مهندس محمدحسین آدابی
عضو هیأت علمی بخش زمین‌شناسی دانشگاه مشهد

آشنایی با تکنولوژی سنجش از دور و جنبه‌های کاربردی تصاویر ماهواره‌ای (لندست) در مطالعات زمین‌شناسی

صنعت وتکنولوژی ، تکنیکهای نوینی را در نحوهٔ اکتشاف واستخراج منابع زمینی به‌ارمغان آورده است . یکی ازاین تکنیکها کـه درشناخت و اکتشاف منابع زمینی کاربرد وسیعی دارد فن سـنجـش از دور (Remote Sensing) می‌باشد . بنا به‌تعریف سنجش از دور عبارت است ازسنجش، ثبت وتعبیر وتفسیر اطلاعات فیزیکی وشیمیایی پدیده‌های موجود درزمین بـا استفاده از یك‌سری اندازه‌گیریهایی کـه از فاصلهٔ دور وبدون هیچ‌گونـه تماس فیزیکی انجام می‌شود. این‌اندازه‌گیریها به‌کمك سنجنده (Senser) یا گیرنده‌های اطلاعاتی‌تعبیه شده درهواپیما، ماهواره وغیره انجام‌می‌شود.

در سالهای اخیر با پیشرفت تکنولوژی فضایی ، روش جدیدی در فن سنجش از دور به‌وجود آمده وآن استفاده از ماهواره‌هایی است‌که ازمنابع سطح‌زمین عکسبرداری می‌کنند وبه‌ماهواره‌های تکنولوژی منابع زمینی یا لندست (Landsat) موسوم می‌باشند . تصاویر این نوع ماهواره‌ها درتمام رشته‌ها ی مختلف علمی وفنی ازجمله زمین‌شناسی ، آب‌شناسی ، کشاورزی، محیط زیست، خاك‌شناسی ونقشه‌برداری کاربرد زیادی دارد ومی‌تواند در تمام مراحل مختلف‌مطالعاتی وتحقیقاتی نقش مؤثری‌را ایفاکند. بدون‌شك برای برنامه‌ریزی صحیح درمورد منابع زمینی وجود یکسری اطلاعات پایه

مورد نیاز است ، بویژه درمورد کشوری مانند ایران که فقر اطلاعاتی در خصوص منابع زمینی آن محسوس است می‌تواند اطلاعات به‌دست‌آمده از ماهواره‌های منابع زمینی به‌دلیل خصوصیات ویژه‌ای که دارد تا حدود زیادی کمبودهای اطلاعاتی پایه‌را تأمین کرده ویا درتحقیقات منابع‌زمینی نقش اساسی داشته باشد .

برای آشنایی با این تکنیك ، ابتدا به‌تاریخچهٔ ماهواره‌های تکنولوژی منابع زمینی (لندست) می‌پردازیم وسپس به‌اختصار نحوهٔ کار، سیستمهای تعبیه‌شده درآنها ، چگونگی دریافت اطلاعات، طیف الکترومغناطیسی و محدوده‌ای ازطیف که درزمین‌شناسی ازراه دوراستفاده‌می‌شود، سنجنده‌های متداول درزمین‌شناسی ازراه دور ودر پایان کاربرد تصاویر لندست را در مطالعات زمین‌شناسی بیان خواهیم کرد .

تاریخچهٔ ماهواره‌های تکنولوژی منابع زمینی

درفاصلهٔ بین‌سالهای ۱۹۷۲ تا ۱۹۸٤، پنج ماهواره ازنوع ماهواره‌های تکنولوژی منابع زمینی توسط سازمان ملی فضانوردی آمریکا موسوم به ناسا* (NASA) به‌فضا پرتاب شده است . اولین ماهواره تکنولوژی منابع زمینی در ژوئیه ۱۹۷۲ توسط ناسا درمدار زمین قرار گرفت و (Earth Resources Technology Satellite ERTS) نامیده شد. اما هنگامی که دومین ماهواره از این‌سری درفوریه سال ۱۹۷۵ درمدار زمین قرار گرفت، این دو ماهواره به‌ترتیب به‌لندست ۱ و لندست ۲ تغییر نام دادند . درمارس ۱۹۷۸ لندست ۳ با تغییراتی به‌فضا پرتاب‌شد. سه‌ماهواره نخست یعنی‌لندست ۱، ۲ و۳ به‌ترتیب درسالهای ۱۹۷۸، ۱۹۸۲ و۱۹۸۳ ازکار افتادند . باید

---

* NASA : National Aeronautics Space Administration

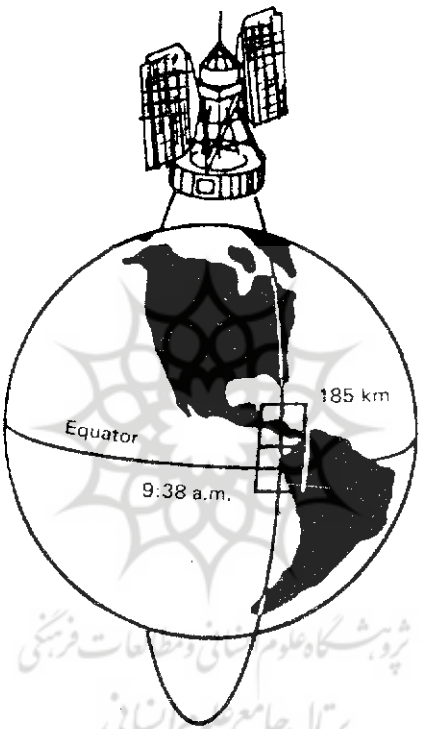
متذکر شویم که دو لندست ٤ و٥ به‌ترتیب درسالهای ۱۹۸۲ و۱۹۸٤ به‌فضا پرتاب شده‌اند وهنوز نیز فعال‌می‌باشند، ضمناً دربرخی ازسنجنده‌های این ماهواره‌ها نیز تغییرات کلی داده شده است .

نحوهٔ کار ماهواره‌های تکنولوژی منابع زمینی (لندست)

ماهواره‌های لندست دریك مدار ثـابت ومشخص دایره‌ای‌شکل قطبی درجهت حرکت عقربه‌های‌ساعت (یعنی درمسیر شمال، شمال‌شرقی به‌جنوب، جنوب‌غربی) ودرفواصل زمانی ثـابت ازفراز نقطه‌ای معین اززمین عبور می‌کنند . ماهواره‌های لندست ۱ و۲ و۳ درارتفاع ۹۲۰ کیلومتری به‌دور زمین گردش می‌کردند اما لندستهای ٤ و٥ درارتفاع ۷۰۵ کیلومتری سطح زمین درحال گردش به‌دور زمین می‌باشند. لندستهای ۱ و۲ و۳ درهر ۱۰۳ دقیقه یك‌بار یك‌دور به‌دورزمین گردش می کردند که این‌زمان درلندستهای ٤ و٥ به‌حدود ۹۹ دقیقه رسیده است. بنابراین لندستهای مزبور درمدت ۲٤ ساعت حدوداً ۱٤ بار زمین را دور خواهند زد ودرطی ۲۵۲ گردش به‌مدت ۱۸ روز (این‌زمان درلندستهای ٤ و٥ به ۱٦ روزتقلیل یافته‌است) می‌توانند ازتمامی سطح کـره زمین عکسبرداری کنند . ابعـاد پوشش هـرتصویر ۱۸۵ × ۱۸۵ کیلومتر یا حدود ۳۵۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد . هریك از ماهواره‌ها درطی یکسال می‌توانند ۲۰ سری تصویر تکراری ازسطح زمین تهیه کنند . زاویهٔ تابش خورشید درتمام تصاویر یکسان است ولذا تصاویر موجود درسطح زمین تُن (Tone) یکنواختی خواهند داشت ، ضمناً مدار ماهواره طوری تنظیم شده است کـه عکسبرداری ازهرناحیه ازسطح زمین مطابق ساعت ۹/۳۰ صبح به‌وقت محلی آن نـاحیه باشد . معمولاً هرعکس با عکس کناری خود در خط استوا حدود ۱٤ درصد، درعرض جغرافیایی کشور ایـران حدود ۲۵ درصد ودر قطب حدود ۸۰ درصد پوشش خواهند

داشت .

درشکل ۱ تصویر کلی ازنحوهٔ گردش لندست ۱ ودر شکل ۲ قسمتهای مختلف ماهواره لندست ۱ نمایش داده شده است .



