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

مروری بر ماهواره‌ها و سنجنده‌ها در سنجش از دور

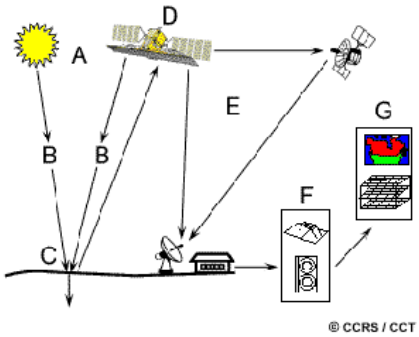
محمد عزیز محمدی[۱]، محمد سعادت سرشت[۲]

چکیده

مقاله حاضر بحثی است مقدماتی در موضوع انواع سکوهای ماهواره‌ای و سنجنده‌های بکار رفته در آنها در سنجش از دور که همراه با جزئیات مربوطه ارایه می‌شود.

۱- مقدمه: فرآیند سنجش از دور

سنجش از دور علم و هنر اخذ اطلاعات از سطح زمین بدون تماس مستقیم با آن از طریق سنجش و ذخیره انرژی منعکس یا ساتع شده بوده تا پردازش و تحلیل شده و مورد استفاده قرار گیرد. مطابق شکل ۱ سنجش از دور فرآیندی است که از هفت عنصر تشکیل شده است [۱]:



منبع انرژی روشنایی (A)
تابش و اتمسفر (B)
برخورد با شئ (C)
ذخیره انرژی بوسیله سنجنده (D)
انتقال، پذیرش و پردازش اولیه تصویر(E)
تفسیر و تحلیل تصویر (F)
استفاده در کاربری موردنظر (G)

شکل ۱: فرآیند هفت مرحله‌ای سنجش از دور

۱- عضو هیأت مدیره مؤسسه مطالعات توسعه پایدار و کارشناس ارشد سنجش از دور از دانشگاه خواجه نصیر

۲- مشاور فنی در موسسه مطالعات توسعه پایدار و محقق دوره دکتری فتوگرامتری در دانشگاه تهران

این هفت عنصر موضوع بحث سنجش از دور می‌باشد که در این مقاله تنها عنصر (D) یعنی سکوهای ماهواره‌ای و سنجنده‌های تعبیه‌شده در آنها مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

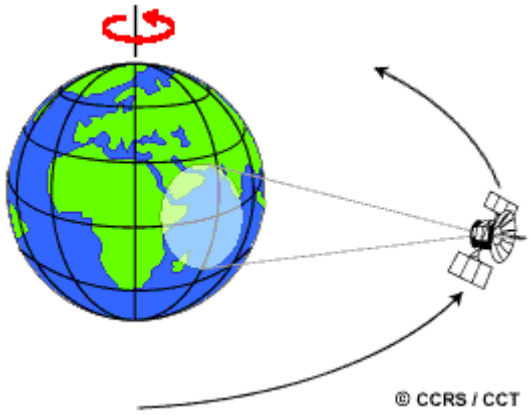
۲- انواع سکوها

جهت تصویربرداری با سنجنده از سطح یک شئ، سنجنده را باید بر روی یک سکو در فاصله مناسب از شئ قرار داد. این سکو در سنجش از دور میتواند روی سطح زمین، در جو زمین روی هواپیما یا بالن و در خارج از جو زمین در فضا روی ماهواره یا فضاپیما قرار گیرد. سکوهای زمینی برای جمع آوری اطلاعاتی جهت کالیبراسیون تصاویر هوایی یا فضایی بکار میروند. سکوهای هوایی عبارتند از نردبان، داربست، ساختمانهای بلند، هلی‌کوپتر و هواپیما که مورد آخری مورد توجه بیشتری است زیرا توسط آن میتوان با سرعت بالایی از هر نقطه از سطح زمین تصویربرداری نمود. سکوهای فضایی شاتلهای فضایی قابل کنترل از سطح زمین یا بطور کلی تر ماهواره‌ها هستند. علاوه بر ماهواره‌های سنجش از دور ماهواره‌های دیگری نظیر مخابراتی و فاصله سنجی (جهت تعیین موقعیت و ناوبری) در فضا قرار دارند. هزینه نقش مهمی را در انتخاب سکوی سنجنده ایفا می‌نماید. اگرچه میتوان در سنجش از دور از سکوهای زمینی و هوایی استفاده نمود اما سکوهای فضایی یا ماهواره‌ها خصوصیات منحصر بفردی را دارند که آنها را در تصویربرداری از سطح زمین از بقیه متمایز می‌سازد.

