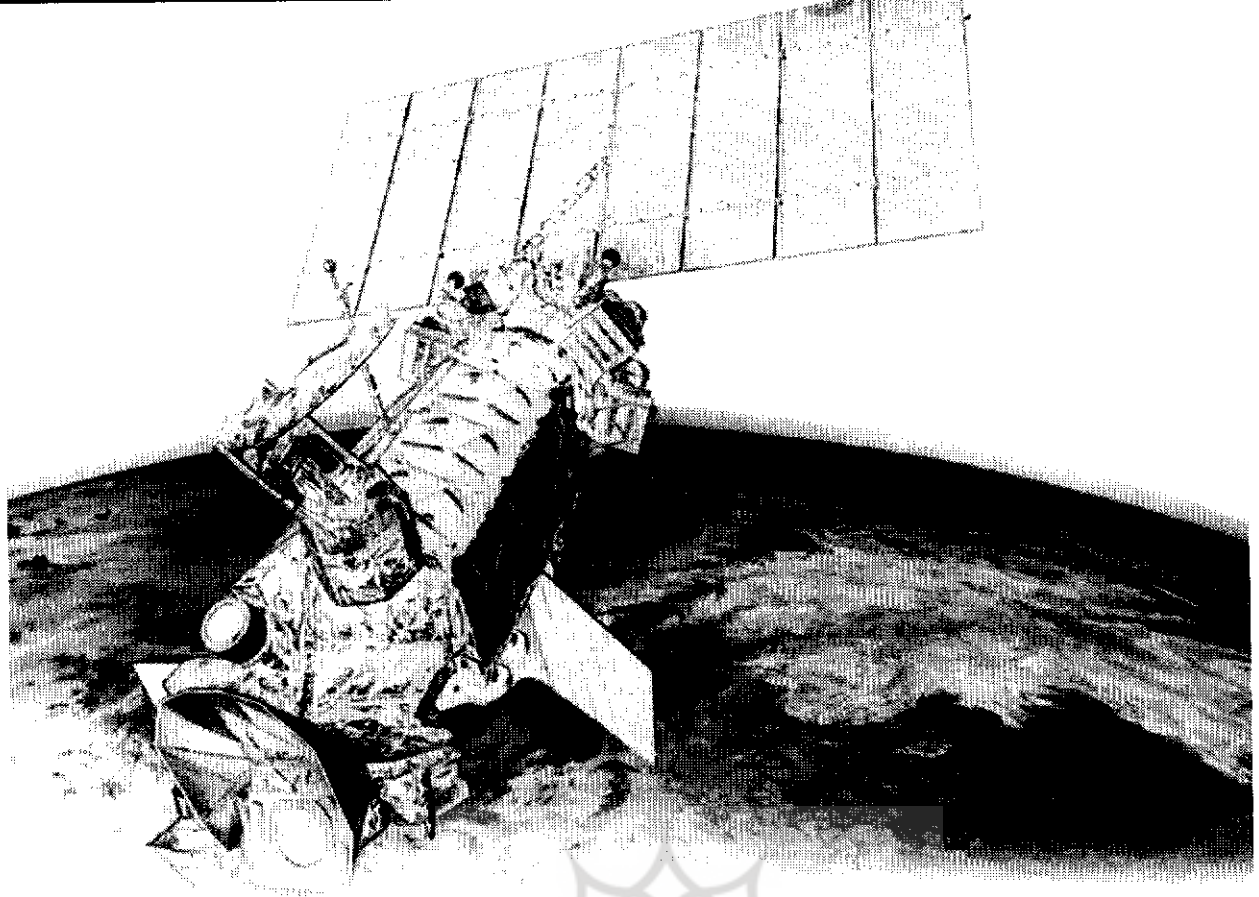


سنجش از دور و کاربرد آن در شناخت زمین

نوشتهٔ: مهندس فرخ برزگر

اشاره

در چند دهه اخیر با پیشرفت‌های زیادی که در همه زمینه‌های علوم زمین رخ داده استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای در همه زمینه‌ها به‌ویژه علوم زمین رویداد مهمّی است که آشنایی با آن در حدّ نیاز مخاطبان می‌تواند بر دانسته‌های علمی آنان بیافزاید. به عنوان شروع مقاله زیر برای این شماره برگزیده شده است.