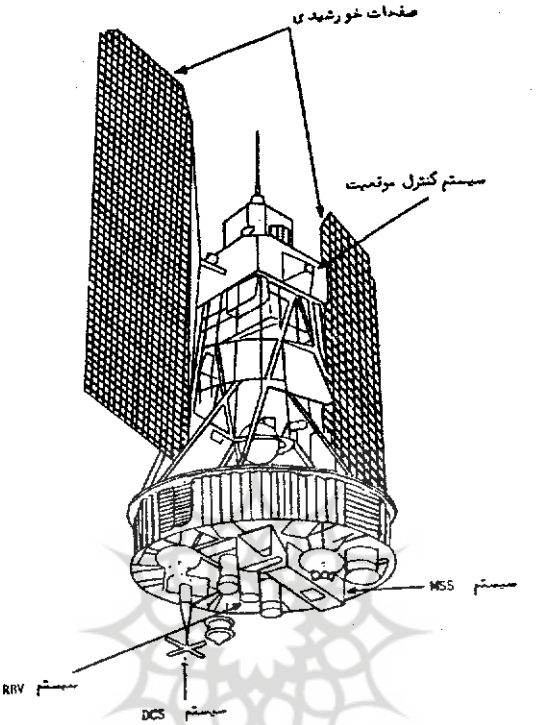
شکل ۱ــ تصویر کلی ازنحوه گردش ماهواره لندست ۱

سیستمهای تعبیه‌شده درماهواره‌ها

الف : ماهواره‌های لندست ۱ و ۲

سیستمهایی که دراین دونوع‌ماهواره به‌کارگرفته شده است عبارتنداز:

۱ ــ سیستم RBV (Return beam vidicon) : ایـن سیستم دارای سه دوربین تلویزیونی بوده که هرسه دوربین بطور همزمان سه تصویر در سه باند طیفی مختلف می‌گیرند . ابعاد پوششی هرتصویر۱۸۵ × ۱۸۵ کیلومتر



شکل ۲ــ تصویری از ماهوارهٔ لندست ۱ و سیستمهای گوناگون آن

یا به‌عبارت‌دیگر ۳۵۰۰۰ کیلومترمربع است وقدرت‌تفکیک (Resolution) آن ۸۰ متر می‌باشد. در زیر مشخصات سنجنده RBV بیان می‌شود .

نام منطقهٔ طیفی هر باند	دامنهٔ طیفی هر باند (برحسب میکرومتر)	شماره باند	سنجنده
آبی ــ سبز	۰/۴۷ ــ ۰/۵۷	۱	
زرد ــ قرمز	۰/۵۸ ــ ۰/۶۸	۲	RBV
قرمز ــ مادون قرمز	۰/۶۹ ــ ۰/۸۳	۳	

۲ ــ سیستم MSS (Multi - spectral scanner)

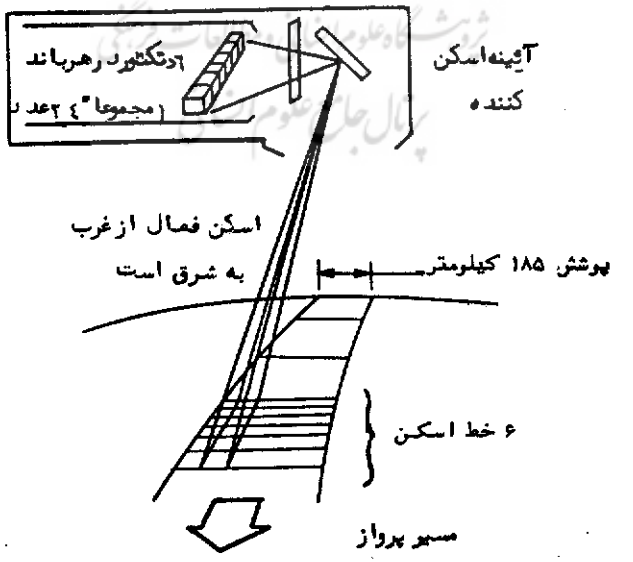
این سیستم که به‌طور همزمان با سیستم RBV کار می‌کند شامل یک

سنجندهٔ الکترواپتیکال چهار بانـدی است کـه هرباند نسبت به‌طول موج معینی ازامـواج الکترومغناطیسی حساس می‌باشند . درزیـر اختصاصات سنجنده MSS بیان می‌شود .

نام منطقهٔ طیفی هر باند	دامنهٔ طیفی هر باند (برحسب میکرومتر)	شماره باند	سنجنده
سبز	۰/۵ — ۰/۶	۴	
قرمز	۰/۶ — ۰/۷	۵	MSS
مادون قرمز	۰/۷ — ۰/۸	۶	
مادون قرمز	۰/۸ — ۱/۱	۷	

لازم به‌ذکر است که ابعاد پوششی هرتصویر ۱۸۵ × ۱۸۵ کیلومتر و قدرت تفکیک آن ۸۰ متر می‌باشد .

درشکل ۳ نحوهٔ تصویربرداری سنجنده MSS نشان داده شده است .



شکل ۳ــ نحوه عکسبرداری سنجنده MSS

ب : ماهوارهٔ لندست ۳

سیستمهای نصب‌شده دراین ماهواره عبارتند از:

۱ ــ سیستم RBV

دوربین‌هایی که دراین نوع ماهواره نصب شده بود مشابه لندستهای ۱ و ۲ بود، با این تفاوت کـه سیستم RBV این ماهـواره دارای دو دوربین پانکروماتیك بود که این دو دوربین به‌طور همزمان از دو منطقهٔ مختلف چهار تصویر تهیه می‌کردند که هرتصویر یك محدودهٔ ۹۸ × ۹۸ کیلومتر مربعی را می‌پوشانده است . ضمناً قدرت تفکیك دوربینهای این سنجنده ۴۰ متر یا به‌عبارت دیگر بیش از دوبرابر قدرت تفکیك ماهواره‌های نوع ۱ و ۲ بوده است . درزیر مشخصات سیستم RBV درلندست ۳ ذکر می‌شود .

نام منطقهٔ طیفی هر باند	دامنهٔ طیفی هر باند	شماره باند	سنجنده
دو دوربین پانکروماتیک	۰/۷۵ ــ ۰/۵	۱	RBV

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲ ــ سیستم MSS

در سیستم MSS این‌ماهواره علاوه‌بر چهار باند موجود در لندستهای ۱ و ۲ دارای یك باند دیگری نیز بوده که درقسمت حرارتی طیف الکترو ـ مغناطیسی قـرار داشته ونسبت به‌محدودهٔ طول موجهای ۱۰/۴ تـا ۱۲/۴ میکرومتر حساس بوده است . درزیر مشخصات سیستم MSS در مـاهواره لندست بیان می‌شود .

دراین‌سیستم ابعاد پوششی هرتصویر ۱۸۵×۱۸۵ کیلومترمربع وقدرت تفکیك باندهای ۴، ۵، ۶ و۷ معادل ۸۰ متر وباند ۸ این سیستم برابر ۲۴۰ متر می‌باشد .

نام منطقهٔ طیفی هر باند	دامنهٔ طیفی هر باند (برحسب میکرومتر)	شماره باند	سنجنده
سبز	۰/۵ – ۰/۶	۴	MSS
قرمز	۰/۶ – ۰/۷	۵	
مادون قرمز	۰/۷ – ۰/۸	۶	
مادون قرمز	۰/۸ – ۱/۱	۷	
مادون قرمز حرارتی	۱۰/۴ – ۱۲/۶	۸	

دراشکال ٤ و٥، تصاویری از باند ٥ و٧ سنجنده MSS برای مقایسه آورده شده است.

پ : ماهواره لندست ٤

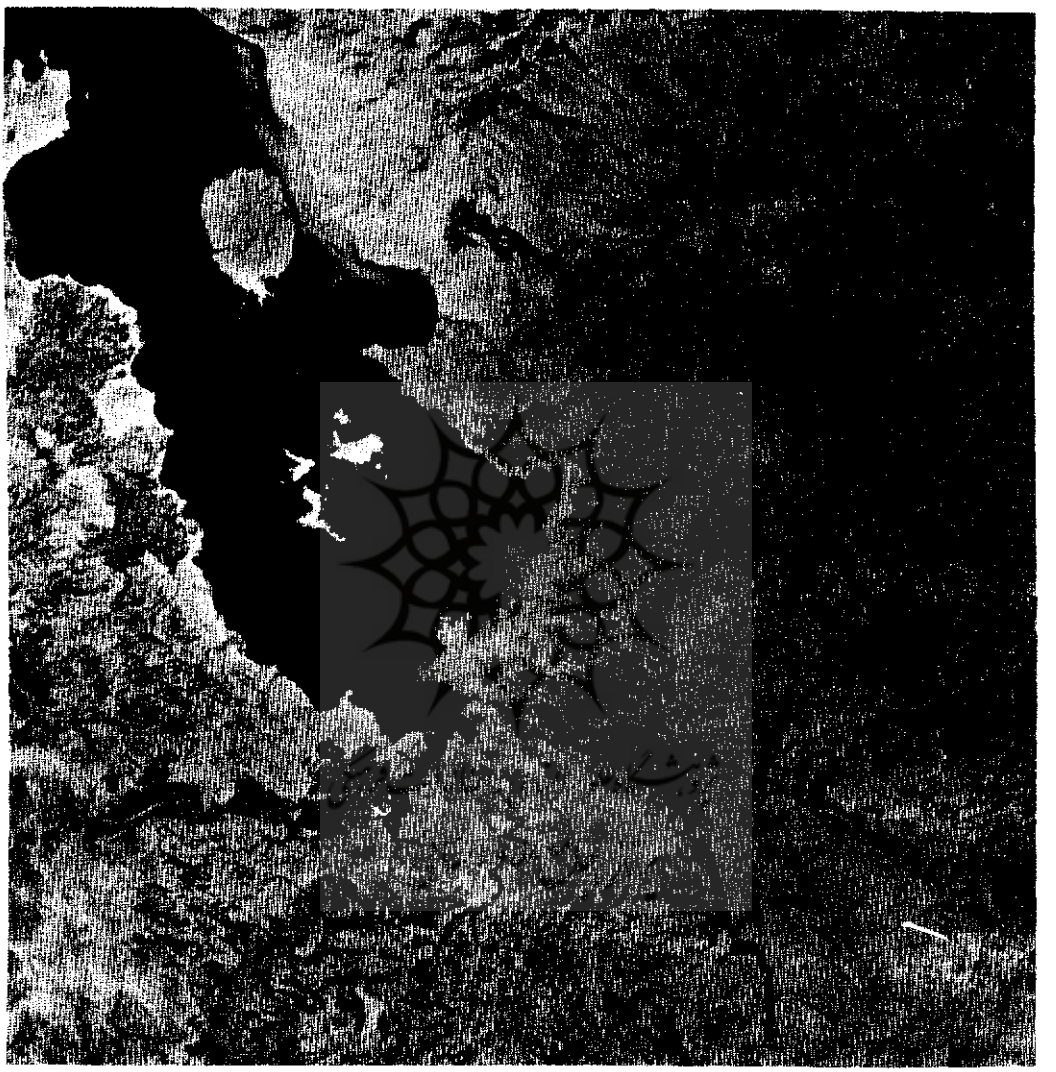
سیستمهای نصب‌شده دراین ماهواره عبارتند از :