شکل ۲: سکوی سنجنده زمینی (چپ)، هوایی (وسط) و فضایی (راست)

۳- خصوصیات ماهواره: مدار (Orbit) و نوار (Swath)

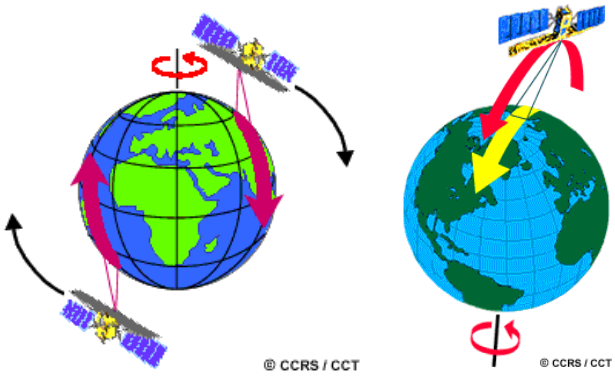
مسیری که ماهواره در فضا می‌پیماید را مدار ماهواره گویند. مدار ماهواره بر اساس نوع، هدف و کارایی سنجنده‌های نصب شده روی آن طراحی می‌شود. ارتفاع ماهواره از سطح زمین (Altitude)، دوران و توجیه آن نسبت به سطح زمین مبین خصوصیات مدار آن است. ماهواره‌هایی که ارتفاع بالایی داشته و همیشه یک بخش ثابت از زمین را می‌نگرند دارای مدارات زمین-ایستا (Geostationary Orbits) هستند. ارتفاع این مدارات حدود ۳۶،۰۰۰ کیلومتر بوده و ماهواره روی آن با سرعت زاویه‌ای یکسان با دوران زمین در فضا حرکت می‌کند که باعث میشود ماهواره همیشه در نقطه ثابتی نسبت به سطح زمین قرار گیرد. ماهواره‌های هواشناسی و مخابراتی عموما از این نوعند که قادرند بواسطه ارتفاع زیاد یک نیمکره کامل از سطح زمین را مانیتور نمایند.



شکل ۳: ماهواره‌های هواشناسی و مخابراتی زمین-ایستا

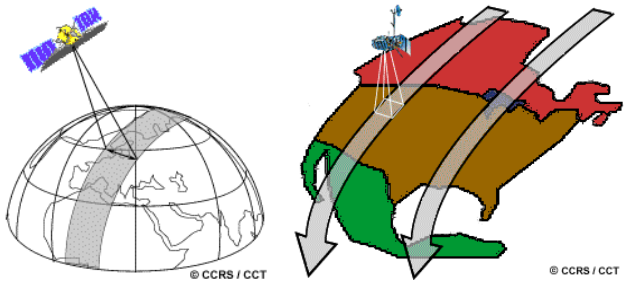
بسیاری از سکوهای سنجش از دور مداری شمالی-جنوبی دارند که با وجود حرکت دورانی زمین امکان مشاهده قسمت اعظمی از سطح زمین را فراهم می‌آورند. به این ماهواره‌ها، ماهواره‌های با مدارات نزدیک قطبی (Near-Polar Orbits) گویند که عموما خورشید آهنگ (Sun-Synchronous) نیز میباشند یعنی همیشه از روی هر منطقه از سطح زمین در یک زمان ثابت عبور می‌کنند. این امر باعث می‌شود که شرایط روشنایی در روزهای متوالی یا روزهای مشخصی از سالهای متوالی یکسان بوده که امکان ردیابی تغییرات بین تصاویر را با دقت بهتری میسر می‌سازد.

ماهواره‌های نزدیک قطبی خورشید آهنگ دائماً بین قطب شمال و جنوب در نوسان هستند. مسیر شمال به جنوب را مسیر فرود (Descending Pass) و مسیر جنوب به شمال را مسیر صعود (Ascending Pass) گویند. مسیر فرود همیشه در روز و مسیر صعود در شب طی میشود بنابراین سنجنده‌های غیرفعال (Passive) که منبع انرژی آنها نور خورشید است عموما در مسیر فرود تصویربرداری می‌نمایند. سنجنده‌های فعال (Active) راداری و سنجنده‌های غیرفعال حرارتی در هر دو مسیر میتوانند تصویربرداری نمایند.