پیش‌نوشتار

در مورد فناوری «دورسنجی»[1]، توانایی‌ها و کاربرد آن در مطالعات منابع زمین به طور عام و در زمین‌شناسی به طور خاص، دست‌اندرکاران کاربرد آن مطالب متفاوتی را می‌نویسند و یا به زبان می‌آورند. این مطالب بسته به تجربه و دانش آنان در زمین‌شناسی، شیفتگی آنان در استفاده از رایانه و نرم‌افزارهای گوناگون و نحوهٔ ارزیابی و چگونگی آموزش و دریافت آنان از خود فناوری و تخصص، می‌تواند سبب القای نادرست واقعیت‌ها و گمراهی علاقه‌مندان به کاربری این فناوری شود.

در این نوشته زیر تلاش بر آن است که با توضیح اساس و پایهٔ این دانش یا هنر و تبیین مبانی آن، جایگاه این روش و میزان و چگونگی کاربرد این ابزار نسبتاً نوین در پژوهش‌های زمین‌شناسی و نگرشی مبتنی بر واقعیات در اختیار همکاران دانش‌پژوه قرار گیرد.

تعریف سنجش از دور

سنجش از دور (دورسنجی) یا Remote Sensing بنا به تعریف عبارت است از:

«دانش و یا هنری که با استفادهٔ از آن می‌توان، به کمک اندازه‌گیری و ثبت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نیوار* و پدیده‌های رویهٔ زمین، از فاصلهٔ دور و به کمک ابزارهای ویژه‌ای به نام حسگر[2] که روی سکوهای[3] (مانند هواپیماها، ماهواره‌ها و غیره) نصب می‌شوند، داده‌های[4] مربوط به آن را جمع‌آوری کرد و با تجزیه و تحلیل آن‌ها، اطلاعات[5] مفید و مورد نیاز را به دست آورد.»

بنابراین تعریف، فناوری دورسنجی شامل دو مرحلهٔ «جمع‌آوری داده» و «تجزیه و تحلیل اطلاعات» است که در ادامه، دربارهٔ هریک توضیح کوتاه و فشرده‌ای می‌آید.

جمع‌آوری داده

برای جمع‌آوری داده، به ابزارهای ویژه‌ای نیاز است که آن‌ها را حسگر می‌نامند و نمونه‌هایی از آن‌ها نیز، یعنی چشم یا گوش (با محدودیت عملکرد)، در اندام انسانی وجود دارند.

در واقع بشر با توجه به محدود بودن قدرت تشخیص حسگرهای خود، طی سال‌های متمادی تلاش کرده است تا با ساختن ابزارهای خاص، محدودیت خود را کاهش دهد. حسگرهای ساخته شده و ناشی از تلاش بسیار، جریانات گوناگونی را که اغلب نامحسوس هستند، دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌کنند. سپس آن‌ها را به جریانات و اطلاعات قابل درک برای بشر تبدیل می‌سازند.

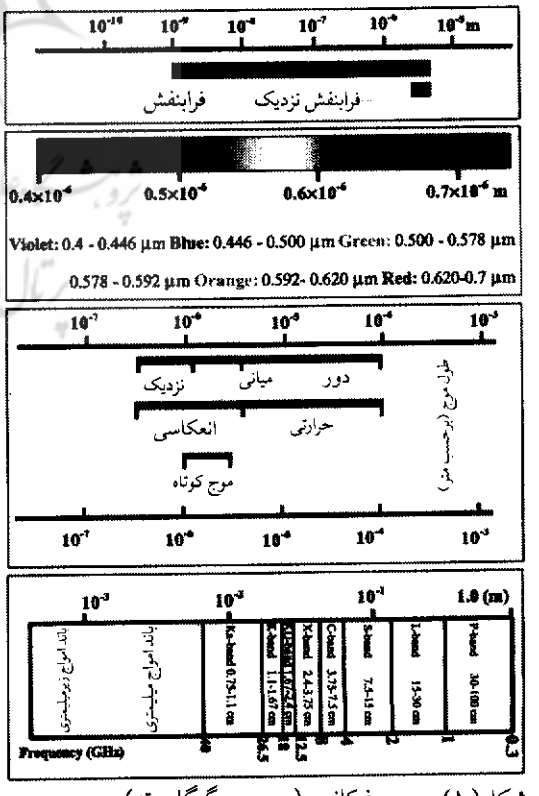
در فناوری سنجش از دور، داده به سه طریق توسط حسگرها جمع‌آوری می‌شود. این سه روش عبارتند از:

۱. از طریق میدان‌های الکترومغناطیس و به کمک حسگرهایی مانند: دوربین، اسکنر و سیستم‌های تصویری راداری.