۱ ــ سیستم MSS

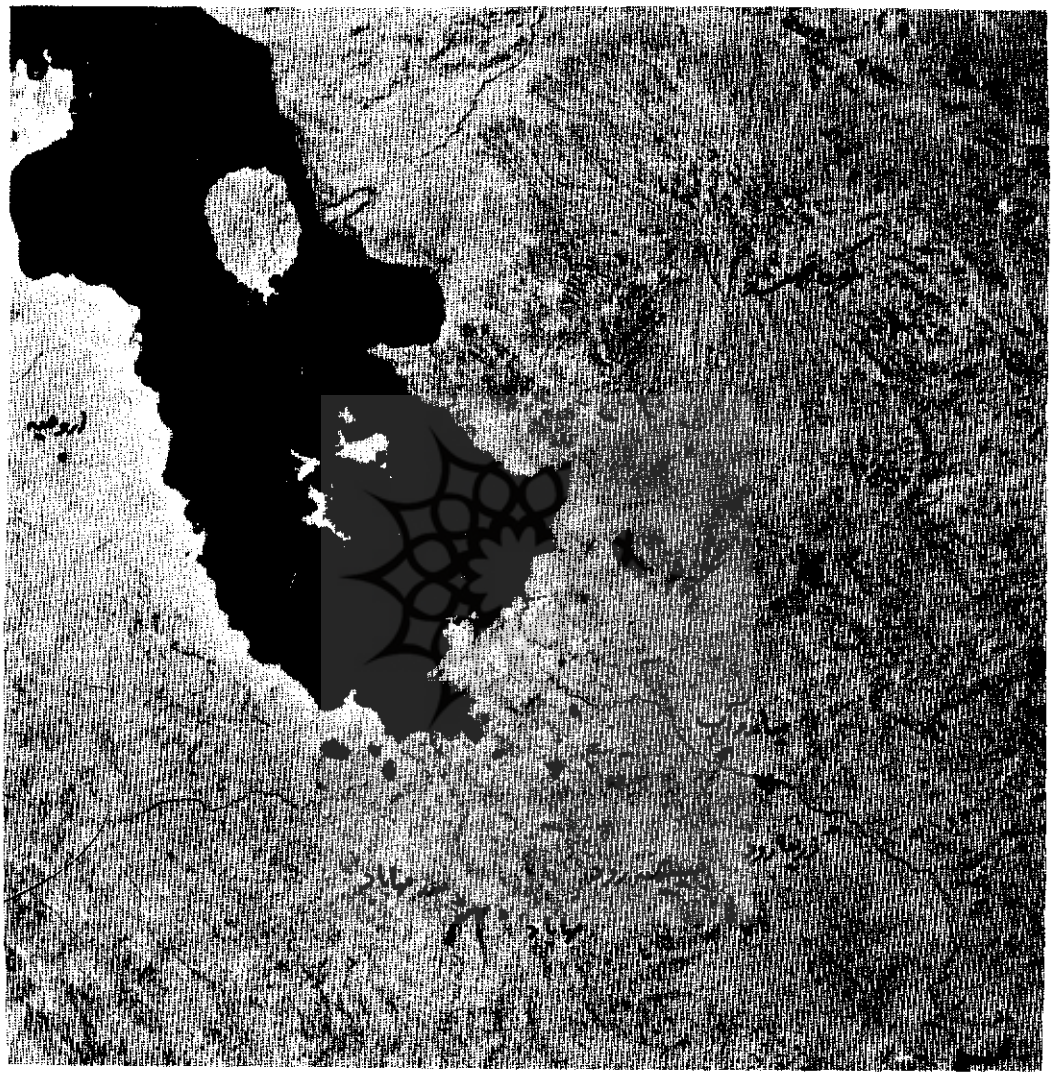
کار این سیستم شبیه سیستم MSS موجود درماهوارهٔ لندست ۳ است.

۲ ــ سیستم Thematic Mapper

این سیستم که در لندستهای ٤ و٥ به‌کار گرفته شده است و به‌اختصار سیستم TM نامیده می‌شود دارای ۷ کانال یا باند سنجش بوده که باند ٦ آن حرارتی است. ابعاد پوششی هرتصویر ۱۸۵ × ۱۸۵ کیلومتر وقدرت تفکیك این سنجنده ۳۰ متر (فقط قدرت تفکیك باند ٦ این سیستم ۱۲۰ متر است) یعنی دارای قدرت تفکیك به‌مراتب بیشتری نسبت به‌لندستهای ۱ و۲ و ۳ می‌باشد. لازم به‌ذکر است که کاربرد این‌سیستم درمطالعات منابع‌زمینی وبررسی ومطالعه منابع گیاهی به‌علت این‌که درمحدودهٔ طیف مرئی، مادون قرمز نزدیك وحرارتی تصویربرداری می‌کند بسیار وسیع است وجمعاً در۷



شکل ٤ــ تصویر ماهواره‌ای منطقه دریاچه ارومیه درباند ٥ (٠/٦ــ٠/٧میکرون) سیستم MSS



شکل ۵ــ تصویر ماهواره‌ای منطقه دریاچه ارومیه درباند (۱/۱ــ۸/۰میکرون) سنجنده MSS . همان‌طورکه ملاحظه می‌شود دراشکال ٤ و ٥ پدیده‌های متفاوتی را می‌توان تشخیص داد به‌عنوان مثال درتصویر مربوط به‌باند ٥ پوششهای گیاهی و درتصویر باند ۷ رودخانه‌ها را با وضوح بیشتری می‌توان تشخیص داد .

باند به‌جمع‌آوری ارقام پدیده‌های زمینی مشغول است.

درجدول زیر مشخصات این سیستم و کاربرد هریك از باندهای آن به‌اختصار بیان می‌شود.

علاوه برسنجنده‌های فوق‌الذکر یك‌سیستم جمع‌آوری‌اطلاعات (Data Collection System) درلندستهای ۱ و۲ و۳ نصب شده بود که ازآن

کاربرد	نام‌منطقهٔ طیفی هر باند	دامنهٔ طیفی‌هرباند (برحسب میکرومتر)	شمارهٔ باند	سنجنده
جهت تهیهٔ نقشه از آبهای ساحلی به‌کار می‌رود، زیرا این امواج قادرند درآبهانفوذکنند. ضمناً" این باند جهت تفکیک درختان سوزنی‌برگ ازدرختان پهن برگ مناسب است.	آبی ـ سبز	۰/۴۵ ـ ۰/۵۲	۱	
جهت‌اندازه‌گیری‌حداکثربازتاب باند سبز طیف مرئی ازگیاهان طراحی شده تا شادابی آنها را ارزیابی کند.	سبز	۰/۵۲ ـ ۰/۶	۲	
از این باند جهت تشخیص گونه‌های‌گیاهی‌استفاده‌می‌شود.	قرمز	۰/۶۳ ـ ۰/۶۹	۳	The matic Mapper
تعیین مقدار نباتات و تعیین حدود منابع آبهای سطحی هر ناحیه به وسیله این باندانجام می‌شود.	مادون قرمز	۰/۷۶ ـ ۰/۹۰	۴	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

کاربـــرد	نام منطقـــهٔ طیفی‌هرباند	دامنهٔ طیفی هرباند (برحسب میکرومتر)	شمارهٔ باند	سنجنده
از این باند برای تعیین مقدار رطوبت موجود در نباتات و یا خاکهای یک ناحیـــه استفاده می‌شود . همچنین‌برف را ازابر می‌توان تفکیک نمود .	مادون قرمز	۱/۵۵ – ۱/۷۵	۵	
ازاین‌باند جهت تهیهٔ نقشه‌های حرارتی وتجزیه و تحلیل‌امراض وآفات نباتی و بررسی‌تفاوتهای رطوبت خاکها استفاده‌می‌شود .	مادون قرمز حرارتی	۱۰/۴۰ – ۱۲/۵۰	۶	
از تصاویر این باند درشناسایی سنگها و در تهیـــهٔ نقشه‌های هیدروترمال استفاده می‌شود .	مادون قرمز	۲/۰۸ – ۲/۳۵	۷	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

هنگامی که ماهواره درمعرض دید ایستگاه گیرنده زمینی وسکوی جمع‌آوری اطلاعات ، هردو، قرارمی‌گرفت استفاده می‌شد. جهت استفاده ازاین سیستم سکوهـــای کوچکی موسوم بەسکوی جمع‌آوری اطلاعـــات (Data Collection Platform) درمناطق مختلف کرەزمین قرار داده شده بود که با نصب سنجنده‌های خودکار مختلفی مـــانند دستگاههای اندازه‌گیری رطوبت خاك، دبی رودخانه، شوری آب، عمق برف، گازهـــای خروجی از آتشفشانهای فعال وغیره به‌این سکوها ، اطلاعات حاصله را مستقیماً ازطریق دستگاه فرستنده سکو بەسیستم جمع‌آوری اطلاعات ماهواره مخابره‌می‌نمود

وماهواره این اطلاعات را پس ازتقویت بـه‌ایستگاه گیرنده زمینی مخابره می‌کرد. بنابراین عمل سنجنده D.C.S درحقیقت انتقال اطلاعات دریافت‌ـ شده از سنجنده‌های نصب‌شده برروی سکوها به‌ایستگاههای گیرنده زمینی بود. لازم به‌ذکر است که این سیستم از لندستهای ٤ و٥ حذف شده است.