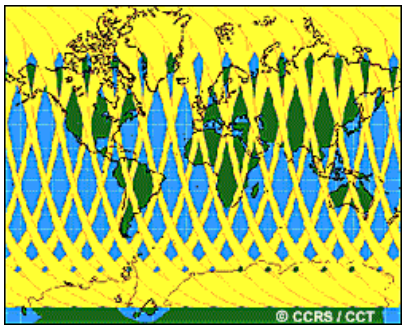
شکل ۴: ماهواره‌های نزدیک قطبی (راست) و مسیر صعود و فرود آنها

هنگامیکه ماهواره در مسیر خود حرکت میکند زمین نیز بدور خود میچرخد. این امر باعث میشود که ماهواره در هر گذر خود نواری جدید از سطح زمین را جاروب نماید. پهنای این نوار بین ۱۰ ها تا ۱۰۰ ها کیلومتر از قطب به قطب متغیر است.



شکل ۵: جاروب نوارهای متوالی از سطح زمین در گذرهای مختلف

مسیر ماهواره روی سطح زمین یک مسیر تکراری و پریودیک است. زمان لازم برای یک مسیر کامل در ماهواره‌های مختلف متفاوت است. این دوره زمانی که آنرا دوره بازدید (Revisit Period) مینامند پارامتری مهم در کاربردهای مختلف مانند مانیتورینگ گسترش سیل یا آتشسوزی جهت تصویربرداریهای منظم و دوره‌ای میباشد. ماهواره‌هایی که میتوانند سنجنده‌خود را بصورت مایل درآورند دارای دوره بازدید کوتاهتری از ماهواره‌های با دید قائم هستند. نکته دیگر اینکه دوره بازدید در قطبین بواسطه پوشش بیشتر نوارهای متوالی کوتاهتر است.



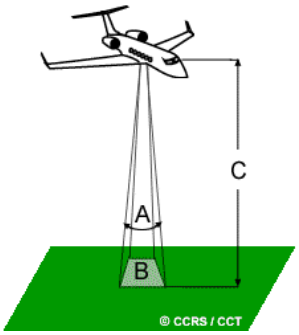
شکل ۶: پهنای نوارهای گذرهای متوالی و پوشش آنها برای یک ماهواره نزدیک قطبی

۴- قدرت تفکیک سنجنده‌ها

۴-۱- قدرت تفکیک مکانی (Spatial Resolution)، ابعاد پیکسل و مقیاس

فاصله بین سنجنده و شی مورد تصویربرداری نقش مهمی را در کسب جزئیات اطلاعات موردنیاز از شئ بازی می‌نماید. اگرچه سنجنده در فاصله دورتر پوشش وسیعتری دارد اما قدرت تفکیک مکانی آن که مبین توانایی تشخیص کوچکترین شئ در تصویر است کمتر میباشد. قدرت تفکیک در سنجنده‌های غیرفعال به

میدان دید لحظه‌ای (Instantaneous Field Of View – IFOV) آن بستگی داشته که برابر زاویه A در شکل ۷ می‌باشد. اگر ابعاد عارضه از مساحت B که عموماً در حد ابعاد پیکسل در تصویر است کمتر باشد امکان تشخیص آن در تصویر وجود ندارد مگر اینکه اختلاف رنگی یا کنتراست آن با زمینه زیاد باشد.



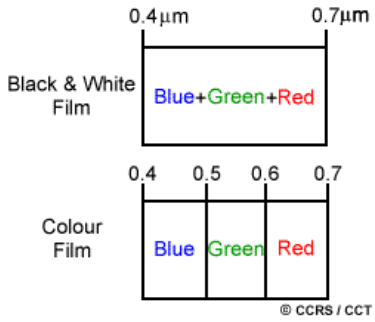
شکل ۷: میدان دید لحظه‌ای سنجنده یا قدرت تفکیک مکانی

تصاویر با جزئیات اطلاعاتی بالا که بزرگ مقیاسند را Fine or High Resolution و تصاویر با قدرت تفکیک پایین که کوچک مقیاسند را Coarse or Low Resolution مینامند.

۲-۴- قدرت تفکیک طیفی (Spectral Resolution)

قدرت تفکیک طیفی به توانایی یک سنجنده برای تعریف گامهای طول موج یا میزان پهنای هر باند طیفی اطلاق می‌شود. طول موجهای با پهنای باند کمتر، قدرت تفکیک طیفی بالاتری را بدست میدهد که منجر به تعداد لایه‌های طیفی بیشتری می‌گردد. قدرت تفکیک طیفی در کاربردهای مختلف اهمیت بالایی در تشخیص و تفکیک اتوماتیک عوارض بازی می‌نماید. برای مثال اگرچه آب و خاک در محدوده طیفی مرئی بخوبی قابل تشخیص‌اند اما تفکیک انواع سنگها در این محدوده میسر نبوده و آشکارسازی تغییرات طیفی جزئی آنها نیازمند بکارگیری سنجنده‌های با قدرت تفکیک بالا می‌باشد.