۲. از طریق میدان‌های نیرو و به کمک حسگرهایی مانند: ثقل‌سنج و مغناطیس‌سنج

۳. از طریق میدان‌های امواج صوتی و به کمک حسگرهایی مانند: لرزه‌سنج و صوت‌سنج[۶]

طیف الکترومغناطیس



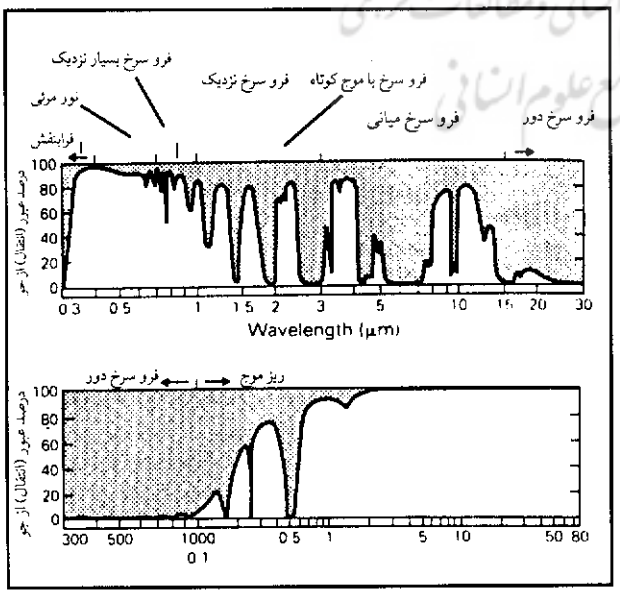
شکل (۱) فرکانس (برحسب گیگا هرتز)

از میان این سه، آنچه که امروزه متداول است و کاربرد گسترده‌ای دارد، استفاده از میدان الکترومغناطیس و حسگرهای دارای توان عملکرد در این میدان است. از همین رو در ادامه، فقط به این میدان و کاربرد داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرهای مربوط به آن می‌پردازیم. اما پیش از آن، توضیح کوتاه و فشرده‌ای دربارهٔ طیف الکترومغناطیس لازم است.

طیف الکترومغناطیس، مجموعهٔ پیوسته‌ای از امواج الکترومغناطیس است که از امواج با طول موج بسیار بلند (مثل امواج رادیویی) تا امواج با طول موج بسیار کوتاه (مثل اشعهٔ گاما و اشعهٔ کیهانی) تشکیل شده است. بین این دو، امواج دارای طول موج‌های بسیار متفاوت قرار دارند و به همین مناسب، آن‌را طیف الکترومغناطیس می‌خوانند. معمولاً الکترومغناطیس را به طور قراردادی به نواحی اشعهٔ کیهانی، اشعهٔ گاما، اشعهٔ ایکس، موج‌های فرابنفش، نورمرئی، امواج فروسرخ، ریزموج‌ها، امواج رادار وامواج رادیویی تقسیم می‌کنند (شکل ۱).

برای این که انرژی الکترومغناطیسی به شئ یا پدیدهٔ مورد نظر برسد، باید از مسیری عبور کند که نسبت به امواج الکترومغناطیس شفاف باشد. در طبیعت مسیر عبور انرژی الکترومغناطیسی از منبع آن یعنی خورشید به سطح زمین، از یک مادهٔ واسط ناهمگن به نام جو تشکیل شده است که در یک فاصلهٔ نسبتاً طولانی، بر روی انرژی الکترومغناطیسی عبور کننده از خود تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد.

این تأثیر معلول وجود عناصری مانند ذرات غبار، مولکول‌های آب، اکسید کربن، ازون و غیره است که همیشه کم و بیش به طور معلق در هوا وجود دارند و باعث می‌شوند که بخشی از انرژی عبور کرده از جو، برابر پدیده‌هایی مانند جذب و یا پراکنش[۷] به سطح زمین نرسد. این



شکل (۲)

خصوصیت اتمسفر برای عملیات «دورسنجی منابع زمینی» یک عامل محدودکننده است.