نحوهٔ دریافت اطلاعات توسط ماهواره‌ها از زمین

دریافت اطلاعات ماهواره‌ها اززمین براساس بازتاب انرژی‌خورشیدی یا براساس تشعشعات الکترومغناطیسی نور خورشید است که این بازتاب در طول‌موجهای‌مختلف بهترنشان‌داده‌می‌شود.اطلاعات کسب‌شده توسط‌ماهواره پس ازمخابره به‌ایستگاه گیرنده ابتدا در روی نوارهای پرتراکم مغناطیسی High Density Digital tape (HDDT) ضبط مـی‌شود. پس از انجـام یك‌سری تصحیحات وتغییر وتحولات دیگر، اطلاعات به‌دست‌آمده به‌صورت فیلمهای شفاف سفید وسیاه ۷۰ و۲٤۰ میلیمتری ویا نوارهای رقومی قـابل تغذیه در کامپیوتر (Computer Compatible tape) یا C.C.T. درآمده است که بـا استفاده ازاین فیلمها می‌توان تصاویر سیاه وسفید ویـا رنگی مجازی در مقیاسهای ۱۰۰۰۰۰۰۰ : ۱، ۵۰۰۰۰۰ : ۱ و ۲۵۰۰۰۰ : ۱ تهیه نمود.

طیف الکترومغناطیسی

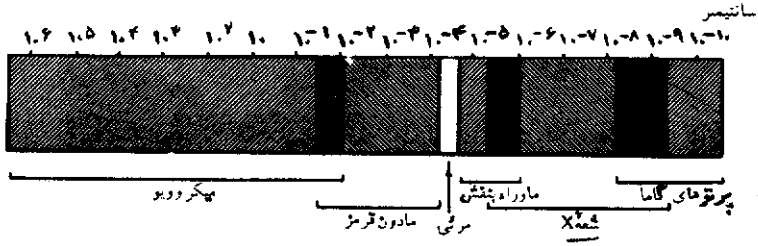
خورشید بزرگترین منبع تولیدکنندهٔ امواج الکترومغناطیسی دردانش دورسنجی است که از دو بخش، یکی طیف مرئی و دیگـری طیف نامرئی تشکیل شده است. طیف الکترومغناطیسی به‌ترتیب شامـل پرتوهای گاما، ایکس، مـاورای بنفش، طیف مرئی، مـادون قرمز (انعکاسی وحرارتی) و امواج میکروویو می‌بـاشد. در طیف الـکترومغناطیسی تنها قسمت بسیار کوچکی ازاین امواج مرئی است وهمین قسمت است که در اصطلاح نـور

نامیده می‌شود . ناحیهٔ نور مرئی بخشی ازطیف است که چشم انسان به‌طور نرمال نسبت به‌طول موجهای آن حساس می‌باشد . در شکل ٦ شماتیکی از طیف الکترومغناطیسی نمایش داده شده است .

در سنجش از راه دور بـرای ثبت و انـدازه‌گیری هـرطول مـوج دستگاههای حساس معینی درنظر گرفته شده است که در داخل هواپیما ویا ماهواره قراردارد . حساسیت این دستگاهها از ماورای بنفش شروع شده ، طیف مرئی اشعهٔ مادون قرمز را شامل می‌شود وسرانجام تـا سرحد امواج میکروویو ادامه می‌یابد . ازآنجایی که امواج الکترومغناطیسی دربرخورد با عوارض سطح زمین بازتابهای متفاوتی دارند ، بنابراین مشاهده ومطالعهٔ چگونگی تغییرات بازتاب انرژی الکترومغناطیسی به‌محققین این امکان‌را خواهد داد تا عوارض مختلف را درتصویر شناسایی وازهم تفکیك کنند .

محدودهٔ عملیات دورسنجی در زمین‌شناسی از راه دور

مطالعهٔ زمین یا به‌عبارت دیگر محدوده‌ای کـه درآن عملیات زمین‌شناسی ازراه دورامکان‌پذیراست‌به‌قسمتهایی ازنواحی‌طیف‌الکترومغناطیسی خورشید که دامنهٔ طول موجهای آن از۰/۳ میکرومتر (یعنی اشعهٔ ماورای بنفش) تا طول‌موج یك متر (یعنی‌امواج میکروویو) ادامه پیدا می‌کند ، منحصر می‌شود. حال قبل ازاین‌که به‌بررسی هریك ازبخشهای طیفی مورد



شکل ٦ــ نمایشی از طیف الکترومغناطیسی .

استفاده در زمین‌شناسی از راه دور بپردازیم به‌چند اصطلاح متداول مربوط به‌طیف الکترومغناطیسی اشاره می‌کنیم.

به‌طور قراردادی ناحیهٔ محدود بین‌طول‌موجهای ۰/۳ میکرومتر تا ۱٤ میکرومتر (۳۰۰ تا ۱٤۰۰۰ نانومتر) که شامل تمام ناحیهٔ نور مرئی و بخشهایی ازنواحی ماورای بنفش ومادون قرمز می‌شود بخش اپتیکی طیف نامیده می‌شود. بخش اپتیکی طیف نیز خود به ۲ قسمت تقسیم می‌شود که برطبق آن طول موجهای بین ۳ میکرومتر تا ۰/۳ میکرومتر وپایین‌تر را قسمت انعکاسی (Reflective) وطول موجهای بین ۳ تا ۱٤ میکرومتر و بالاتر را قسمت دفعی یا حرارتی (Thermal) می‌نامند. برطبق این تقسیم‌بندی سنجنده‌هایی که دربخش انعکاسی عمل می‌کنند امواج منعکس‌شده‌را ثبت می‌نمایند وسنجنده‌هایی که دربخش دفعی یا حرارتی عمل می‌کنند امواج دفع‌شدهٔ ناشی ازحرارت اجسام را ثبت می‌کنند. اکنون پس از آشنایی با این اصطلاحات به‌بررسی جداگانهٔ هریك ازبخشهای طیفی مورد استفاده در زمین‌شناسی ازراه دور می‌پردازیم.

ماورای بنفش (Ultra-Violete)

این بخش از طیف الکترومغناطیسی بین اشعهٔ x و نور مرئی قرار دارد ومحدوده‌آن به‌طورقراردادی بین ۰/۱ میکرومتر تا ۰/٤ میکرومتر می‌باشد. ناحیهٔ ماورای بنفش براساس نزدیکی به‌نور مرئی به‌قسمتهای زیر تقسیم می‌شود:

ماوری بنفش نزدیك	Near U.V	از ۰/۳ تا ۰/٤ میکرومتر
ماورای بنفش دور	Far U.V	از ۰/۲ تا ۰/۳ میکرومتر
ماورای بنفش فرادور	Extra U.V	از ۰/۰۱ تا ۰/۲ میکرومتر

منبع اصلی تولید اشعهٔ مـاورای بنفش درطبیعت خورشید است (یعنی حدود ۱۰ درصد کـل انرژی خورشیدی که به‌سطح زمین می‌رسد مربوط به‌امواج ماورای بنفش می‌باشد). درعملیات‌دورسنجی فقط می‌توان ازطول موجهای ماورای‌بنفش‌نزدیك یعنی‌طول‌موجهای بین۰/۳ تا ۰/٤میکرومتر استفاده نمود واستفاده ازطول موجهای دیگر اشعه ماورای بنفش به‌صورت تجارب تحقیقاتی وآزمایشگاهی می‌باشد.

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد کـه درناحیهٔ ماورای بنفش نـزدیك سنگهای کربناته، فسفاتها ومواد تبخیری درمقایسه بـا سایر سنگها دارای خاصیت انعکاسی‌شدیدتری هستند وبالعکس سنگهای اسیدی مانند گرانیتها و ریولیتها دارای خـاصیت انعکاسی‌بسیار ضعیفی می‌بـاشند. به‌این ترتیب به‌نظر می‌رسد که در زمین‌شناسی ازراه دور استفاده از اشعهٔ ماورای بنفش می‌تواند درتشخیص برخی ازسنگها مفید باشد.