فیلمهای سیاه وسفید کمترین قدرت تفکیک طیفی را دارا بوده و فیلمهای رنگی قدرت تفکیک طیفی بالاتری را دارند زیرا میتوانند طیفهای قرمز، سبز و آبی را از هم تفکیک نمایند. سنجنده‌های چندطیفی (Multispectral) قدرت تفکیک بیشتری در حد ۱۰ باند طیفی و سنجنده‌های فوق طیفی (Hyperspectral) قدرت تفکیک طیفی در حد ۱۰۰ باند طیفی را دارا هستند.



شکل ۸: قدرت تفکیک طیفی

۴-۳- قدرت تفکیک رادیومتریک (Radiometric Resolution)

قدرت تفکیک رادیو متریک سنجنده به میزان توانایی آن در تمییز اختلافات کوچک انرژی به هنگام ثبت در تصویر بستگی دارد. هرچه قدرت تفکیک رادیومتریکی سنجنده بیشتر باشد حساسیت آن در ثبت انرژی بالاتر بوده ولذا اطلاعات طیفی دقیقتری در تصویر ثبت می‌شود. بسته به دقت ثبت این اطلاعات به تعداد بیت بیشتری برای هر پیکسل در تصویر رقومی نیاز است. در شکل ۹ میتوان محتوای اطلاعاتی تصویر باینری (۲ بیتی) را با یک تصویر ۸ بیتی (۲۵۶ درجه روشنایی) از یک منطقه مقایسه نمود.

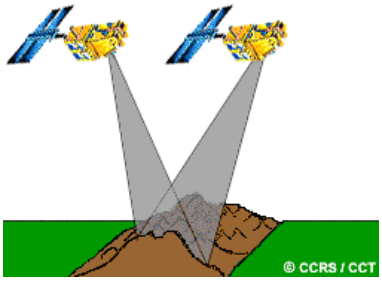
شکل ۹: اهمیت قدرت تفکیک رایومتریکی از طریق مقایسه تصویر ۲ بیتی در مقابل ۸ بیتی

۴-۴- قدرت تفکیک زمانی (Temporal Resolution)

همانطور که ذکر شد طول دوره بازدید ماهواره به حداقل فاصله زمانی بین دو تصویربرداری از یک محل می‌باشد که عموما چندین روز طول میکشد و به آن قدرت تفکیک زمانی گویند. این پارامتر وابسته به ارتفاع سنجنده از سطح زمین، موقعیت منطقه، قابلیت ماهواره/سنجنده و پوشش نوارها باهم دارد. پارامتر زمان در تصویربرداری در حالات زیر اهمیت زیادی پیدا میکند:

- تعدد ابرهای پایدار بخصوص در نواحی گرمسیری که دید سطح زمین را مختل نمایند
- پدیده‌های زودگذر مانند سیل

- مقایسه‌های یک پدیده در زمانهای مختلف مانند بررسی گسترش جنگل حادثه دیده در چند سال متوالی
- تغییر ظاهری یک عارضه در طول زمان امکان تشخیص آنرا از عوارض مشابه میسر میکند مانند تفکیک گندم و ذرت



شکل ۱۰: تغییر دوران سنجنده در دو گذر متوالی جهت کاهش قدرت تفکیک زمانی

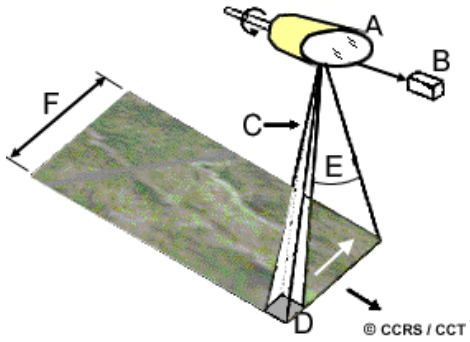
۵- انواع سنجنده‌ها

۵-۱- دوربینها و عکسهای هوایی

ساده‌ترین و قدیمیترین سیستهای سنجش از دورند که فتوگرامتری هوایی به آن میپردازد. در این سیستمها تصویر در یک لحظه در فریم دوربین ثبت و ذخیره می‌شود (Framing System).