با این توضیح، اکنون باید گفت که در طیف الکترومغناطیس، تنها محدوده‌های ویژه‌ای وجود دارند که طول موج‌های موجود در آن‌ها با ممانعت و تأثیر کم‌تر جو به سطح زمین می‌رسد. چنین محدوده‌هایی از طیف را که امکان استفاده از حسگرها را برای عملیات دورسنجی مسیر می‌سازند، روزنه‌های جوی[8] می‌نامند (شکل ۲).

حسگرهای متداول در سنجش از دور را که انواع متفاوتی دارند، به دو گونه می‌توان تقسیم کرد:

الف) بر اساس نحوهٔ استفاده از منبع انرژی الکترومغناطیسی.

ب) بر اساس نوع بازده اطلاعاتی آن‌ها.

در این تقسیم‌بندی:

الف) در صورتی که حسگر از منبع انرژی دارای منشأ طبیعی (مانند اشعه منتشره توسط خورشید) تغذیه کند، آن‌را حسگر غیرفعال[9] می‌نامند و اگر انرژی‌های الکترومغناطیسی موردنظر به طور مصنوعی ایجاد شود، آن را حسگر فعال[10] می‌خوانند.

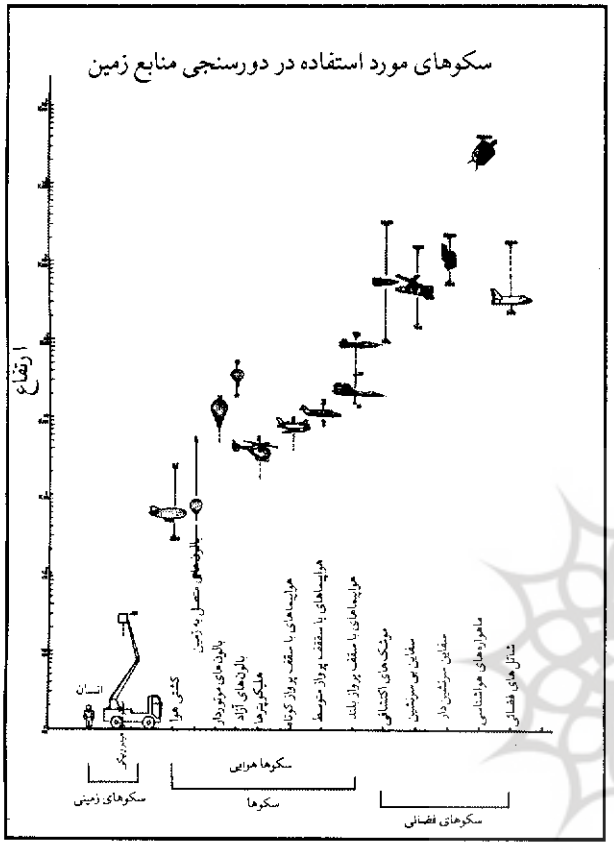
بر این مبنا، دوربین عکاسی معمولی که در روز، از انرژی الکترومغناطیسی طبیعی (انوار خورشید) استفاده می‌کند، یک حسگر غیر فعال است و در شب که از نور ایجاد شده توسط فلاش برای ثبت داده‌ها بهره می‌گیرد، یک حسگر فعال است.

ب) در صورتی که حسگر اندازه‌گیری‌های خود را به صورت منحنی، نمودار یا رقم و از این قبیل ارائه دهد، آن‌را حسگر غیر تصویری[11] و اگر نتیجهٔ ثبت داده‌ها به صورت تصویر باشد، آن‌را حسگر تصویری[12] می‌خوانند.

حسگرهای غیر تصویری، شامل: تشعشع سنج‌ها[13]، طیف سنج‌ها[14]، پراکنش سنج‌ها[15] و مانند آن‌ها هستند و حسگرهای تصویری شامل: دوربین‌ها، دوربین‌های تلویزیونی، اسکنرها[16] و سیستم‌های تصویری راداری و مانند آن‌ها هستند.

سکوهای مورد استفاده در دورسنجی: سکوها محل نصب حسگرها هستند و می‌توان آن‌ها را به سه گروه سکوهای زمینی، سکوهای هوایی و سکوهای فضایی تقسیم کرد. در شکل ۳، انواع هر سه گروه سکوهای مورد استفاده در عملیات دورسنجی، توأم با ذکر بیشینه و کمینهٔ فرازای مدار یا سقف پرواز یا اوج (در مقیاس لگاریتمی) ارائه شده است **(Barzegar, 1991)**.