نورمرئی (Visible light)

این بخش از طیف الـکترومغناطیسی بین اشعهٔ مـاورای بنفش واشعهٔ مادون قرمز قرار دارد وحدوداً طول موجهای بین ۰/٤ میکرومتر تا ۰/۷ میکرومتر (٤۰۰تا ۷۰۰ نانومتر) را شامل می‌شود. بااین‌که نورمرئی‌ناحیهٔ بسیار کوچکی ازطیف را دربر می‌گیرد، امـا درطبیعت بیش از ۵۰ درصد انرژی خورشیدی که به‌سطح زمین می‌رسد مربوط به‌همین امواج است. از آنجایی کـه این بخش ازطیف درمحدودهٔ بینایی چشم انسان واقـع است بالطبع مورد توجه بیشتری قرار گرفته وکاربرد این امواج درزمین‌شناسی ازراه دور کاملاً شناخته شده است.

مادون قرمز (Infrared)

این بخش ازطیف بین نورمرئی وامواج میکروویو واقع شده وحدود آن به‌طورقراردادی طول موجهای بین ۰/۷ میکرومتر تا یك میلیمتراست. ناحیهٔ مادون قرمز طیف معمولاً درنوشته‌ها به‌دو صورت مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. یکی براساس نزدیکی به‌نور مرئی‌است که برطبق آن بخش مادون قرمز به ۳ قسمت فرعی زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

۱ ــ مادون قرمز نزدیك Near IR (بین ۰/۷ تا ۱/۳ میکرومتر)
۲ ــ مادون قرمز میانی Middle IR (بین ۱/۳ تا ۳ میکرومتر)
۳ ــ مادون قرمز دور Far IR (بین ۳میکرومتر تا ۱ میلیمتر)

نوع دیگری از تقسیم‌بندی که درمورد ناحیهٔ مادون‌قرمز اعمال‌می‌شود براین اساس است که طول موجهای آن در کدام‌بخش ازناحیهٔ اپتیکی طیف واقع است. براین منوال ناحیهٔ مادون قرمز به‌دو قسمت زیر تقسیم می‌شود:

۱ــ مادون قرمزانعکاسی (Reflective IR) بین۰/۷ تا ۳میکرومتر که درواقع مادون قرمز نزدیك ومیانی را شامل می‌شود.

۲ ــ مادون قرمز دفعی یا حرارتی (Thermal IR)

این قسمت ازطیف بین۳ تا یك میلیمتر قراردارد. دراینجا باید یادآور شویم که بواسطه محدودیتهایی که به‌هنگام عملیات دورسنجی دراین قسمت ازطیف وجود دارد، عملاً ازمحدودهٔ بین۳ تا ۱۵میکرومتر استفاده‌می‌شود.

درطبیعت منبع تولید اشعهٔ مادون قرمز درقسمت انعکاسی آن قرار دارد (یعنی حدود ٤۰ درصد کل انرژی خورشیدی‌که به‌سطح زمین‌می‌رسد را شامل می‌شود)، درصورتی که در قسمت دفعی یا حرارتی، منبع اصلی انرژی گرمای حاصل ازتابش خورشید به‌زمین ویا انرژی زمین گرمایی می‌باشد.

کاربرد ویژهٔ تصاویر تهیه‌شده دربخش انعکاسی اشعهٔ مادون قرمز در زمین‌شناسی ازراه دور شامل مطالعات زمین‌شناسی گیاهی (Geobotany) ، تعیین‌دقیق‌حدفاصل‌آب وخشکی وتشخیص‌بعضی ازپدیده‌های هیدروترمال، واطلاعات حاصل ازبخش حرارتی مادون قرمز بیشتر جهت مطالعات منابع هیدروترمال ، فعالیت آتشفشانها وتشخیص برخی توده‌هـای سنگی به‌کار می‌رود .

میکروویو (Microwave)

این بخش از طیف بین نواحی مـادون قرمز و امواج رادیویی واقع است ومحدودهٔ‌آن تقریباً بین طول‌موجهای یك‌میلیمتر تا یك‌متر قراردارد. ازتصاویر به‌دست‌آمده به‌وسیلهٔ سنجنده‌هایی کـه امواج طبیعی میکروویو (که به‌میکروویو غیرفعال یا Passive Microwave موسوم است) را ثبت می‌کنند ، هنوز کـاربرد مهم وشناخته شده‌ای جهت مطالعات زمین‌شناسی حاصل نشده است ، اما با این وصف بررسیهای گونـاگون انجام‌شده نشان می‌دهد که این تصاویر ممکن است برای تشخیص خاکسترهای آتشفشانی و تشخیص برخی ازسنگها مـانند آهك دولومیتی ، گرانیت و ژیپس مناسب باشند .

آنچه درفوق بیان شد درمورد استفاده از امواج میکروویو موجود در طبیعت بود که آسمان یکی ازمنابع ساطع این امواج است . اما این امواج را می‌توان به‌طور مصنوعی نیز توسط مولدهای ویژه‌ای تولید کرد که در این‌صورت این امواج را Active Microwave یا رادار Radar می‌نامند .

رادار Radar

به‌طور کلی رادار را می‌توان به‌عنوان بخش جداگانه‌ای از طیف الکترومغناطیسی درنظر گرفت که قسمتهایی ازطول‌موجهای بلندمیکروویو وامواج کوتاهتر رادیویی را شامل می‌شوند. دامنهٔ تقریبی امواج رادار که به‌طور مصنوعی تولید می‌شوند ازحدود یك سانتیمتر شروع وتا حوالی ۳ متر ادامه دارد. ولی درحال حاضر امواجی که بیشتر ازآنها در عملیات دورسنجی تصویری به‌وسیله رادار استفاده می‌شود طول موجهای بین ۰/۸۶ تا ۳/۳ سانتیمتر می‌باشد. باندهایی ازامواج رادار که معمولاً درسیستمهای تصویری رادار ازآنها استفاده می‌شود عبارتند از: باند L,S,C,X,K و P که ازمیان باندهای فوق دو باند K و x درعملیات دورسنجی منابع زمینی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازآن‌جایی که امواج مصنوعی رادار بسیار قوی می‌باشند، برخلاف سیستمهای میکروویو غیرفعال دارای قدرت تفکیك بسیار بالا هستند و به‌همین دلیل در زمین‌شناسی ساختمانی کاربرد زیادی دارند. همچنین بعلت قابلیت نفوذ شدید این امواج در پوششهای ابری ومناطق پوشیده ازبرف وبرگ گیاهان درکشورهایی که اغلب اوقات پوشیده از ابر وبرف هستند ویا دارای پوششهای جنگلی وسیع و متراکم می‌باشند تنها وسیلهٔ مطالعات زمین‌شناسی ازراه دور، استفاده از سیستمهای رادار می‌باشد.

سنجنده‌های متداول درزمین شناسی ازراه دور

همان‌طور که قبلاً اشاره شد اگر سنجنده ازمنبع انرژی که دارای منشأ طبیعی‌است استفاده کند (مانند اشعهٔ خورشید یا انرژی زمین‌گرمایی) آنرا غیرفعال (Passive) می‌نامند برای مثال سیستمهای عکسبرداری از این نوعند، ولی اگر انرژی الکترومغناطیسی مورد نیاز سنجنده به‌طور مصنوعی تهیه شود آن سنجنده را فعال (Active) می‌نامند که برای مثال

سیستمهای تصویری رادار را می‌توان نا م‌برد .

درمورد طبقه‌بندی سنجنده‌ها ، روش کـلی دیگری نیز وجود دارد ، به‌این‌ترتیب‌که اگر سیستم‌سنجنده‌ای نتیجهٔ اندازه گیریهای خودرا به‌صورت منحنی ، نمودار، رقم وازاین قبیل ارائـه کند آن سنجنده را «غیرعـادی» (Non-Imaging Sensor Systems) واگر نتیجهٔ ثبت اطلاعات به‌صورت تصویر باشد آن سنجنده را تصویری(Imaging Sensor Systems)می‌نامند. درمورد سیستمهای غیرتصویری باید گفت که به‌طورکلی این سیستمها در حال توسعه هستند و انـواع کلی آن شامـل رادیومترهـا یـا اشعه‌سنجها (Radiometers) فتومترها یا نورسنجها (Photometers) اسپکترومترها یـا طیف‌سنجها (Spectrometers) وغیره می‌باشد . ازآنجایی که کاربرد عملی این سنجنده‌ها فقط به‌اکتشاف کانسارها محدود می‌شود لذا دراین نوشته از بررسی آنها صرف‌نظر می‌شود . اما سیستمهای سنجنده تصویری که دراین نوشته بیشتر موردنظر است خود ازلحاظ نحوهٔ ثبت وماهیت اطلاعات به‌دو دستهٔ فرعی زیر تقسیم‌بندی می‌شود :

۱ ــ سیستمهای تصویری که اطلاعـات حاصل ازآنها دارای مـاهیت تصویری (Pictorial) است مانند سیستمهای عکسبرداری .

۲ ــ سیستمهای تصویری کـه اطلاعات حاصل ازآنها دارای مـاهیت عددی (Numerical) است مانند سیستمهای اسکنر .