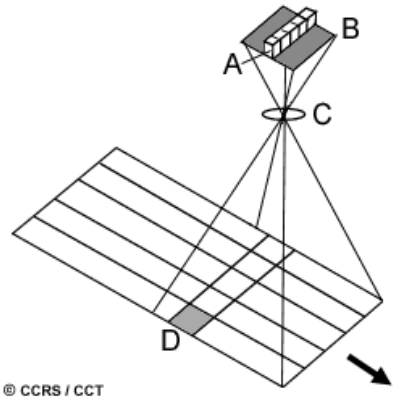
۵-۲- اسکنرهای چندطیفی

اسکنرهای چندطیفی (MultiSpectral Scanners – MSS) بطور یکجا به تصویربرداری نمیپردازند بلکه آرایه‌ای خطی از آشکارسازها (Detectors) که سنجنده را تشکیل میدهد همانند یک اسکنر طول و یا عرض نوار را جاروب کرده و تصویر را تشکیل میدهد. دو نوع کلی از اسکنرها موجود است: اسکنرهای جلونگر (Along-Track) و پهلونگر (Across-Track). در اسکنرهای پهلونگر هر خط از عرض باند توسط یک آینه دوار A جاروب شده و با حرکت رو به جلو اسکنر خطوط مختلف اسکن میشود. عنصر B آشکارساز، C زاویه IFOV مبین قدرت تفکیک مکانی D و E زاویه میدان دید (۹۰ تا ۱۲۰ درجه در هواپیما و ۱۰ تا ۲۰ درجه در ماهواره) می‌باشد که پهنای باند F را بدست میدهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: اسکنر چندطیفی پهلونگر

اسکنرهای چندطیفی جلونگر یا Pushbroom پایداری هندسی بالاتری در جهت عرض باند دارد زیرا بجای استفاده از آینه دوار، طول آشکارساز خطی بحدی افزایش یافته است که پهنای باند را پوشش میدهد.



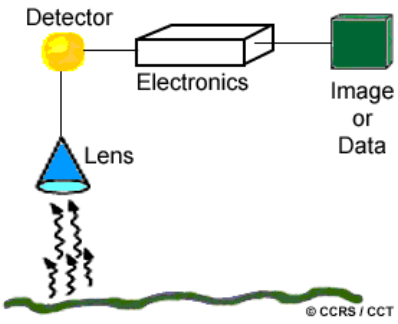
شکل ۱۲: اسکنرهای چندطیفی جلونگر

سیستمهای MSS در مقایسه با سیستمهای هوایی علاوه بر محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز توانایی تصویربرداری حرارتی را نیز داراست. همچنین قدرت تفکیک طیفی بالاتری را نیز دارا هستند و برخلاف سیستمهای هوایی که به تعداد طیفها از دوربینهای مستقل استفاده میکنند، تنها یک سیستم اپتیکی را بکار میگیرند. در آخر اینکه MSS برخلاف دوربینهای معمول هوایی رقومی بوده که ثبت و ارسال تصویر را آسانتر مینماید.

۳-۵- تصویربرداری حرارتی (Thermal Imaging)

بسیاری از سیستمهای سنجش از دور در محدوده طیفی نور مرئی و مادون قرمز انعکاسی کار میکنند. اما سنجش محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی (طول موج بین ۳ تا ۱۵ میکرومتر Thermal Infra Red TIR)

متفاوت میباشد. سنجنده‌های حرارتی دارای آشکارسازهای حساس به فوتونها (بسته‌های انرژی) هستند که در دمای نزدیک صفر مطلق آنها را دریافت میکنند.



شکل ۱۳: سنجنده‌های حرارتی

تصاویر حرارتی عموماً توسط اسکنرهای پهلونگر اخذ میشوند و دارای یک یا چند مرجع دمای درونی برای مقایسه با تشعشع حرارتی اخذشده میباشند که توسط آنها دمای مطلق سطح زمین از طریق مدلهای مربوطه تا دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد محاسبه میشود. ترموگرام (Thermogram) تصویر حرارتی نسبی است که در آن نواحی روشنتر گرمتر است.

شکل ۱۴: نمونه‌ای از یک تصویر ترموگرام

بخاطر طول موج نسبتا بلند TIR پراکنش جوی حداقل بوده اما بخاطر پدیده جذب جوی دو محدوده ۳-۵ و ۸-۱۴ میکرونی آن عملاً قابل استفاده است. چون با افزایش انرژی، طول موج افزایش می‌یابد میزان IFOV یا قدرت تفکیک مکانی این تصاویر بالاتر از طیفهای دیگر است. تصاویر حرارتی را میتوان در طول روز یا شب دریافت کرد و در کاربردهایی نظیر شناسایی نظامی، مدیریت حوادث (آتش سوزی جنگل) و مانیتورینگ هدررفتن حرارتی استفاده نمود.

