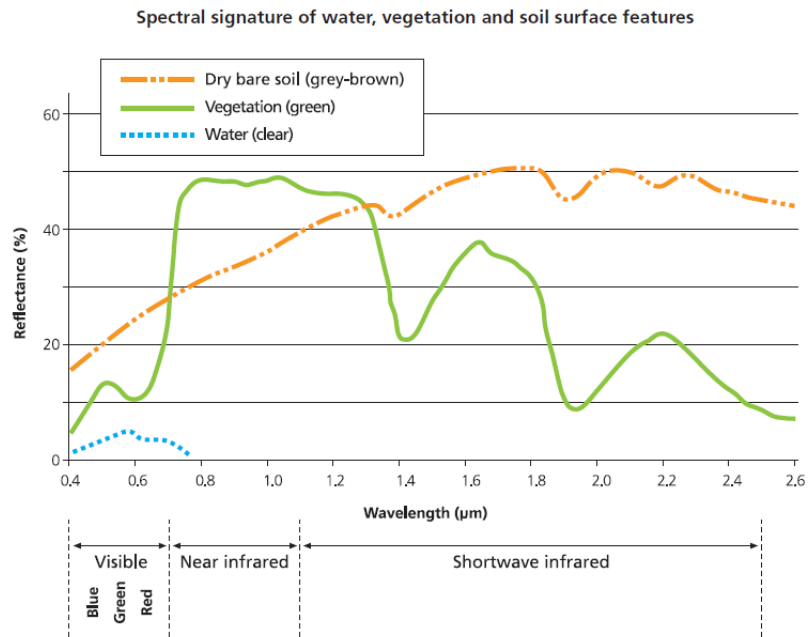
3- به علت وجود ذرات معلق در آب گل آلود، مقدار انعکاس طیفی در آب گل آلود در محدوده مرئی مخصوصا در 0.54 و 0.55 میکرومتر به مراتب بیشتر از آب زلال است اما این شدت انعکاس در طول موجهای مادون قرمز نزدیک، تدریجا کاهش یافته تا اینکه در طول موج 1.0 میکرومتر، تمامی انرژی تابیده شده به آب گل آلود توسط آن جذب می شود.



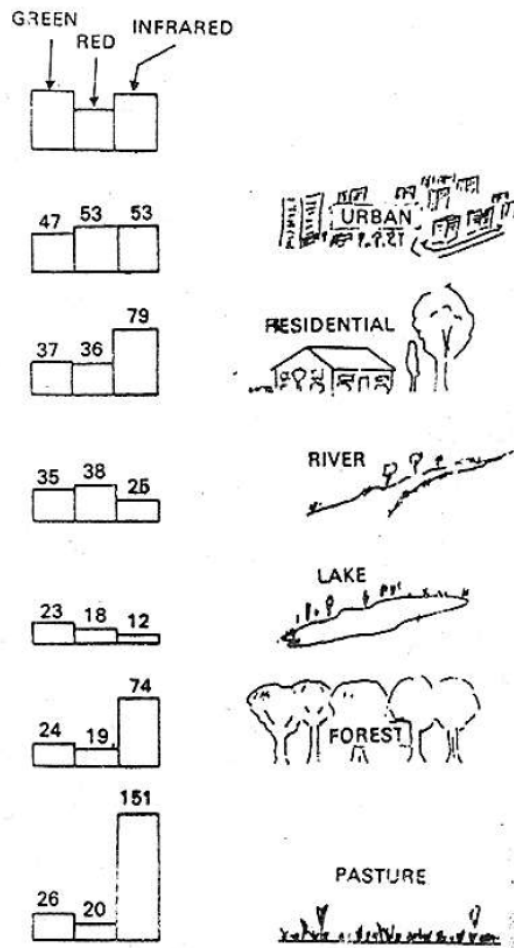
مقایسه خصوصیات انعکاسی طیفی سه پدیده اصلی سطح زمین

- 1- واکنش انعکاسی هر پدیده در طول موجهای مختلف، متفاوت است.
- 2- واکنش انعکاس پدیده های مختلف در یک طول موج می تواند متفاوت یا یکسان باشد.
- 3- در محدوده نور مرئی (0.4 تا 0.7 میکرومتر) میزان انعکاس هر سه پدیده بهم نزدیک است.
- 4- در محدوده مادون قرمز نزدیک (0.7 تا 1.3 میکرومتر) مقدار انعکاس پوشش گیاهی به مراتب از خاک و مخصوصا از آب بیشتر است.

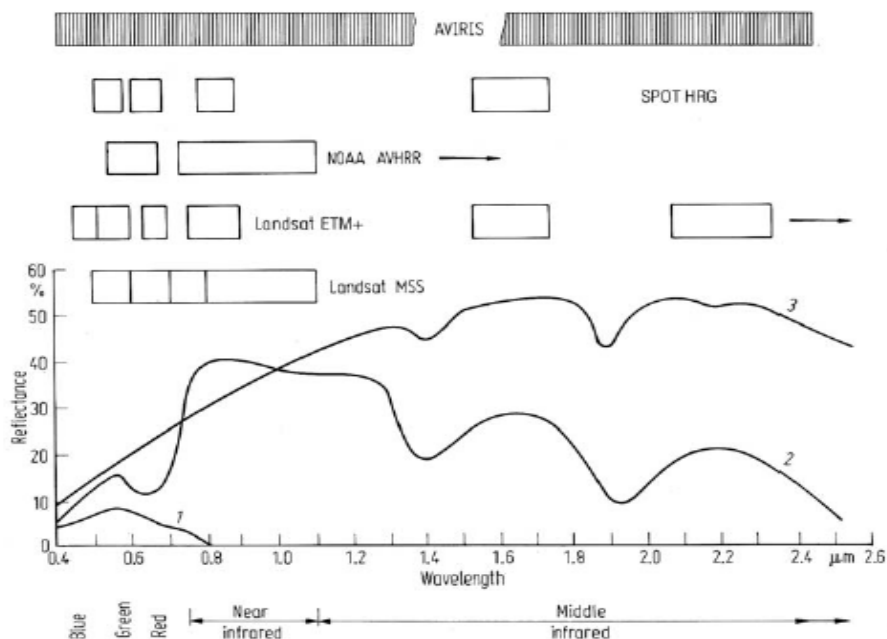




هرچه مقدار انعکاس انرژی بیشتر باشد، مقدار عددی پیکسل بزرگتر می شود. مقدار عددی هر پیکسل را Digital Number یا (DN) می گویند. به عبارت دیگر هر DN، مقدار انعکاس انرژی الکترومغناطیس تبدیل شده به عدد است و مقدار آن بستگی به شدت انعکاس انرژی الکترومغناطیس از پدیده دارد. شکل زیر، مثالهایی از پوشش های مختلف و رفتار طیفی آنها را در سه باند طیفی سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک نشان میدهد.



The basis of detector sensitivity in remote sensing



قدرت تفکیک ها (Resolutions)

در سنجش از دور بطور کلی چهار نوع قدرت تفکیک در نظر گرفته میشود:

- Spatial resolution: The ability to resolve distances
- Spectral resolution: The ability to resolve color
- Radiometric resolution: The ability to resolve intensity
- Temporal resolution: The ability to resolve time

قدرت تفکیک مکانی (Spatial Resolution)

کوچکترین ابعاد منطقه ای از زمین که توسط سنجنده اندازه گیری می شود قدرت تفکیک مکانی نام دارد. قدرت تفکیک مکانی 1 متر معرف منطقه ای بمساحت 1 متر مربع است. هر چه این مساحت کوچکتر باشد، قدرت تفکیک مکانی بالاتر است.

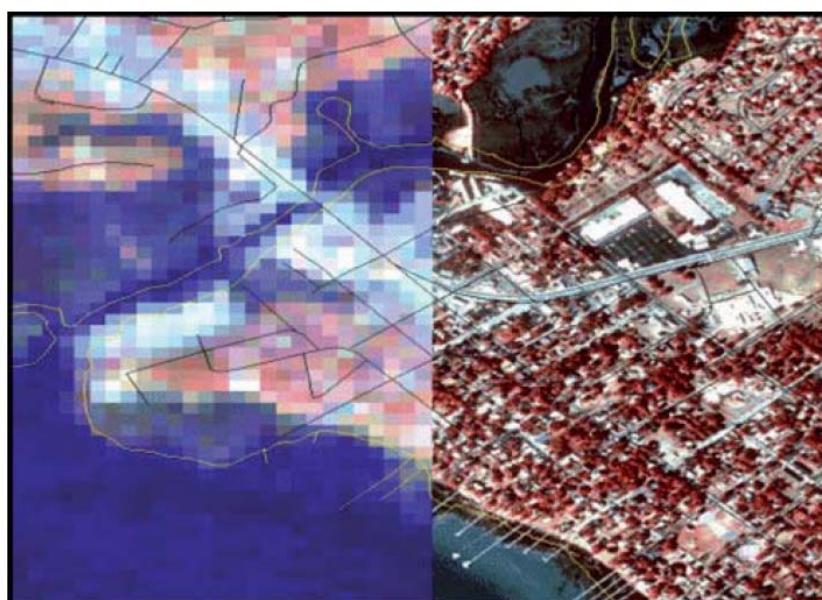
برای کوچکترین منطقه ای که توسط سنجنده قابل تفکیک است یک اندازه گیری توسط سنجنده صورت گرفته و یک مقدار عددی برای آن ثبت می شود. این مقدار عددی بر روی کامپیوتر به صورت یک نقطه از تصویر قابل نمایش است. این نقطه که کوچکترین عنصر تصویر رقومی است، پیکسل نام دارد. لازم بذکر است که پیکسل زمینی (ground pixel) عبارتی بی معنی است، هر چند اشتباها مصطلح شده است. جدول زیر، قدرت تفکیک های مختلف در مقایسه با مقیاس های مربوطه را برای سنجنده های مختلف نشان می دهد.

Table 1.3. Suggested maximum scales of photographic products as a function of effective ground pixel size (based on 0.1 mm printed pixel)

Scale	Approx. Pixel Size (m)	Sensor (nominal)
1 : 10,000	1	Ikonos panchromatic
1 : 50,000	5	aircraft MSS, Ikonos XS
1 : 100,000	10	Spot HRG
1 : 250,000	25	Spot HRVIR, Landsat TM
1 : 500,000	50	Landsat TM, LISS
1 : 5,000,000	500	OCTS, OCM
1 : 10,000,000	1000	NOAA AVHRR, MODIS
1 : 50,000,000	5000	GMS thermal IR band

شکل زیر تفاوت قدرت تفکیک 1 متر و 30 متر را در یک صحنه تصویر برداری نشان می دهد.

Examples of raster output for aerial data collected at 30 metre and 1 metre resolutions



Satellite image
(30 metre spatial resolution)

Aerial photograph
(1 metre spatial resolution)

Source: NOAA Coastal Services Center (2012).

قدرت تفکیک طیفی (Spectral Resolution)

قدرت تفکیک طیفی مربوط است به حساسیت محدوده معینی از طول موجها . هر چه تعداد باندها (تعداد محدوده های طول موجها) بیشتر و پهنای باندها کمتر باشد قدرت تفکیک طیفی بیشتر است و بالعکس. هر چه قدرت تفکیک طیفی سنجنده بیشتر باشد پوششهای مختلفی را می تواند تفکیک و شناسایی کند. قدرت تفکیک طیفی به نوع سنجنده و فیلتر بستگی دارد.

Spectral resolution refers to the number of bands and the wavelength width of each band. A band is a narrow portion of the electromagnetic spectrum. Shorter wavelength widths can be distinguished in higher spectral resolution images. Multi-spectral imagery can measure several wavelength bands such as visible green or NIR. Landsat, Quickbird and Spot satellites use multi-spectral sensors. Hyperspectral imagery measures energy in narrower and more numerous bands than multi-spectral imagery. The narrow bands of hyperspectral imagery are more sensitive to variations in energy wavelengths and therefore have a greater potential to detect crop stress than multi-spectral imagery. Multi-spectral and hyperspectral imagery are used together to provide a more complete picture of crop conditions.

در سنجنده های چند طیفی، آشکارسازهایی (Detectors) به کار گرفته می شوند که به طول موجهای مختلفی حساسیت دارند و در واقع چند آشکارساز در یک سنجنده وجود دارند و به این ترتیب برای هر پیکسل چند اندازه گیری و نهایتاً چند باند بصورت تصویر بدست می آید. شکل زیر، مثالهایی از تعداد باندهای مختلف و پیوستگی یا گسستگی طیفی آنها را در شناسایی گیاه نشان میدهد.

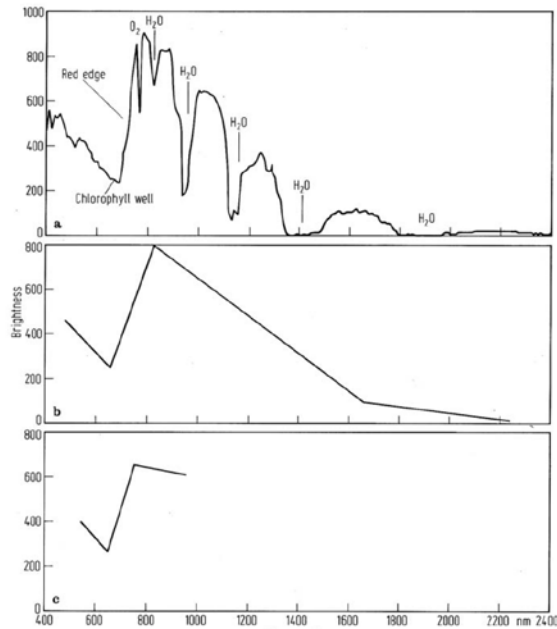
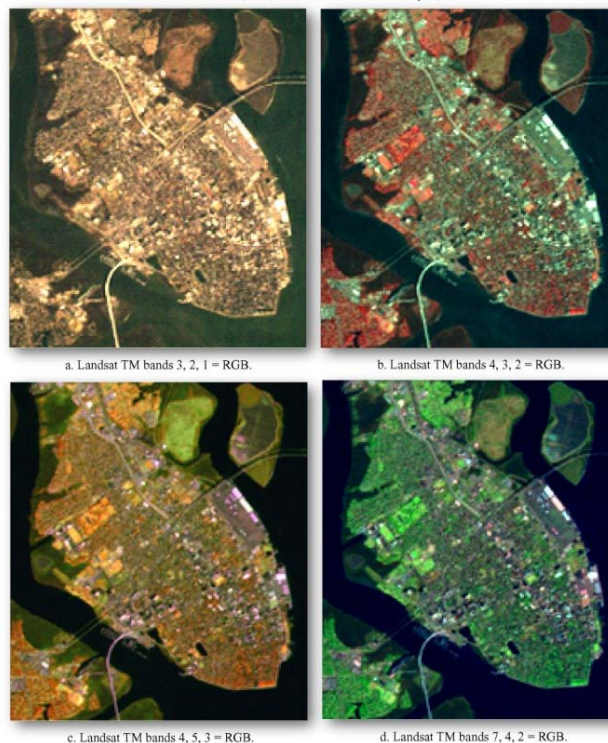


Fig. 1.9. Vegetation spectrum recorded by AVIRIS at 10 nm spectral sampling a, along with equivalent TM b and MSS c spectra. In a the fine absorption features resulting from atmospheric constituents are shown, along with features normally associated with vegetation spectra.

Image color composites

اگر بخواهیم سه باند را با هم در نمایشگر ببینیم هر باند را به یک نمایشگر رنگ (gun) می فرستیم و به این ترتیب تصویر ایجاد شده بصورت رنگی خواهد بود. این تصویر را ترکیب رنگی یا می گویند.

Color Composites of Landsat Thematic Mapper Data of Charleston, SC, Obtained on February 3, 1994



a. Landsat TM bands 3, 2, 1 = RGB.

b. Landsat TM bands 4, 3, 2 = RGB.

c. Landsat TM bands 4, 5, 3 = RGB.

d. Landsat TM bands 7, 4, 2 = RGB.

Optimum Index Factor (OIF)

Image color composites contain different information content. OIF can be used to calculate information content of a color image. OIF ranks the 20 combinations of three-band that can be made from six bands of Landsat TM data (not including the thermal-infrared band).

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs(r_j)}$$

where s_k is the standard deviation for band k , and r_j is the absolute value of the correlation coefficient between any two of the three bands being evaluated. The largest OIF will generally have the most information (as measured by variance) with the least amount of duplication (as measured by correlation). This is applicable to any multispectral dataset.

Band combinations			
1,2,3	1,2,4	1,2,5	1,2,7
1,3,4	1,3,5	1,3,7	
1,4,5	1,4,7		
1,5,7			
2,3,4	2,3,5	2,3,7	
2,4,5	2,4,7		
2,5,7			
3,4,5	3,4,7		
3,5,7			
4,5,7			

قدرت تفکیک رادیومتری (Radiometric Resolution)

تعداد درجات خاکستری (سطوح روشنایی) پیکسل ها را قدرت تفکیک رادیومتری می گویند. اندازه گیری هر پیکسل عبارت است از یک مقدار عددی که در محدوده ای از مقادیر که بین حداقل و حداکثر واقع است بدست می آید. هر چه فاصله بین حداقل و حداکثر بیشتر باشد قدرت تفکیک رادیومتری افزایش پیدا می کند. این محدوده اعداد در سنجنده به تعداد Bit هایی که برای هر پیکسل در نظر گرفته شده بستگی دارد. به عنوان مثال در سنجنده AVHRR تعداد Bit برای هر پیکسل 10 می باشد و لذا 2^{10} سطح خاکستری یا 1024 (که حداقل 0 و حداکثر 1023) سطح خاکستری محدوده اعداد این سنجنده را تشکیل می دهد.

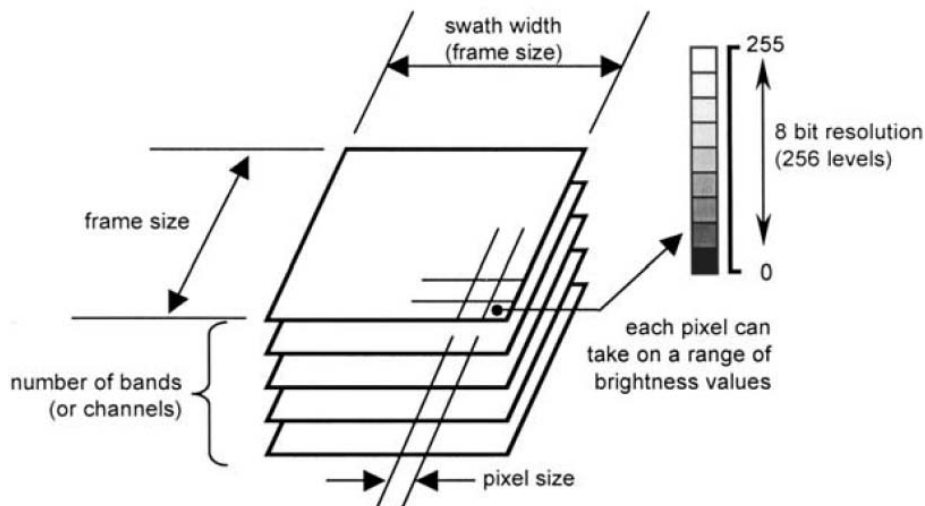


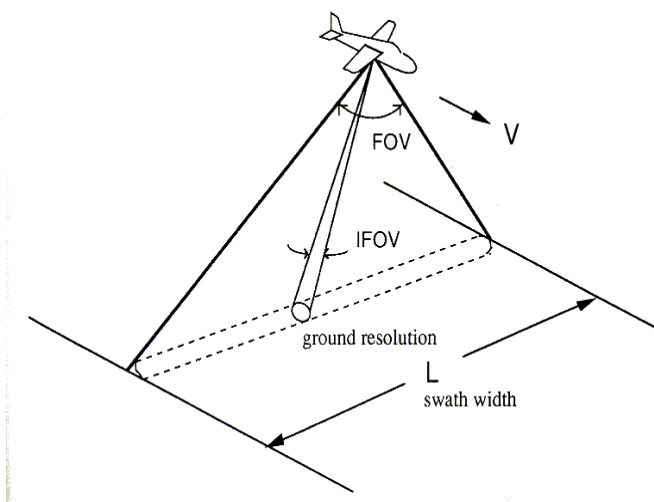
Fig. 1.2. Technical characteristics of digital image data

قدرت تفکیک زمانی (Temporal Resolution)

کوتاهترین فاصله زمانی دو گذر ماهواره از یک منطقه را قدرت تفکیک زمانی آن ماهواره می گویند. این قدرت تفکیک عبارت است از مدت زمانیکه طول می کشد تا ماهواره از یک منطقه مجدداً تصویر تهیه کند به همین دلیل به آن Revisit Cycle هم می گویند. بعنوان مثال، قدرت تفکیک زمانی سنجنده TM، 16 روز است.

میدان دید لحظه‌ای (Instantaneous Field of View)

زاویه ای که سنجنده در هر لحظه تابش بالا رونده از زمین را تحت آن زاویه اندازه گیری می کند، میدان دید لحظه‌ای (IFOV) می گویند. هرچه زاویه IFOV بیشتر باشد، یا ارتفاع سکو از زمین بیشتر باشد، ابعاد بزرگتری از زمین در یک پیکسل قرار می گیرد.



میدان دید (Field of View)

زاویه ای که سنجنده تحت آن زاویه یک خط اسکن کامل را برداشت می کند، میدان دید (FOV) می گویند.

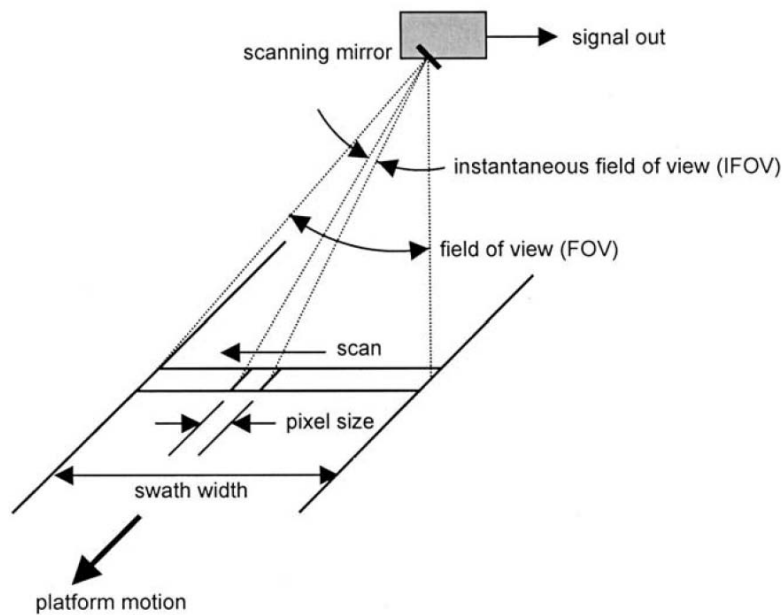
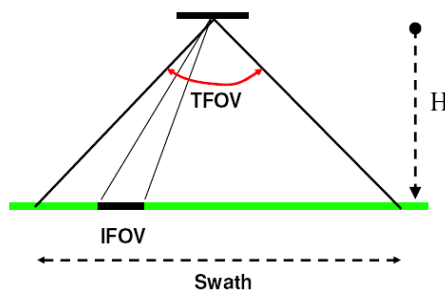


Fig. 1.6. Image formation by mechanical line scanning

عرض گذر (Swath Width)

پهنایی از زمین را که سنجنده عمود بر مسیر حرکت، از آن تصویر تهیه می کند، عرض گذر (Swath Width) می گویند .



- $Swath = 2 \tan(TFOV/2) H$
- where TFOV is measured in *degrees*

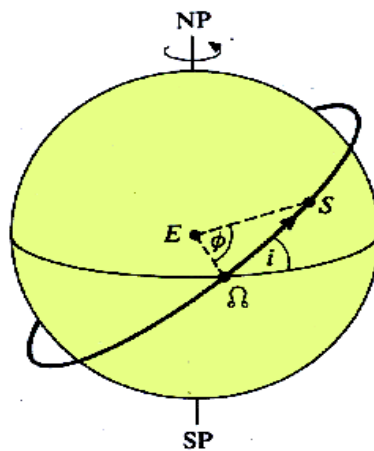
نقطه Nadir

نقطه ای که در زیر ماهواره (بصورت عمود) بر روی زمین قرار دارد، نقطه نادیر است.

پارامتر های مداری ماهواره

- 1- شکل مدار: دایره، نزدیک به دایره، بیضوی
- 2- ارتفاع ماهواره: در ماهواره های خورشید آهنگ 600-900 کیلومتر و در ماهواره های زمین آهنگ 36000 کیلومتر
- 3- زمان عبور ماهواره از خط استوا: زمان عبور ماهواره از خط استوا در ماهواره های خورشید آهنگ ثابت است. بعنوان مثال در ماهواره NOAA 9:30 صبح است.
- 4- زمان لازم برای طی یک مدار: زمان لازم برای طی یک مدار ثابت است. بعنوان مثال در ماهواره NOAA 101 دقیقه است.

5- زاویه انحراف مدار نسبت به خط استوا (Inclination angle): در ماهواره های خورشید آهنگ پارامتر زاویه انحراف مدار وجود دارد. این انحراف باعث می شود که سنجنده بتواند پوشش زمین را کامل کند. زاویه انحراف کمتر از 90 درجه را prograde و زاویه انحراف بیشتر از 90 درجه را retrograde می گویند. در ماهواره های مخابراتی از prograde استفاده می شود که نیاز کمتری به سوخت است چرا که به دلیل هم جهت بودن با دوران زمین، از سرعت دورانی زمین نیز استفاده می شود. در ماهواره های سنجنش از دور از retrograde استفاده می شود که به شرایط نوری (illumination) یکسان در هر بار که تصویر برداری می شود، نیاز است. بنابراین لازمست که ماهواره در موقعیت یکسانی از لحاظ خورشید باشد. ماکزیمم عرض جغرافیایی که ماهواره می تواند پوشش دهد ، به عنوان مثال در ماهواره NOAA-12 که زاویه انحراف آن 98/7 درجه است، $180-98/7=81/3$ است که البته بهتر است (در کرار زاویه انحراف) نصف پهناى گذر نیز لحاظ شود.