از میان سه گروه سکوی مورد استفاده در عملیات دورسنجی، گروه سوم یعنی سکوهای فضایی و به طور ویژه ماهواره‌های بی‌سرنشین



شکل ۳: سکوهای مورد استفاده در دورسنجی منابع زمینی. بیشینه و کمینه فرازی پرواز، مدار و یا اوج برحسب کیلومتر در مورد هریک و در مقیاس لگاریتمی ارائه شده است.

خاص مطالعات منابع زمینی[17]، در سی سالهٔ اخیر مورد توجه بسیار و گستردهٔ دانش‌پژوهان، کاردانان و کارشناسان مطالعات منابع زمین و دانش‌های وابسته بدان، یعنی زمین شناسی، اقیانوس‌شناسی و منابع دریایی، کشاورزی و پوشش گیاهی (جنگل و مرتع)، کاربری زمین و خاک‌شناسی، کارتوگرافی و جغرافیا، اقلیم و هواشناسی، منابع آب، بررسی‌های محیط زیست و بلایای طبیعی و دیگر دانش‌های وابسته، قرار گرفته است.

دلایل این توجه، در عمل به ویژگی‌های داده‌های ماهواره‌ای بازمی‌گردد که عبارتند از:

* دید یکپارچه (از ۳۵۰۰۰ تا ۱۰۰ کیلومترمربع)؛
* پوشش تکراری (از چند ساعت تا چند سال) و توانایی برخورداری از داده‌های با سری زمانی؛
* شرایط نوری یکسان در زمان اخذ؛

* امکان داشتن از کشورهای همسایه و مناطق همجوار در چارچوب استفادهٔ صلح‌آمیز از فضا؛

* در اختیار بودن داده‌های چند طیفی؛[18]

* در اختیار بودن داده‌های دارای دقت تفکیک[19] متفاوت، از ۱/۱ × ۱/۱ کیلومتر تا ۰/۸۲×۰/۸۲ سانتی‌متر و امکان انجام مطالعات در مقیاس‌های متفاوت و با دقت‌های گوناگون؛

* در اختیار بودن داده‌های به صورت تصویری (با قابلیت تولید و تکثیر در مقیاس‌های متفاوت) و رقمی و امکان تجزیه و تحلیل آن‌ها با روش‌های سنتی و یا روش‌های پردازش تصویر (به کمک نرم‌افزارهای ویژه و سخت‌افزارها)؛

* امکان ذخیرهٔ داده‌های مبنایی و اطلاعات استخراج شده و در نتیجه، بهره‌گیری از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ذخیره و بایگانی، تلفیق، بازیابی و روزآمد کردن اطلاعات مکانی به شکل‌های تصویری، نقشه‌ای، آماری و مدیریت منابع؛

* برخورداری از صرفهٔ اقتصادی، از نظر کاهش زمان تجزیه و تحلیل و تعداد نیروی کارشناسی مورد نیاز.

حاصل توجه فراوان دانش‌پژوهان گوناگون به این ماهواره‌ها و پژوهش و ابداع حسگرهای متعدد و متنوع که روی این ماهواره‌ها نصب می‌شوند، سبب شده است که سازندگان آن‌ها ـ که در آغاز به کشور آمریکا منحصر می‌شد، نیز افزایش یابند، در این ارتباط هم‌اکنون افزون بر آمریکا، کشورهای کانادا، پاکستان، هند، چین، کره، فرانسه، برزیل، اسرائیل (رژیم صهیونیستی)، شوروی سابق، سازمان فضایی اروپا، ژاپن و استرالیا، چه در قالب طرح‌های ملی و چه در قالب طرح‌های همکاری دو یا چند جانبه و یا طرح‌های بین المللی، ماهواره‌های ویژهٔ مطالعات منابع زمینی متعددی را ساخته و در مدار قرار داده‌اند و یا برای سال‌های آینده، در دست ساخت دارند.

نکتهٔ جالب در این میان، در دو بخش خصوصی به این مطالعات و فناوری است. هم‌اکنون در کشورهای آمریکا و کانادا، شرکت‌های خصوصی نیز در امر ساخت و در مدار قرار دادن ماهواره‌های ویژهٔ مطالعات منابع زمینی فعالیت می‌کنند و تاکنون چند ماهوارهٔ دارای توان اخذ تصویر با دقت تفکیک فوق‌العاده زیاد (۱×۱ متر و یا ۰/۸۲ × ۰/۸۲ سانتی‌متر) را در مدار کرهٔ زمین قرار داده‌اند که خریداری عکس‌های آن‌ها از هر نقطهٔ مورد نیاز، هیچ‌گونه محدودیتی ندارد و در چارچوب استفاده صلح‌آمیز از فضا، برای هر شخص و یا نهادی میسر است. در جدول زیر، تنها ویژگی‌های تعدادی از ماهواره‌های ساخته شده و در مدار قرار گرفته، طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ میلادی ارائه شده است.

زمان قرار گرفتن در مدار	کشور سازنده	سازمان بهره‌بردار	نام مأموریت	تعداد باندهای طیفی: سیاه و سفید	تعداد باندهای طیفی: چند طیفی	دقت مکانی بر حسب متر: سیاه و سفید	دقت مکانی بر حسب متر: چند طیفی	پهنای برداشت (کیلومتر)	توان اخذ تصویر به صورت زوجسته
1996	USA	NASA	Lewis	1	388	5	30	13, 8	—
1996	USA	NASA	Clark	1	3	3	15	6, 30	Yes
1996	USA	Earthwatch, Inc.	Early Bird	1	3	3	15	6, 30	—
1996	Germany and Russia		PRIRODA	1	4	6	18	40, 80	Yes
1996	India	NSRA and EOSAT	IRS-1D	1	4	6	23	141	—
1996	Japan	NASDA	ADEOS	1	4	8	16	80	Yes
1997	USA	Earthwatch, Inc.	Quick Bird	1	4	1	4	6, 30	—
1997	USA	Space Imaging	Space Image	1	4	1	4	11	Yes
1997	China and Brazil	CSAT and NPE	CBERS	—	8	—	20, 80	120	Yes
1998	USA	NASA	Landsat 7	1	6	15	30	185	—
1998	USA	NASA	EOS-MODIS	2	34	250	500, 1000	2300	—
1998	USA and Japan	NASA and MITI	EOS-ASTER	—	9	—	15, 30	60	Yes
1998	USA	GDE	GDE	1	—	1	—	15	Yes
1998	USA	Orbital Sciences	OrbView-1	2	4	1, 2	8	8	Yes
1998	USA	RESOURCE 21	RESOURCE 21	—	5	—	10, 20	205	Yes
1998	Argentina	CONAE	SAC-C	—	5	—	150	315	—
1998	Russia	Russia and SAR Corp.	ALMAZ-OES	1	3, 4	2.5	4, 80	80, 300	Yes

[1]panchromatic
[2]multispectral

نکتهٔ دیگری نیز که اشاره به آن جالب است این که در سال‌های آینده، ماهواره‌های منابع زمینی به‌صورت ماهواره‌های تخصصی در خواهند آمد که هریک، داده‌های ویژه‌ای را برای پژوهش‌های یک رشتهٔ خاص از منابع زمینی، اخذ خواهند کرد. به عنوان نمونه از این ماهواره‌های خاص می‌توان از ماهوارهٔ اقیانوس[20] برای مطالعهٔ اقیانوس‌ها و منابع آن، ماهوارهٔ کریو[21] و ماهوارهٔ یخ[22] برای مطالعهٔ یخچال‌ها و توده‌های یخی قطب‌ها و ماهواره ابر[23] برای مطالعهٔ ابرها نام برد.

کاربردهای زمین شناسی

یکی از رشته‌های علوم منابع زمینی را که از داده‌های ماهواره‌ای ـ که ویژگی‌های آن در برگه‌های پیشین آمد ـ بهرهٔ فراوان برده است، دانش زمین شناسی و رشته‌های متعدد و متنوع آن است. در همین راستا و با توجه به محدودیت صفحات این مقاله، کاربردهای داده‌های ماهواره‌ای در علوم زمین شناختی، فهرست‌وار و به شرح زیر ذکر می‌شود.