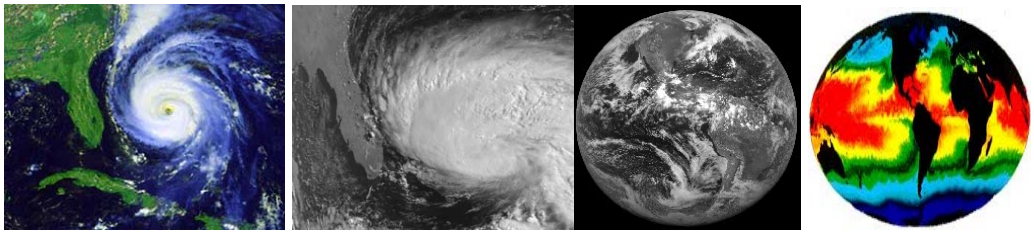
۵-۴- سنجنده‌های دیگر

علاوه بر موارد فوق انواع دیگری از سنجنده‌ها که تنوع آنها روز به روز افزایش می‌یابد در سنجش از دور بکار گرفته می‌شوند. ویدئو (Video) ها اگرچه قدرت تفکیک مکانی کمتری دارند اما میتوانند برای مقاصد مختلف بخصوص روی هلی‌کوپترها بکار گرفته شوند. سنجنده FLIR (Forward Looking IR) سنجنده‌ای حرارتی است که بصورت پهلونگر در روی هواپیما یا هلی‌کوپتر به تصویربرداری از سطح زمین میپردازد. سنجنده‌های Lidar، RADAR و Laser Fluorsensor را نیز میتوان تحت عنوان دیگر سنجنده‌های سنجش از دور نام برد.

۶- انواع ماهواره‌ها

۶-۱- ماهواره‌های هواشناسی (Weather Satellites)

هواشناسی و پیش‌بینی آب و هوا از اولین کاربردهای غیرنظامی (Civil Applications) سنجش از دور بوده است که قدمت آن به TIROS-1 پرتاب شده در سال ۱۹۶۰ در امریکا می‌باشد. در سال ۱۹۶۶ NASA ماهواره ATS-1 را که مداری نزدیک قطبی داشت به فضا پرتاب نمود تا تصاویر نیمکره‌ای (Hemispheric Images) از سطح زمین را برای تعیین پوشش ابری هر نیم ساعت تهیه نماید. امروزه ماهواره‌های هواشناسی متعددی مانند GEOS، NOAA AVHRR، DMSP، GMS و Metosat جهت تعیین شرایط جوی کره زمین، پوشش ابری و رطوبت هوا مشغول بکارند که قدرت تفکیک مکانی آنها مقادیری بالا در حدود کیلوتر است.



شکل ۱۵: از راست به چپ: نقشه دمای سطح آبها، تصویر نیمکره‌ای، تصویری از AVHRR و GEOS

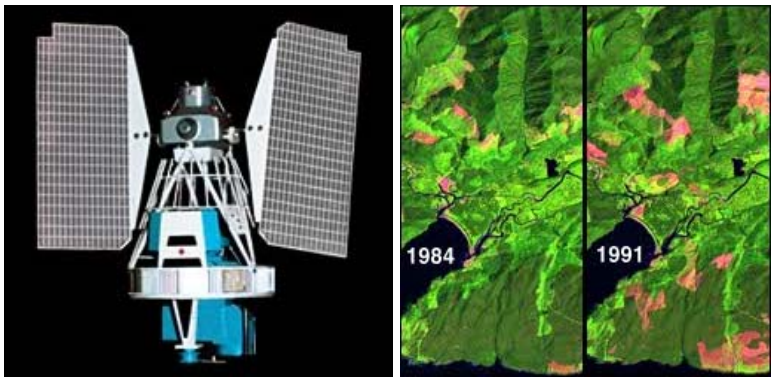
جدول ۱: باندهای طیفی سنجنده AVHRR در ماهواره NOAA