اصولاً متداولترین سنجنده‌های تصویری کـه در زمین‌شناسی از راه دور به‌کار می‌روند شامل انواع زیر هستند :

۱ ــ سیستمهای عکسبرداری Photographic Systems

۲ ــ سیستمهای تصویری رجزن Optical-Mechanical Scanner Systems

۳ ــ سیستمهای تلویزیونی (ویدیکون) Vidicon Systems

٤ ــ سیستمهای تصویری میکروویو غیرفعال Passive Microwave Systems

۵ ــ سیستمهای تصویری میکروویو فعال Active Microwave Systems

نظر بـه‌این کـه سیستمهای عکسبرداری شناخته شده‌ترین سیستمها در دورسنجی منابع زمینی هستند دراین‌نوشته ازبررسی سایرسیستمها صرف‌نظر می‌کنیم وفقط به‌بررسی این سیستم می‌پردازیم.

سیستمهای عکسبرداری

درعملیات دورسنجی این‌سیستمها اغلب‌به‌صورت‌غیرفعال به‌کارمی‌روند واطلاعات حاصل ازآنها تماماً دارای ماهیت تصویری هستند. سنجنده‌های عکسبرداری براساس نوع فیلم وفیلتر وعناصر اپتیکی که درآنها بـه‌کار می‌رود به‌سیستمهای کلی زیر تقسیم می‌شوند:

۱ ــ سیستمهای عکسبرداری ماورای بنفش

دراین سیستم ازفیلمهایی که نسبت به‌اشعهٔ ماورای بنفش حساس هستند وعدسیها وفیلترهای خاص که بتواند امواج ماورای بنفش را ازخود عبور دهد استفاده می‌شود. این سیستمها عملاً فقط می‌توانند امواج ماورای‌بنفش نزدیك را ثبت کنند. زیرا بقیه طول موجهای ماورای‌بنفش به‌وسیله آتمسفر جذب می‌شود.

۲ ــ سیستمهای عکسبرداری سیاه وسفید معمولی

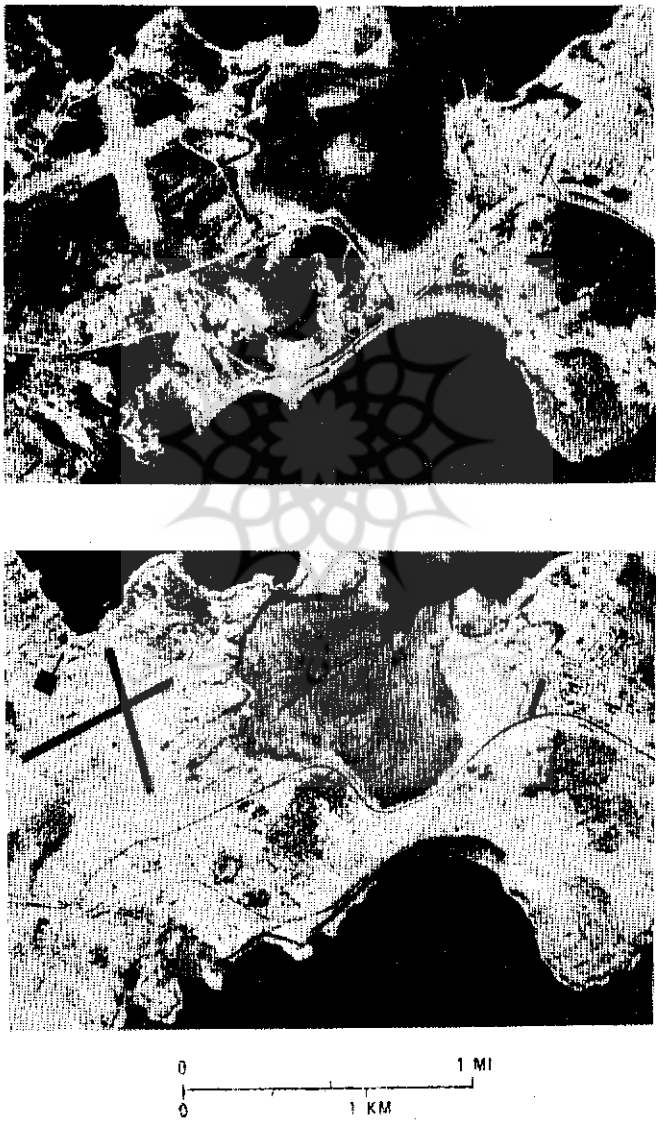
این‌سیستمها اساساً شبیه دوربینهای‌عکسبرداری معمولی‌است وفیلمهایی که درآنها به‌کار می‌رود درناحیهٔ نور مرئی عمل‌می‌کنند. درهنگام استفاده ازاین‌سیستمهامی‌توان باکمك‌فیلترهای‌اپتیکی‌مناسب دربانده‌ای‌محدودتری ازنور مرئی که مورد نظر باشد اطلاعات کسب نمود.

۳ ــ سیستمهای عکسبرداری سیاه وسفید مادون قرمز

دراین سیستمها ازفیلمهایی استفاده می‌شود که نسبت به‌اشعهٔ مادون‌قرمز نزدیك حساسیت دارند. دراین سیستمها برای جلوگیری از ورود امـواج

نور مرئی ازیك فیلتر مناسب استفاده می‌شود .

در شکل ۷ می‌توان تفاوت بین عکسهای سیاه وسفید معمولی (A) با سیاه وسفید مادون قرمز (B) را مشاهده نمود .



شکل ۷ــ مقایسه عکسهای سیاه و سفید معمولی (A) با سیاه وسفید مادون قرمز (B) درتصویر سیاه و سفیدمادون قرمز، بعضی ازپدیده‌ها به‌ویژه حدفاصل آب وخشکی مشخص ترند .

٤ ـ سیستمهای عکسبرداری رنگی معمولی

این سیستم هم شبیه دوربینهای عکسبرداری معمولی است کـه در آن فیلم رنگی معمولی به‌کار رفته است . لایه‌های حساس فیلم رنگی معمولـی طوری طراحی شده‌اند که ذرات املاح نقره موجود درهریك ازآنها نسبت به‌یك طول موج خاص ازرنگهای اصلی نورسفید حساس می‌باشد ودرنتیجه درتصویر نهایی ، رنگ هرپدیده به‌صورت طبیعی خود ظاهر می‌شود .

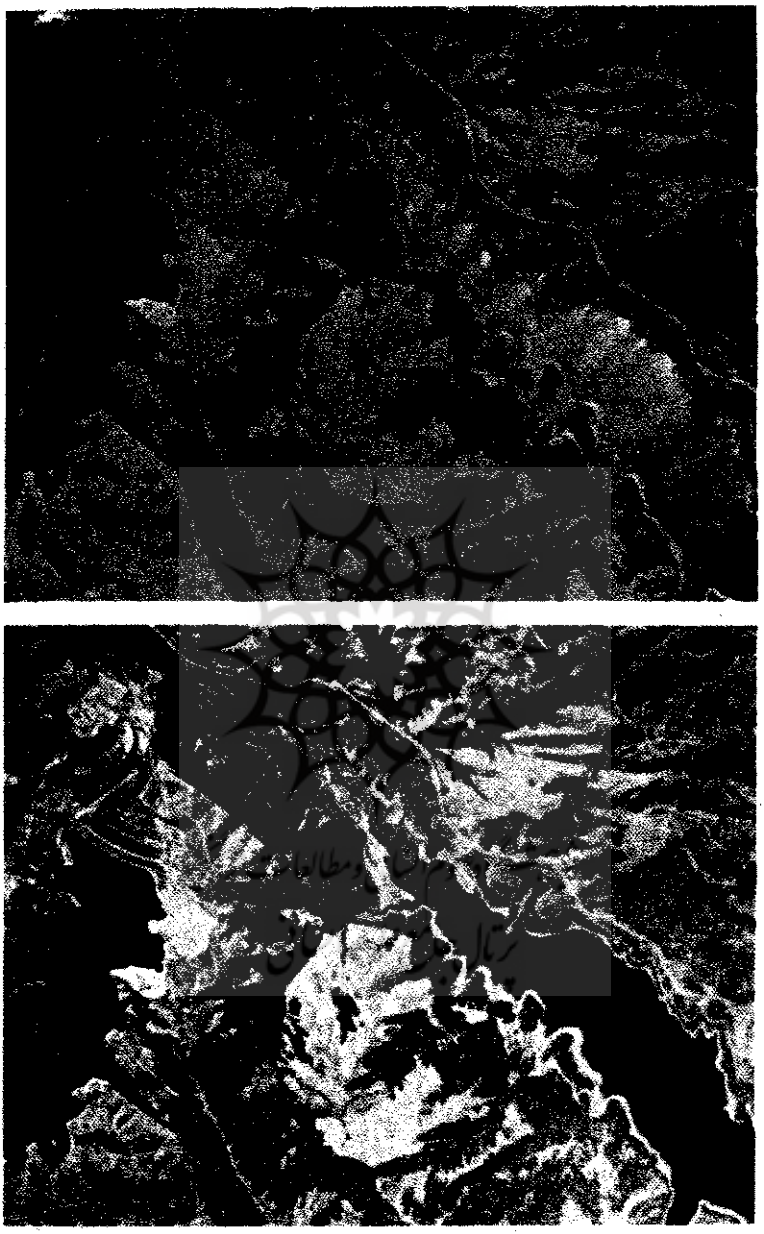
٥ـ سیستمهای عکسبرداری رنگی مادون قرمز رنگی مجازی

(False Color)دراین‌نوع‌سیستمهاازفیلمهای‌رنگی‌مادون‌قرمزکه‌لایه‌های حساس آن‌نسبت‌به‌امواج سبز ،قرمزومادون‌قرمزنزدیك‌حساس هستنداستفاده می‌شود. البته تمام این‌لایه‌ها نسبت به‌نورآبی نیزحساسندکه برای‌جلوگیری از ورود نور آبی همیشه به‌همراه این فیلمها ازفیلتر زرد استفاده می‌شود . ازآنجایی که برای انسان رنگی به‌نام مادون قرمز وجود ندارد ، لذا برای این‌که امواج مادون قرمز ثبت‌شده قابل رؤیت شود درتصویرنهایی یك‌نوع تغییر رنگ (Shift) ایجاد می‌کنند ؛ به‌این ترتیب کـه نور سبز به‌رنگ آبی ، اجسام قرمز به‌رنگ سبز وبالاخره پدیده‌هایی که امواج مادون قرمز نزدیك ازخود ساطع می‌کنند به‌رنگ قرمز درمی‌آیند ودرنتیجه پدیده‌های مختلف به‌رنگ غیرطبیعی (مجازی) ظاهر می‌شوند . برای مثال،قسمتهای سبز گیاهان که ازخود به‌مقدار زیـاد اشعهٔ مادون قرمز ساطع می‌کنند در تصویر مادون قرمز رنگی به‌صورت قرمز روشن ظاهر می‌شوند .