۱. بررسی‌های زمین / ریخت‌شناسی به منظور شناسایی:
- محدودهٔ گسترش آبرفت و بادزن‌های آبرفتی جوان و قدیمی
- کفه‌های نمکی و رستی (پلایاها) و پدیده‌های وابسته به آن‌ها
- کویرها
- دریاچه‌های فصلی و دائمی و تغییرات آن‌ها
- تپه‌های ماسه‌ای و انواع آن

۲. مطالعات زمین شناسی ساختمانی به منظور بررسی:
- چین خوردگی‌ها و کمربندی‌های چین خورده
- گسل‌ها (خطواره‌های ساختمانی) و ارتباط آن‌ها با رویداد زمین لرزه، نوع و نحوهٔ حرکت و جابه‌جایی آن‌ها
- ارتباط پدیده‌های ساختمانی

۳. مطالعات منابع زمین گرمایی

۴. مطالعات منابع معدنی و اکتشاف آن‌ها

۵. مطالعات مخازن هیدروکربوری و اکتشاف آن‌ها

۶. مطالعات نئوتکتونیک (که در اجرای طرح‌های عمرانی زیربنایی نقش مهمی دارد.)

۷. مطالعات زمین شناسی مهندسی

۸. مطالعات بلایای طبیعی

۹. مطالعات زمین شناسی دریایی و نواحی ساحلی

۱۰. مطالعات آب‌های سطحی و زیرزمینی و در کل، منابع آب

۱۱. مطالعات زمین / گیاه‌شناسی (در مقیاس‌های کوچک)

۱۲. مطالعات سنگ‌شناسی (در مقیاس کلان) و تهیهٔ نقشه‌های زمین‌شناسی یا تجدیدنظر و تکمیل نقشه‌های پیشین

۱۳. مطالعات مربوط به نهشته‌های کواترنر و جغرافیای دیرین کواترنر

۱۴. بررسی‌های ژئوشیمیایی

نکتهٔ بسیار مهم در مطالعات مذکور این است که همهٔ آن‌ها به تأئید از طریق انجام بررسی‌های صحرایی نیاز دارند؛ در نهایت، این نکته را باید در نظر داشت که نتایج به دست آمده از روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های مذکور، چه از روش سنتی و یا روش‌های پردازش رقومی، نیاز به تطبیق با واقعیت روی زمین دارد که این کار در بسیاری از موارد، نیاز به استفاده از روش‌های گوناگون برداشت داده‌های زمینی نیز ممکن است داشته باشد.

سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی

«سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی» (ساج)، واژه‌های برابر واژه‌های انگلیسی «Geographic Information systems» هستند. این سامانه‌ها که در دو دههٔ اخیر جایگاه شایسته‌ای در مطالعات منابع زمینی یافته‌اند، بنا به تعریف امکان جمع‌آوری، انباشت، بایگانی، بازیابی، تلفیق و بالاخره تولید اطلاعات نوین را از روش مدل‌سازی و یا برون آن (تنها از طریق تلفیق لایه‌های اطلاعاتی) فراهم می‌آورند و با استفاده از سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای موجود، امکانات تازه‌ای در اختیار کاربران داده‌های ماهواره‌ای (از جمله زمین‌شناسان) قرار داده‌اند. حاصل دستیابی به این سامانه‌ها و امکانات ناشی از توانایی‌های به وجود آمده، یافتن روش‌های نوین و ابداعی را برای حل بسیاری از مسائل زمین شناسی میسر ساخته است که به عنوان نمونه، تولید نقشه‌های زمین شناسی سه‌بعدی (درمقیاس‌های متفاوت)، اندازه‌گیری شیب لایه‌ها و فرونشست دشت‌ها و یا تهیهٔ مدل سه‌بعدی از پدیده‌های زمین شناسی را می‌توان نام برد.

زیرنویس

* نیواز: این واژه در برهان قاطع، به معنای لایهٔ هوای پیرامون زمین (اتمسفر) آمده است و از همین‌رو، نام ماهنامهٔ سازمان هواشناسی کشور نیز هست.

1. Remote sensing
2. Sensor
3. Platforms
4. Data
5. Information
6. Sonar
7. Scattering
8. Atmospheric windows
9. Passive
10. Active
11. Non - Imaging sensor
12. Imaging Sensor
13. Radiometers
14. Spectrometer
15. Scatterometers
16. Scanners
17. Earth Resources Satellites
18. Multispectral
19. Resolution
20. Oceansat
21. cryosat
22. Icesat
23. Cloudsat