6- همپوشانی مسیر (Path Overlap): همپوشانی مسیر در ماهواره های خورشید آهنگ رخ می دهد و عبارت است از میزان قرار گرفتن بخشی از هر گذر بر روی هم. از آنجا که زمین کروی است و از آنجا که عرض گذر برای هر ماهواره ثابت است میزان هم پوشانی در قطبها بسیار بیشتر و در استوا در حداقل است. بنابراین می توان گفت که میزان همپوشانی به عرض جغرافیایی نقطه مورد نظر بستگی دارد.

ارتباط دوره زمانی مدار ماهواره و شعاع آن

Orbit period versus orbit radius in satellites

$$\text{Gravitational force: } F_g = G \frac{m_s M_E}{R_{E-S}^2}$$

G , Universal gravitation constant = $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$

m_s , Mass of satellite

M_E , Mass of Earth = $5.983 \times 10^{24} \text{ kg}$

R_{E-S} , Distance from center of the Earth to the satellite

$$\text{Centrifugal force: } F_c = m_s \frac{v_s^2}{R_{E-S}}$$

v_s , linear speed of satellite: $v_s = \omega_s R_{E-S}$

ω_s is angular speed of satellite

For a constant- radius orbit: $F_g = F_c$ $G \frac{m_s M_E}{R_{E-S}^2} = m_s \frac{\omega_s^2 R_{E-S}^2}{R_{E-S}}$

$$\omega_s^2 = \frac{GM_E}{R_{E-S}^3} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad R_{E-S} = R_E + h$$

T , period (in seconds) of one complete satellite orbit

R_E , radius of the Earth = 6.37×10^6 m

h , height of satellite above earth's surface

$$T = 2\pi \left[\frac{(R_E + h)^3}{GM_E} \right]^{1/2}$$

2. آشکارسازها (Detectors)

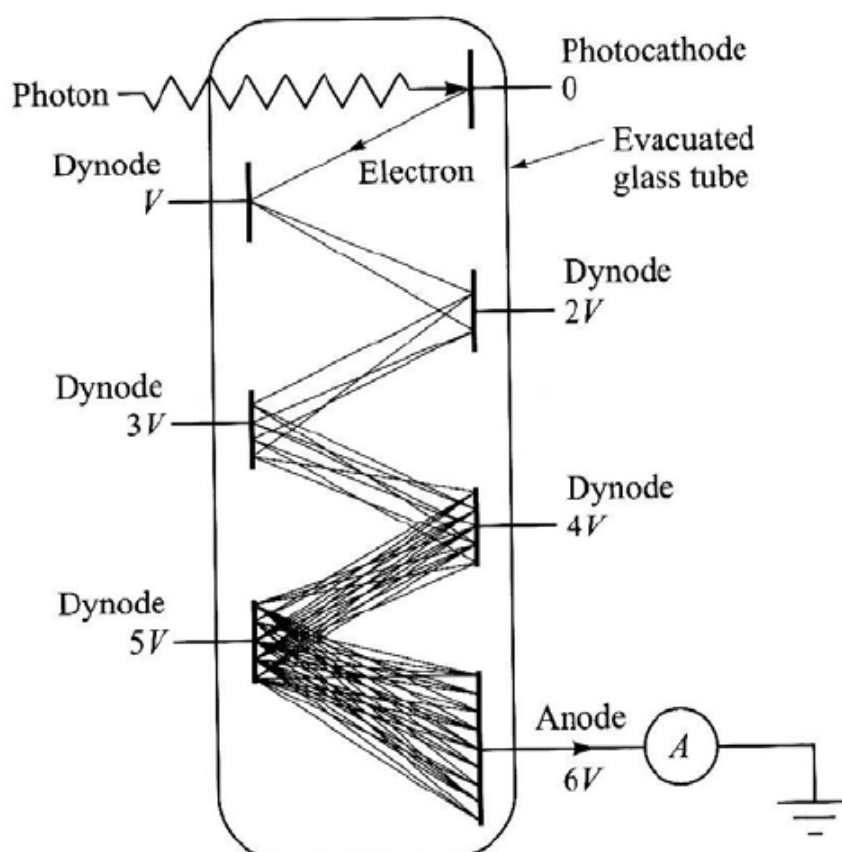
سنجنده های متعددی با باندهای متنوع در محدوده های مرئی ، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی وجود دارند. هر یک از آن ها در خصوص نحوه رسیدن به حساسیت های مورد نیاز در محدوده های مختلف طول موج تفاوت هایی با هم دارند.

1. آشکارسازهای حساس به تابش های مرئی و مادون قرمز نزدیک

سه نوع آشکارساز حساس به تابش های مرئی و مادون قرمز نزدیک وجود دارند که عبارتند از فتومالتی پلایر (Photomultiplier)، فتودیود (Photodiode) و سیستم ویدیکون (Vidicon)

1.1. آشکارساز فتومالتی پلایر (Photomultiplier)

در باندهای مرئی معمولاً از آشکارسازهای فتومالتی پلایر (Photomultiplier) استفاده می شود. آشکارساز فتومالتی پلایر وسیله ساده ای است که در آن به وسیله یک فوتون وارده ، یک الکترون از فتوکاتد برانگیخته می شود. این الکترون به سمت یک الکتروود میانی با سرعتی بیشتر از کاتد، سرعت داده می شود. انرژی جنبشی افزوده شده باعث می شود الکترون بیشتری از این الکتروود کنده شود. بعد از چند بار تکرار این عمل، تعداد الکترون ها به اندازه ای افزایش می یابد که بتوان جریان تولید شده را اندازه گیری کرد. اندازه این جریان بستگی به شدت تابش وارده اولیه دارد.



حداقل انرژی فوتونی که قابل آشکارسازی توسط فتومالتهی پلایر باشد، $work\ function$ ماده ای است که فتوکاتد از آن ساخته شده است. این $work\ function$ عبارت است از تفاوت انرژی یک الکترون در خلاء با انرژی الکترون در آن ماده. $work\ function$ فلزات معمولاً در محدوده 2-5eV است به طوری که حداکثر طول موجی که بتواند آشکارسازی کند در حدود 0.6 میکرومتر است. ترکیب هایی از فلزات آلاکالی (alkali) می توانند $work\ function$ بسیار کوچکتري داشته باشند و بنابراین می توانند تا محدوده 1.0 میکرومتر حساس باشند. برای مهیا کردن حساسیتی در یک باند باریک باید تابش ورودی را فیلتر کرد. فتومالتهی پلایر بسیار حساس است و زمان پاسخ بسیار کوتاه و در حد 1 نانوثانیه دارد. البته نقاط ضعفی هم دارد که عبارتند از امکان خراب شدن به دلیل مکانیکی بودن و دیگر اینکه میتواند تا 1 کیلوولت کار کند که بیش از حد مورد نیاز است.

intermediate electrode (*dynode*)

2.1. آشکارساز فتودیود (Photodiode)

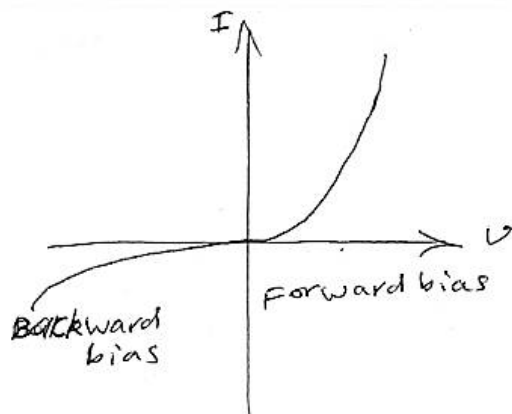
برای اندازه گیری انرژی الکترومغناطیس در محدوده مادون قرمز نزدیک معمولاً از فتودیود (Photodiode) استفاده میشود. یک فتودیود عبارتست از یک دستگاه که از ارتباط دو نیمه هادی که معمولاً از جنس ایندیوم آنتیموناید (Indium antimonide) (InSb) یا سولفات سرب (PbS) تشکیل شده و در آن فوتون وارده، یک جریان یا ولتاژ در محل ارتباط دو نیمه هادی ایجاد می کند. این سیگنال با شدت نور تناسب مستقیم دارد.

یک دیود نیمه هادی از دو قطعه از کریستال نیمه هادی تشکیل می شود. به یک قطعه مقداری انرژی داده میشود که باعث اضافه شدن الکترون ها میشود. به این قطعه ماده n-type گفته میشود، چون به صورت منفی یعنی توسط الکترون ها شارژ میشود. به قطعه دیگر مقداری انرژی داده میشود که باعث کمبود الکترون میشود. به این قطعه ماده p-type گفته میشود، چون به صورت مثبت یعنی توسط حفره ها (عدم حضور الکترون ها) دارای بار (شارژ) میشود.

در محل بین دو ماده، حفره ها از ماده p-type به ماده n-type انتشار می یابد و با الکترون های آزاد آن ترکیب میشود. یک تاثیر متقابل نیز در جهت مخالف اتفاق می افتد و الکترونها به ماده n-type انتشار می یابند و باعث بوجود آمدن یک depletion region با رسانایی بسیار پایین و در حدود 1.0 میکرومتر در پهنا میشود. چون در این وضعیت، بار اضافی مثبت در ماده n-type و بار اضافی منفی در ماده p-type بوجود میاید، یک میدان الکتریکی در جهت n-type به p-type در depletion region بوجود میاید. این میدان از انتشار بارهای بیشتر ممانعت میکند.

اگر یک میدان الکتریکی خارجی از ماده p-type به n-type (متمايل به جلو یا forward bias) وارد شود، تا اندازه ای بر میدان داخلی غلبه میکند و depletion region باریکتر میشود. یک جریان جاری میشود که بزرگی آن تقریباً نسبت به ولتاژ به کار گرفته شده به صورت نمایی افزایش میابد. ولی اگر این میدان خارجی در جهت

مخالف اعمال شود (متمايل به عقب يا reverse bias)، اين depletion region پهن تر ميشود و يك جريان بسيار كوچكترى جارى ميشود. رفتار ديود نيمه رسانا به وسيله شكل زير نشان داده شده است.



حال اگر ديود را بدون هيچ بيايى خارجى (نه متمايل به جلو و نه متمايل به عقب) در مقابل تابش الكترومغناطيسى قرار دهيم، يك فوتون مى تواند يك جفت الكترون-حفره در ماده p-type ايجاد كند. اگر الكترون به داخل depletion region انتشار يابد، شتابش بوسيله ميدان داخلى بداخل ماده n-type افزايش يافته و كار انجام شده به صورت ولتاژ در ديود و متناسب با شدت تابش ظاهر مى شود. اين حالت را عمل photovoltaic مى گويند.

به همين ترتيب، اگر جفت الكترون-حفره در ماده n-type ايجاد شود، حفره بطور مثبت شارژ شده، بداخل ماده p-type شتاب ميابد. از طرف ديگر اگر ديود بصورت معكوس بيايى شود، كه پهنائى depletion region را افزايش ميدهد، ميدان خارجى، در depletion region باقى مى ماند و حمل كننده هاى شارژ (charge-carriers) يك جريان را ايجاد مى كنند. به اين حالت، عمل photoconductive مى گويند و پاسخ خيلى سريعترى (حدود 1ns) در مقايسه با حالت photovoltaic (حدود $1 \mu s$) ميدهد. علت آن اين است كه زمان پاسخ به وسيله ظرفيت depletion region تعيين مى شود. كه با پهنائى آن نسبت معكوس دارد. حالت photoconductive يك فتوديود در شكل زير نشان داده شده است.

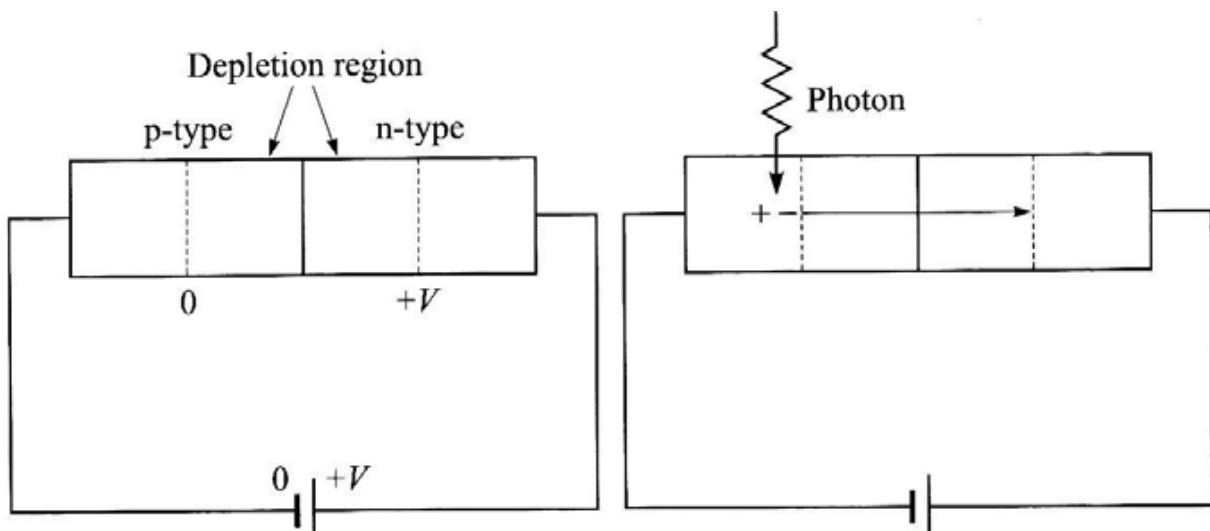


Figure 6.2. Operation of a photodiode (schematic). The p-type region contains free positive charges and the n-type region free negative charges, except in the depletion region. An incident photon creates an extra pair of charge-carriers in the p-type material, and the negative charge is accelerated by the potential difference V into the n-type material, thus generating a current. A current in the same direction will be produced if the photon creates an electron-hole pair in the n-type material, in which case a positive charge-carrier is accelerated into the p-type material.

حداکثر طول موج فوتون (یا حداقل انرژی فوتون) که بتواند توسط یک فتودیود آشکارسازی شود، بوسیله انرژی لازمه برای ایجاد یک جفت الکترون-حفره تعیین می شود که به آن band-gap نیمه هادی می گویند. نیمه هادی هایی مثل germanium دارای band-gap نسبتاً بزرگی هستند و در نتیجه حساسیتی در حدود 1.7 میکرومتر ایجاد می کنند در حالی که PbS تا محدوده 3 میکرومتر و ایندیوم آنتیموناید (InSb) تا محدوده 5 میکرومتر را حساس است.

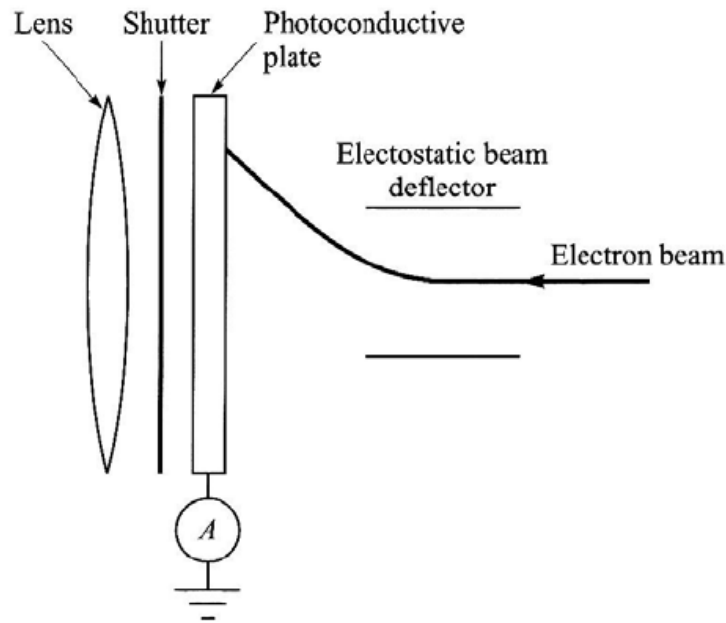
3.1. سیستم ویدیکون (Vidicon)

An earlier approach to two-dimensional detection is represented by the *vidicon*, which is a type of television camera. Figure 6.3 shows schematically the design of a simple vidicon, consisting of a lens and shutter, and a sheet of photoconductive material that is coated, on the side nearer the lens, with a transparent conductor. The other side of the photoconductive sheet is illuminated by an electron beam that can be deflected electrostatically, in a manner similar to that used in a cathode-ray oscilloscope, to impinge upon any part of the sheet.

The mode of operation is as follows. First, with the shutter closed, the electron beam is used to coat the back of the photoconductive plate with electrons. The electron beam is then switched off, and the shutter is opened and closed, leaving a distribution of charge on the sheet corresponding to the distribution of light intensity. Finally, the back of the sheet is scanned by the electron beam, resulting in an electric current (the read-out) from those parts that were illuminated.

اولین سیستم الکترو اپتیکال است که برای تهیه تصاویر مرئی از فضا بکار گرفته شده ، سیستم ویدیکون است. Vidicon در واقع یک نوع دوربین تلویزیونی است. یک Vidicon ساده تشکیل می شود از یک لنز و یک شاتر و یک صفحه ماده photo conductive (حالت دوم در مطلب قبل) که سمت نزدیک آن به لنز را پوشش داده است و هادی آن شفاف است. سمت دیگر این صفحه photo conductive در معرض برخورد با اشعه الکترون قرار دارد. این اشعه الکترون توسط الکترواستاتیک تغییر مسیر می دهد و خیلی شبیه اسیلوسکوپ لامپ تلویزیون عمل می کند و به این ترتیب به همه قسمت های صفحه می رسد. نحوه عمل آن به این صورت است که ابتدا زمانی که شاتر بسته است اشعه الکترون پشت صفحه photo conductive را با الکترون ها پوشش می دهد. در انتها پشت

این صفحه با اشعه الکترون اسکن میشود و در نتیجه یک جریان الکتریکی از آن قسمت هایی که در معرض تابش قرار گرفته بودند، خوانده میشود.



در ماهواره های Landsat 1,2,3 از یک سیستم Vidicon به نام Return Beam Vidicon (RBV) استفاده میشود، البته نحوه عمل آن تا اندازه ای متفاوت بود ولی اصول آن تا حدودی شبیه مکانیزم فوق بود.

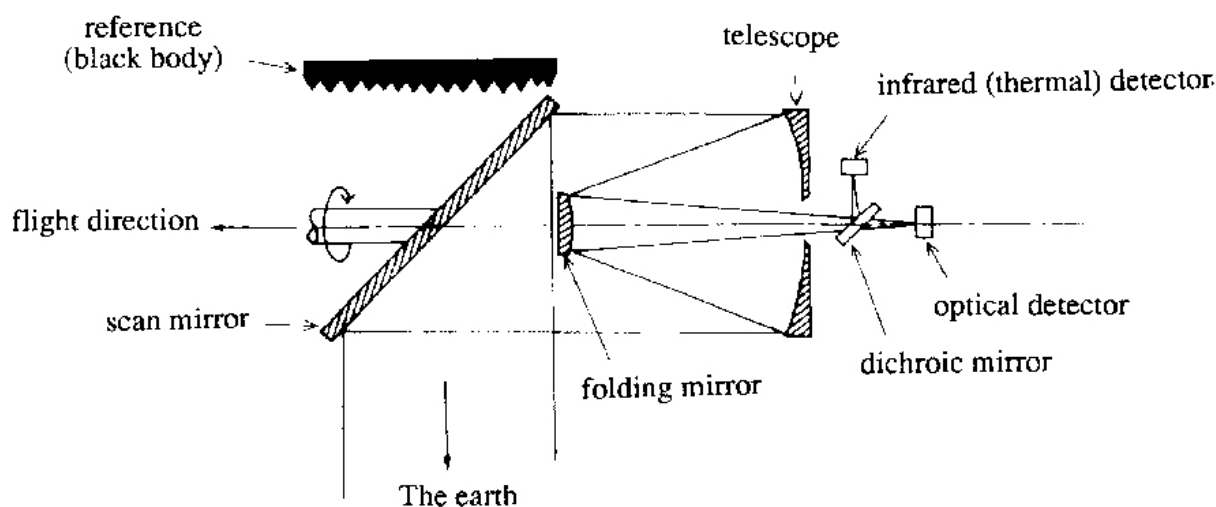
2. آشکارسازهای تابش مادون قرمز حرارتی

از نوعی فتودیود می توان به عنوان آشکارساز مادون قرمز حرارتی استفاده کرد. علاوه بر فتودیود، سه نوع دیگر آشکارساز مادون قرمز حرارتی وجود دارند که عبارتند از دستگاه های Thermopile، Bolometer و Pyroelectric.

1.2. آشکارساز فتودیود مادون قرمز حرارتی

میتوان نیمه رساناهایی قوی تر از InSb نیز یافت که دارای band-gap کوچکتر و در نتیجه حساسیت به طول موج های بالاتر باشند. به عنوان مثال Mercury Cadmium Telluride ($Hg_{0.2}Cd_{0.8}Te$) میتواند در مد فتوکاتد بکار گرفته شود که تا 15 میکرومتر را میتواند پاسخگو باشد. به این ترتیب محدوده مادون قرمز حرارتی در طیف الکترومغناطیس نیز دارای پوشش میگردد. از آنجا که لازم است هر آشکار ساز مادون قرمز حرارتی خنک باشد، معمولاً از نیتروژن مایع در 77 کلوین استفاده میشود و باعث میشود انرژی مادون قرمز حرارتی توسط خود سنجنده ایجاد نشود. در واقع، به منظور محدود کردن گسیل حرارت از خود آشکارسازهای مادون قرمز حرارتی، آنها را تا نزدیک صفر مطلق سرد می کنند. نکته دیگر اینکه باید توجه داشت شیشه در مقابل طول موج های بالاتر از 2

میکرومتر به صورت کدر عمل میکند. بنابراین باید از مواد دیگری برای ساخت لنز و عناصر اپتیکی استفاده کرد.



2.2. دستگاه Bolometer

Bolometer یک وسیله ساده است که از ماده ای تشکیل شده که مقاومت آن در مقابل حرارت متغیر است. تابش در محدوده مادون قرمز حرارتی باعث میشود حرارت بالا رود و این حرارت به وسیله این دستگاه قابل آشکارسازی است. عناصر آشکارساز میتواند از نوارهای پلاتینیوم باشند که مقاومتشان با افزایش حرارت بالا میرود یا ترمیستورها (Thermistor) که نیمه رسانای ساخته شده از اکسیدهای فلزی است که در اثر حرارت که آن هم در اثر افزایش چگالی بارها می باشد، مقاومتشان کاهش می یابد. نقطه ضعف عمده Bolometer زمان پاسخ طولانی آن و در حدود 10 میلی ثانیه است.

3.2. دستگاه Thermopile

Thermopile از یک سری ترموکوپل ساخته شده که هریک از آنها از اختلاف پتانسیل تولید شده در یک جفت اتصال بین فلزات نامتشابه که دارای ظرفیت حرارتی متفاوتی هستند استفاده میکنند. Thermopile ها نیز دارای زمان پاسخ طولانی و در حد 10 میلی ثانیه هستند به علاوه اینکه چندان نیز حساس نیستند. از نظر مکانیکی امکان دارد مشکل پیدا کنند. اما تا طول موج های 30 میکرومتر را پاسخگو هستند.

4.2. دستگاه Pyroelectric

یک آشکارساز Pyroelectric از یک کریستال تشکیل شده و در نتیجه تغییر در حرارت کریستال یک توزیع مجدد بر توزیع بار داخلی کریستال ایجاد میشود. جداسازی بار در سطوح کریستال اتفاق می افتد و در نتیجه یک اختلاف پتانسیل پدید می آید. این اختلاف پتانسیل میتواند بزرگنمایی گردیده و آشکارسازی شود. مزیت آشکارساز های Pyroelectric عبارتست از آنکه میتوانند خیلی سریع و در برخی موارد تا 1 نانو ثانیه در مقابل تغییرات حرارتی پاسخ دهند. در ضمن تا طول موج های 70 میکرومتر نیز حساس هستند.

3. سنجنده ها (Sensors)

در سنجش از دور، تابش الکترومغناطیس حمل کننده اطلاعاتی در مورد مواد، اشیا و عوارض مورد نظر هستند. به منظور جمع آوری و پردازش این اطلاعات، به ابزاری بنام سنجنده ها نیاز است. سنجنده ها تابش از اهداف مورد نظر را اندازه گیری می کنند. در سنجش از دور، سنجنده ها ابزار تصویر برداری هستند.

تقسیم بندی سنجنده ها

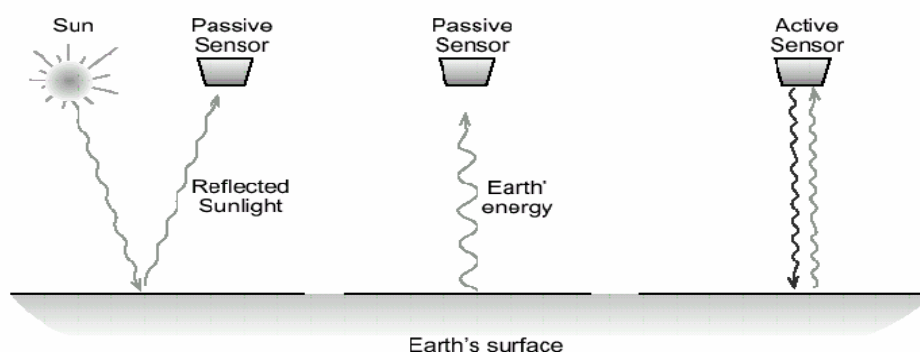
سنجنده ها را می توان از جنبه های مختلفی تقسیم بندی کرد:

- نیاز به انرژی الکترومغناطیس موجود در محیط (فعال یا غیر فعال بودن)
- محدوده های طیفی انرژی الکترومغناطیس مورد استفاده
- دیجیتال یا آنالوگ بودن
- اسکن کننده بودن یا غیر اسکن کننده بودن
- تصویر بردار بودن یا نقطه ای بودن
- نوع تصویر برداری

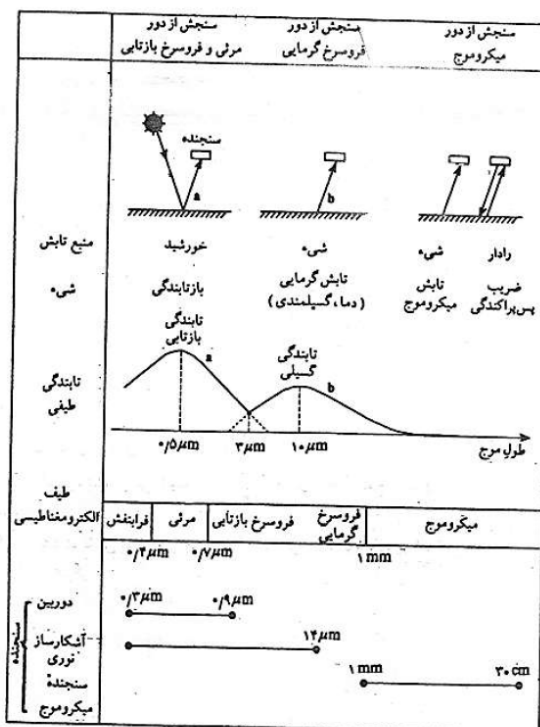
نیاز به انرژی الکترومغناطیس موجود در محیط

سیستم های سنجش از دور را از لحاظ تولید یا عدم تولید انرژی مورد نیاز بدو دسته تقسیم کرد:

- انرژی را خود از طریق منبع انرژی که در اختیار دارند، تولید می کنند و بازگشت آنرا اندازه می گیرند: سیستم میکروویو فعال (رادار)
- نوع متداولتر دیگر آن دسته از سنجنده ها که از انرژی خورشید و یا از انرژی موجود در محیط استفاده می کنند و بدون ارسال انرژی، انرژی انعکاسی از پدیده ها را اندازه گیری می کنند: غیر فعال



محدوده های طیفی انرژی الکترومغناطیس مورد استفاده



دیجیتال یا آنالوگ بودن

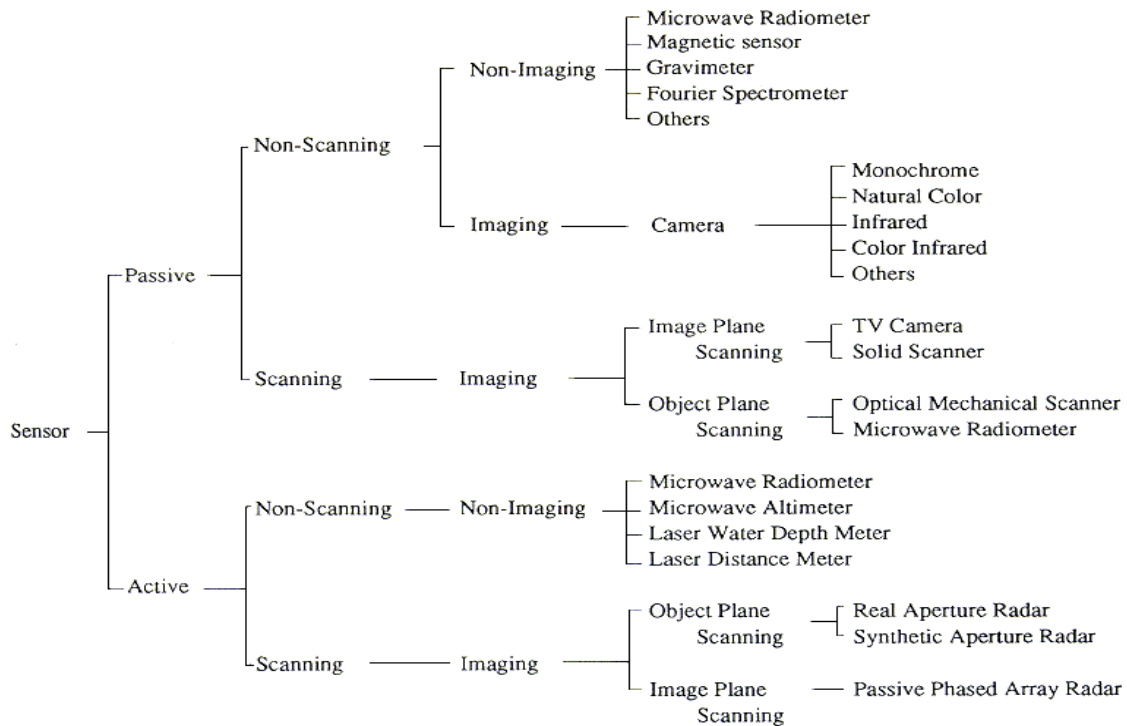
در این جنبه، تهیه تصویر بصورت دیجیتال یا آنالوگ بودن مطرح است. داده های مربوط به تصاویری که به صورت رقمی تهیه می شوند داده های گسسته (Discrete) نام دارند که معمولاً با اسکن کردن بدست می آیند و به آنها تصاویر دیجیتال می گویند. اگر بجای اسکن کردن (بوسیله سنجنده) از دوربین عکسبرداری استفاده شود تصویر بدست آمده یک تصویر پیوسته (Continuous) خواهد بود که به آنها تصاویر آنالوگ نیز می گویند.

اسکن کننده بودن یا غیر اسکن کننده بودن

در این جنبه، تهیه تصویر تمام صحنه در یک لحظه یا اندازه گیری واحدهای کوچک زمین و موزائیک کردن آنها مطرح است. اگر بجای استفاده از دوربین آنالوگ از اسکن کننده استفاده شود، واحدهای کوچک زمین بصورت منفرد اندازه گیری شده و سپس با موزائیک کردن آنها، تصویر اسکن شده، تهیه می شود.

تصویر بردار بودن یا نقطه ای بودن

در این جنبه، تهیه تصویر بصورت برداشت و اندازه گیری سطح یا اندازه گیری یک نقطه مطرح است



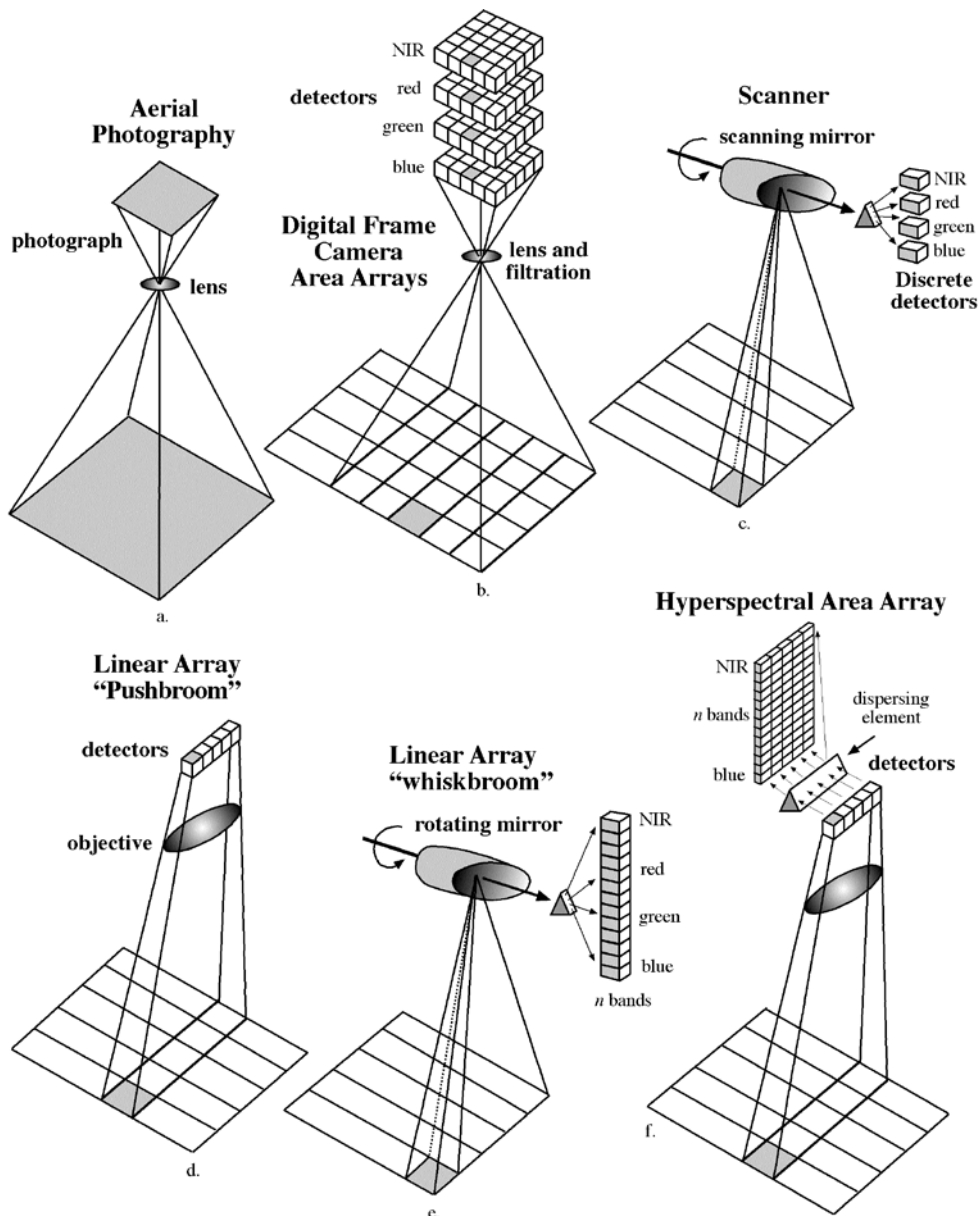
نوع تصویر برداری

سنجنده ها را از جنبه نوع تصویر برداری می توان به چند دسته تقسیم کرد:

- دوربین های عکسبرداری
- سیستمهای ویدئو (تصویر را از زمین بر روی صفحه حساس تشکیل سپس تصویر بدست آمده اسکن می شود)
- اسکنرها: اسکنرها، داده ها را بصورت رقومی تصویر تهیه می کنند. در پهنای باند باریکتر و باندهای بیشتر
- سیستمهای راداری

دوربین های عکسبرداری

دوربین های عکسبرداری، برای تهیه عکسهای هوایی، نقشه برداری هوایی، و تهیه عکسهای استریویی بکار میروند. دوربین های عکسبرداری دارای پهنای باند زیاد در محدوده طیف الکترومغناطیس هستند و معمولاً در محدوده 0.4 - 0.7 میکرومتر و بعضاً در محدوده 0.4 - 0.9 میکرومتر عمل می کنند. هندسه تصاویر دوربین های عکسبرداری از نوع Static است. در این نوع هندسه، موقعیت مکانی مرکز تصویر X, Y, Z و وضعیت تصویر K, ϕ, ω در دسترس است. در این نوع تصویر برداری یک فریم تصویر به نحوی تهیه می شود که تمام نقاط تصویر برداری شده از یک نقطه مرکزی بنام مرکز پرسپکتیو عبور می کند. مزیت این نوع تصویر برداری، در این است که تصویر به طور کامل در یک زمان تهیه می شود.



سیستم ویدیکون (Vidicon)

سیستم ویدیکون مانند دوربین و معمولاً از نوع غیر فعال بوده و در بخش اپتیکی طیف الکترومغناطیس $(0.3 - 11\mu\text{m})$ عمل می کند (عمل می کرده است). در این سیستم ابتدا تصویر از سطح زمین بر روی یک صفحه حساس تشکیل شده و سپس تصویر بدست آمده اسکن می شود. مزیت این سیستم این است که تصویر به طور کامل در یک زمان تهیه می شود. نوعی از این سنجنده بنام Return Beam Vidicon (RBV) در نسل اول ماهواره های Landsat نصب شده بود.

سیستم های اسکن کننده

در سیستم های اسکن کننده، انرژی اندازه گیری شده بصورت مقدار عددی که برای هر پیکسل تهیه می شود، ثبت می شود. هرچه مقدار انعکاس انرژی بیشتر باشد مقدار عددی پیکسل بزرگتر خواهد بود. مقدار عددی هر پیکسل را digital number (DN) می گویند. به عبارت دیگر هر DN، مقدار انعکاس انرژی الکترومغناطیس تبدیل شده به عدد است و مقدار آن بستگی به شدت انعکاس انرژی الکترومغناطیس از پدیده دارد. تبدیل شدت انعکاس به عدد،

در سنجنده انجام می شود. بعد از آن که این عدد تهیه و به زمین ارسال شد ، توسط ایستگاه گیرنده ماهواره ای دریافت شده و می تواند به کامپیوتر منتقل و روی مانیتور تبدیل به نور یا رنگ شود و به نمایش در آید و یا بصورت آرشیو نگهداری و سپس پردازش شود.

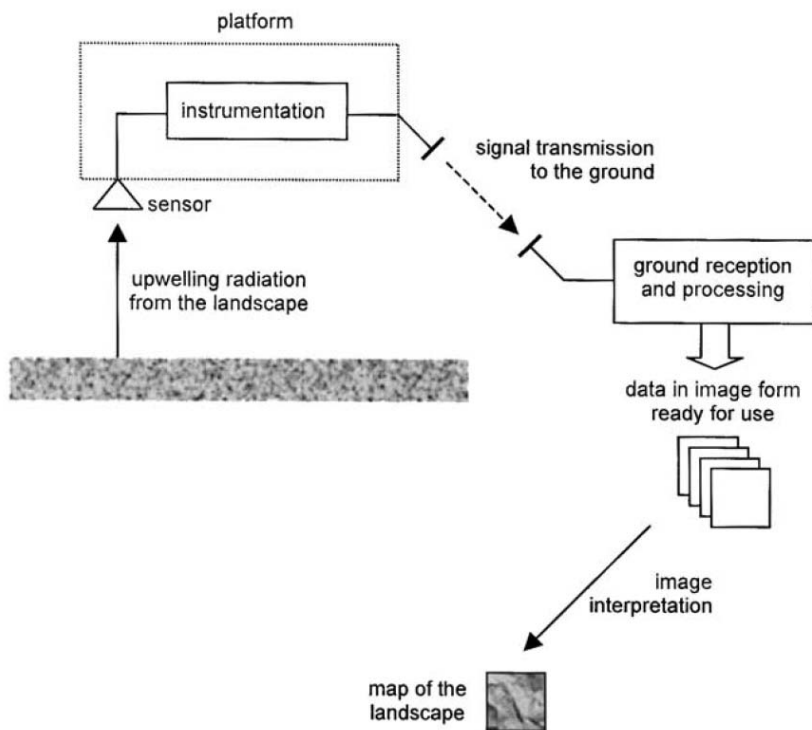


Fig. 1.1. Signal and data flow in a remote sensing system

اغلب ماهواره ها از سنجنده های مجهز به سیستمهای اسکن کننده استفاده میکنند و اهمیتهشان بدلیل مزایای بسیار زیاد آنها است که عبارتند از:

- 1 -وسعت زیاد دامنه طیفی اسکنرها که در اثر آن محدوده طیفی سیستمهای اسکن کننده بخشی از ماوراء بنفش و تمامی محدوده مرئی (B, G, R) و تمامی محدوده مادون قرمز (نزدیک یا انعکاسی (NIR)، طول موج کوتاه (SWIR)، میانی (MIR) و حرارتی (TIR)) را شامل می شود.
- 2 -ماهیت رقومی تصاویری که باعث پردازش سریع و دقیق است.

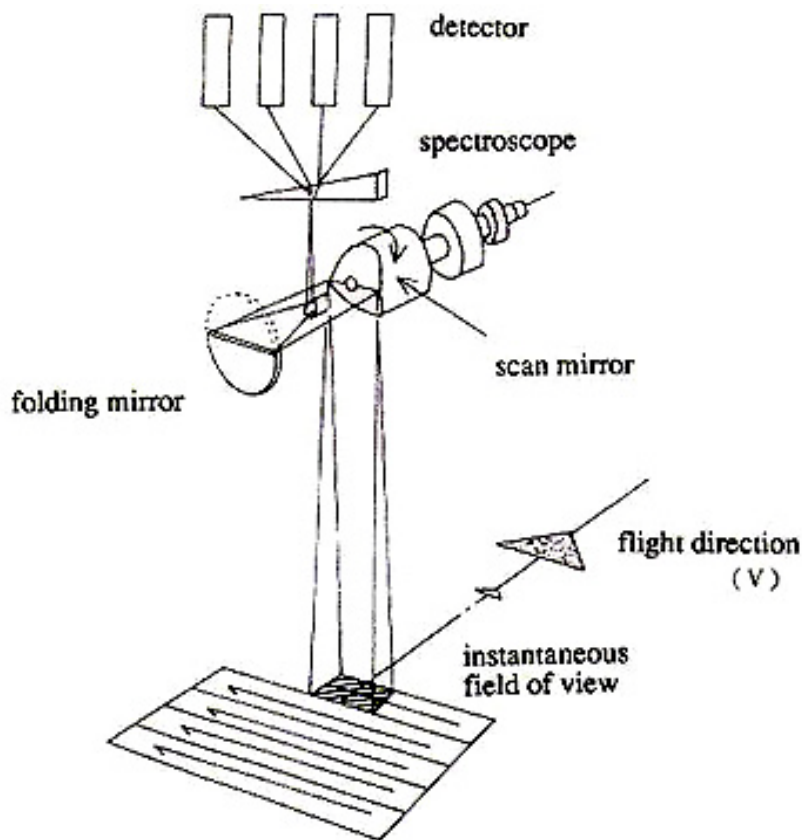
سیستم های اسکن کننده عبارتند از:

- 1 -نوری-مکانیکی (Whiskbroom, Optical-mechanical)
- 2 -آرایه خطی یا روبشی (Pushbroom, Linear array)

1- سیستم اسکن کننده نوری-مکانیکی

سنجنده های نوری-مکانیکی معمولا بر روی ماهواره های خورشید آهنگ نصب می شوند. سنجنده های نوری-مکانیکی دارای آینه نوسان کننده یا دوران کننده هستند و همین موضوع آنها را به دو گروه تقسیم می کند. مثلا AVHRR یک سنجنده نوری-مکانیکی با آینه دوران کننده است و TM یک سنجنده نوری-مکانیکی با آینه نوسان کننده است. تصویر حاصله از سنجنده، برای تهیه هر خط اسکن توسط حرکتهای دورانی یا نوسانی آینه

متحرک صورت می گیرد که به آن عمل اسکن کردن می گویند. امتداد خطوط اسکن عمود بر ماهواره است و می تواند با حرکت رو به جلوی ماهواره، تصویر دو بعدی تهیه کند.



اجزای یک سیستم اسکن کننده نوری-مکانیکی عبارتند از:

- دهانه ورودی،
- آینه نوسان کننده یا دوران کننده،
- جزء متمرکز کننده،
- جزء تجزیه کننده (مثلا منشور برای نور مرئی)،
- آشکارسازها (Detectors)،
- تقویت کننده،
- اندازه گیری ولتاژ،
- تبدیل ولتاژ به عدد (DN)،
- ارسال کننده.

بازتاب الکترو مغناطیسی که در یک IFOV دریافت می شود،

- پس از عبور از دهانه ورودی سیستم و
- برخورد با آینه دوران کننده
- از طریق سیستم متمرکز کننده
- به طرف جزء تجزیه کننده سیستم ارسال شده و

به چند محدوده طیفی مختلف تفکیک می گردند.
 سپس به detector ها یا آشکارسازها برخورد کرده و
 مقدار انرژی هر محدوده طیفی به علائم الکتریکی تبدیل می گردد.
 این انرژی الکتریکی بصورت ولتاژهای مختلف برای هر محدوده طیفی بر روی دستگاه های مختلف ذخیره
 و به زمین ارسال می گردد.
 به این ترتیب اسکن کننده نوری مکانیکی، پیکسل به پیکسل زمین را اسکن کرده و بعد از آخرین پیکسل در هر
 سطر به سطر بعد می رود و در اثر حرکت ماهواره به جلو تصویر دو بعدی تهیه می شود.
 اسکنرهای نوری-مکانیکی دارای هندسه dynamic هستند یعنی وضعیت و موقعیت هر پیکسل یا خط اسکن
 متفاوت است. تصاویری که از این طریق به دست می آیند، از نوع Point type imaging می باشند. در این نوع
 تصاویر هر پیکسل در هر لحظه در وضعیت و موقعیت متفاوتی قرار دارد. از سنجنده های Point type می توان به
 موارد زیر اشاره کرد.
 سنجنده TM، MSS، ETM+ بر روی ماهواره Landsat
 سنجنده AVHRR بر روی ماهواره NOAA
 سنجنده MODIS بر روی ماهواره Aqua و Terra
 سنجنده Aster بر روی ماهواره Terra

2- سیستم اسکن کننده روبشی (Pushbroom) (Linear Array)

سیستم اسکن کننده روبشی نوع دیگری از سنجنده های اسکن کننده است و معمولاً روی ماهواره های خورشید
 آهنگ نصب می شود. در اسکن کننده روبشی برخلاف اسکن کننده نوری -مکانیکی از آینه استفاده نمی شود و
 بنابراین هیچ عمل مکانیکی صورت نمی گیرد. در مقابل ، از یک ردیف از آشکارسازهای (detector های) نیمه
 رسانای حالت جامد استفاده می شود. به این ترتیب سنجنده می تواند یک خط اسکن را در یک زمان ثبت کند. در
 این سنجنده از سیستم اپتیکی با زاویه باز (Wide angle) استفاده می شود که در آن تمامی خط اسکن موجود
 در امتداد عمود بر مسیر حرکت ماهواره در یک لحظه بر روی ردیف detector ها ثبت می شود. تصاویری که از
 این طریق به دست می آیند، از نوع Line type imaging می باشند. در این نوع تصاویر هر خط اسکن در
 وضعیت و موقعیت متفاوتی قرار دارد. از سنجنده های Line type می توان به موارد زیر اشاره کرد.
 سنجنده HRV بر روی ماهواره SPOT (با 6000 دیتکتور در آرایه)
 سنجنده MESSR بر روی ماهواره MOS-1
 سنجنده OPS بر روی ماهواره JERS-1
 در این سیستم بین لحظه های تصویر برداری یک مکث وجود دارد که از امتیازات ویژه این سنجنده ها می باشد و
 باعث کاهش noise در علائم ارسالی می شود، از دیگر مزایای این سیستم عدم وجود قسمتهای متحرک است.

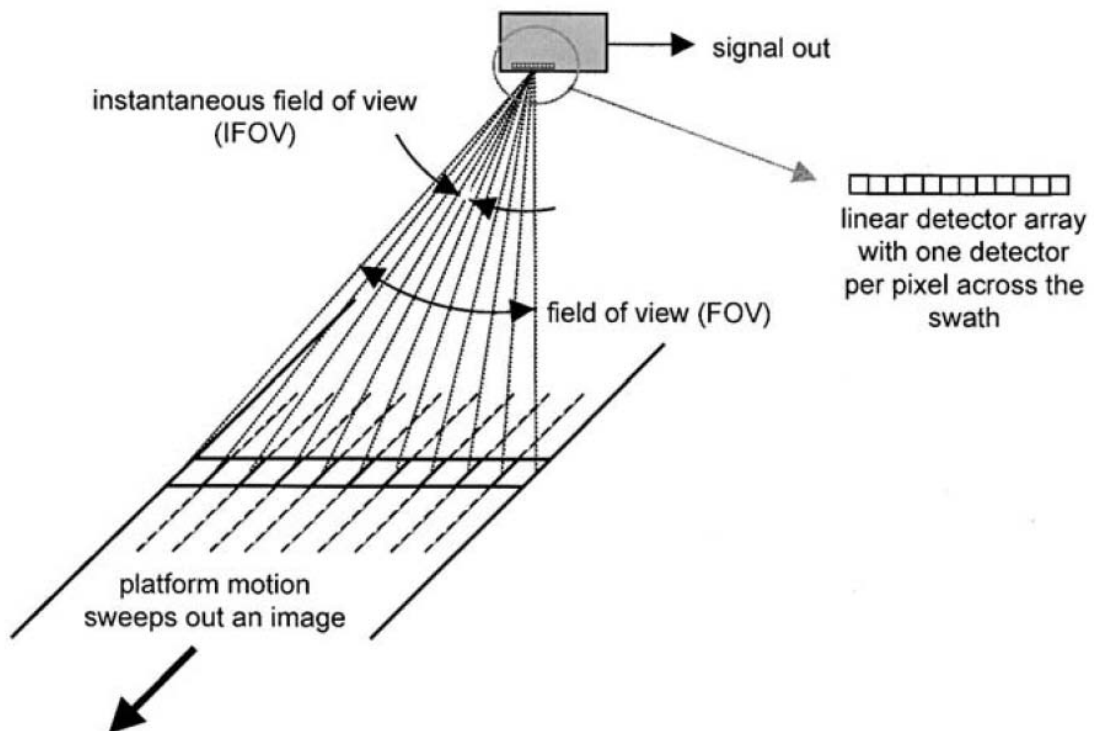


Fig. 1.7. Push broom line scanning in the along-track direction

سنجنده SPOT-HRV

- کلیه پیکسل های موجود در یک خط با هم اسکن می شوند
- سنجنده HRV در دو مد پانکروماتیک (سیاه و سفید 10 متری) و مد چند طیفی (رنگی 20 متری: سبز، قرمز و NIR)
- برای نقشه برداری توپوگرافیک در مقیاس 1:50000 و با منحنی میزان 20 متری
- n دتکتور مخصوص n پیکسل
- افزایش زمان برای هر IFOV
- قدرت تفکیک مکانی بهتر
- قدرت تفکیک طیفی ضعیف
- نسبت فاصله بین دو موقعیت ماهواره به ارتفاع ماهواره برابر $0/75$ در استوا و $0/5$ در عرض جغرافیایی 45 درجه می باشد.

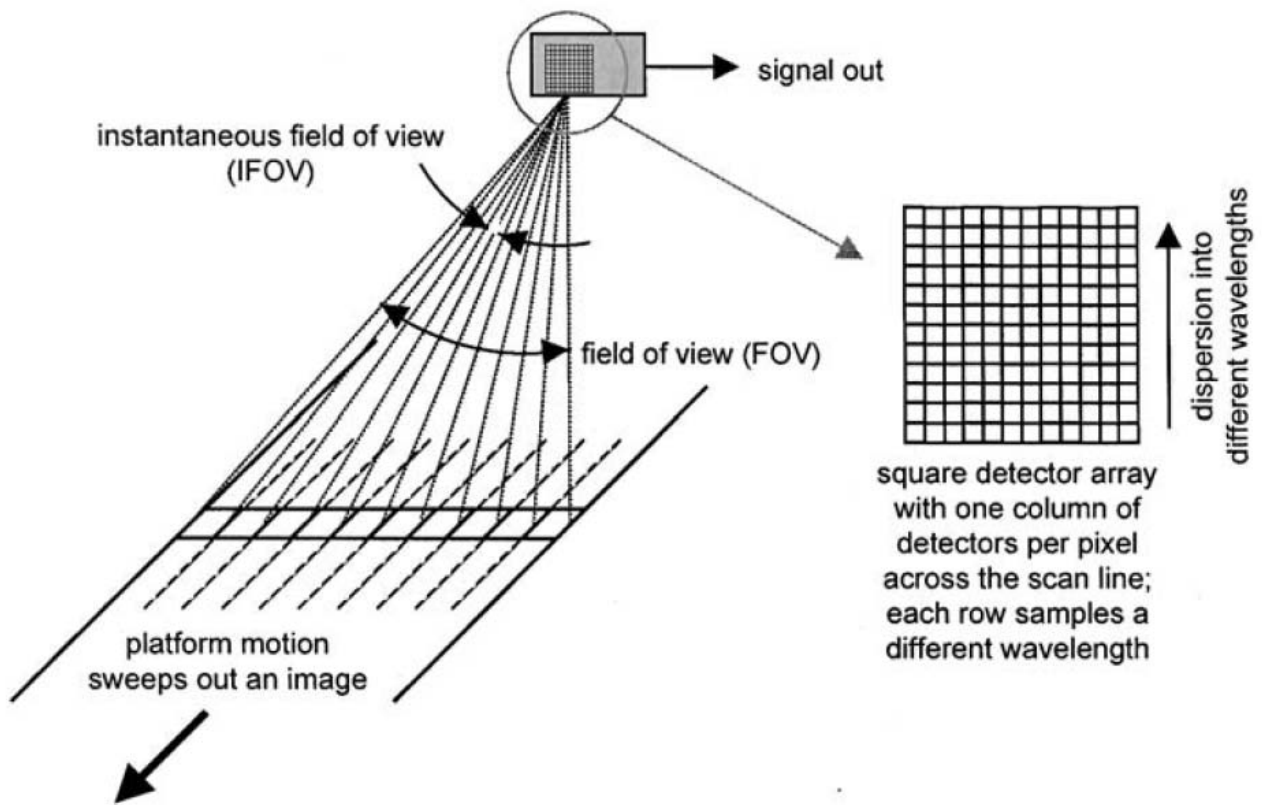
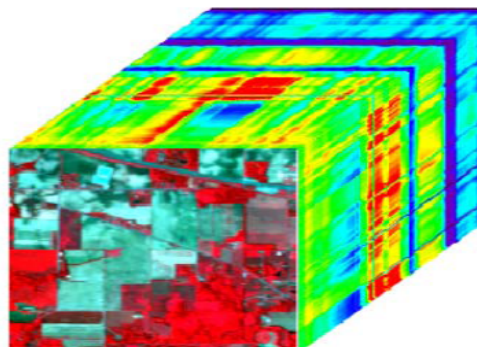


Fig. 1.8. Use of a square detector array to achieve along-track line scanning and the recoding of many spectral measurements simultaneously

سنجنده Hyperspectral

داده های طیفی حاصله از سنجنده های دارای باندهای طیفی پهن (MODIS, Liss III, TM) که قاعدتا تعداد باندهایشان نیز کم است، در برآورد دقیق خصوصیات بیوفیزیکی محصولات کشاورزی مانند غلات دارای و یا شناسایی پدیده های زمین شناسی، با محدودیتهایی مواجه هستند. جهت بالا بردن تخمین کمی این خصوصیات از سنجنده های ابرطیفی (Hyperspectral) با پهنای طیفی باریک باندها و در تعداد باندها کثیر استفاده کرد.

با تصاویر بدست آمده از سنجنده‌هایی ابرطیفی می‌توان پوشش‌های زمینی را با دقت و ثبات بیشتری طبقه‌بندی کرد. سنجنده‌هایی ابرطیفی دارای توان تفکیک طیفی زیادی می‌باشند این سنجنده‌ها پهنای باند مورد نظر را به صدها باند باریک مجاور هم تقسیم می‌کنند. هر چه تعداد باندهای طیفی سنجنده بیشتر باشد طیف بازسازی شده یک پیکسل به طیف واقعی نزدیکتر است. شکل ۱. تصویر ابرطیفی سنجنده AVIRIS^۱ را در ۲۲۰ باند نشان می‌دهد.



شکل ۱. مکعب تصویر Indian Pines (Indiana) [۴].

در سنجنده های ابرطیفی

▪ $n * m$ دیتکتور برای m پیکسل در یک سطر و n باند طیفی (یک ستون n گانه از دیتکتورهای طیفی برای هر پیکسل)

▪ تهیه همزمان داده ها در صدها باند طیفی

▪ اسکنرهای پوش بروم و سنجنده های هایپراسپکترال دارای هندسه دینامیک هستند.

▪ اغلب منابع زمینی در جزئیات بیشتری با عرض 20 تا 40 نانومتری قابل تشخیص هستند.

▪ سیستم هایپراسپکترال، داده ها را در باندهای 10 نانومتری پیوسته تهیه می کند و می تواند قدرت تفکیک طیفی مناسبی برای تشخیص مستقیم ایجاد کنند.

▪ در سنجنده هایپراسپکترال برای هر نوع مواد، منحنیهای پاسخی متفاوت وجود دارد.

RADAR (RADio Detection And Ranging) system

یک سیستم رادار انرژی را خود از طریق منبع انرژی که در اختیار دارد، تولید می کند و بازگشت آنرا اندازه می گیرد و از این لحاظ به آن سیستم مایکروویو فعال می گویند. سیستم رادار می تواند در شرایط مختلف مثل وجود ابر و یا شب و روز تصویربرداری کند.

سطوح مختلف در تصاویر راداری عبارتند از سطوح آینه ای (Specular)، ناهموار (Diffuse)، منعکس کننده گوشه ای (Corner reflector) و پراکنش کننده حجمی (Volume scattering).

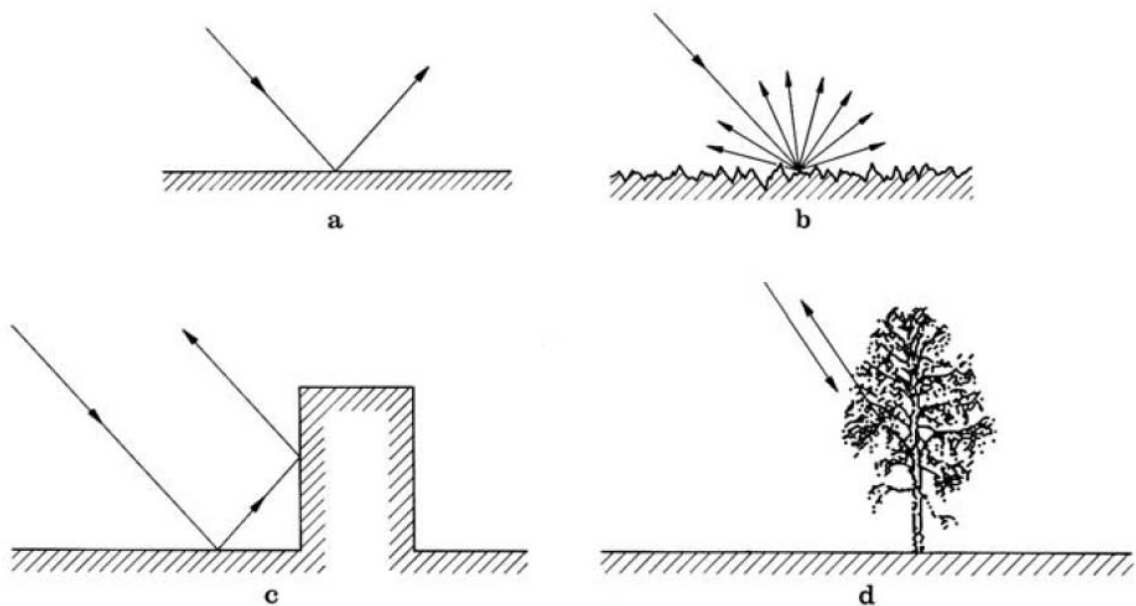
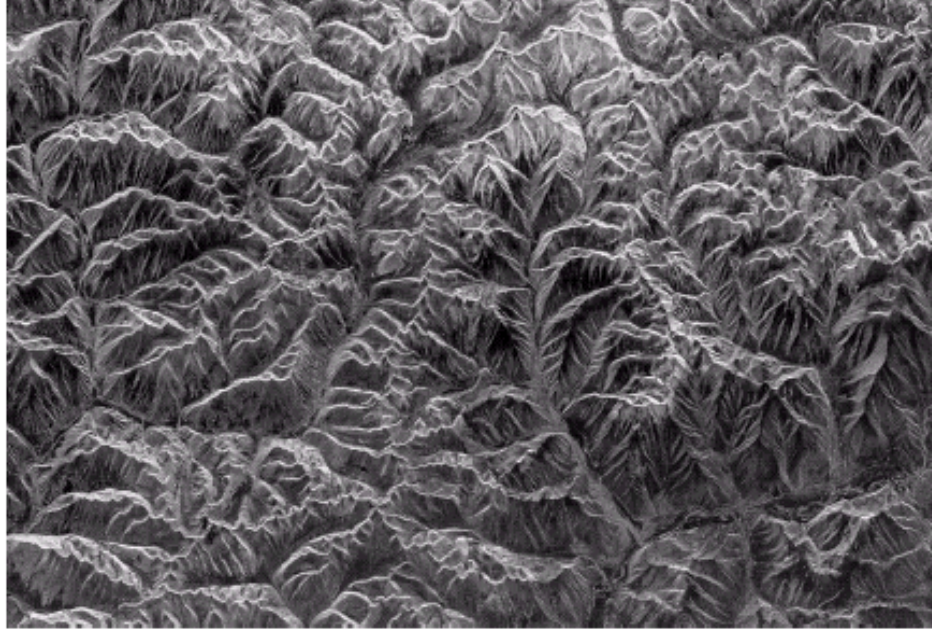


Fig. 1.5. a Specular, b diffuse, c corner reflector and d volume scattering behaviour, encountered in the formation of microwave image data

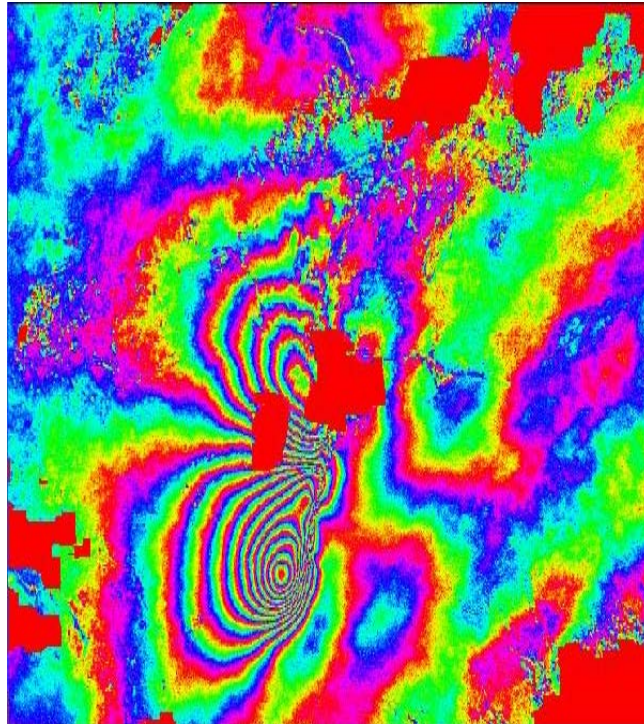
یک سیستم رادار دارای قابلیت های تصاویر متفاوتی نسبت به سنجنده های اپتیکی است. یک سیستم رادار می تواند مواردی را مثل توپوگرافی، جابجایی، رطوبت، و پراکنش و ناهمواری را اندازه گیری کند. ضمناً یک سیستم رادار تحت شرایطی (زاویه، رطوبت، دانه بندی و غیره) قابلیت نفوذ نیز دارد.

توپوگرافی

FIGURE 1.16
Spaceborne radar
image of
mountains in
southeast Tibet.
(Courtesy of
NASA.)

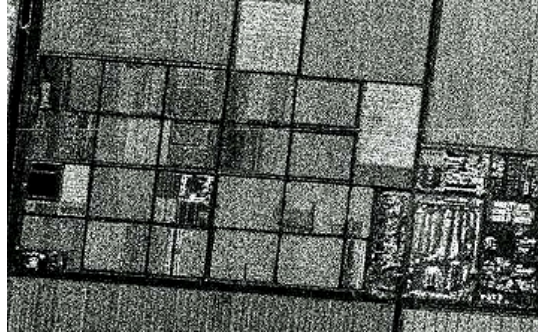


جابجایی



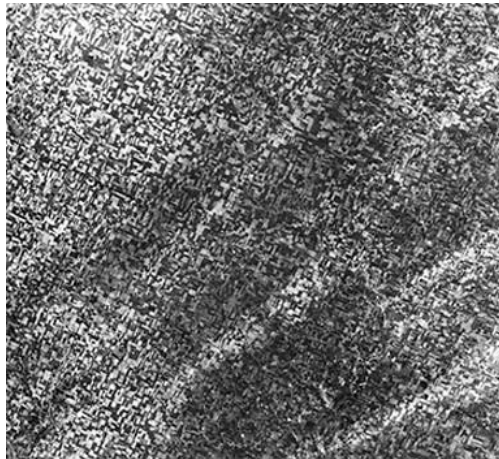
بیابانش و ناهمواری

Radar is a good means of imaging farmland, as seen in this low altitude aerial radar mission over the Maricopa area near Phoenix, AZ. Seasat radar imaged this next scene, in the Great Plains. Some fields are dark, others light, indicative of the stages of growth (light areas indicate crops that reflect more of the radar beam to the receiver).



رطوبت

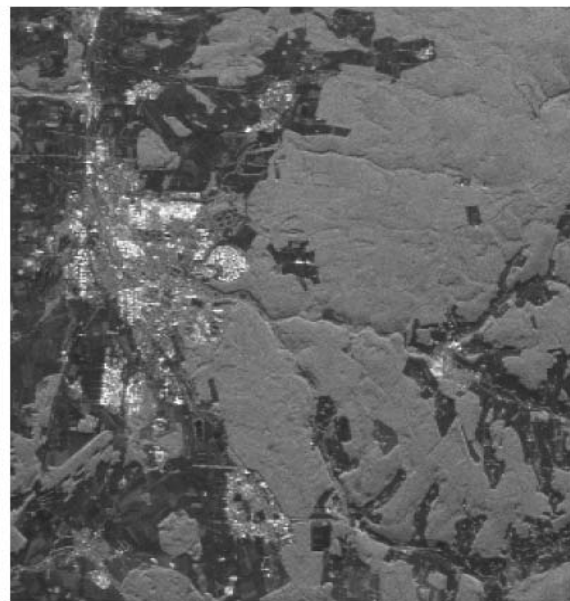
Seasat radar imaged this next scene. Of particular interest are the two dark patches which represent the effects of soil moisture (reduces returns) following two local thunderstorms passing over the plains.



نفوذ



P-Band
L: 24



L-Band
P: 68

Radar imaging geometry

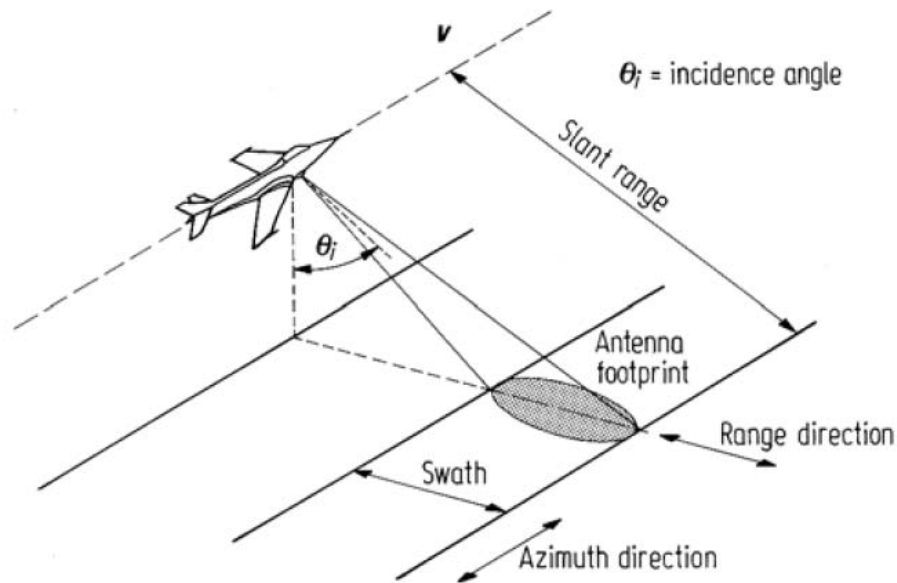


Fig. 1.10. Principle of side looking radar

Radar resolutions

Radar resolutions are expressed in two directions of range and azimuth.

Range resolution

$$r_g = c\tau/2 \sin \theta_i$$

where τ is the length of the transmitted pulse and c is the velocity of light.

Azimuth resolution

The azimuth size of a resolution element is related to the length (or aperture) of the transmitting antenna in the azimuth direction, l , the wavelength λ and the range R_0 between the aircraft and the target, and is given by

$$r_a = R_0\lambda/l$$

This expression shows that a 10 m antenna will yield an azimuth resolution of 20 m at a slant range of 1 km for radiation with a wavelength of 20 cm. However if the slant range is increased to say 100 km – i.e. at low spacecraft altitudes – then a 20 m azimuth resolution would require an antenna of 1 km length, which clearly is impracticable.

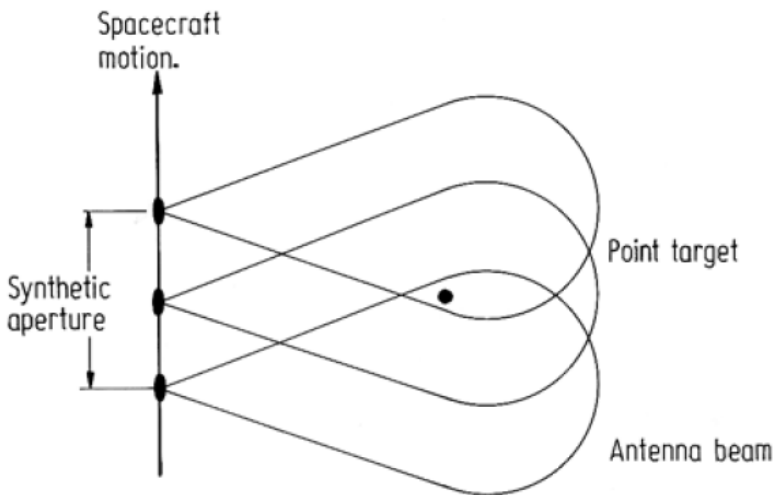


Fig. 1.11. The concept of synthesizing a large antenna by utilizing spacecraft motion along its orbital path. Here a view from above is shown, illustrating that a small real antenna is used to ensure a large real beamwidth in azimuth. As a consequence a point on the ground is illuminated by the full synthetic aperture

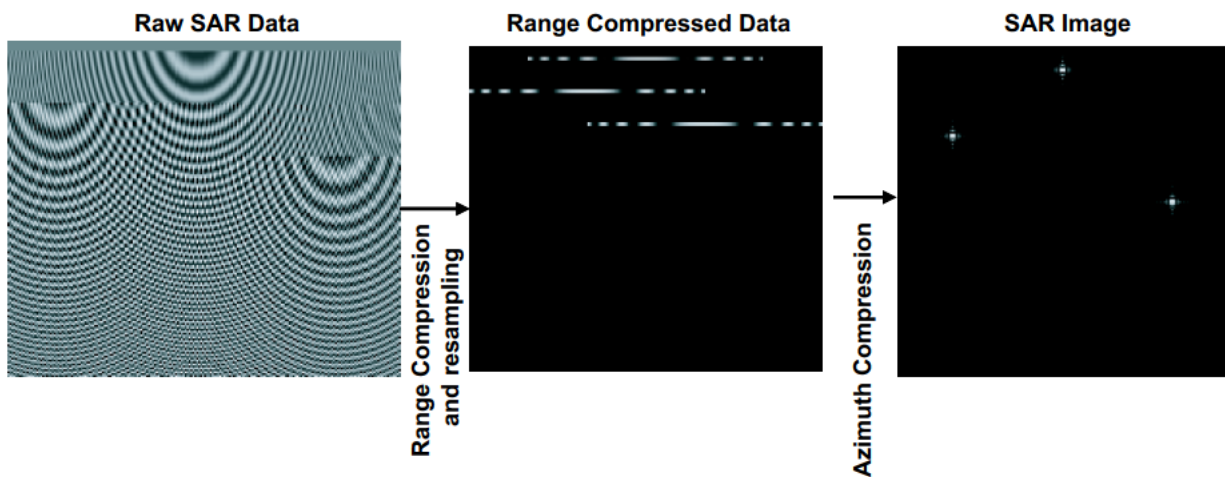


Figure 6-42. This figure illustrates how the rectangular SAR processing algorithm is implemented. Three point scatterers are at different range and azimuth positions. The simulation is for an airborne SAR with negligible range walk.

Figure 6-7 shows dramatically the effect of frequency in the case of scattering from a forest canopy in the Black Forest in Germany. The images were acquired with the NASA/JPL AIRSAR system in 1991. The low-frequency P-band (68 cm wavelength) HH image shows variations in brightness that are correlated with the topography of the terrain under the trees. The areas that have the higher returns are where the local topography is nearly flat and is dominated by radar signals reflected off the ground, followed by a reflection off the tree trunks, before returning to the radar. When the ground slopes away from the radar or toward it, this term decreases rapidly, leading to a reduction in the observed return near the streams (van Zyl, 1993). The L-band (24 cm wavelength) HH image shows little variation in brightness because the penetration length is shorter than that at P band [see Equation (6-23)], which means that the scattering is dominated by returns from the branches in the canopy.

4. سکوها

- وسیله‌های که سنجنده را حمل میکند، سکو (platform) نام دارد.
- ماهواره‌ها، هواپیماها و سایر وسایلی که بتوان سنجنده را روی آنها نصب کرد میتوانند سکوه‌های مطرح در سنجش از دور باشند.
- ماهواره‌ها متداولترین وسیله حمل کننده سنجنده‌ها در فناوری سنجش از دور هستند.

ماهواره‌ها از نقطه نظر مداری در دو نوع هستند.

- زمین آهنگ (Geostationary)
- خورشید آهنگ (Sun-synchronous)

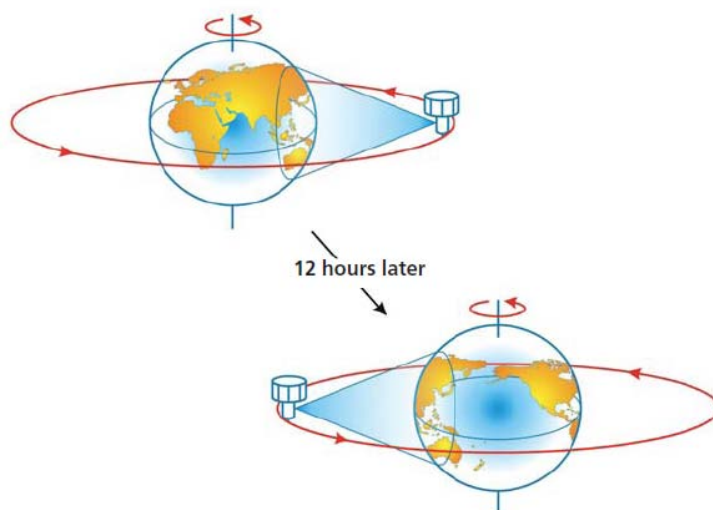
	Coverage	Resolution	Frequency	Range of scale
Geostationary	Whole world	5 km	0.5 h	<1:10000000
NOAA (AVHRR)	5000 km	1 km	< 12 h	1:5000000-1:1000000
Landsat (TM)	185 km	30 m	16 days	1:500000-1:100000
SPOT (HRV)	60 km	20 m/10 m	26 days	1/100000-1/25000
Ikonos	11 km	4 m/1 m		
Aircraft	100 m-20 km	< 1 m	As required	1/80000-1/2500

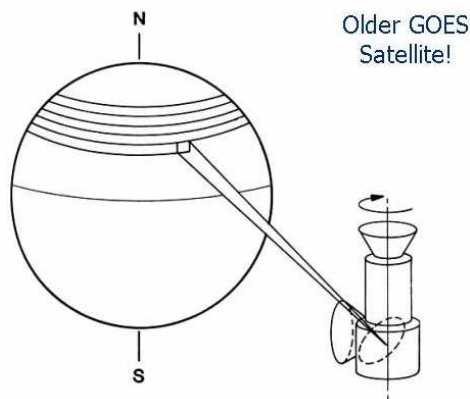
در جدول فوق، از بالا به پایین کاربردها به پدیده‌های بزرگ مثل تشخیص ابرها و هواشناسی، اقیانوس شناسی و دریاها، جنگلها و مراتع، محیط زیست، کشاورزی و در نهایت به مناطق شهری و ساختارهای دستساز بشر، ساختمانها و غیره مربوط میشود.

ماهواره‌های زمین آهنگ

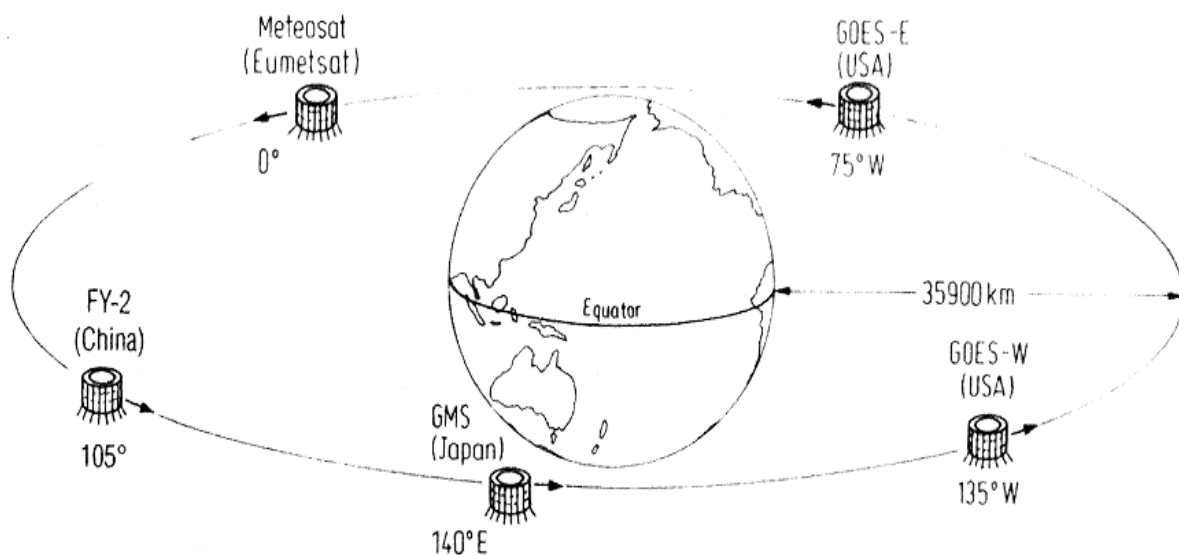
- ماهواره‌های زمین آهنگ در ارتفاع حدود 36000 کیلومتری از سطح زمین قرار دارند.
- موقعیت آنها نسبت به زمین ثابت است.
- ماهواره‌های زمین آهنگ بسته به کشور پرتاب کننده آنها در طول‌های جغرافیایی ثابتی در بالای خط استوا قرار می‌گیرند.

Geostationary satellite orbits





سکویهای ماهواره‌های زمین‌آهنگ



GOES-W, GOES-E	USA	75,135
Meteosat	Europe	0
GMS	Japan	140
INSAT	India	74
GOMS	Russia	0
FY-2	China	105

GOES = Geostationary Operational Environmental Satellite
 GMS = Geostationary Meteorological Satellite, or Himawari (sunflower).
 INSAT = Indian National Satellite
 GOMS = Geostationary Operational Meteorological Satellite
 FY = Feng-Yun (wind-cloud)
 NOAA = National Oceanic and Atmospheric Administration
 DMSP = Defense Meteorological Satellite Program
 IRS = Indian Remote Sensing satellites
 ADEOS = ADvanced Earth Observation Satellite

سنجنده اصلی در ماهواره‌های زمین آهنگ، سنجنده های (VISSR) Visible and Infrared Spin Scan Radiometer یا IVISSR یا Imager هستند.

ماهواره زمین‌آهنگ GMS

ماهواره هواشناسی زمین‌آهنگ (GMS) Geostationary Meteorological Satellite با سنجنده

Visible Infrared Spin-Scan Radiometer: VISSR

این سنجنده دارای 2 باند می باشد:

B1: (0.55- 0.75 μ m) VIS □

B2: (10.5- 12.5 μ m) TIR □

- توان تفکیک مکانی آن متفاوت است: در نادیر 1/25 و در انتهای خط اسکن 5 کیلومتر
- برای رفع این مشکل تعداد بیت های بیشتری به انتهای خط اسکن اختصاص داده شده است. یعنی توان تفکیک رادیومتری در خط نادیر 6 بیت و در انتهای خط اسکن 8 بیت می باشد.

ماهواره زمین‌آهنگ GOES

در جدول زیر مشخصات سنجنده Imager در ماهواره GOES که توسط کشور آمریکا به فضا پرتاب شده و در 75 درجه غربی قرار دارد، نشان داده شده است.

Imager Instrument Characteristics (GOES I-M)					
Channel number:	1 (Visible)	2 (Shortwave)	3 (Moisture)	4 (IR 1)	5 (IR 2)
Wavelength range (um)	0.55 - 0.75	3.80 - 4.00	6.50 - 7.00	10.20 - 11.20	11.50 - 12.50
Instantaneous Geographic Field of View (IGFOV) at nadir	1 km	4 km	8 km	4 km	4 km
Radiometric calibration	Space and 290 K infrared internal backbody				
Calibration frequency	Space: 2.2 sec (full disc), 9.2 or 36.6 sec (sector/area) Infrared: 30 minutes typical				
System absolute accuracy	IR channels: less than or equal to 1 K Visible channel: 5% of maximum scene irradiance				
Imaging rate	Full earth disc, less than or equal to 26 minutes				

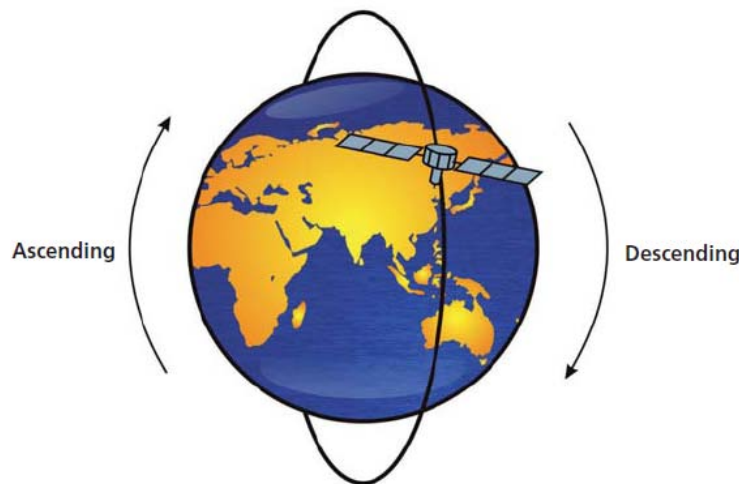
ماهواره‌های خورشیدآهنگ

ماهواره‌های خورشیدآهنگ همزمان با خورشید حرکت میکنند و از قطبها (یا نزدیک قطبها) عبور می کنند. به این ماهوارهها Polar Orbiter نیز گفته میشود. یعنی مدار ماهواره های خورشید آهنگ، قطبی یا نزدیک به قطب هستند و صفحه مدار همزمان با خورشید به جلو می رود. این ماهوارهها معمولاً خط استوای زمین را در زمان محلی معین و در ارتفاع پائین از زمین دور می زنند. ارتفاع این ماهوارهها معمولاً بین 600 تا 1500 کیلومتر از سطح زمین است.

سکوهای ماهواره‌های خورشیدآهنگ

از میان ماهواره‌های خورشیدآهنگ میتوان ماهواره NOAA (هواشناسی) و سریهای قبلی آن به نامهای TOS، ITOS و TIROS نام برد. از دیگر ماهواره‌های خورشیدآهنگ هواشناسی می‌توان ماهواره NIMBUS (آمریکا)، METOP (اروپا)، METEOR (روسیه)، FY-1 (چین) را نام برد. از ماهواره‌های خورشیدآهنگ غیر هواشناسی می‌توان از Landsat (آمریکا)، SPOT (فرانسه)، ماهواره ADEOS (ژاپن) و EOS (آمریکا) که ماهواره‌های Aqua و Terra را شامل می‌شوند، نام برد.

Polar satellite orbits



ماهواره NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

ماهواره NOAA دارای سنجنده‌های متعددی است:

AVHRR -1

HiRS -2

MSU -3

SSU -4

SEM -5

SBUV -6

ERB -7

سنجنده اصلی بر روی ماهواره NOAA.

سنجنده AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) است.

- **ماموریت:** تهیه اطلاعات هواشناسی، اقیانوس‌شناسی و هیدرولوژی
- **کاربردها:** کاربردهای هواشناسی و کاربردهای غیرهواشناسی مخصوصاً در حیطة پوشش گیاهی
- **قدرت تفکیک مکانی:** توان تفکیک مکانی بسیار پائین (1100 متر در نادر)
- **قدرت تفکیک رادیومتری:** توان تفکیک رادیومتری بسیار بالا (0-1023 سطح خاکستری) (10 بیت)
- **قدرت تفکیک زمانی:** توان تفکیک زمانی بسیار بالا (12 ساعت)، ولی با توجه به حضور دو ماهواره به طور همزمان، به طور متوسط 4 تصویر در 24 ساعت

– قدرت تفکیک طیفی: توان تفکیک طیفی متوسط (5 باند با پهنای طیفی زیاد)

VIS	قرمز	0/58 – 0/68 μm	باند اول	قدرت تفکیک طیفی AVHRR/2
NIR	مادون قرمز نزدیک	0/72 – 1/1 μm	باند دوم	
MIR	مادون قرمز میانی	3/55 – 3/93 μm	باند سوم	
TIR	مادون قرمز حرارتی	10/3 – 11/3 μm	باند چهارم	
TIR	مادون قرمز حرارتی	11/5 – 12/5 μm	باند پنجم	

سنجنده (AVHRR) در ماهواره های NOAA6، NOAA8 و NOAA10 دارای 4 باند بود و باند 5 آن، یک کپی از باند 4 بوده است.
 سنجنده (AVHRR/2) در ماهواره های NOAA7، NOAA9 و NOAA11 تا NOAA14 دارای 5 باند گردید (باند $11/5 - 12/5 \mu\text{m}$ اضافه شد).
 سنجنده (AVHRR/3) در ماهواره های NOAA15 تا NOAA19، باند 3 آن، به دو باند 3A و 3B تبدیل شد.

یعنی در روز: $1/57 - 1/78 \mu\text{m}$: باند 3A و در شب: $3/55 - 3/93 \mu\text{m}$: باند 3B

- زمان لازم برای طی یک مدار 101 دقیقه است.
- در زمان های محلی $7:30 - 14:30$ و از NOAA15 به بعد از زمان های $7:30 - 15:30$ از خط استوا عبور کرده است.
- کاربردهای این سنجنده عبارتند از:

- تهیه نقشه حرارتی سطح آب ها (SST) Sea Surface Temperature
- تهیه نقشه حرارتی سطح زمین (LST) Land Surface Temperature
- شناسایی ابر
- نظارت بر پوشش گیاهی (NDVI)
- پیش بینی خشکسالی
- بررسی اقیانوس ها و حرکت آنها (ملاک الگوی حرارت آب)
- بررسی آتش سوزی جنگل ها
- بررسی فعالیت آتشفشان ها
- تهیه نقشه با مقیاس های بسیار کوچک

در AVHRR از Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

$$NDVI = \frac{L_{NIR} - L_R}{L_{NIR} + L_R}$$

برای اندازه گیری مقدار پوشش گیاهی استفاده می شود (مساحت برگ های یک متر مربع را که به آن Leaf Area Index (LAI) گفته می شود ، حساب کرده و می توانند آنرا به LAI ربط دهند. ضریب همبستگی LAI و NDVI حدود 90٪ است و در نتیجه به وسیله NDVI می توان نظارت کافی بر روی پوشش گیاهی داشت. بر این اساس می توان حتی شدت خشکسالی را برآورد و پیش بینی کرد.

ماهواره NIMBUS

ماهواره خورشید آهنگ NIMBUS با سنجنده CZCS دارای ویژگی های زیر می باشد:

- ارتفاع مدار NIMBUS از سطح زمین 955 کیلومتر می باشد.
- زاویه انحراف مدار با خط استوا $99/3^{\circ}$ است.
- زمان لازم برای طی مدار 104 دقیقه است.
- سیکل تکرار تصویر از یک منطقه 6 روز است.

در ماهواره NIMBUS از سنجنده CZCS استفاده می شود.

به معنی سنجنده رنگ مناطق ساحلی یا Coastal Zone Color Scanner (CZCS)

- سنجنده CZCS دارای شش باند است: Blue, Green1, Green2, Red, NIR, TIR
- توان تفکیک مکانی سنجنده 800 متر است.
- پهنای خط جاروب سنجنده 1500 کیلومتر است.
- از این سنجنده برای بررسی کیفیت آب مناطق ساحلی استفاده می شود:
 - رفتار رسوب گذاری رودخانه ها در هنگام پیوستن به دریاها
 - میزان ذرات معلق موجود در آب (که معمولاً به رنگ زرد در آب است)
 - میزان اکسیژن در آب

ماهواره های Aqua و Terra

سنجنده MODIS در ماهواره های Aqua و Terra

Orbit:	705 km, 10:30 a.m. descending node (Terra) or 1:30 p.m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, near-polar, circular
Scan Rate:	20.3 rpm, cross track
Swath Dimensions:	2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)
Telescope:	17.78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop
Size:	1.0 x 1.6 x 1.0 m
Weight:	228.7 kg
Power:	162.5 W (single orbit average)
Data Rate:	10.6 Mbps (peak daytime); 6.1 Mbps (orbital average)
Quantization:	12 bits
Spatial Resolution:	250 m (bands 1-2) 500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)
Design Life:	6 years

MODIS sensor

Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required SNR ³
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/Phytoplankton/Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

¹ Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 are in μm

² Spectral Radiance values are ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}\cdot\text{sr}$)

³ SNR = Signal-to-noise ratio

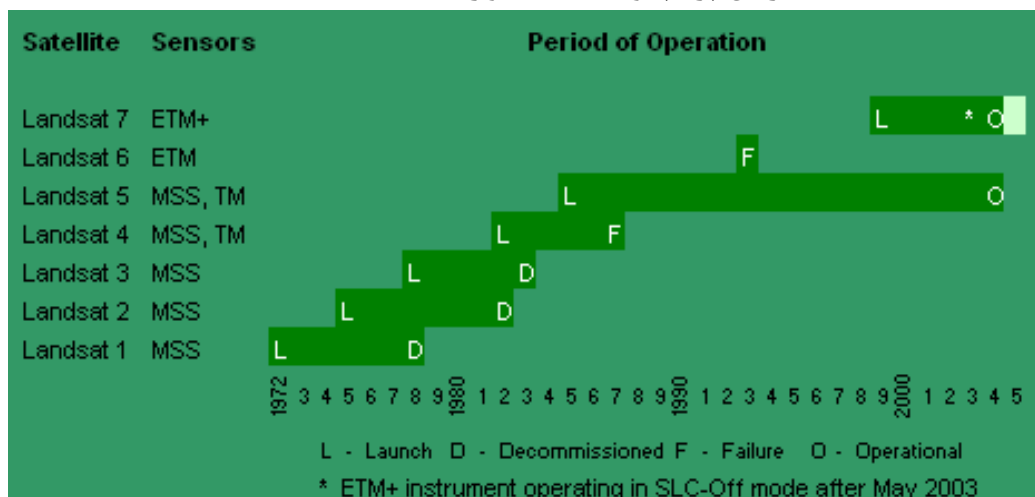
⁴ $\text{NE}(\Delta T) = \text{Noise-equivalent temperature difference}$

Note: Performance goal is 30-40% better than required

ماهواره Landsat

از هفت ماهواره پرتاب شده از گروه ماهواره های لندست، فقط Landsat5 و Landsat7 در حال فعالیت می باشند. شاید Landsat5 بدلیل اینکه 25 سال از فعالیت آن می گذرد، دارای کیفیت خوبی نباشد. لندست 6 پس از پرتاب در پاییز سال 92 سقوط کرد. Landsat7 نیز دچار مشکلاتی است.

زمان پرتاب و فعالیت ماهواره های Landsat



مشخصات ماهواره های Landsat5 و Landsat7 به تفکیک باندهای آنها

Landsat5 / TM	Landsat7 / ETM+	مشخصات ماهواره	
30 × 30 m 120 × 120 m N/A	30 × 30 m 60 × 60 m 15 × 15 m pixel size (18×18m GSI)	Bands 1-5 and 7 Band 6 Band 8	Ground Sampling Interval (GSI)
185 km	185 km	عرض گذر	
16 days (233 orbits)	16 days (233 orbits)	فاصله زمانی تکرار	
705 km	705 km	ارتفاع	
8 bits (256 levels)	Best 8 of 9 bits	تعداد بیت های تصویر	
Magnetic tape failed	375 Gb (solid state)	On-board ذخیره اطلاعات	
Sun-synchronous	Sun-synchronous	نوع مدار	
98.2°	98.2°	زاویه انحراف	
Descending node:10:10am	Descending node:10:00am	عبور از استوا	

لندست در طول زمانی که به کار گرفته شده یک سیر تکاملی نسبی را طی کرده است. این تکامل در راستای پیشرفت تکنولوژی، رقابت در بازار، ارائه کاربردهای جدید و غیره می باشد.

اطلاعات باندهای Landsat5 با سنجنده TM و اطلاعات باندهای Landsat7 با سنجنده ETM⁺

Generalized Application Details	EM Region	Spectral Range (in Microns)	Band Number/Sensor		
Coastal water mapping, Differentiation of vegetation from soils	Visible (Blue)	0.45 - 0.52	1	TM	ETM ⁺
Assessment of vegetation vigor	Visible (Green)	0.52 - 0.60	2		
Chlorophyll absorption for vegetation differentiation	Visible (Red)	0.63 - 0.69	3		
Biomass surveys and delineation of water bodies	Near Infrared	0.76 - 0.90	4		
Vegetation and soil moisture measures; Differentiation between snow and cloud	Shortwave Infrared	1.55 - 1.75	5		
Thermal mapping, soil moisture studies and plant heat stress measurement	Thermal Infrared	10.40- 12.50	6		
Hydrothermal mapping	Shortwave Infrared	2.08 - 2.35	7		
Large area mapping, urban change studies	Green, Red, Near Infrared (Panchromatic)	0.52 - 0.90	8		

کاربرد باندهای ETM⁺

➤ TM1: جداسازی خاک از پوشش گیاهی و نقشه برداری آب های ساحل، مطالعه و تهیه نقشه خطوط ساحل

➤ TM2: تهیه نقشه های پوشش گیاهی

➤ TM3: تمایز گیاهان از نقطه نظر وجود کلروفیل

➤ TM4: مطالعات Biomass (توده زنده)

مثال: از آنجائیکه برگ گیاه چغندر قند دارای آب بیشتری نسبت به برگ گیاه یونجه است می توان آنها را از یکدیگر تفکیک کرد.

➤ TM5: جداسازی مناطق برفی از پوشش های ابری (ابر و برف دارای بازتاب یکسان هستند).

تشخیص درختان میوه در خاک های مرطوب (چون درختان میوه انعکاس بیشتری نسبت به خاک مرطوب و انعکاس کمتری نسبت به خاک خشک دارند).

امکان تشخیص مراتع از مناطق دارای درخت (تا حدودی جنگل)

بازتاب زیاد مناطق گرانیتهی و خاک های فاقد پوشش گیاهی در این باند

تشخیص آب

➤ TM6: تهیه نقشه های حرارتی

خاک های آبرفتی که معمولاً دارای بافت ریز، تیره و خشک بوده و برای کشاورزی مناسب هستند را می توان بدلیل انعکاس بالای آنها در این باند تشخیص داد.

با توجه به وجود تفاوت های زیادی که از لحاظ حرارتی بین پوشش های جنگلی و کشاورزی وجود دارد می توان از این باند برای ارزیابی وضعیت رطوبتی خاک ها و گیاهان استفاده کرد.

از آنجائیکه پدیده های دارای رطوبت زیاد، مانند (خاک های مرطوب، گیاهان حاشیه رودخانه ها، تاج درختان جنگل، مراتع، منابع آبی و گیاهانی که سرعت رشدشان مثل نیشکر و یونجه زیاد است) دارای انعکاس کمی هستند می توان آنها را تشخیص داد.

➤ TM7: تهیه نقشه های زمین شناسی

تشخیص انواع سنگ ها، صخره ها و نقشه های مربوط به آب

➤ TM8: کاربردهایی را که عکس های هوایی با مقیاس کم مثل زمین شناسی، کشاورزی، برنامه ریزی و غیره دارند را دارا می باشد.

DN conversion to Radiance (L1 products)

$$L = G * DN + I$$

where L is radiance, DN is pixel digital number, G is gain, and I is the offset.

For any band (λ) in TM bands:

$$L = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{255} \right) * DN + L_{min}$$

where L_{min} is radiance corresponding to “zero” DN, and L_{max} is radiance corresponding to “255” DN.

Spectral Radiances, LMIN and LMAX in W/(m².sr.μm)

Band	Spect	L_{min}	L_{max}
1	B	-1.52	193.0
2	G	-2.84	365.0
3	R	-1.17	264.0
4	NIR	-1.51	221.0
5	SWIR1	-0.37	30.2
6	TIR	1.2378	15.303
7	SWIR2	-0.15	16.5

Radiance conversion to NDVI (using bands 3 and 4)

$$NDVI = \frac{L_{NIR} - L_R}{L_{NIR} + L_R}$$

Radiance conversion to Temperature (using band 6)

The formula to convert radiance to temperature is:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1 * \varepsilon}{L_{TIR}} + 1\right)}$$

where T is degree Kelvin

L is pixel radiance

ε is emissivity

	Landsat TM	Landsat ETM
K_1	607.76	666.09
K_2	1260.56	1282.71

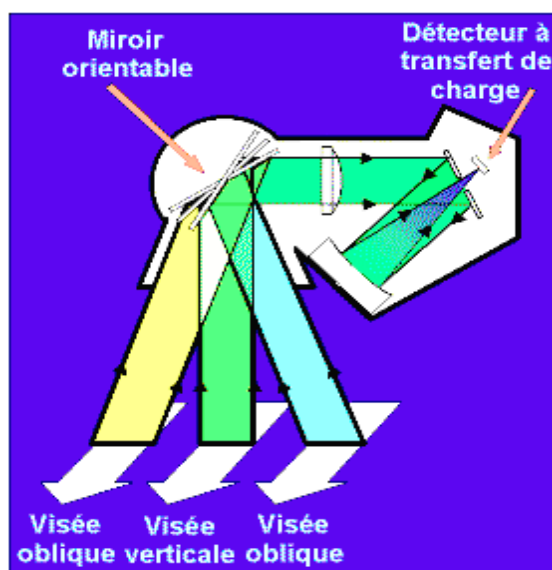
جدول ۱-۱۰: توان تشعشعی پدیده‌های مختلف در ناحیه ۱۴-۸ میکرومتر

توان تشعشعی	نوع پوشش گیاهی	توان تشعشعی	مواد
۰/۹۷۶	بوته زار (نیمه متراکم)	۰/۹۸	آب دریا
۰/۹۸۶	بوته زار (متراکم)	۰/۹۶	بنج
۰/۹۷۹	علفزار خیلی کوتاه	۰/۸۵	برف
۰/۹۸۱	علفزار کوتاه (چند سانتی متری)	۰/۹۵	خاک مرطوب
۰/۹۸۳	علفزار (۱۵ سانتی متری)	۰/۹۲	خاک خشک
۰/۹۹۴	نیزار (۱۰۰ سانتی متری)	۰/۹۳	خاک لخت (شنی)
۰/۸۸-۰/۹۴	پوشش گیاهی خشک	۰/۹۱۴	خاک لخت (لوم شنی)
۰/۹۷-۰/۹۹	پوست انسان	۰/۹۱	شن
۰/۹۵-۰/۹۸	آسفالت	۰/۹۰	چوب
۰/۹۳-۰/۹۴	آجر	۰/۸۹	سنگ‌های گرانیت
۰/۶۳-۰/۷۰	ورق آهن	۰/۹۲۹	دولومیت (براق)
۰/۱۶-۰/۲۱	فلز براق	۰/۹۵۸	دولومیت (زبر)
۰/۰۳-۰/۰۷	آلومینیوم	۰/۹۳۴	بازالت (زبر)
۰/۸۷-۰/۸۱	نیشه	۰/۸۷۰	فلدسپار
۰/۹۲-۰/۹۴	سمنت (بتن)	۰/۹۵۹	مناطق سنگی

ماهواره SPOT

SPOT: (Satellite Pour l'Observation de la Terre) French for: "Earth observation satellite"

ماهواره SPOT در سال 1986، SPOT2 در سال 1990، SPOT3 در سال 1993، SPOT4 در سال 1995 و SPOT5 در سال 2002 به فضا پرتاب شدند. SPOT دارای دو سنجنده (High Resolution Visible) HRV_{1,2} از نوع پوش بروم می باشد. این دو سنجنده، همانند هستند. سنجنده HRV دارای آینه‌های برای دوران بصورت زیر است:



زاویه دید سنجنده HRV را میتوان از طریق کنترل از زمین به اندازه ± 27 درجه تغییر داد. این تغییر باعث می شود که سنجنده بتواند از دو مدار مختلف از یک محل تصویر تهیه کند و به این ترتیب امکان تولید تصاویر سه بعدی برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی میسر میشود.

مشخصات ماهواره های SPOT

- ارتفاع ماهواره 822.2 km است.
- زاویه میل 98.77° است.
- خورشید آهنگ است.
- زمان عبور از خط استوا 10:30 صبح می باشد.
- در هر 101 دقیقه (زمان هر مدار) یکبار زمین را دور می زند.
- بازدید از همان محل (توان تفکیک زمانی) 26 روز است.
- سنجنده این ماهواره می تواند ± 27 درجه تغییر جهت دهد که با این کار توان تفکیک زمانی حدود 3 الی 4 روز می تواند کمتر شود.
- برای دریافت اطلاعات از قبل باید سفارش داد.
- Swath Width آن 60×60 km می باشد و تا 81×81 km نیز قابل افزایش است.

مشخصات سنجنده های HRV

– سنجنده HRV در دو Mode کار میکند:

1) PAN (Panchromatic)	Pa: 0.51-0.73 μ m	Visible, NIR	10m
2) XS (Multispectral)	B1: 0.50- 0.59 μ m	Green	20m
	B2: 0.61- 0.68 μ m	Red	20m
	B3: 0.79- 0.89 μ m	NIR	20m

با پرتاب SPOT4 در سال 1995، نسل دوم این ماهواره ها شروع بکار کرد. SPOT4 شبیه ماهواره های قبل از آن است با این تفاوت که در مد رنگی باند چهارم بشرح زیر دارد:

B4:1.52-1.75 μ m	SWIR	20m
----------------------	------	-----

Data fusion

داده های PAN اسپات را می توان با داده های TM لندست ادغام کرده و عوارض را بهتر شناسایی نمود:

SPOT-HRV (PAN) (قدرت تفکیک طیفی پایین و قدرت تفکیک مکانی بالا)

Landsat-TM (قدرت تفکیک طیفی بالا و قدرت تفکیک مکانی پایین)

Satellite	Spot 1,2,3	Spot 4	Spot 5
General features			
Total mass	1800 kg	2760 kg	3000 kg
Altitude at equator	822 km	822 km	822 km
Inclination	98.7°	98.7°	98.7°
Orbital period	101.4 mn	101.4 mn	101.4 mn
Orbital cycle	26 days	26 days	26 days
Dimensions		2x2x5,6 m	3.1x3.1x5.7m
Lifetime	3 years	5 years	5 years
Hydrazine	150 kg	150 kg	150 kg
Telemetry	2048 bps	4096 bps	4096 bps
Telecommand	20 words per second	60 words per second	60 words per second
Spectral bands	1 panchromatic (10 m) 3 Multispectral (20 m)	1 panchromatic (10 m) 3 Multispectral (20 m) 1 short-wave infrared (20 m)	1 panchromatic 5 m (up to 2.5m) 3 Multispectral (10 m) 1 short-wave infrared (20m)
Location accuracy	350 m	350 m	50 m

Vegetation sensor

Resolution: 1Km
Swath width: 2250 Km
Spectral Bands:

B1 (B)	0.43-0.47 μm
B2 (R)	0.61-0.68 μm
B3 (NIR)	0.78-0.89 μm
B4 (SWIR)	1.58-1.75 μm

کاربردهای SPOT

- زمین شناسی: تشخیص ناهنجاریهای زمینشیمیایی و ساختاری از طریق تهیه تصاویر stereo معمولا این کار برای اکتشاف نفت و معادن بکار میرود.
- کشاورزی: پیشبینی میزان محصول و تجزیه و تحلیل میزان خسارت سیل
- کارتوگرافی: تهیه نقشههای توپوگرافی 1:150000 و در بعضی موارد تهیه نقشههای 1:25000
- برنامه ریزی: نظارت بر کاربری زمین (در مناطق شهری و روستایی)

ماهواره IRS

IRS-1C/1D

در 1995: IRS-1C

در 1997: IRS-1D

PAN sensor

Spectral resolution: B1 0.50-0.75
Spatial resolution: 5.8 m
Radiometric resolution: 6 bits
Temporal resolution: up to 5 days
Swath width: 70 km ... 91 km
Sensor angle: +26 ... -26

LISS III sensor

Spectral resolution: B2 0.52-0.59 23.5 m
B3 0.62-0.68 23.5 m
B4 0.77-0.86 23.5 m
B5 1.55-1.70 70.5 m

Radiometric resolution: 7 bits
Swath width: 141 km (148 km for B5)

WiFS sensor (Wide Field Sensor)

Spectral resolution: B1 0.62-0.68 188 m
B2 0.77-0.86 188 m
B5 1.55-1.70 70.5 m

Radiometric resolution: 7 bits
Swath width: 810 km

IRS-P5 (Carto-SAT)

PAN Sensor

Spectral resolution: B1 0.50-0.75

Spatial resolution: 5.8 m

IRS-P6 (Resource-SAT)

2002 د

LISS III sensor

Spectral resolution: B1 0.52-0.59 23.5 m

B2 0.62-0.68 23.5 m

B3 0.77-0.86 23.5 m

B4 1.55-1.70 23.5 m

Radiometric resolution: 7 bits

Swath width: 140 km

AWiFS sensor (Wide Field Sensor)

Spatial resolution: 60-70 m

Spectral resolution: B1 0.52-0.59

B2 0.62-0.68

B3 0.77-0.86

B4 1.55-1.70

Radiometric resolution: 7 bits

Swath width: 700 km

LISS IV sensor

PAN Mode

Spatial resolution: 5.8 m

Spectral resolution: B1 0.62-0.68

Radiometric resolution: 7 bits

Swath width: 70 km

MSS Mode

Spatial resolution: 5.8 m

Spectral resolution: B1 0.52-0.59

B2 0.62-0.68

B3 0.77-0.86

Radiometric resolution: 7 bits

Swath width: 23.9 km

1999
10:30am
98 minutes
Sun-cynch
681 km

Pan sensor

Spatial resolution: 1 m
Spectral resolution: 0.45-0.90
Temporal resolution: 2.9 days
Swath width: 11 km
Along-track stereo

MS sensor

Spatial resolution: 4 m
Spectral resolution: B1 0.45-0.52
 B2 0.52-0.60
 B3 0.63-0.69
 B4 0.76-0.90
Temporal resolution: 2.9 days
Swath width: 11 km

10:30am
Sun-cynch
470 km

Pan sensor

Spatial resolution: 1 m
Spectral resolution: 0.45-0.90
Temporal resolution: Less than 3 days
Swath width: 8 km
Ability to turn from side-to-side up to 45 degrees

MS sensor

Spatial resolution: 4 m
Spectral resolution: B1 0.45-0.52
 B2 0.52-0.60
 B3 0.625-0.695
 B4 0.76-0.90
Temporal resolution: Less than 3 days
Swath width: 11 km

ماهواره های راداری

- رادار برای مناطقی از زمین که پوشیده از ابر است مناسب میباشد.
- رادار از لحاظ قدرت تفکیک ضعیف میباشد و تصاویر آن دقیق نبوده و به همراه خود نویز دارند.
- رادار میتواند رطوبت زمین و توپوگرافی آن را اندازهگیری کند.

RADAR=Radio Detection And Ranging

RAR=Real Aperture Radar

SLAR=Side Looking Airborn Radar

SAR= Synthetic Aperture Radar

1. ماهواره ERS-1

- در سال 1991 ماهواره ERS-1 برای بررسی وضعیت آب دریاها، پیش بینی وضع هوا و نظارت بر آنها و همچنین بررسی منابع طبیعی و بطور کلی برای بررسی محیط زیست از فرانسه به فضا پرتاب شد.
- این ماهواره می تواند به کمک نیروی محرکه های که با استفاده از هیدرازین تامین میشود، نوسانات ایجاد شده در مدار نوسان خود را تصحیح کند.
- ارتفاع ماهواره 777 km می باشد و در هر 100 دقیقه یکبار زمین را دور میزند.
- مدار گردش آن نیز خورشید آهنگ است.

سنجنده های این ماهواره

الف) سنجنده ریز موج فعال راداری (AMI) Active Microwave Instrument

این سنجنده به کمک سیستم راداری خود که مجهز به 3 آنتن میباشد عمل انتشار امواج را انجام میدهد. سنجنده AMI دارای توان تفکیک حدود 1000 متر میباشد و در باند C (یکی از باندهای راداری) عمل کرده و میتواند موارد زیر را اندازهگیری کند.

- سرعت باد در سطح دریا:
در محدوده 22-4 متر بر ثانیه با دقت 2 متر (10٪)
- جهت حرکت باد در سطح دریا:
با دقت ± 20 درجه
- ارتفاع امواج بین 50 تا 100؟! متر:
با دقت 20٪

ب) سیستم رادار با دریچه مصنوعی (SAR) Synthetic Aperture Radar

سیستم رادار طوری طراحی شده است که هر چه ارتفاع بیشتر میشود نیاز به آنتن با طول بزرگتر نیست بلکه از آنتن با گشودگی تصنعی (SAR) استفاده می شود (در باند 5.3 GHZ).

- این سیستم از نوع راداری با دریچه (آنتن) مصنوعی است.
- توان تفکیک تصاویر در این سیستم 30×30 متر می باشد.
- عمدهترین کاربرد SAR تهیه نقشه های توپوگرافی از مناطقی که دارای پوشش دائمی ابر هستند، میباشد.

- از سایر کاربردهای SAR میتوان به مطالعات حرکت صفحات پوسته زمین از طریق اینترفروگرام (Interferogram) اشاره کرد.
- از آنجائیکه SAR بر اساس زمان فاصله را تعیین میکند، سیگنالها پس از برخورد با کوهها زودتر از درهها دریافت میشود (بر میگردد).
- توان تفکیک زمانی آن 3 روز است.
- از آن میتوان برای تهیه نقشه رطوبت استفاده کرد.
- از آن میتوان برای تشخیص گونههای مختلف گیاهی نیز استفاده کرد (تشخیص مزارع برنج).

ج) ارتفاعسنج راداری Radar Altimeter

- این سیستم در باند (Ku) عمل میکند.
- قطر آنتن آن 1/2 متر است.
- این سیستم فاصله ماهواره و سطح را با دقت محاسبه میکند و اگر سطح، یک سطح هموار باشد (مثل اقیانوس) دقت آن تا 10 سانتیمتر است ولی اگر سطح، یک سطح ناهموار باشد (مثل منطقه یخی ناهموار) دقت آن تا 40 سانتیمتر است.

د) سنجنده (ATSRM) Along -Track Scanning Radiometer and Microwave sounder

- این سنجنده یک سیستم غیر فعال راداری است.
- دارای 4 باند در مادون قرمز است که توانایی اندازه گیری درجه حرارت سطح دریا را با دقت 0/5 درجه در مناطقی به وسعت 50 کیلومتر مربع را دارد.
- دارای 2 باند امواج میکرو ویو می باشد که می تواند بخار آب موجود در اتمسفر را با دقت 10٪ در منطقه-ای به وسعت 25 کیلومتر مربع اندازه گیری نماید.

2. ماهواره Envisat-1

ENVISAT-1 is a European Space Agency (ESA) satellite launched on 1 March 2002. This satellite has a polar, circular, sun-synchronous 782-km orbit with a 35-day repeat cycle.

Sensors:

Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR):

AATSR

Band	Wavelength of Band Center (μm)	Resolution (m)
1	0.555 (green)	1000
2	0.659 (red)	1000
3	0.865 (NIR)	1000
4	1.6 (SWIR)	1000

Band	Wavelength of Band Center (μm)	Resolution (m)
5	3.7 (TIR)	1000
6	10.85 (TIR)	1000
7	12.0 (TIR)	1000

AATSR	<p>Application: Precise sea surface temperature, vegetation indices with improved visible atmospheric correction.</p> <p>Method: Passive conical scanning, with 2 scans across satellite track regions: nadir and 46.9 degrees forward.</p>	The Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR) measures radiation in infrared channels (3.7, 11.0, and 12.0 μm), and the near infrared and visible light channels (0.55, 0.67, 0.87, and 1.6 μm). Its primary mission is to measure sea surface temperature and land parameters such as vegetation indices. This instrument extends the mission of the ATSR instrument which has flown on ERS-1 and ERS-2.
ASAR	<p>Application: Ocean waves, sea ice extent and motion, land surface (deforestation, desertification).</p> <p>Method: Synthetic aperture radar, active phased-array antenna, with incidence angles between 15 and 45 degrees.</p>	The Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) instrument provides radar images of the earth's surface (both land and sea) for a variety of applications. The ASAR instrument extends the mission of the AMI SAR instruments flown on ERS-1 and ERS-2, and provides continuity of data for SAR users across those missions.

Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR):

ASAR's swath width is 400 km.

ASAR

Band	Frequency (GHz)	Resolution (m)
SAR C		30

Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS):

MERIS's swath width is 1150 km.

MERIS (Programmable)

Bands	Wavelength (μm)	Resolution (m)
up to 15	0.390-1.04	300 and 1200

Advanced Radar Altimeter (RA-2):

RA-2 is a radar altimeter for monitoring ocean topography.

5. منابع خطا در تصاویر ماهواره‌ای و تصحیح آنها

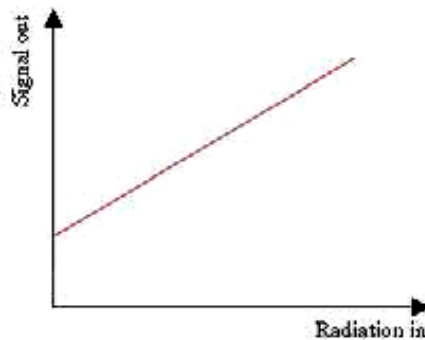
خطاها در تصاویر ماهواره‌ای به دو دسته تقسیم میشوند : خطاهای رادیومتری و خطاهای هندسی. خطاهای رادیومتری روی مقدار پیکسل تاثیر می گذارند. عوامل ایجاد خطاهای رادیومتریکی نیز به دو دسته تقسیم میشوند: اثرات اتمسفری و خطاهای دستگاهی. در واقع مقدار انرژی الکترومغناطیسی انعکاسی یا گسیلی از فاصله دور از زمین وقتی که به سنجنده میرسد، در اثر وجود اتمسفر، با انرژی الکترومغناطیسی انعکاسی یا گسیلی در سطح زمین یکسان نیست. خطاهای هندسی بر روی موقعیت پیکسلها و به عبارت دیگر بر شکل هندسی عوارض تاثیر میگذارد.

1. خطاهای رادیومتری

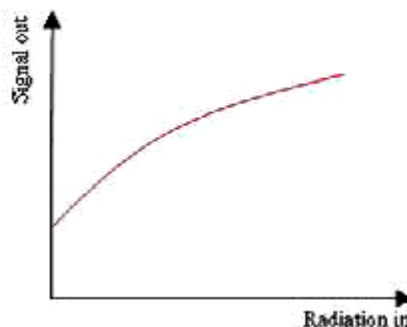
خطاهای رادیومتری دو گونه هستند: خطاهای دستگاهی و خطاهای اتمسفری. نحوه طراحی و عمل سنجنده می تواند باعث خطاهای دستگاهی شود. به آن خطای موجود در یک باند (within a band) می گویند. این خطا یک مسئله جدی است و احتیاج به تصحیح دارد. نوع دیگری از خطا، خطای موجود بین باندها (between bands) نام دارد و ناشی از جو (اتمسفر) است و بجز موارد خاص، چندان مهم نمیباشد.

1.1 خطاهای دستگاهی

آشکار سازها (detectors) عامل اصلی بروز خطاهای دستگاهی هستند. یک آشکار ساز ایده آل باید دارای خصوصیات انتقالی مناسبی باشد به عبارت دیگر با دریافت مقدار تابش معینی، سیگنال متناسب به آن مقدار را ایجاد میکند و افزایش یا کاهش سیگنال متناسب با مقدار ورود تابش به سنجنده باشد.

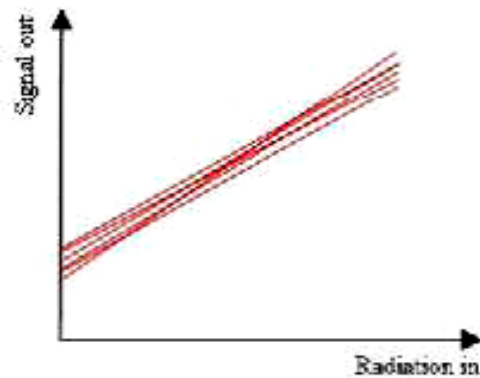
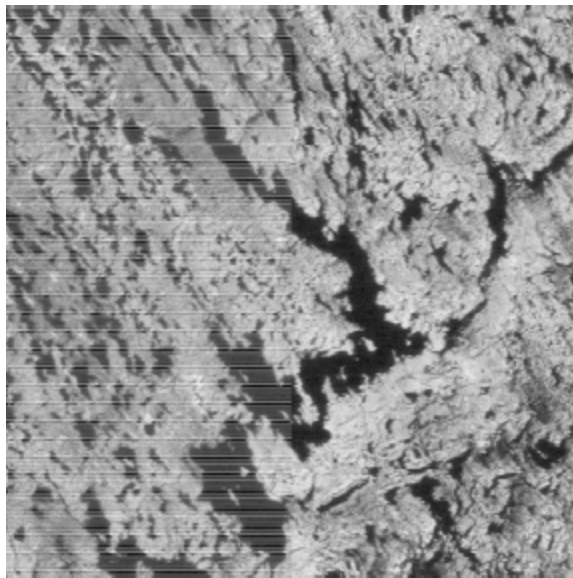


ولی عملاً آشکار سازها تا اندازه ای غیر خطی عمل میکنند.



سنجندهها در حالتی که حتی هیچ انرژی تابشی را دریافت نمیکنند سیگنالهای کوچکی را بوجود میآورند. این مسئله مربوط است به نویز الکتریکی دستگاه که در اثر حرارت بالاتر از صفر مطلق بوجود میآید. این پدیده را **dark current** میگویند در شکل این موضوع را **offset** نامیده‌ایم. به شیب خط نیز شیب انتقالی یا **Transfer Gain** می‌گویند.

معمولاً سنجندهها دارای چند آشکارساز می‌باشند که در یک باند داده تهیه می‌کنند. بعنوان مثال در **Landsat** با سنجنده **MSS**، 6 آشکارساز در یک زمان 6 خط اسکن را اندازه‌گیری میکنند. اگر این 6 آشکارساز دارای حساسیت‌های یکسان نباشند و دارای شدت و ضعف متفاوتی باشند، باعث ایجاد خطای **Striping** (نوارنوارشدگی تصویر) میشود که احتیاج به اصلاح دارد.



خطای Striping (نوار-نوار شدگی)

در اثر عدم کالیبره بودن دیتکتورهای متعدد، خطای **striping** به وجود می‌آید یعنی با افزایش تعداد دیتکتورها چون میزان حساسیت آنها با هم برابر نیست این خطا بوجود می‌آید. این خطا در سنجنده‌های روبشی در امتداد مسیر حرکت ماهواره و در سنجنده‌های الکترواپتیکال در امتداد عمود بر مسیر حرکت ماهواره است.

Destriping

برای برطرف کردن این خطا از روشهایی استفاده میشود:

1- یک خط اسکن را بعنوان مبنا در نظر گرفته و پارامترهای آماری آنرا با اندیس d و یک خط اسکن دارای خطای **striping** را در نظر گرفته و پارامترهای آماری آنرا با اندیس i نشان می‌دهیم. پیکسل اصلاح شده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$y = \frac{\sigma_d}{\sigma_i} x + m_d - \frac{\sigma_d}{\sigma_i} m_i$$

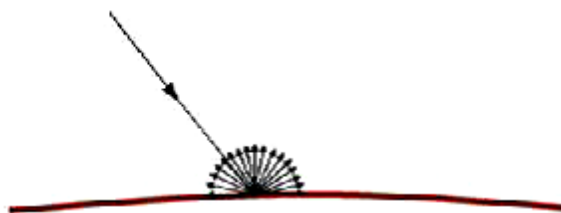
که در آن σ انحراف معیار، m میانگین، x پیکسل دارای خطا و y پیکسل اصلاح شده است.

2- از خطوط اسکنی که توسط یک دیتکتور بوجود آمده است، تصویر دیگری تهیه می شود و بعد با استفاده از هیستوگرام های مربوط می توان دو تصویر را با هم مقایسه کرد و با روشهای ریاضی هیستوگرام ها را به هم نزدیک کرد (Histogram Matching).

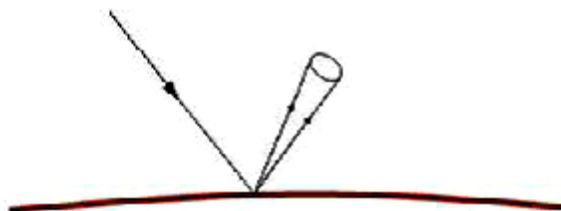
3- حیطه فرکانس

2.1 خطاهای ناشی از اثرات اتمسفری

خورشید به عنوان یک منبع انرژی، انرژی را در همه جهات ارسال می نماید (واحد انرژی بر حسب ژول بر ثانیه یا وات). شدت این انرژی در فضا، بصورت معکوس مربع فاصله انتشار مییابد و لذا برای یک فاصله مفروض می توان انرژی ارسالی را با وات بر متر مربع محاسبه کرد. این انرژی تابشی را $irradiance$ مینامند که یک معیار برای اندازهگیری میزان انرژیهای گسولی یا بنده در محدوده طیف الکترومغناطیس می باشد. می توان میزان $irradiance$ خورشید در سطح زمین را اندازهگیری کرد. اگر سطح زمین را یک پخش کننده کامل (Perfect Diffuser) فرض کنیم انرژی بازگشتی بصورت یکسان در نیمکره بالای هر نقطه مفروض پخش میشود.



مقدار انرژی که در یک جهت خاصی بر میگردد بر اساس شدت آن در یک زاویه مخروطی تعریف میشود.



علت آن این است که مقادیر مساوی انرژی در مخروط های مساوی انتشار مییابد این کمیت را $radiance$ می نامند و واحد آن وات بر متر مربع بر استرادیان می باشد ($wm^{-2}sr^{-1}$). معمولاً انرژی که از سمت منبع (خورشید) به هدف (زمین) میآید $irradiance$ و انرژی که از هدف (زمین) به ماهواره میرسد را $radiance$ میگویند.

فرض بدون اتمسفر بودن زمین

میزان گسیل انرژی از اجسام مختلف (شکل مربوط به طول موج غالب) به طول موج بستگی دارد و لذا گاهی از کلمه $irradiance$ طیفی استفاده می شود. ($wm^{-2}\mu m^{-1}$) $irradiance$ طیفی خورشید را با فرض اینکه هیچ اتمسفری اطراف زمین را احاطه نکرده باشد E_{λ} در نظر میگیریم اگر زاویه زنیط خورشید (زاویه خورشید نسبت به خط عمود وارد بر یک نقطه مفروض از زمین) θ باشد، انرژی $irradiance$ طیفی خورشید روی زمین را $E_{\lambda} \cos \theta$ میگوییم و $irradiance$ بین دو طول موج λ_1 و λ_2 عبارت است از:

$$E_{os} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \cos \theta d\lambda$$

(ofsun)

در سنجش از دور $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ را آنقدر باریک در نظر می گیرند که بتوان فرض کرد:

$$E_{os} = E_{\Delta\lambda} \cos \theta \Delta\lambda$$

و $E_{\Delta\lambda}$ عبارت است از میانگین irradiance طیفی درباند $\Delta\lambda$.

اگر زمین انرژی دریافتی را بطور کامل در نیمکره بالای نقطه‌های که انرژی را دریافت کرده منعکس نماید خواهیم داشت.

$$\text{Radiance} = \text{Irradiance} / \pi$$

(π) برای زاویه مخروطی نیمکره بالایی در نظر گرفته شده است) و اگر فرض کنیم سطح زمین دارای ضریب

انعکاسی R باشد (R نسبت انرژی منعکس شده را بیان می کند) ($R < 1.0$) بنابراین خواهیم داشت:

$$L = \frac{\text{Irradiance} * R}{\pi} = E_{\Delta\lambda} \cos \theta \Delta\lambda * \frac{R}{\pi}$$

که با دانستن L که توسط سنجنده اندازه‌گیری می شود میتوان انرژی سنجش شده توسط سنجنده را تعیین کرد. مقدار عددی که در سنجنده تولید میشود بستگی به مقدار L دارد اگر این مقدار عددی را DN (digital number) در نظر بگیریم که معمولا دارای یک min و یک max است (مثلا 0-255 برای TM) میتوانیم مقدار Radiance را با استفاده از رابطه زیر برای یک پیکسل محاسبه کنیم.

$$L = k * DN + L \text{ min}$$

که در آن:

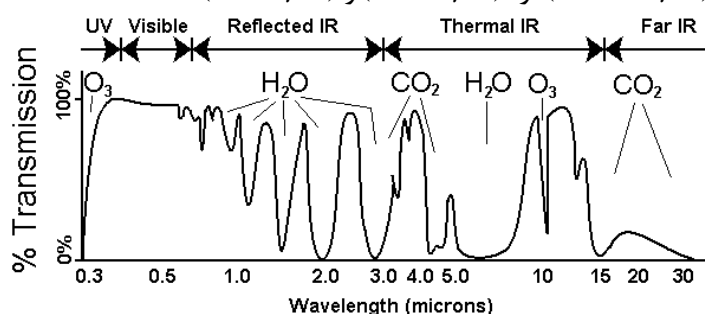
$$k = \frac{L \text{ max} - L \text{ min}}{255}$$

لازم به ذکر است که $L \text{ min}$ و $L \text{ max}$ برترتیب ماکزیمم و مینیمم Radiance هستند که توسط سنجنده قابل سنجش هستند. مقدار $L \text{ min}$ و $L \text{ max}$ معمولا توسط سازمان سازنده سنجنده به کاربران اعلام می شود.

فرض دارای اتمسفر بودن زمین

این فرض باعث می شود که فرمولهای قبل را تغییر دهیم. ذرات موجود در اتمسفر باعث پخش و جذب انرژی می - شوند. مولکولهای اکسیژن، دی اکسید کربن، ازن و آب اثرات زیادی در بعضی از باندها دارند و انرژی وارده را جذب و تبدیل به حرارت میکنند. به همین دلیل نیز سنجندهها طوری طراحی میشوند که محدوده حساسیت آنها، دور از این باندها باشد تا به این ترتیب اثرات اتمسفری به حداقل برسد.

این محدوده ها را روزنه های جوی یا Atmospheric windows می نامند. تعداد روزنه‌های جوی زیاد است ولی مهمترین آنها عبارتند از: $(0.7 - 1.5 \mu\text{m})$ و $(3 - 5.5 \mu\text{m})$ و $(7 - 14 \mu\text{m})$.



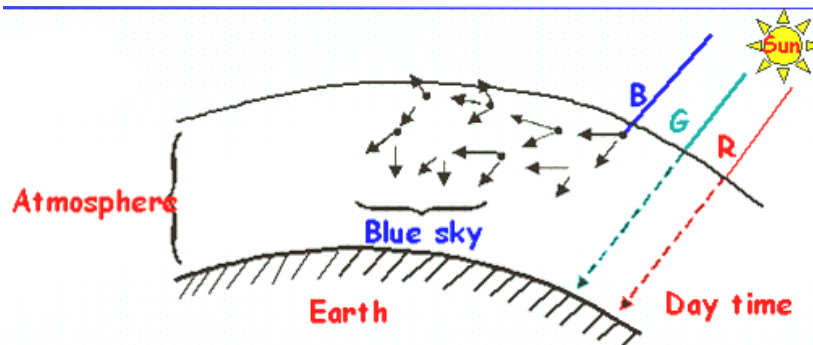
اغلب عامل پخش انرژی باعث ایجاد خطای رادیومتریک می شود. بطور کلی دو نوع مکانیزم پخش داریم:
 1- پخش توسط مولکولهای هوا بنام پخش Rayleigh Scattering که بستگی به معکوس توان چهارم طول موج دارد.

2- Aerosol (Mie) Scattering که باعث پخش Radiance در اثر برخورد با ذرات بزرگتر مانند ذرات haze یا ذرات دود میشود.

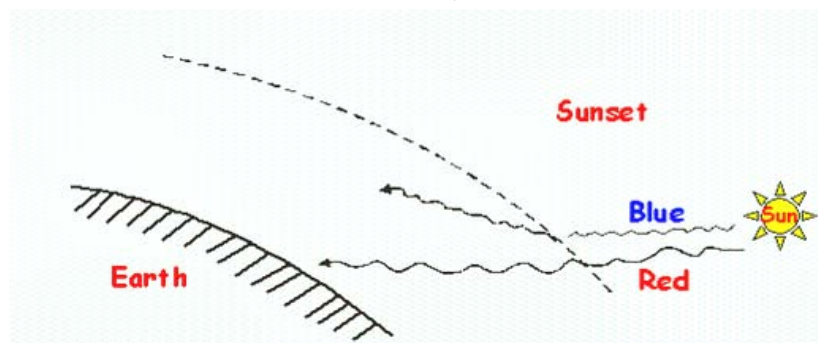
Mie Scattering به اندازه Rayleigh Scattering به طول موج بستگی ندارد و لذا اگر عناصر اتمسفری (مانند ذرات آب، ازن و غیره) خیلی بزرگتر از طول موج باشند (در حد 1-10 برابر طول موج، مثل مه دریا (fog, mist)، ابر و غبار) وابستگی به طول موج از بین می رود. به این ترتیب اتمسفر به صورت مانع عمل میکند.

نتیجه میگیریم که در یک اتمسفر ایده آل بدون ابر و مه و غبار، Rayleigh Scattering بیشترین تاثیر را در Radiance میگذارد.

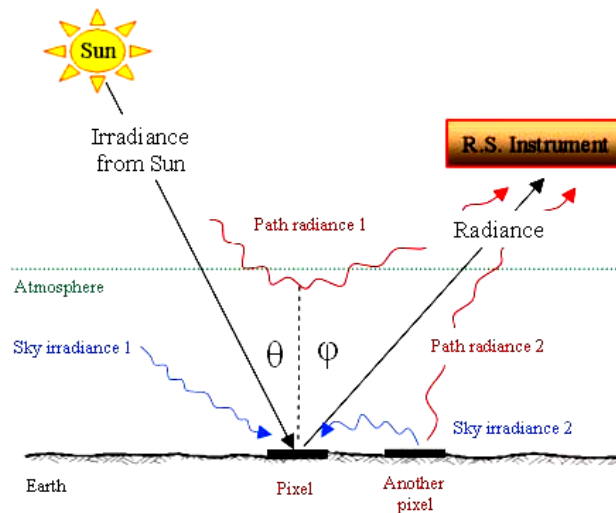
در یک آسمان صاف، آسمان به رنگ آبی دیده میشود. به این دلیل که در اثر پخش Rayleigh طول موجهای کوتاهتر (آبی) بیشتر از طول موجهای بلندتر (قرمز) پخش میشوند و لذا آسمان به رنگ آبی به نظر میرسد.



در هنگام غروب به علت اینکه اتمسفر بیشترین ضخامت را پیدا کرده و $\cos \theta$ زیاد میشود و چون در مسیر طولانی تر که رادیانس باید اتمسفر را طی کند، اکثر طول موجهای کوتاه نسبت به طول موجهای بلند از خط مستقیم دید پخش و دور میشوند لذا غروب را به رنگ قرمز میبینیم.



حال اثرات اتمسفری را با تجزیه و تحلیل عناصر شرکت کننده در نظر می گیریم



ضریب عبور (Transmittance)

بعلت وجود پخش جو، تمامی Irradiance ارسالی به زمین نمی رسد. نسبت انرژی که در حالت وجود اتمفسر به زمین می رسد، به انرژی که در حالت بدون اتمفسر به زمین می رسد را ضریب عبور (Transmittance) می گویند و آنرا با T_θ نشان می دهند. مقدار ضریب عبور اگر اتمفسر وجود نداشته باشد، صد در صد است. واضح است که θ وابستگی ضریب عبور را به زاویه زینت خورشید نشان می دهد. ضمناً ضریب عبور برای ماهواره نیز با T_ϕ نشان داده می شود که ϕ وابستگی آنرا به زاویه زینت ماهواره در موقع انعکاس نشان می دهد.

Sky Irradiance

انرژی تابشی در مسیر خودش در اتمفسر پخش شده و باعث می شود که یک پیکسل به دو صورت دریافت گردد که در شکل فوق با شماره های 1 و 2 نشان داده شده و آنرا با E_D نشان می دهند.

Path Radiance

بعلت وجود مکانیزم پخش، Radiance می تواند از یک پیکسل جانبی مستقیماً به سنجنده برسد در ضمن به همین دلیل نیز مقداری از Irradiance خورشید می تواند در اثر برخورد با ذرات جو پخش شده و به سنجنده برسد. چون هر دوی این خطاها در اثر تغییر مسیر یافتن انعکاس بوجود می آیند، به آنها Path Radiance می گویند و آنرا با L_P نشان می دهند.

بنابراین جمع کل irradiance در سطح زمین عبارت است از:

$$E_Q = E_{\Delta\lambda} \cdot T_\theta \cdot \cos \theta \Delta\lambda + E_D$$

که جایگزین فرمول $E_{os} = E_{\Delta\lambda} \cos \theta \Delta\lambda$ شده است.

حال Radiance عبارت خواهد بود از:

$$L_T = \frac{R}{\pi} (E_{\Delta\lambda} \cdot T_\theta \cdot \cos \theta \Delta\lambda + E_D)$$

در بالای اتمفسر جمع کل Radiance که به سنجنده می رسد برابر است با:

$$L_S = \frac{R}{\pi} \cdot T_\phi (E_{\Delta\lambda} \cdot T_\theta \cdot \cos \theta \Delta\lambda + E_D) + L_P$$

بنابراین در فرمول $L = k * DN + L_{min}$ که قبلاً ذکر شد بهر حال می توان رادیانس در نظر گرفته شده در حالت بدون اتمفسر را با استفاده از DN به رادیانس در نظر گرفته با حالت وجود اتمفسر تبدیل کرد.

منابع خطاهای هندسی

تعداد خطاهای هندسی که روی تصاویر ماهواره ای تاثیر می گذارند بیشتر از خطاهای رادیومتریک هستند.

Remotely sensed imagery typically exhibits *internal* and *external geometric error*

It is important to recognize the source of the internal and external error and whether it is *systematic* (predictable) or *nonsystematic* (random).

Systematic geometric error is generally easier to identify and correct than random geometric error.

Internal geometric errors are introduced by the remote sensing system itself or in combination with Earth rotation or curvature characteristics. These distortions are often *systematic* (predictable) and may be identified and corrected using pre-launch or in-flight platform ephemeris (i.e., information about the geometric characteristics of the sensor system and the Earth at the time of data acquisition). Geometric distortions in imagery that can sometimes be corrected through analysis of sensor characteristics and ephemeris data include:

- skew caused by Earth rotation effects,
- scanning system–induced variation in ground resolution cell size,
- scanning system one-dimensional relief displacement, and
- scanning system tangential scale distortion.

External geometric errors are usually introduced by phenomena that vary in nature through space and time. The most important external variables that can cause geometric error in remote sensor data are random movements by the aircraft (or spacecraft) at the exact time of data collection, which usually involve:

- *altitude* changes, and/or
- *attitude* changes (roll, pitch, and yaw).

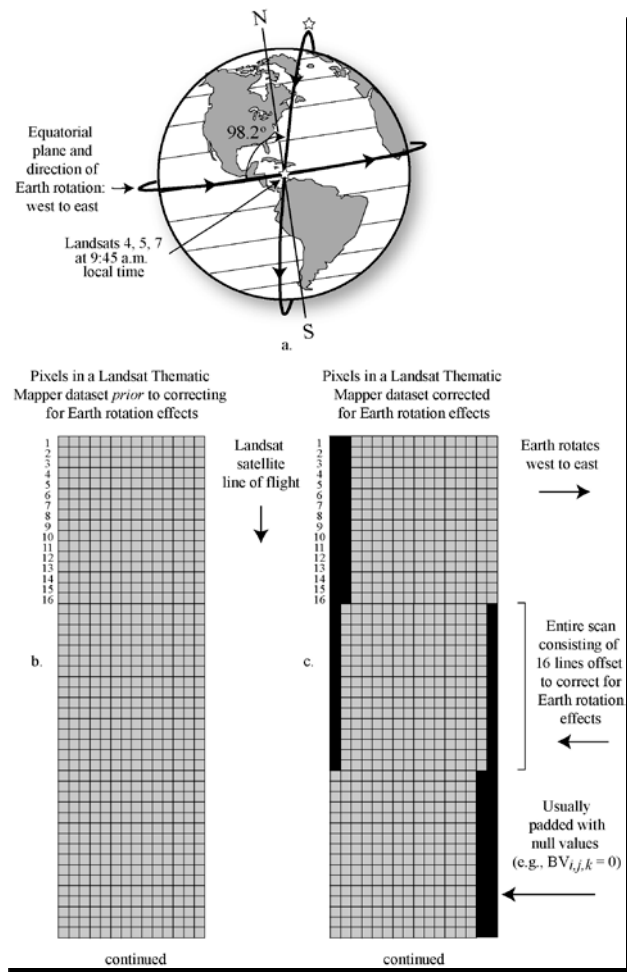
بطور کلی خطاهای هندسی می توانند مربوط به:

- 1 - دوران زمین در هنگام تهیه تصویر
- 2 - بزرگ بودن FOV در بعضی از سنجنده ها
- 3 - کروی بودن زمین
- 4 - غیر ایده ال بودن سنجنده ها
- 5 - تغییرات در ارتفاع و زاویه و سرعت سکوها
- 6 - اثرات پانورامیک

الف) اثرات دوران زمین

در طول مدتی که یک frame (تصویر) از ماهواره بوجود می آید، کره زمین مقداری از غرب به شرق دوران می کند این باعث می شود سطری که در آخر frame است کمی به سمت غرب متمایل شود (نسبت سطر اول در

شروع تهیه تصویر). بنابراین لازم است انتهای تصویر را به اندازه حرکت کره زمین در طول زمان تصویربرداری به سمت غرب ببریم و سایر خطوط اسکن های میانی را با نسبت های متناسب جابجا کنیم.



بعنوان مثال برای لندست 1 و 2 و 3 سرعت زاویه ای ماهواره $W_o = 1.014 \text{ mrad s}^{-1}$ (میلی رادیان بر ثانیه) است بنابراین برای یک frame (با اندازه 185×185 کیلومتر)، ثانیه طول می کشد تا یک تصویر تهیه شود

$$t_s = \frac{L}{r_e W_o} = \frac{185}{6.37816 \times 1.014} = 28.6s \quad \text{به این ترتیب}$$

که در آن شعاع زمین $r_e = 6.37816 \text{ Mm}$ و $t_s = 28.6(s)$ است.

از طرفی سرعت حرکت سطح زمین در عرض جغرافیایی φ با فرمول زیر و در عرض جغرافیایی 33.8 درجه، محاسبه می شود

$$V_e = W_e r_e \cos \varphi = 385.4 \frac{m}{s} \quad (\varphi = 33.8^\circ)$$

پس سطح زمین به اندازه ΔX_e که با فرمول زیر محاسبه می شود حرکت می کند

$$\Delta X_e = v_e t_s = 0.3854 \times 28.6 = 11.02 \text{ km}$$

ولی این میزان حرکت زمین در امتداد عمود بر امتداد شمال به جنوب است و لذا برای محاسبه میزان حرکت با احتساب زاویه انحراف ماهواره داریم: $\Delta X = \Delta X_e \cdot \cos \alpha$ ، زاویه انحراف ماهواره در این مثال $\alpha = 98.2$ درجه

$$\Delta X = \left(\frac{m}{s}\right) \cos \varphi \cos \alpha \cdot L$$

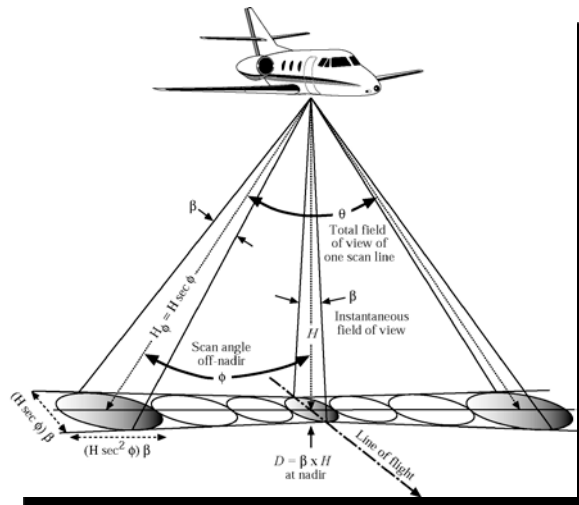
ب) خطای پاورامیک

در سنجنده ها زاویه IFOV ثابت است و به این ترتیب اندازه پیکسل ها در دو سر اسکن لاین از اندازه پیکسل بزرگتر است اگر اندازه IFOV را β و اندازه پیکسل را در نادیر P فرض کنیم اندازه پیکسل در حالتیکه زاویه اسکن θ باشد از فرمول زیر بدست می آید.

$$P_{\theta} = P \sec^2 \theta \quad (\text{در امتداد محور } X)$$

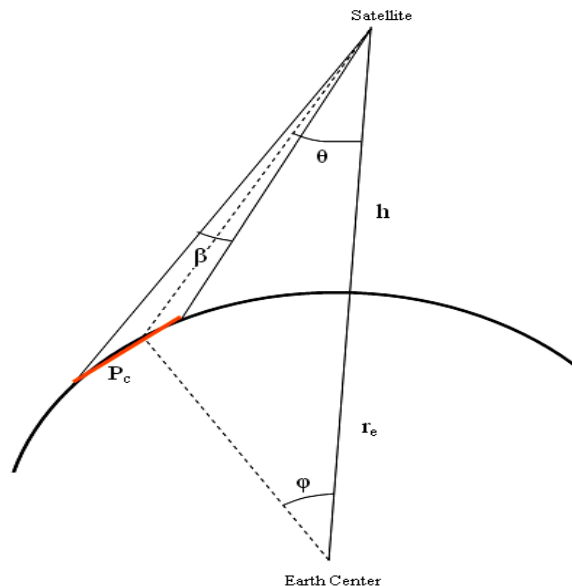
$$P_{\theta} = P \sec \theta \quad (\text{در امتداد محور } Y)$$

برای مقادیر کوچک θ می توان این خطا را نادیده گرفت ، به عنوان مثال در زلدست 4 و 5 بزرگترین مقدار θ ، 7/5 درجه است. بنابراین $P_{\theta} = 1.02P$ که قابل اغماض است در حالیکه برای سنجنده AVHRR این مقدار برای $\theta = 54$ درجه، خیلی بزرگ می شود.



ج) خطای مربوط به کرویت زمین

در تصور برداری هوایی بعلت پایین بودن ارتفاع یا در تصاویر ماهواره های که عرض گذر کم است این خطا بسیار کوچک و قابل چشم پوشی است ولی در ماهواره های مثل ماهواره NOAA که ارتفاع آن از 800 کیلومتر بیشتر میباشد و عرض گذر نیز مقداری بزرگ است ، خطای بزرگی ایجاد میشود . البته در محدوده نادیر کرویت زمین خطای ناچیزی ایجاد میکند که قابل اغماض است .



ولی در مناطق انتهایی خط اسکن این مقدار بسیار زیاد بوده و اندازه پیکسل از این فرمول محاسبه می شود.

$$P_c = \beta [h + r_e (1 - \cos \phi)] \sec \theta \cdot \sec(\theta + \phi)$$

ϕ : زاویه مرکزی زمین نسبت به پیکسل

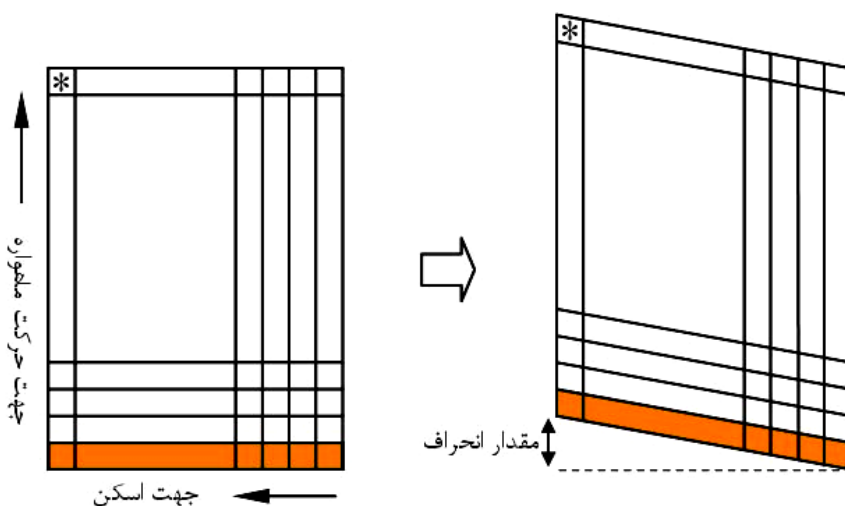
h : ارتفاع

β : IFOV

در ماهواره NOAA با $\theta = 54^\circ$ و $\phi = 12^\circ$ اگر کروییت زمین نادیده گرفته شود اندازه پیکسل 2.89 برابر و اگر کروییت زمین را در نظر بگیریم اندازه پیکسل 4.94 بار بزرگتر از اندازه پیکسل در نادیر خواهد بود.

د) خطا در اثر طول زمان یک خط اسکن

یک خطای جابجایی در اثر طول زمان یک خط اسکن در سنجنده هایی که پیکسل به پیکسل را در هر خط اسکن، تصویر برداری می کنند (مثل سنجنده های نوری - مکانیکی)، بوجود می آید و در مدت زمانی که یک خط اسکن کامل می شود ماهواره مقداری به جلو رفته و پیکسل های آخر خط کمی جلوتر از پیکسل های ابتدای خط قرار می گیرند.

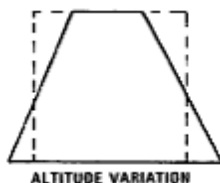


بعنوان مثال زمان لازم برای اسکن کردن یک خط از سنجنده (MSS)، 33 میلی ثانیه (1/30 ثانیه) است. در طول

این زمان، ماهواره که با سرعت $\frac{6.467 \text{ km}}{s}$ حرکت می کند حدود 213 متر به جلو رفته است و با توجه به اندازه پیکسل MSS، حدود 3 پیکسل خطا ایجاد شده است.

ه) خطاهای مربوط به عدم تعادل سکو

تغییرات ارتفاع: تغییرات در ارتفاع سکو منجر به تغییرات در اندازه منطقه مورد سنجش میشود. وقتی که ارتفاع بیشتر میشود با توجه به IFOV و FOV ثابت، منطقه بزرگتری سنجش می گردد. این مسئله باعث کندی عبور ماهواره از بالای منطقه مورد نظر شده و باعث میشود اطلاعات در سطرها فشردهتر شود.

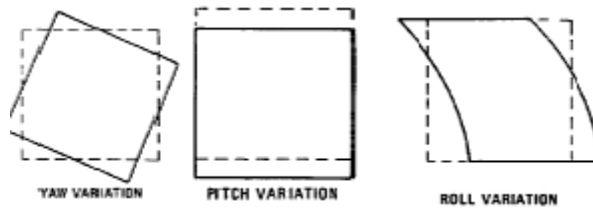


تغییرات سرعت: تغییرات سرعت سکو از orbit eccentricity و عدم کروی بودن کامل زمین ناشی شده و باعث میشود اندازه گذر در امتداد حرکت مسیر ماهواره تغییر کند.

دوران ها

Roll: اگر محور حرکت ماهواره را x بنامیم دوران حول محور x را roll می نامند.
Pitch: دوران حول محور y ، دوران Pitch را ناشی می شود که باعث میشود تا سنجنده، جلوتر یا عقبتر را اسکن کند.

Yaw: دوران حول محور z



(و) خطای Aspect Ratio

این خطا به معنی تفاوت مقدار طول پیکسل نسبت به مقدار عرض پیکسل می باشد و در اثر روی هم قرار گرفتن IFOV ها بوجود می آید مثلا اگر در یک خط اسکن اندازه گیریها، (Sample ها) که منجر به تولید عدد ها می شوند، سریعتر از حرکت IFOV صورت می گیرد

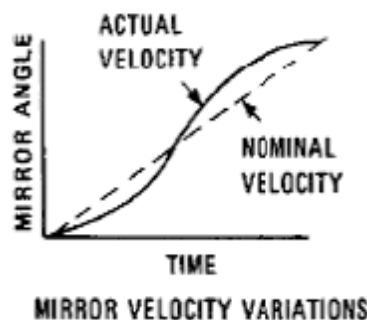
حالت مطلوب	36	25	10
------------	----	----	----	-------

حالت موجود	36	25	10
------------	----	----	----	-------

بعنوان مثال در ماهواره اندست سنجنده MSS اندازه پیکسل $79*56m$ است که بصورت مربع نیست، وقتی تصویری با این خطا روی صفحه مونیاتور به نمایش در می آید تصویر، عوارضی پهن تر از عوارض واقعی روی زمین ارائه می دهد.

(ح) خطای ناشی از Sensor Scan nonlinearities

این خطا مربوط به سنجنده هایی است که دارای آئینه نوسان کننده هستند. در ابتدا و انتهای هر نوسان سرعت آئینه نوسان کننده تغییر می کند این مسئله باعث می شود که در نزدیک لبه تصویر وضعیت غیر خطی بوجود بیاید.



تصحیح خطاهای هندسی

برای تصحیح خطاهای هندسی دو روش کلی وجود دارد.

1. روش مبتنی بر مدل های فیزیکی (اصطلاحاً موشکافانه)

تصحیح خطای هندسی با مدل های فیزیکی ، واقعیت فیزیکی و هندسه دید را انعکاس می دهد . این تصحیح هندسی می تواند به یکی از دو صورت زیر انجام شود:

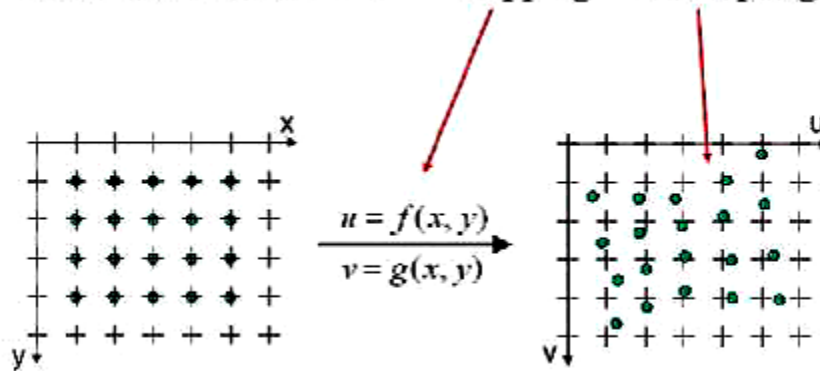
تصحیح هندسی به صورت مرحله به مرحله با یک تابع ریاضی برای هریک از خطاها (تغییر شکل ها) انجام می شود و عموماً در ایستگاههای گیرنده زمینی توسط توزیع کنندگان تصاویر برای عرضه محصولات خود با ارزش افزوده بیشتر انجام می گیرد. همچنین این تصحیح می تواند به صورت همزمان با یک تابع ریاضی ترکیبی برای تمام خطاها انجام شود. از این نظر، این نوع تصحیح هندسی وابسته به سنجنده مفروض است و قابل استفاده در سنجنده دیگر نمی باشد. عموماً استفاده کنندگان نهایی از این روش استفاده کرده و آنرا ترجیح می دهند.

2. روش مبتنی بر مدل های تجربی دو بعدی و سه بعدی

به کمک یک رابطه ریاضی بین آدرس پیکسل ها در تصویر و نقاط متناظر آنها بر روی زمین یا نقشه ارتباط برقرار می شود و می توان گفت این مدلها مستقل از هندسه تصویر برداری هستند. بطور کلی برای هر تبدیل هندسی مراحل تعیین ضرایب و نمونهبرداری مجدد باید به ترتیب انجام شود که در شکل زیر میتوان آن را مشاهده نمود.

Geometric correction = Geometric transformation + Radiometric resampling

Geometric transformation = Mapping + Resampling



مدلهای تجربی بر روی توابع ریاضی مختلف بنا شده اند که مرسوم ترین آنها توابع چندجمله ای می باشد.

روش چندجمله ای

این روش بدلیل آنکه به منابع خطا وابسته نیست، لذا به ماهواره و سنجنده وابسته نمی باشد و یکی از روشهای متداول در تصحیح هندسی محسوب می شود.

برای اجرای این روش لازم است ارتباط بین سیستم مختصات تصویر و مختصات یکسری نقاط معلوم Ground Control Points (GCPs) (که از روی نقشه منطقه مورد نظر یا با استفاده از سیستم تعیین موقعیت GPS بدست آمده است) به کمک توابع f و g محاسبه شود.

$$u = f(x, y)$$

$$v = g(x, y)$$

اگر توابع f و g معلوم باشند می توان با استفاده از محل نقاط روی نقشه، محل نقاط روی تصویر را پیدا کرد. به این ترتیب می توان تصویری را بوجود آورد که از نظر هندسی همانند نقشه و از نظر طیفی یا رنگی یا مقدار پیکسل ها همانند تصویر ماهواره ای باشد.

تعیین ضرایب چند جمله ای ها

از آنجاکه توابع f و g وجود ندارند باید آنها را برای تصاویر مختلف بصورت جداگانه محاسبه نمود. بطور کلی چند جمله ایهایی که برای تصحیح هندسی تصاویر به کار می روند، از مرتبه 1، 2 و 3 هستند که از بین آنها معمولا چند جمله ای مرتبه دوم بیشتر بکار می رود. فرمول کلی چند جمله ای مرتبه اول بصورت زیر است:

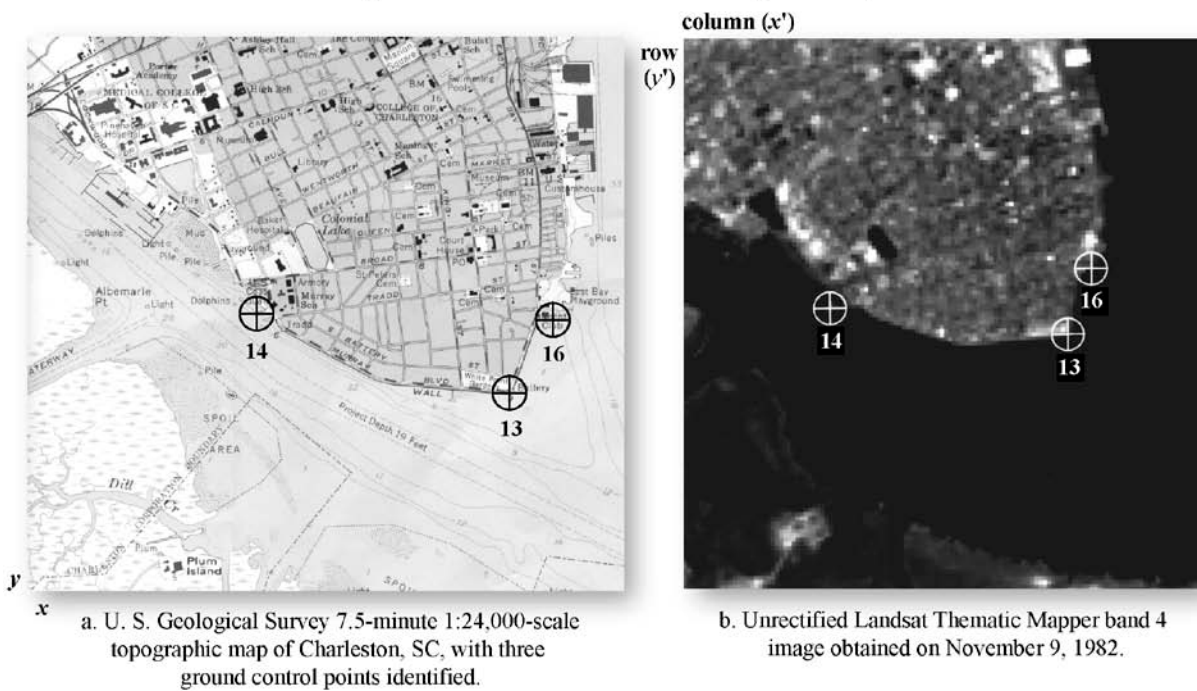
$$u = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y$$

Generally, for moderate distortions in a relatively small area of an image (e.g., a quarter of a Landsat TM scene), a *first-order, six-parameter, affine (linear) transformation* is sufficient to rectify the imagery to a geographic frame of reference. This type of transformation can model six kinds of distortion in the remote sensor data, including:

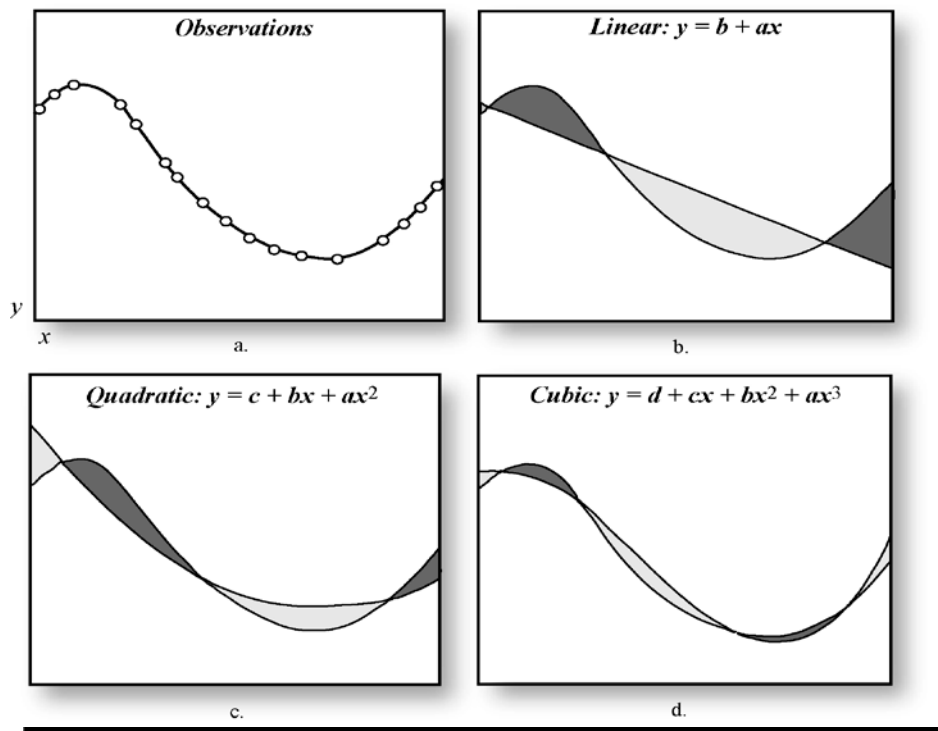
- *translation* in x and y ,
- *scale* changes in x and y ,
- *skew*, and
- *rotation*.

Selecting Ground Control Points for Image-to-Map Rectification



به نقاط مختصاتداری که برای تصحیح هندسی از آنها استفاده می شود، نقاط کنترل زمینی یا Ground Control Point (GCP) می گویند. محل این نقاط معمولا تقاطع جاده ها، خمیدگی رودخانهها، باندهای فرودگاه

و یا نقاطی که به لحاظ هندسی موقعیت مشخص داشته باشند، انتخاب میشود. برای چندجمله‌های مرتبه اول حداقل به سه GCP، برای چندجمله‌های مرتبه دوم به شش GCP و برای مرتبه سوم به ده GCP نیاز است.



Concept of how different-order transformations fit a hypothetical surface illustrated in cross-section.

- a) Original observations.
- b) First-order linear transformation fits a plane to the data.
- c) Second-order quadratic fit.
- d) Third-order cubic fit.

فرمول کلی چند جمله ای مرتبه دوم نیز بصورت زیر است:

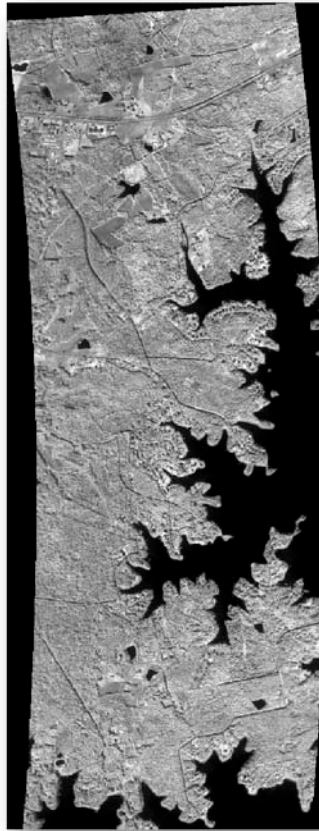
$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

در روابط فوق، ضرایب a_0 تا a_5 و b_0 تا b_5 مجهول هستند. لازم است حداقل 6 نقطه با مختصات معلوم که موقعیت آنها به خوبی بر روی تصویر قابل شناسایی باشند، انتخاب شوند. مقادیر u و v ، و x و y مربوط به هر 6 نقطه متناظر را در روابط چند جمله ای قرار داده و دستگاه معادلات بدست آمده بکمک جبر ماتریسی حل می شود. با توجه به اینکه در اینجا یک مسئله سرشکنی و جبر ماتریسیها برای برآورد مجهولات مطرح است، لازمست به گونه ای عمل شود که ماتریس عملگر، کمبود رنک نداشته باشد. بنابراین توزیع

نقاط باید به گونه ای باشد که در یک امتداد و یک خط نباشد. در این صورت مقادیر هر یک از پارامترهای فوق بدست آمده و به عبارت دیگر توابع f و g بدست می آیند. همانطور که بیان شد، برای چندجمله‌های مرتبه اول حداقل به سه GCP، برای چندجمله‌های مرتبه دوم حداقل به شش GCP و برای چندجمله‌های مرتبه سوم حداقل به ده GCP نیاز است. در عمل معمولاً تعداد GCP‌های بیشتری با پراکندگی و تراکم مناسب در کل محدوده تصویر انتخاب میشوند و ضرایب a_i و b_j را با استفاده از روش کمترین مربعات بدست می‌آیند. به این ترتیب GCP‌هایی که دارای خطای زیادی هستند از محاسبات حذف می‌شوند.

ATLAS Imagery of Lake Murray, SC, Rectified Using a Second-order Polynomial



NASA ATLAS near-infrared image of Lake Murray, SC, obtained on October 7, 1997, at a spatial resolution of 2×2 m. The image was *rectified using a second-order polynomial* to adjust for the significant geometric distortion in the original dataset caused by the aircraft drifting off course during data collection.

نمونه برداری مجدد (Resampling)

بعد از تعیین توابع چند جمله ای به کمک GCP‌ها، مرحله بعدی پیدا کردن کلیه نقاط تصویر، متناظر با نقاط مربوط به آن در نقشه می باشد. برای این منظور:
 (a) گرید را با مشخصات نقشه در نظر می گیریم.
 (b) فواصل گرید را بر اساس اندازه پیکسل مورد نیاز برای تصویر جدید در نظر می گیریم.

لزومی ندارد که فواصل گرید همان فواصل گرید تصویر ماهواره ای تصحیح شده باشد (c) با استفاده از توابع f و g که ضرایب آنها را تعیین کرده ایم برای کلیه نقاط گرید، نقاط متناظر آنها را روی تصویر اولیه ماهواره ای پیدا می کنیم.

(d) اگر فرض کنیم که نقاط پیدا شده (u, v) ، دقیقا بر مرکز پیکسل در تصویر منطبق باشند (یعنی اعداد صحیح باشند) آنگاه مقدار موجود در این پیکسل ها را به محل جدیدشان بر روی گرید منتقل می کنیم. اما از آنجاکه غالبا مقادیر بدست آمده، اعداد صحیح نمی باشند از انترپولاسیون مقادیر پیکسلهای مجاور استفاده می کنیم.

درونیابی (Interpolation)

چند روش برای درونیابی مقادیر پیکسلها وجود دارد که برخی از مهمترین آنها عبارتند از:

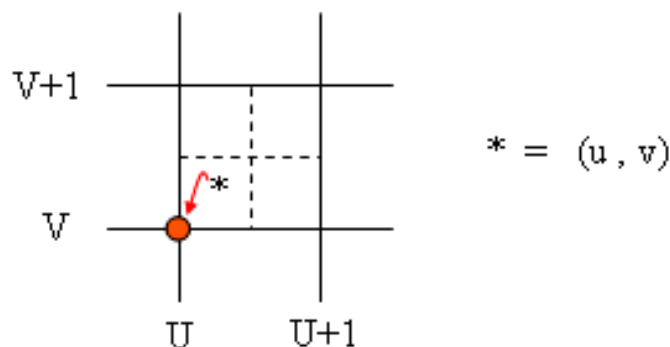
- 1- Nearest Neighbor Resampling
- 2- Bilinear Interpolation
- 3- Cubic Convolution Interpolation

Nearest Neighbor (NN)

در این روش درجه خاکستری نزدیکترین پیکسل همسایه در نظر گرفته میشود و در عمل کافی است مختصات پیکسل تبدیل شده را به نزدیکترین عدد صحیح گرد کنیم.

$$I(u, v) = I(U + m, V + n) = I(\text{Round}(U + m), \text{Round}(V + n)) \quad 0 < m, n < 1$$

که در آن U, V جزء صحیح و m, n جزء اعشار پیکسل تبدیل شده هستند.

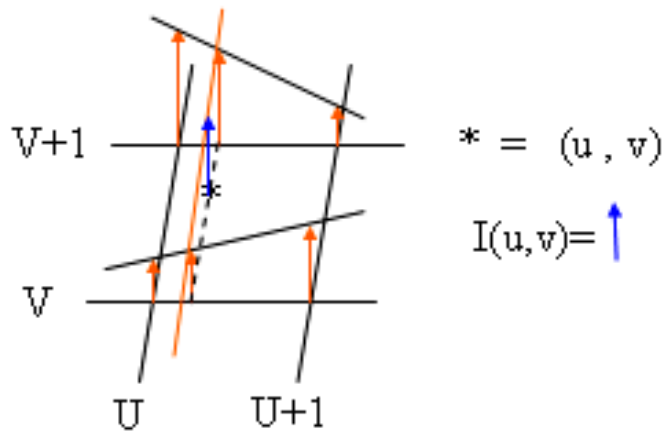


مزیت این روش این است که می توان از این نوع تصویر برای طبقه بندی استفاده کرد. در این حالت مقدار پیکسل ها در تصاویر تصحیح شده همان مقادیر پیکسل ها تصاویر اولیه است با این تفاوت که به محل های جدیدی منتقل شده اند.

Bilinear Interpolation (BI)

در این روش یک سطح **bilinear** روی چهار پیکسل اطراف براز آمده می شود و مقدار این سطح در مختصات پیکسل مورد نظر به عنوان درجه خاکستری به آن نسبت داده می شود. به عبارت دیگر در این روش از سه انترپولاسیون خطی روی چهار نقطه اطراف u و v استفاده می شود.

$$\begin{aligned}
 I(u,v) &= I(U+m, V+n) = I(U,V) + m(I(U+1,V) - I(U,V)) \\
 &\quad + n(I(U,V+1) - I(U,V)) \\
 &\quad + mn(I(U+1,V+1) + I(U,V) - I(U,V+1) - I(U+1,V))
 \end{aligned}$$



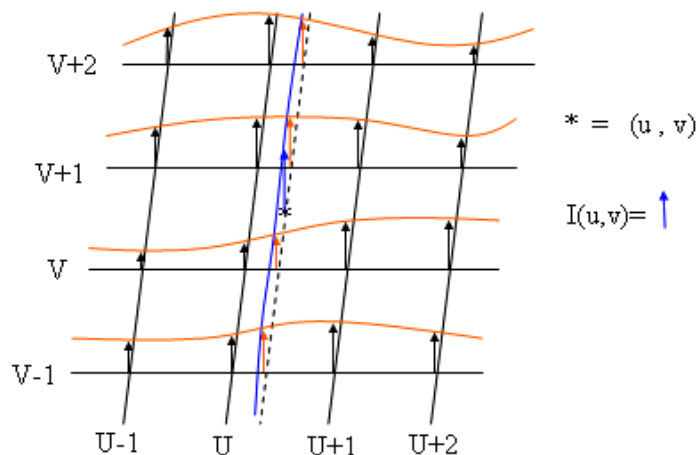
Cubic Convolution (CC)

در این روش درجه خاکستری پیکسل مورد نظر با درونیایی cubic از 16 پیکسل اطراف آن محاسبه می شود. معمولاً در این روش از منحنی های درجه 3 استفاده می شود که برای کاهش زمان پردازش در دو مرحله به صورت زیر انجام می شود:

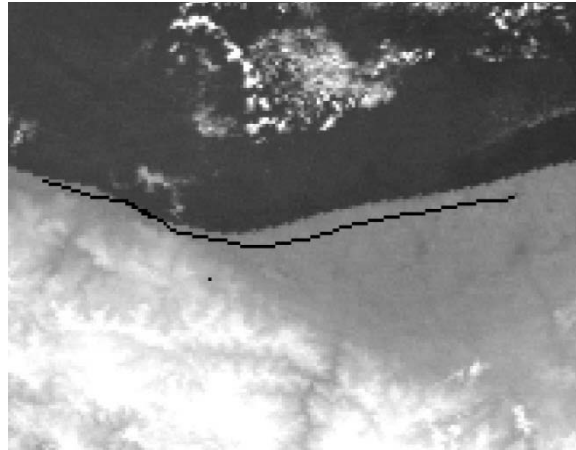
$$\begin{aligned}
 I(t, V+n) &= -n(1-n)^2(I(t, V-1)) \\
 &\quad + (1-2n^2+n^3)(I(t, V)) \\
 &\quad + n(1+n-n^2)(I(t, V+1)) \\
 &\quad - n^2(1-n)(I(t, V+2))
 \end{aligned}$$

که در آن برای $t = U-1, U, U+1, U+2$ محاسبه می شود، سپس در مرحله دوم خواهیم داشت:

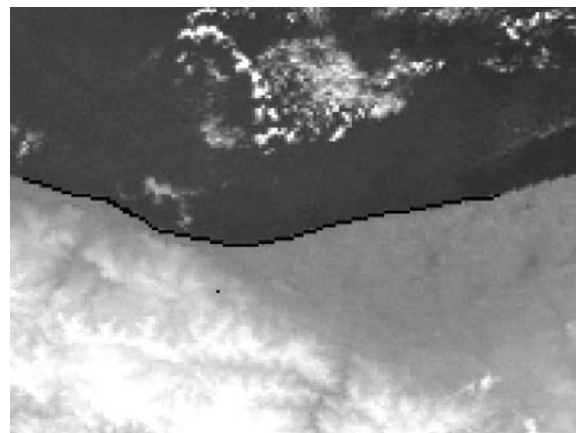
$$\begin{aligned}
 I(U+m, V+n) &= -m(1-m)^2(I(U-1, V+n)) \\
 &\quad + (1-2m^2+m^3)(I(U, V+n)) \\
 &\quad + m(1+m-m^2)(I(U+1, V+n)) \\
 &\quad - m^2(1-m)(I(U+2, V+n))
 \end{aligned}$$



با توجه به اینکه در اغلب کاربردهای داده های سنجش از دور به اطلاعات رادیومتریک تصویر نیاز است، این روش مناسب نبوده ولی در مقابل موجب هموار شدن تصویر می گردد و بطور کلی به عنوان یک عملگر گران و با کیفیت بالا مطرح است. به عبارت دیگر در صورتیکه بخواهیم تصویر را طبقه بندی کنیم بهتر است از این روش استفاده نکنیم زیرا به شدت مقادیر پیکسل ها را تغییر می دهد. در ادامه تصویر نهایی بدست آمده بعد از انجام مراحل **mapping** و **resampling** بر روی تصویر NOAA-AVHRR مشاهده میشود.



(a) Coastline in south of Caspian Sea and north of Tehran before geometric correction.



(b) Performing affine transform to correct the image coordinate.

Types of Geometric Correction

*image-to-map rectification, and
image-to-image registration.*

Image Mosaicking

Mosaicking n rectified images requires several steps:

1. Individual images should be rectified to the same map projection and datum. Ideally, rectification of the n images is performed using the same intensity

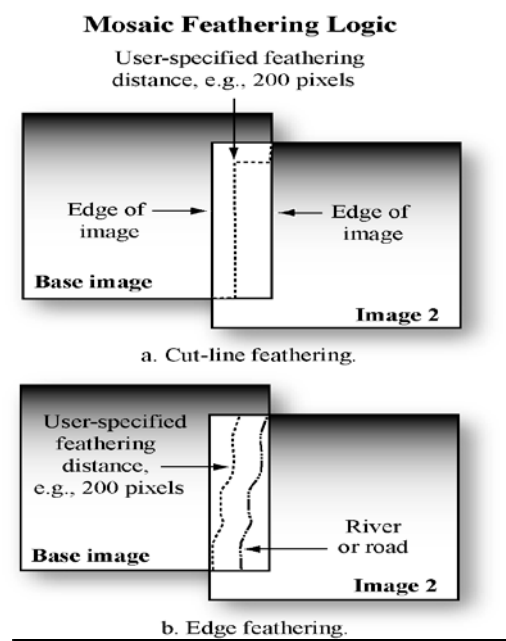
interpolation resampling logic (e.g., nearest-neighbor) and pixel size (e.g., multiple Landsat TM scenes to be mosaicked are often resampled to 30×30 m).

2. One of the images to be mosaicked is designated as the *base image*. The base image and *image 2* will normally overlap a certain amount (e.g., 20% to 30%).

3. A representative *geographic area in the overlap region* is identified. This area in the base image is contrast stretched according to user specifications. The histogram of this geographic area in the base image is extracted. The histogram from the base image is then applied to image 2 using a *histogram-matching algorithm*. This causes the two images to have approximately the same grayscale characteristics.

4. It is possible to have the pixel brightness values in one scene simply dominate the pixel values in the overlapping scene. Unfortunately, this can result in noticeable seams in the final mosaic. Therefore, it is common to blend the seams between mosaicked images using *feathering*. Some digital image processing systems allow the user to specify a feathering buffer distance (e.g., 200 pixels) wherein 0% of the base image is used in the blending at the edge and 100% of image 2 is used to make the output image. At the specified distance (e.g., 200 pixels) in from the edge, 100% of the base image is used to make the output image and 0% of image 2 is used. At 100 pixels in from the edge, 50% of each image is used to make the output file.

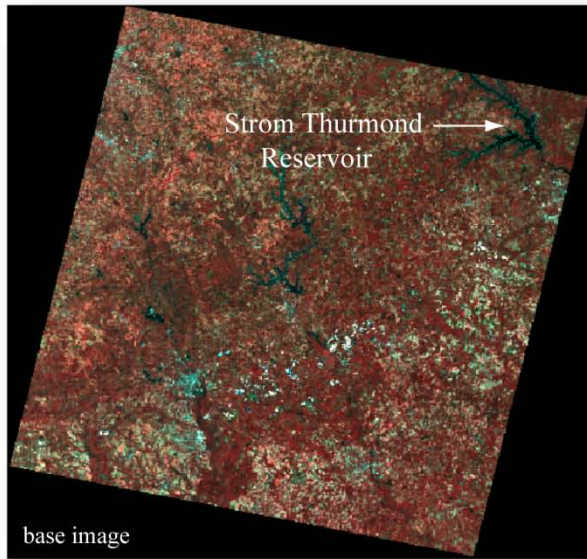
The seam between adjacent images being mosaicked may be minimal by *cut-line feathering logic*, or *edge feathering*.



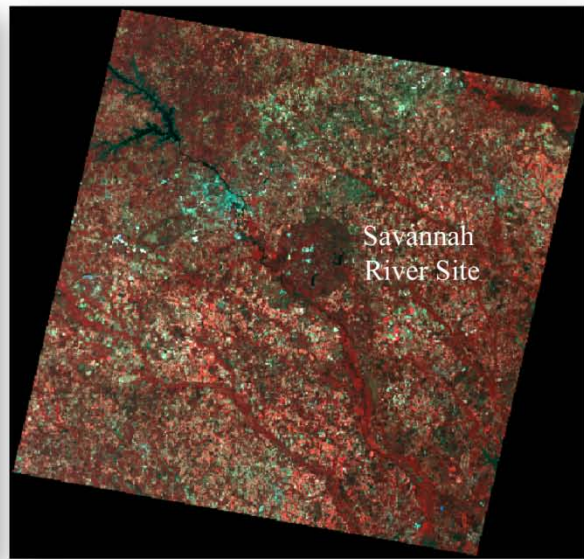
Sometimes analysts prefer to use a linear feature such as a river or road to subdue the edge between adjacent mosaicked images. In this case, the analyst identifies a polyline in the image (using an annotation tool) and then specifies a buffer distance away from the line as before where the feathering will take place. It is not absolutely

necessary to use natural or man-made features when performing cut-line feathering. Any user-specified polyline will do.

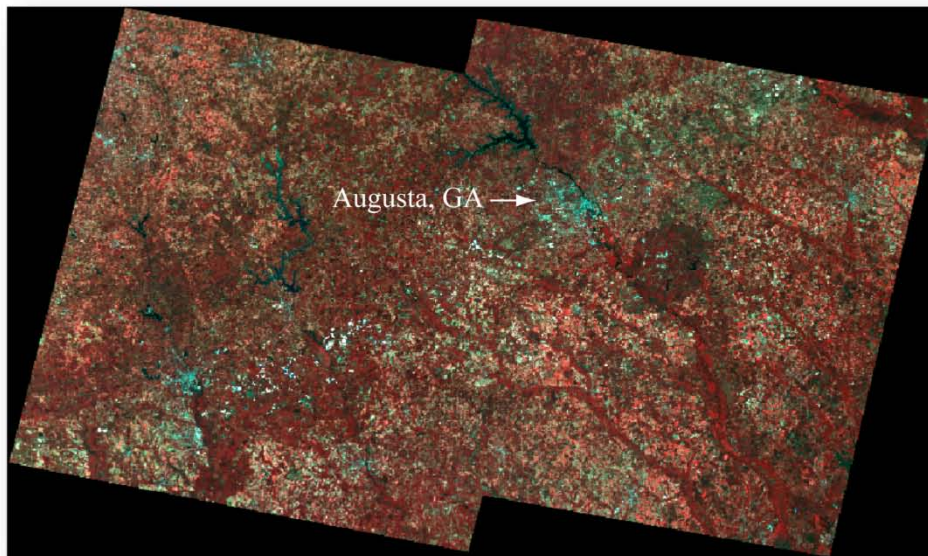
Image Mosaicking



a. Rectified Landsat ETM⁺ image of eastern Georgia obtained on October 3, 2001 (bands 4, 3, 2; Worldwide Reference System—Path 18, Row 37).



b. Rectified Landsat ETM⁺ image of western South Carolina obtained on October 26, 2001 (bands 4, 3, 2; Worldwide Reference System—Path 17, Row 37).



c. Feathered mosaic of rectified Landsat ETM⁺ imagery of eastern Georgia and western South Carolina.