در شکل ۸ عکسبرداری رنگی معمولی با عکسبرداری رنگی مـادون قرمز مقایسه شده است .

درشکل ۹ تصویررنگی مجازی(فالزکالر) ازمنطقهٔشمال ایران‌نمایش داده شده است .

٦ ـ سیستمهای عکسبرداری چندباندی



شکل ۸ــ مقایسه عکس رنگی معمولی (بالا) بارنگی‌مادون قرمز (پائین) درتصویررنگی معمولی تودهٔ آب گل‌آلود (سمت راست) از توده آب صاف (سمت چپ) کاملا قابل‌تشخیص است. درتصویر رنگی مادون قرمز حدفاصل آب و خشکی وهمچنین پدیده‌های گیاهی مشخص‌تر است.

شکل ۹ــ تصویر رنگی مجازی (فالزکالر) ازمنطقه شمال ایــران که توسط ماهواره لندست درسال ۱۳۵٤ گــرفته شده است. دراین تصویر رنگ قرمز معرف پوششهــای گیاهی (جنگلها ومناطق کشاورزی)، رنگ سفید معرف مناطق پوشیده از برف و مربع سیاه محدوده تقریبی شهر تهران را نشان می‌دهد .

نحوهٔ کار این سیستمها به‌این ترتیب است که برروی یك دوربین‌چندین سیستم اپتیکی فرعی وجود دارد کـه هریك ازآنها می‌توانند همانند یـك سیستم عکسبرداری مجزا عمل کنند . بـه‌وسیلهٔ این سیستمها می‌توان ازیك منطقه به‌طور همزمان دربانده‌ای طیفی مختلف تصویر تهیه کرد که این‌عمل با ترکیبهای‌مختلف ومناسب‌فیلم وفیلتر امکان‌پذیراست. معمولاً با رنگـ دادن به‌وسیله فیلتر ، به‌تصاویر باندهای مختلفی که ازاین سیستم بـه‌دست می‌آید وترکیب وانطباق آنها برروی یـکدیگر می‌توان یك تصویر رنگی واحد کـه آن را تصویر رنگی مرکب (Color Composite) می‌نـامند به‌دست آورد؛ لازم به‌تذکراست که رنگهای حاصل می‌توانند دارای‌رنگهای شبه طبیعی یا مجازی باشند .

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست درمطالعات زمین شناسی

اطلاعات ماهواره‌ای درمطالعات مختلف منابع زمینی کـاربرد وسیعی دارد. این‌اطلاعات می‌تواند درجهت تکمیل مطالعات علمی رشته‌های‌مربوط به‌منابع زمینی ازجمله زمین‌شناسی ورشته‌های وابسته به‌آن مـورد استفاده قرارگیرد . درزیر خلاصه‌ای ازکاربرد اطلاعات ماهـواره‌ای در مطالعات زمین‌شناسی واکتشافی را بیان می‌نماییم .

۱ ـ تهیه وتصحیح نقشه‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای یا کوچك مقیاس (درسطح کشورها ویا حتی قـاره‌ها) . ذکر این نکته ضروری است کـه به‌دلیل این‌که این عکسها قائم بـوده واز نظر ژئومتری تصحیح می‌شوند ، لذا درتصاویرلندست خطا وجودندارد وبه‌سهولت می‌توان آنهارا به‌صورت موزاییك به‌هم متصل نمود .

۲ ـ اطلاع ازحوادث ویا پدیده‌های‌مهم زمین‌شناسی که درمدت کوتاه اتفاق می‌افتد یا خواهد افتاد .

نظیر :

الف ـ تغییرات اساسی درمسیر رودخانه‌ها درفصول سیلابی

ب ـ تغییرات توپوگرافی براثر زلزله‌های اصلی .

ج ـ مراقبتهای متناوب از آتشفشانهای فعال ویا مستعد برای فعال‌شدن.

۳ ـ مطالعات ژئومورفولوژیکی

تصاویر لندست این امکان‌را فراهم آورده است که ژئومورفولوژیستها بتوانند تحقیقات خود را درسطح وسیعی انجام دهند. درزیرفقط چندنمونه ازکاربرد تصاویر لندست را درمطالعات ژئومورفولوژیکی بیان می کنیم .

الف ـ مطالعهٔ نحوهٔ گسترش وپیشرفت تپه‌های شنی درنواحی کویری به‌طورمنطقه‌ای (نه محلی) به‌منظور کنترل ویا بهره‌برداری‌اقتصادی ازآنها.

ب ـ مطالعهٔ ژئومورفولوژی مناطق مختلف (درسطح وسیع) وارتباط دادن آنها حتی درسطح قاره‌ها .

ج ـ مطالعهٔ مناطق یخچالی (از نظر وسعت ، پیشروی و پسروی و تغییرات وتحولات دیگر) .

٤ ـ زمین‌شناسی ساختمانی وتکتونیك

استفاده ازتصاویر لندست درمطالعات‌تکتونیکی وزمین‌شناسی‌ساختمانی بسیار با ارزش‌است، زیرا تلفیق این اطلاعات با دانسته‌های زمین‌شناسی موجود می‌تواند درتعبیر وتفسیر تکتونیك مناطق بسیار مفید باشد . درزیر کاربرد تصاویر لندست را درمسائل زمین‌شناسی ساختمانی وتکتونیکی بیان می کنیم :

الف ـ مطالعه و بررسی روند چین‌خوردگیها و شکستگیهای اصلی به‌منظور درك وشناخت روندهای تکتونیکی .

ب ـ مطالعهٔ گنبدهای نمکی، توده‌های آذرین نفوذی ، کمربندهای آتشفشانی وغیره .

پ ـ کشف گسلهای مهم ومتعدد قدیمی و گسلهای جدید .

ت ـ کشف دهانه‌های قدیمی وجدید آتش‌فشانی وشناخت ساختمانهای اصابتی (impact structure) درمناطق مختلف دنیا . تحقیقات نشان‌داده است که اصابت اجرام آسمانی (متائوریتها) به‌زمین نقش مهمی در تکامل پوسته‌ای داشته است .

ث ـ مطالعهٔ تکتونیك ناحیه‌ای برای‌حل‌مسائل زمین‌شناسی بین‌قاره‌ای وتهیهٔ نقشه‌های تکتونیکی .

ج ـ شناخت ومطالعهٔ روندهای‌اصلی تکتونیکی در دنیا (بویژه بررسی گسلهای فعال عهد حاضر) وبررسی امکان زلزله‌خیزی نواحی مختلف .

چ ـ مطالعهٔ تکتونیك صفحه‌ای : بـا مطالعه عکسهای فضایی جنوب غربی آفریقا وعکسهای مناطق امریکای جنوبی انطباق قابل ملاحظه‌ای در ساختمان (پرکامبرین) دو طرف اقیانوس اطلس مشاهده می‌شود ، بنابراین ارتباط سیستماتیکی بین اشکال شکستگیهای نـاحیه‌ای می‌تـواند تأییدی برجدایی قاره‌ها وچرخش آنهاباشد. عکسهای فضایی جنوب هند واسترالیا ونیز دریای سرخ وشبه جزیرهٔ عـربستان برای مطالعهٔ تکتونیك صفحه‌ای بسیار با ارزش می‌باشند .

۵ ـ مطالعهٔ زمین‌شناسی مهندسی به‌منظور اجرای طرحهای ساختمانی سدها، توسعه وایجاد بنادر، توسعهٔ مناطق مسکونی، احداث راهها وغیره .