Band	Wavelength Range (mm)	Spatial Resolution	Application
1	0.58 - 0.68 (red)	1.1 km	cloud, snow, and ice monitoring
2	0.725 - 1.1 (near IR)	1.1 km	water, vegetation, and agriculture surveys
3	3.55 -3.93 (mid IR)	1.1 km	sea surface temperature, volcanoes, and forest fire activity
4	10.3 - 11.3 (thermal IR)	1.1 km	sea surface temperature, soil moisture
5	11.5 - 12.5 (thermal IR)	1.1 km	sea surface temperature, soil moisture

۶-۲- ماهواره‌های منابع طبیعی (Land Observation Satellites)

این ماهواره‌ها برخلاف ماهواره‌های هواشناسی که به بالای سطح زمین توجه داشتند برای نقشه‌برداری از جزئیات سطح زمین بهینه‌سازی شده‌اند. ماهواره‌های Landsat، SPOT، IRS، MEIS-II و CASI از پرسابقه‌ترین آنها میباشند که در زیر دو تای اول تشریح میشود.

ماهواره Landsat-1 اولین ماهواره از این دست در سال ۱۹۷۲ توسط NASA به فضا پرتاب شد که تا کنون تا Landsat-7 ادامه داشته است. علت موفقیت این سیستم در پوشش بسیار وسیع ۱۸۰*۱۸۰ کیلومتری هر تصویر آن، قدرت تفکیک مکانی نسبتاً بالای ۱۵ (فعلی) تا ۸۰ (در گذشته) متری آن، توانایی اخذ ۷ باند طیفی آن میباشد. تمامی Landsat ها ماهواره‌های نزدیک قطبی خورشیدآهنگ هستند که در ۷۰۰–۹۰۰ کیلومتری سطح زمین با دوره بازدید ۱۶ روز میباشند. سنجنده‌های بکار رفته شامل MSS، TM و دوربین RBV بودند که هم اکنون سنجنده +ETM با قدرت تفکیک ۱۵ متر در ۷ باند طیفی توانایی ویژه‌ای به این ماهواره بخشیده است.



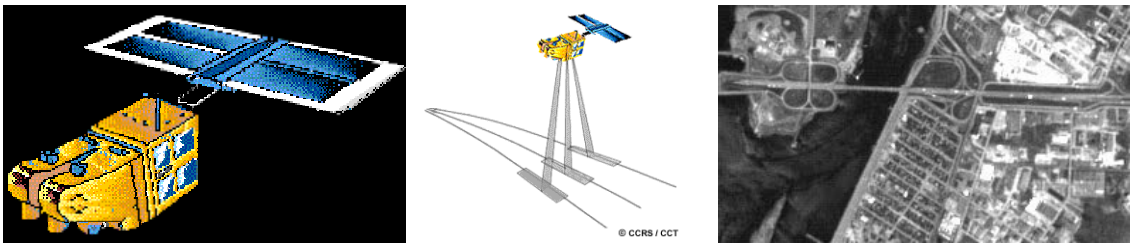
شکل ۱۶: Landsat-1 (چپ) و دوتصویر از آن جهت مانیتور تخریب جنگل (راست)

جدول ۲: باندهای سنجنده +ETM در Landsat-7

Bands	Range (μ) Spectral		Resolution (m)
Panchromatic	0.52-0.90	Visible Green to Near IR	15
Band 1	0.45-0.52	Visible Blue	30
Band 2	0.53-0.61	Visible Green	30
Band 3	0.63-0.69	Visible Red	30
Band 4	0.75-0.90	Near Infrared	30
Band 5	1.55-1.75	Short Wave Infrared	30
Band 7	2.09-2.35	Short Wave Infrared	30
Band 6a	10.4-12.5	Thermal Infrared	60
Band 6b	10.4-12.5	Thermal Infrared	60

ماهواره SPOT-1 توسط فرانسه در سال ۱۹۸۶ به فضا پرتاب شد و SPOT-5 آخرین ماهواره از این گروه است که در سال ۲۰۰۲ آغاز به کار نمود. این ماهواره‌ها دو سنجنده HRV دارند که میتواند در دو حالت Panchromatic (PLA) با قدرت تفکیک بالا ۱۰ متر و حالت Multispectral (MLA) با قدرت

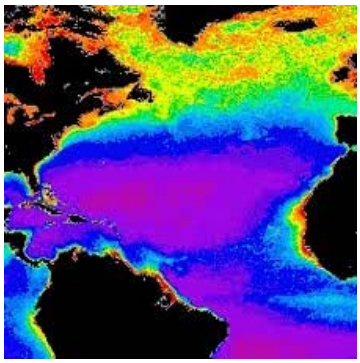
تفکیک مکانی ۲۰ متر کار نماید. ابعاد تصویر ۶۰*۶۰ کیلومتر مربع بوده که با حفظ آن SPOT-5 به قدرت تفکیک ۵ متر دست یافته است. سنجنده SPOT توان اخذ تصاویر با زاویه میل ۲۷ درجه عرضی قابلیت دوره بازدید ۳ روزه به آن داده است که امکان تهیه تصاویر استریو را برای تهیه DEM میسر ساخته است.



شکل ۱۷: از چپ به راست: ماهواره SPOT-1، قابلیت دوران عرضی و نمونه‌ای از تصویر آن

۶-۳- ماهواره‌های منابع آبی (Marine Observation Satellites)

آبها بیش از $\frac{۲}{۳}$ سطح زمین را اشغال کرده‌اند و نقش مهمی در طبیعت زمین ایفا می‌کنند. ماهواره‌های منابع آبی به نقشه‌برداری از جزئیات منابع طبیعی در این محدوده میپردازند. نمونه‌هایی از ماهواره‌های منابع آبی عبارتند از Nimbus، MOS و SeaWiFS . اولین ماهواره Nimbus-7 بود که در سال ۱۹۷۸ جهت استقرار سنجنده CZCS به فضا پرتاب شد. این ماهواره به اندازه‌گیری دما و رنگ اقیانوسها از ارتفاع ۹۵۵ کیلومتری با قدرت تفکیک مکانی ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر در شش باند طیفی میپردازد. شکل ۱۸ نقشه تمرکز فیتوپلانکتونها را نشان میدهد که با سنجنده CZCS حاصل آمده است.



شکل ۱۸: نقشه تمرکز فیتوپلانکتونها توسط سنجنده CZCS

۶-۴- ماهواره‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا (High Resolution Satellites)

این ماهواره‌ها تحول عظیمی در تهیه نقشه های دقیق بروش سنجش از دور ایجاد نمودند و امروزه کم کم خود را جانشین روشهای فتوگرامتری برای تهیه نقشه‌های پوششی متوسط مقیاس نموده‌اند. مهمترین این

ماهواره‌ها IKONOS و QuickBird میباشد که به ترتیب قدرت تفکیک مکانی ۱ متر و ۶۰ سانتیمتر دارند. هزینه این ماهواره‌ها بواسطه جدید بودنشان بسیار گرانتر از ماهواره‌های منابع طبیعی است و مهمترین کاربرد آنها در مناطق پرعارضه مانند مناطق شهری است.

جدول ۳: خصوصیات سنجنده در QuickBird [۲]

QuickBird Characteristics	
Launch Date	October 18, 2001
Launch Vehicle	Boeing Delta II
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California
Orbit Altitude	450 km
Orbit Inclination	97.2 degree, sun-synchronous
Speed	7.1 km/second
Equator Crossing Time	10:30 a.m. (descending node)
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	1-3.5 days depending on latitude (30° off-nadir)
Swath Width	16.5 km x 16.5 km at nadir
Metric Accuracy	23-meter horizontal (CE90%)
Digitization	11 bits
Resolution	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25° off-nadir) MS: 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25° off-nadir)
Image Bands	Pan: 450 - 900 nm Blue: 450 - 520 nm Green: 520 - 600 nm Red: 630 - 690 nm Near IR: 760 - 900 nm

شکل ۱۹: تصویر نیروگاه اتمی بوشهر از QuickBird [۲]

۶- نتیجه‌گیری

سنجش ازدور بعنوان یک صنعت اطلاع رسانی جایگاه خود را در بسیاری از کاربردها باز نموده است. بکارگیری این تکنولوژی نه تنها برنامه‌ریزی را آسانتر و دقیقتر مینماید بلکه از بسیاری اتلاف هزینه‌ها جلوگیری میکند. از لحاظ قدرت تفکیک مکانی در آینده‌ای نه چندان دور این تکنولوژی بتدریج جایگزین فتوگرامتری هوایی خواهد شد و از دیدگاه توان طیفی ماهواره‌های فوق طیفی (Hyperspectral) انقلاب بزرگی را حاصل خواهند نمود. سنجش از دور Microwave نیز شاخه دیگری است که بسرعت در حال رشد بوده زیرا نه تنها محدودیتهای سیستمهای فعلی مانند تصویربرداری در شب، وجود ابر و هوای نامساعد جوی را ندارد بلکه دقت بالایی بخصوص در زمینه استخراج اطلاعات ارتفاعی از خود نشان میدهد.

مراجع

[1] www.ccrs.nrcan.gc.ca
[2] www.digitalglob.com