۶ ـ زمین‌شناسی اقتصادی

محققین از تصاویر ماهواره‌ای جهت اکتشاف ذخایر معدنی و مخازن هیدروکربوری (نفت وگاز) استفاده کرده ودراین راه به‌موفقیتهایی نیز دست یافته‌اند . لذا تصاویر ماهواره‌ای ازجنبه‌های اقتصادی دارای ارزش فوق‌العاده زیادی هستند. درزیر کاربرد اطلاعات ماهواره‌ای را دراکتشاف منابع وذخایر معدنی به‌طور خلاصه بیان می‌کنیم :

الف ـ اکتشاف مخازن هیدروکربوری (نفت و گاز) : برای اکتشاف این نوع مخازن باید از اطلاعات تکتونیکی به‌دست‌آمده از تفسیر تصاویر لندست ، به‌عنوان مکمل اطلاعات زمین‌شناسی استفاده شود . به‌عنوان مثال یکی ازمناطق تجمع نفت در زیر تاقدیسها می‌باشد ، لذا با مطالعهٔ تصاویر ماهواره‌ای می‌توان موقعیت و گسترش تاقدیسها را بخوبی تشخیص داد و سپس با مطالعهٔ عکسهای هوایی وعملیات صحرایی بررسیهای اکتشافی را انجام داد (شکل ۱۰) .

ب ـ مطالعهٔ تصاویر رنگی (مادون قرمزحرارتی) به‌منظور شناخت مکانهای مناسب جهت استفاده از منابع ژئوترمال ، شناخت چشمه‌های آب گرم به‌منظور کشف مواد معدنی دراطراف آنها .

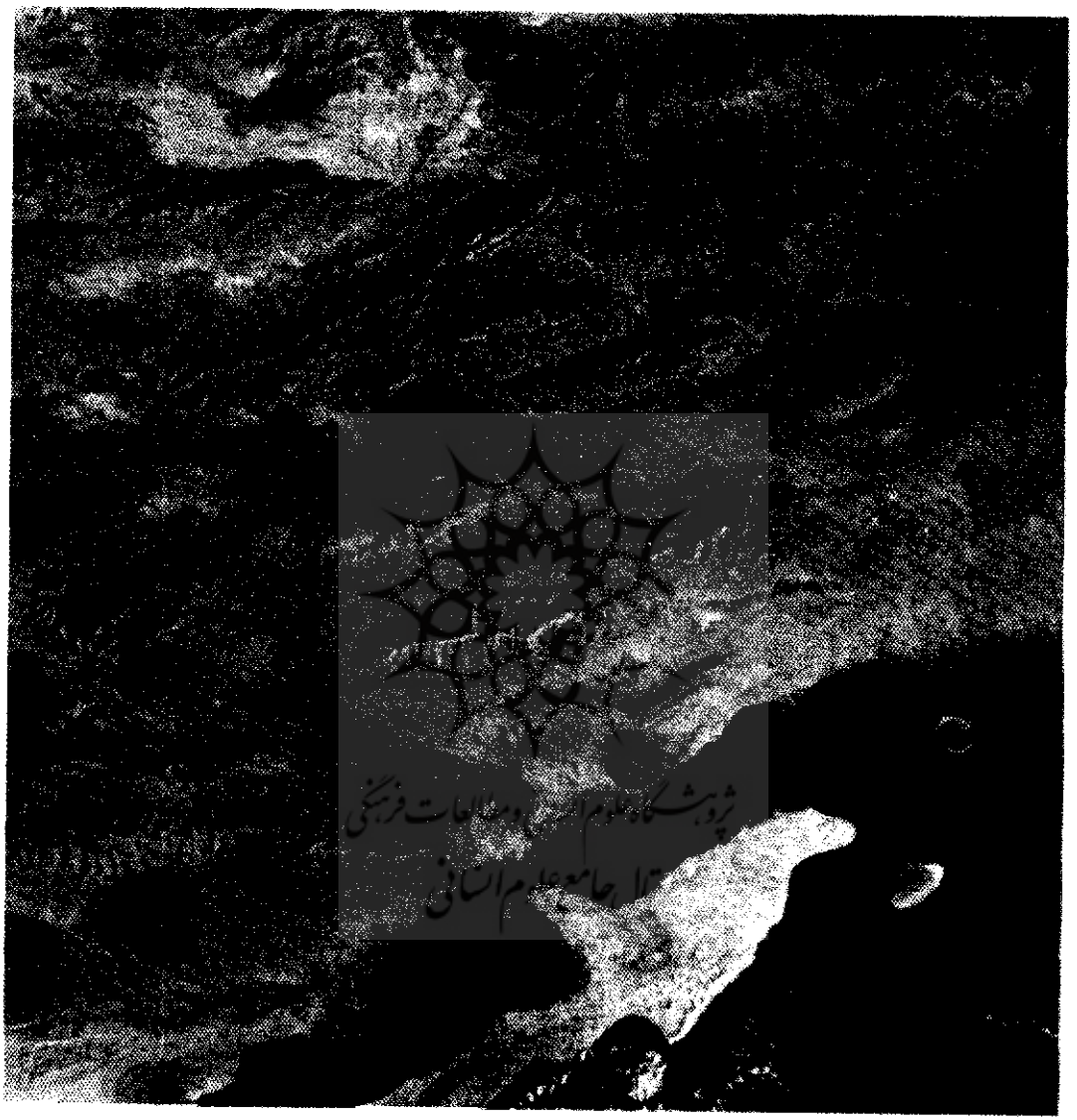
پ ـ مطالعه وشناخت روندهای تکتونیکی شناخته شده وشناخته‌نشده به‌منظور کشف وتجمع مواد معدنی .

ت ـ اکتشافات ژئوبوتانیك (Geobotanic) : دراین نوع مطالعات می‌توان باتوجه به‌تغییراتی که در روی گیاهان صورت می گیرد به‌تمرکز غیرعادی یك‌سری ازعناصر پی‌برد .

ث ـ بررسی موقعیت زمین‌شناسی معادن شناخته‌شده ، جهت کشف وضعیتهای مشابه درنواحی دیگر .

ج ـ بررسی ومطالعهٔ اثرات دگرسانی درسنگها باتوجه به‌تغییر رنگ عکسهای سیاه وسفید ورنگی ماهواره‌ای جهت اکتشاف اورانیوم .

چ ـ بررسی رسوبات سطحی (ازجمله پیدمونت‌ها ومخروط افکنه‌ها ، بستر سیلابی رودخانه‌ها ، پلایا وغیره) به‌منظور بهره‌برداری اقتصادی از آنها. به‌عنوان مثال پلاسرها کانیهای اقتصادی‌سنگینی هستندکه دررسوبات رودخانه‌ای یافت‌می‌شوند بنابراین شناخت‌موقعیت‌رودخانه‌ها کمك‌فراوانی به‌اکتشاف مواد معدنی می کند. علاوه‌براین بررسی رسوبات‌سطحی به‌منظور



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۱۰ــ تصویری ازمنطقه شمالی جزیره قشم کــه درسال ۱۹۷۳ توسط ماهــوا لندست ۱ از ارتفاع ۹۰۰ کیلومتری سطح زمین تهیه شده است. دراین تصویر کوههای نمکی تاقدیسها و ناودیسهای منطقه بخوبی مشاهده می‌شود.

بهره‌برداری از آنها در طرحهای عمرانی می‌تواند بسیار مفید باشد. درپایان باید به‌این نکته اشاره کرد کـه برای دست‌یابی بـه‌نتایج بهتر در عملیات اکتشافی ومطالعات تفصیلی لازم است که اطلاعات به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای ونیز اطلاعات به‌دست‌آمده ازروی عکسهای هوایی را با نتایج حاصل ازسایر اطلاعات ازجمله عملیات صحرایی تلفیق کنیم ومورد استفاده قرار دهیم .

منابع

فارسی :

۱ ــ ماهوارهٔ تکنولوژی منابع زمینی ، ویژگیها، کاربردهای اطلاعات حاصله و تاریخچه استفاده از این تکنولوژی درایران . سازمان برنامه وبودجه طرح استفاده از ماهواره (مرکز سنجش از دور ایران) .

۲ ــ تکنولوژی سنجش از دور : خلاصه‌ای از تکنولوژی وکاربرد فن سنجش از دور ، بویژه اطلاعات ماهواره‌ای دربررسی وتشخیص منابع زمینی ــ سازمان برنامه وبودجه ــ طرح استفاده از ماهواره اسفندماه ۱۳۵٤ .

۳ ــ کاربرد تصاویر ماهواره لندست دربررسی رسوبات‌سطحی درایران. نوشته فرخ برزگر خرداد ۱۳٦۰ .

٤ ــ دیباچه‌ای برزمین‌شناسی از راه دور. تـوسط غلامرضا بقراطی ــ فـرخ برزگر ــ تیرماه ۱۳٦۲ .

۵ ــ ماهواره لندست انفجار اتمی چرنوبیل را به‌تصویر می‌کشد . توسط دکتر حسن علیزاده ، مجله رشد جغرافیا .

٦ ــ آشنایی با دانش دورسنجی . توسط گروه دورسنجی سازمان زمین‌شناسی کشور. مجله رشد زمین‌شناسی .

۷ ــ چشمی در آسمان . ترجمه احمد دالکی، مرتضی قادری .

۸ ــ نمونه‌هایی ازتصاویر سنجنده‌هــای متداول در زمین‌شناسی از راه دور ، مرکز سنجش از دور ایران .

خارجی :

1) Floyd F. Sabins, Jr, 1978, Remote sensing Principles and interpretation.

2) Haldouty, M. T., 1976, Application of landsat imagery to petroleum and mineral exploration: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, V. 60 P. 745-793.

3) Geologic Applications of orbital Photography by paul D. Lowman, Jr. Goddard space Flight center Greenbelt, Md, NASA Technical Note.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی