مجله محیط شناسی، شماره ۳۴، بهار ۱۳۸۳، صفحه ۳۸-۲۹

کاربـــرد سنجش حرارتـــی از دور در مطالعات محیط زیست

دکتر سیدکاظم علوی پناه *

چکیده

بسیاری از مطالعات نشان داده است که داده های حرارتی حاصل از سنجنده ها کاربرد فراوانی در مطالعات پدیده های زمینی دارد. اما بر اساس اطلاعات نگارنده هنوز استفاده از سنجش از دور در ایـران گسـترش نیافتـه اسـت. درجـه حـرارت عامـل مهمـی در درک خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که می تواند برای بیان وضعیت ماده اسـتفاده شـود. بنـابراین تصـمیم گیـری بـرای انتخاب داده های حرارتی سنجش از دور و نوع سنجنده در مطالعات محیط زیست مرحله مهمی محسوب مـی شـود. از ایـن رو لازم است که محتوای اطلاعات باندهای حرارتی و کاربردهای آن ارزیابی شود. در این مطالعه سعی می شود فواید سنجش از دور و کاربرد آن در توسعه پایدار، پوشش گیاهی، هواشناسی، کیفیت هوا، خاک و زلزله مورد بحث قرار گرفته و براساس این مطالعه نتیجـه گیـری شده است که داده های حرارتی سنجش از دور، ابزاری قوی برای مطالعات محیط زیست می باشند.

کلید واژه

داده های حرارتی، سنجش از دور، درجه حرارت، محیط زیست، سنجنده، اطلاعات باندهای حرارتی.

تاریخ دریافت:۱۳۸۱/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۸/۷

* دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

سرآغاز

سنجش از دور حرارتی، شاخه ای از سنجش از دور محسوب می شود که پیرامون پردازش و تفسیر داده های به دست آمده در ناحیهٔ مادون قرمز حرارتی (TIR)[1] و طیف الکترومغناطیس (EM) بحث می کند. در سنجش از دور حرارتی، تابش های ساطع شده از سطح هدف، اندازه گیری می شود. به دلیل ماهیت متفاوت داده های سنجش از دور حرارتی با داده های سنجش از دور انعکاسی و همچنین قدرت تفکیک مکانی متفاوت این دو نوع داده، تاکنون در بسیاری موارد از داده‌های سنجش از دور حرارتی در مطالعاتی مانند طبقه بندی تصاویر ماهواره ای صرف نظر می شده است. اما امروزه به دلیل اهمیت سنجش از دور حرارتی در مطالعات محیطی، بسیاری از محققان تحقیقات پایه در زمینه سنجش از دور حرارتی و توسعهٔ بیشتر فن‌آوری سنجنده‌ها و کاربردهای جدید باندهای حرارتی را ضروری دانستند (Quattrochi & Ridd, 1994) و (Tronin, 2000 و Salisbury & Avia, 1998). از طرف دیگر حرارت به عنوان نوعی کمیت مهم ترمودینامیکی می تواند برای شناسایی ماده و انتقال حرارت استفاده شود (Norman, et al., 1995)، زیرا حرارت آن چنان عامل مهمی در درک سیستم های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی در زمین و فضاست که با اطمینان می توان گفت که می باید در هر مطالعه مرتبط با علوم زمین لحاظ گردد. زیرا ۹۵٪ از کل انرژی وارد به کره زمین به صورت تشعشعات خورشیدی است و تقریباً نیمی از این مقدار به حرارت تبدیل می شود و ۲۳٪ آن صرف پدیده های تبخیر و نزولات و تنها ۱۲٪ صرف فتوسنتز گیاهان می شود (Norman et al., 1995). خورشید مهمترین منبع انتشار امواج الکترومغناطیسی مورد نیاز در سنجش از دور است. تمامی مواد در درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق (۲۷۳/۱۵- درجه سانتیگراد یا صفر درجه کلوین) از خود امواج الکترومغناطیسی ساطع می کنند. میزان انرژی ساطع شده از هر ماده تابعی از دمای سطحی ماده است. کل انرژی ساطع شده از یک ماده با توان چهارم دمای ماده نسبت مستقیم دارد. یعنی با افزایش دما، سرعت تابش ساطع شده از ماده افزایش می یابد. همان گونه که کل انرژی ساطع شده از یک جسم با دما تغییر می کند، توزیع انرژی ساطع شده نیز متغیر است.

درجه حرارت سطح زمین حدود ۳۰۰ درجه کلوین (یعنی ۲۷ درجه سانتیگراد) است. اصولاً حداکثر انرژی ساطع شده از عوارض زمین در طول موج حدود ۹/۷ میکرومتر روی می دهد و چون این تابش ناشی از گرمای زمین است، بنابراین به آن انرژی مادون قرمز حرارتی می گویند. این انرژی قابل عکسبرداری نیست اما سنجنده های حرارتی مانند رادیومترها و اسکنرها نسبت به آن حساس می باشند.

در سنجش از دور حرارتی، بیشتر از محدوده طیفی ۱۴- ۸ میکرومتر استفاده می شود. البته بعضی از سنجنده ها مانند سنجنده TM ماهواره لندست (باند ۶) در محدوده طیفی ۱۲/۶- ۱۰/۴ میکرومتر عمل می کنند تا بتوانند از محدوده حداکثر جذب اوزون که در محل ۹/۶ میکرومتر است، اجتناب کنند. بعضی از باندهای حرارتی در سنجنده های چند طیفی مانند ASTER،ویژهٔ کاربردهای زمین شناسی طراحی شده اند.

عوامل مؤثر بر دمای تابشی

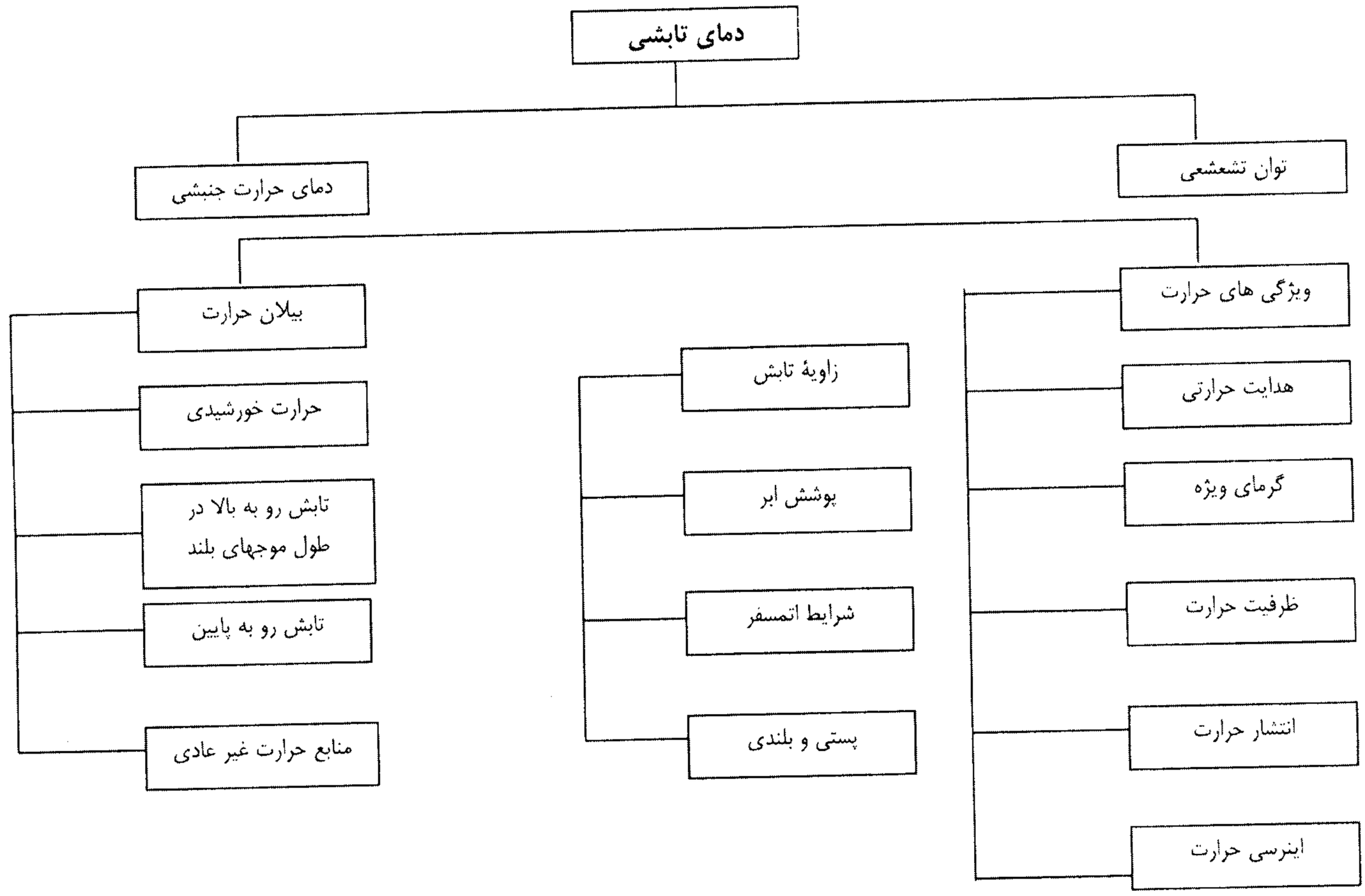
تاکنون کاربردهای متعددی برای سنجش از دور حرارتی ارائه شده است ولی نظر به اینکه این رشته از سنجش از دور جوان است لازم است که ویژگی های سنجش از دور حرارتی و عوامل مؤثر بر دمای تابش مشخص و روشن باشد. عوامل مؤثر بر پرتو منتشره[2] به دو گروه عمده بیلان انرژی حرارتی و ویژگی های حرارتی مواد تقسیم می شوند. بیلان انرژی حرارتی شامل عواملی مانند حرارت خورشیدی، تابش رو به بالا در طول موجهای بلند، تابش رو به پایین و منابع حرارت است و ویژگی های حرارتی شامل هدایت حرارتی، گرمای ویژه، چگالی، ظرفیت حرارتی، انتشار حرارتی و اینرسی حرارت است.

امروزه معلوم شده است که داده های حرارتی می توانند مکمل دیگر داده های سنجش از دور (داده های انعکاسی) باشند (Alavi Panah et al., 2001). این موضوع اهمیت داده های حرارتی و شناخت عوامل مؤثر بر دمای تابشی را روشن می سازد.

از جمله عوامل مؤثر بر دمای تابشی (نمودار شماره ۱)، توان تشعشعی است که در جدول شماره (۱) توان تشعشعی مواد و پدیده های مختلف در ناحیه ۱۴-۸ میکرومتر نشان داده شده است. برای آشنایی بیشتر با سایر عوامل مؤثر بر دمای تابشی به مرجع (Prakash, 2000 و Alavi panah & Goossens, 2001) مراجعه شود.

ویژگی های سنجش از دور حرارتی

اختلاف اساسی بین سنجش از دور در ناحیهٔ مادون قرمز حرارتی و ناحیه های دیگر طیف EM، به سبب مواردی است که برخی از آنها بستگی به اکتساب داده های حرارتی، کالیبراسیون ، تصحیحات هندسی و اتمسفری دارد که در زیر بحث می شود.



نمودار شمارهٔ (۱): عوامل مؤثر بر دمای تابشی (prakash, 2000)

جدول شماره (۱): توان تشعشعی پدیده های مختلف در ناحیه ۱۴-۸ میکرومتر (علوی پناه، ۱۳۸۲)

پدیده	توان تشعشی	پدیده	توان تشعشی
آب دریا	۰/۹۸	علفزار خیلی کوتاه	۰/۹۷۹
یخ	۰/۹۶	علفزار کوتاه (چند سانتیمتری)	۰/۹۸۱
برف	۰/۸۵	علفزار (۱۵ سانتی متری)	۰/۹۸۳
خاک مرطوب	۰/۹۵	نیزار (۱۰۰ سانتیمتری)	۰/۹۹۴
خاک خشک	۰/۹۲	پوشش گیاهی خشک	۰/۸۸-۰/۹۴
خاک لخت (شنی)	۰/۹۳	پوست انسان	۰/۹۷-۰/۹۹
خاک لخت (لوم شنی)	۰/۹۱۴	آسفالت	۰/۹۵-۰/۹۸
شن	۰/۹۱	آجر	۰/۹۳-۰/۹۴
چوب	۰/۹۰	ورق آهن	۰/۶۳-۰/۷۰
سنگ های گرانیت	۰/۸۹	فلز براق	۰/۱۶-۰/۲۱
دولومیت (براق)	۰/۹۲۹	آلومینیوم	۰/۰۳-۰/۰۷
دولومیت (زبر)	۰/۹۵۸	شیشه	۰/۷۷-۰/۸۱
بازالت (زبر)	۰/۹۳۴	سمنت (بتون)	۰/۹۲-۰/۹۴
فلدسپار	۰/۸۷۰		
مناطق سنگی	۰/۹۵۹		
بوته زار (نیمه متراکم)	۰/۹۷۶		
بوته زار متراکم	۰/۹۸۶		

کسب داده های حرارتی

بیشتر سنجنده های حرارتی، داده ها را بصورت غیرفعال[۳] دریافت می کنند. این گونه سنجنده ها انرژی ساطع شده از اشیاء را ثبت می کنند. دستگاه های متعددی برای اخذ اطلاعات پدیده های سطحی در ناحیه ۸ تا ۱۲ میکرو متر وجود دارد. این وسایل زمینی، هوایی و یا فضایی اند. در اینجا به منظور آشنایی با دستگاه های اسپکترومتر[۴] به ذکر چند نوع از آنها پرداخته می شود:

یکی از این دستگاه های قابل حمل، اسپکترومتر تشعشعی صحرایی(JPL) است که در ناحیه ۵ تا ۱۵ میکرومتر طراحی شده است. این دستگاه به دلیل سنگینی و بزرگی زیاد کمتر استفاده می شود و اسپکترومترهای سبک تر مانند THIRSPEC و μFTIR جایگزین شده اند. THIRSPEC، دستگاه اسپکترومتر مادون قرمز حرارتی است که در عملیات صحرایی استفاده می شود. دامنه طیفی مفید این دستگاه بین ۷/۹ تا ۱۱/۳ میکرومتر است. دستگاه μFTIR کوچک (μFTR) امکان اخذ امواج مادون قرمز پدیده های سطحی بین ۲ تا ۵ میکرومتر و ۵ تا۱۴ میکرومتر را فراهم می کند. سایر دستگاه های معمول به شرح زیر است:

سنجنده AAS[۵]: ۲۴ باند که ۱۷ تای آنها در محدوده مادون قرمزحرارتی است.

سنجنده AHS[۶]: ۴۸ باند بین ۰/۴ و ۱۳ میکرومتر.

سنجنده AMSS[۷]: ۴ باند که ۶ تای آن بین ۸ تا ۱۲ میکرومتر است.

سنجنده MODIS[۸]: ۴ باند بین ۸ تا ۱۲/۵ میکرومتر با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر.

سنجندهMAS[۹]: ۵۰ باند بین ۰/۵ و ۱۴ میکرومتر.

سنجنده MIVIS[۱۰]: ۱۲ باند بین ۰/۴ تا ۱۳ میکرومتر.

سنجنده TIMSS[۱۱]: ۶ باند بین ۸ تا ۱۲ میکرومتر.

سنجندهATLAS: ۳ باند در بخش نور مرئی و مادون قرمز نزدیک و ۶ باند در ناحیه SWIR[۱۲]و ۵ باند در ناحیه حرارتی دارد.

سنجنده Landsat TM6[۱۳]: قدرت تفکیک زمینی ۱۲۰ متر.

Landsat 7-TM6: قدرت تفکیک زمینی ۶۰ متر.

سنجنده ASTER[۱۴]: قدرت تفکیک زمینی ۱ کیلومتر (در باندهای مادون قرمز حرارتی).

سنجنده AVHRR[۱۵]: قدرت تفکیک زمینی ۱/۱ کیلومتر.

اخذ روزانه و شبانه

داده های حرارتی در روز و همچنین در شب اخذ می شوند. در برخی کاربردها نیاز به داده های مذکور در هر دو زمان است. یکی از کاربردهای توأم داده های حرارتی روزانه و شبانه، مطالعه گرمای مناطق شهری است. LO و همکاران (۱۹۹۷) حرارت چندین شهر را با استفاده از تصاویر حرارتی مادون قرمز با قدرت تفکیک مکانی بالا ارزیابی کردند. آنها در مطالعات خود دریافتند که در اوقات روز، بخش های تجاری و سپس مناطق حمل و نقل، بالاترین درجه حرارت را دارند و پائین ترین درجه حرارت به ترتیب مربوط به محل های دارای آب، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی است. خانه های مسکونی، ترکیبی غیر یکنواخت از ساختمان و چمن و درخت دارند و دارای درجه حرارت متوسطی می باشند. در شب، مناطق تجاری، خدماتی، صنعتی و حمل و نقل سریعتر خنک می شوند و اصولاً درجه حرارت آنها در ساعات اولیه بامداد هنوز قدری بیشتر از پوشش های گیاهی و کشتزارهاست. آب ظرفیت گرمایی بالایی دارد و بنابراین گرم ترین پدیده در ساعات اولیه بامداد است (Jensen, 2000)

از داده حرارتی می توان برای موارد زیر استفاده کرد:

۱- مدل کردن رابطه بین رشد مناطق شهری و افزایش گرما در طول زمان

۲- مدل کردن رابطه بین رشد مناطق رو به توسعه و تغییرات شهر و کیفیت هوا در طول زمان

۳- مطالعه اثر توسعه شهری بر ویژگی های بیلان انرژی سطحی.

با استفاده از چنین تصاویری می توان توصیه های لازم برای درختکاری در مناطق خاص جهت کاهش حرارت شهری را ارائه کرد (Quattrochi & Ridd, 1998).

قدرت تفکیک زمینی و تصحیحات هندسی

سنجنده ها در حالی که تشعشعات سطوح را اندازه گیری می کنند، گرم می شوند، بنابراین باید به طور مداوم خنک شوند. این مسئله محدودیتی فیزیکی برای ظرفیت اندازه گیری سنجنده ها و بنابراین تفکیک مکانی داده های اخذ شده ایجاد می کند. قدرت تفکیک مکانی پایین داده های حرارتی ماهواره ها، مشکلات اضافی در تطبیق هندسی این داده ها با دیگر داده ها ایجاد می کند، بویژه هنگامی که داده های غیر حرارتی قدرت تفکیک مکانی بالاتری داشته باشند. در چنین حالت هایی یافتن نقاط کنترل زمینی قابل اعتماد منطبق با داده های با تفکیک مکانی مختلف نه تنها مشکل است بلکه باعث خطاهای زیادی می شود که باید برای رفع این خطاها راه حل هایی پیدا شود. حل این مشکل ممکن است که ابتدا با

انطباق تصویر حرارتی با تصاویر با قدرت تفکیک طیفی متوسط انجام شود و در مرحلهٔ دیگر این کار با تصاویر با قدرت تفکیک طیفی بالا انجام شود. قدرت تفکیک زمینی عبارت است از حداقل فاصله بین دو شیء که یک سنجنده می تواند به طور متمایز (به صورت تفکیکی) ثبت کند(Simonett, 1983). چنین قدرتی جزئیات قابل تفکیک در تصاویر ماهواره ای را مشخص می کند و نقش مهمی در کاربرد موفقیت آمیز داده های حرارتی دارد.

کاربرد داده های سنجش از دور

ثبت اطلاعات در ناحیه مادون قرمز حرارتی کمک زیادی به مطالعه پدیده های مختلف می کند. تغییرات جزئی درجه حرارت می تواند نسبت به درک بیشتر محیط به ما کمک کند. برخی کاربردهای سنجش از دور حرارتی شامل موارد زیر است:

۱- حیات‌وحش، وضعیت ماهیگیری وتعیین آلودگی آبهای گرم و سرد؛
۲- تهیه نقشه حرارتی؛
۳- تشخیص واحدهای زمین شناسی و تعیین محل گسلها؛
۴- رطوبت خاک؛
۵- هیدرولوژی و تعیین محل نشت آب؛
۶- مرزبندی مناطق ساحلی و قرار گیری آب؛
۷- آتش سوزی ها؛
۸- زلزله؛
۹- مدلهای محیطی؛
۱۰- تبخیر گیاهان؛
۱۱- تعیین محل چشمه های آب سرد و چشمه های آب گرم معدنی.

در زیر کاربردهای مهم سنجش از دور حرارتی در مطالعات منابع طبیعی، پوشش گیاهی ، هوا ، خاک و آب شرح داده می شود.

توسعه پایدار

ماهواره ها می توانند اطلاعاتی در چند بعد، چند مقیاس و چند طیف تهیه کنند که این ویژگی ها به اهمیت و نقش آنها می افزاید. امروزه شناسایی و مطالعه اجسام و پدیده‌هایی با استفاده از سنجنده‌های حرارتی موجب تحول در سنجش از دور گردیده است.

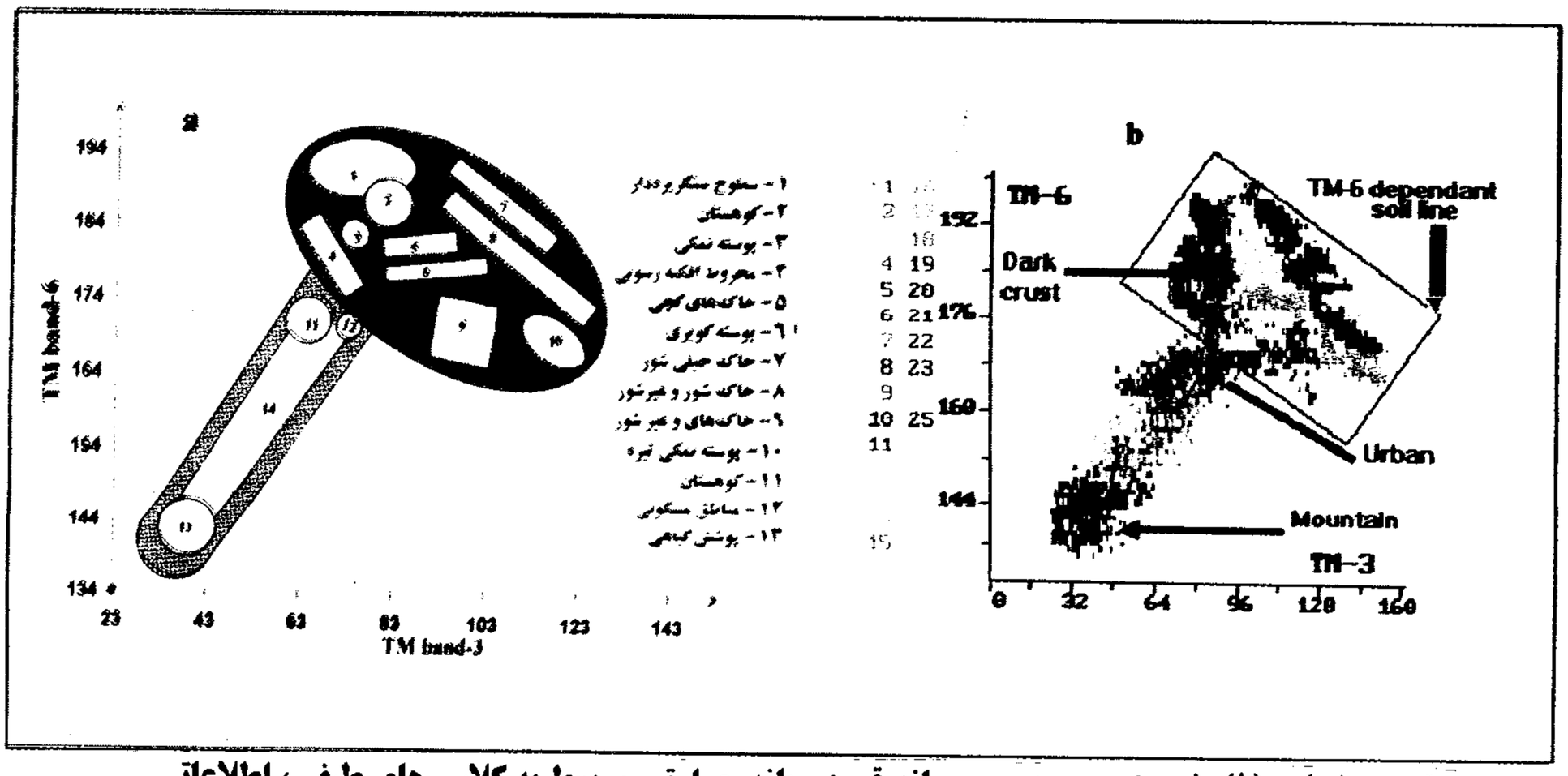
با استفاده از فن آوری سنجش از دور حرارتی ممکن است بتوان با کمترین هزینه و کوتاه ترین زمان، پروژه های زیادی در سطح جهانی، منطقه ای، ملی، استانی و محلی را اجرا کرد. علاوه بر این توانایی تکرار اخذ داده های ماهواره ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز و چند ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده های زمینی را بخوبی فراهم کرده است. توانایی داده های ماهواره ای سبب شده است تا دانشمندان و محققان این رشته فعالیت های خود را گسترش داده و نتایج مطالعات خود را به تغییرات اقلیمی و نوسانات جهانی آن و اندازه گیری عوامل محیط زیستی بسط دهند. مطالعات پایش های بیابان زایی، تخریب سیلاب، خشکسالی، تغییرات آب دریاها و دریاچه ها، آلودگی های آب و خاک و هوا، تغییرات شهرها و مناطق مسکونی، به عنوان ابزارهای مدیریت دقیق مطرح است که با اطلاعات ماهواره ای بسیاری از این مطالعات مقدور می گردد. تلاش های متخصصان فن آوری‌های فضایی و سنجش از دور و مدیران موجب شده است که با استفاده از اطلاعات و داده های ماهواره ای بتوان در جهت اعمال مدیریت صحیح و مبتنی بر دانش روز گام هایی برداشت. خلاصه آنکه با استفاده از داده های ماهواره ای بسیاری از تغییرات مکانی و زمانی به تصویر کشیده شده است و این موضوع سبب شناخت بهتر محیط و در نهایت کمک به مدیریت پایدار و توسعه آن می کند.

پوشش گیاهی

محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی برای به دست آوردن اطلاعات از سطح زمین مفید است. در حالی که مدل های حرارتی متعددی برای مناطق غیر کشاورزی ارائه شده، برای مناطق کشاورزی با وجود اهمیت آن، کار زیادی نشده است. مهم ترین دلیل آن هم این است که سنجش از دور حرارتی برای مناطق کشاورزی (پوشش گیاهی فقط بخشی از سطح خاک را پوشانیده است) بسیار پیچیده است. زیرا یکنواختی محیط، یعنی بخشی گیاه و بخشی دیگر خاک، کار را مشکل می سازد . مناطقی که بخشی از سطح زمین را پوشش گیاهی تشکیل می دهد باعث اختلافاتی بین توان تشعشعی (ε) زمین و پوشش گیاهی می شود و در نتیجه تغییرات زیادی بر روی واکنش سنجنده ها می گذارد. در چنین حالتی تفسیر صحیح داده های سنجش از دور مستلزم آگاهی از پارامترهای مؤثر بر توان تشعشعی و دمای پدیده هاست.

میزان تبخیر کوتاه و بلند مدت از طریق معادلات بیلان انرژی سطحی و با استفاده از دمای تشعشعی سطحی بدست آمده از ماهواره محاسبه شده است (Sequin et al., 1989). نتایج به دست آمده از این مطالعات نشان می دهد رابطه ای منفی بین دمای تشعشعی سطحی و شاخص پوشش گیاهی NDVI[۱۶] وجود دارد. این رابطه

منفی، بیان کننده نقش تبخیر سطحی پوشش گیاهی در کاهش دماست. براساس مطالعات به عمل آمده بازتاب هایی در محدوده نور مرئی در جنوب شرق استرالیا شاخص بهتری برای تبخیر بوده اند تا پوشش گیاهی و باز براساس مطالعات به عمل آمده در منطقهٔ اردکان یزد. یک رابطهٔ مثبت با ضریب همبستگی بالا بین باندهای مرئی و باند حرارتی و یک رابطهٔ منفی بین NDVI و TM_6 به دست آمد. براساس همین مطالعه معلوم گردید که TM_6 نقش مهمی در متمایز کردن برخی کلاس های طیفی و اطلاعاتی دارند. تصویر شماره (۱) نمودار پراکنش دو بعدی DN[۱۷]های TM_3و TM_6 را نشان می دهد. این تصویر نشان می دهد که برخی از کلاس هایی که توسط باند انعکاسی قابل تفکیک نمی باشند توسط باند حرارتی جدا می شود. ضمناً جایگاه پدیده های خاک و پوشش گیاهی منطقه کوهستانی را نشان می دهد. خاک های منطقه بالاترین حرارت و منطقه کوهستانی و پوشش گیاهی کمترین حرارت را نشان می دهند.



تصویر شماره (۱): نمودار دو بعدی بین باند قرمز و باند حرارتی مربوط به کلاس های طیفی، اطلاعاتی به طور شماتیک (a) و واقعی (b) در منطقه اردکان یزد

با توجه به اهمیت داده های مادون قرمز حرارتی[۱۸] به شرح چند کاربرد آن پرداخته می شود :

تشعشع حرارتی[۱۹] جنگلهای پهن برگ و سوزنی برگ در ناحیهٔ ۱۲-۸ میکرومتر مطالعه شده است. براساس مطالعات (Nemani & Running , 1989)، دمای سطحی منطقه جنگلی با وسعت ۲۵×۲۰ کیلومتر مربع از ۲۶ تا ۴۱ درجه سانتی گراد متغیر بوده است. این تغییرات دما ناشی از تابش حرارتی[۲۰] مربوط به تغییرات LAI[۲۱] و تاج پوشش است.

سنجش از دور حرارتی در مطالعات سیستمهای هوا و ابرها کاربرد زیادی دارد. پیشرفت علم سنجش از دور پیش بینی طوفان های عظیم را میسر ساخته و بدلیل پیش بینی واقعه چند روز قبل از وقوع، فرصت برای اقدامات لازم فراهم می شود. به عنوان مثال تصاویر ماهواره «GOES» برای پیش بینی طوفان بسیار مفید است. زیرا با تصاویر مادون قرمز حرارتی (چه تصاویر مربوط به شب، یا روز) می توان حرکت طوفان ها را رد گیری کرد. برای دیدن پدیده های داخل اتمسفر، روزنهٔ اتمسفری ۱۴ -۸ میکرومتر کاربرد زیادی دارد.

هواشناسی

اصولاً کاربرد و توسعه سنجش از دور ماهواره ای با دانش هواشناسی یعنی مطالعات اتمسفری و مشاهدات ابرها و سیستم های هوا تسریع شد. معمولاً جریان هوا در اثر تغییرات دمای هوای سطح زمین بین مناطق استوایی و قطبین به وجود می آید . از این‌رو

کیفیت هوا و آب

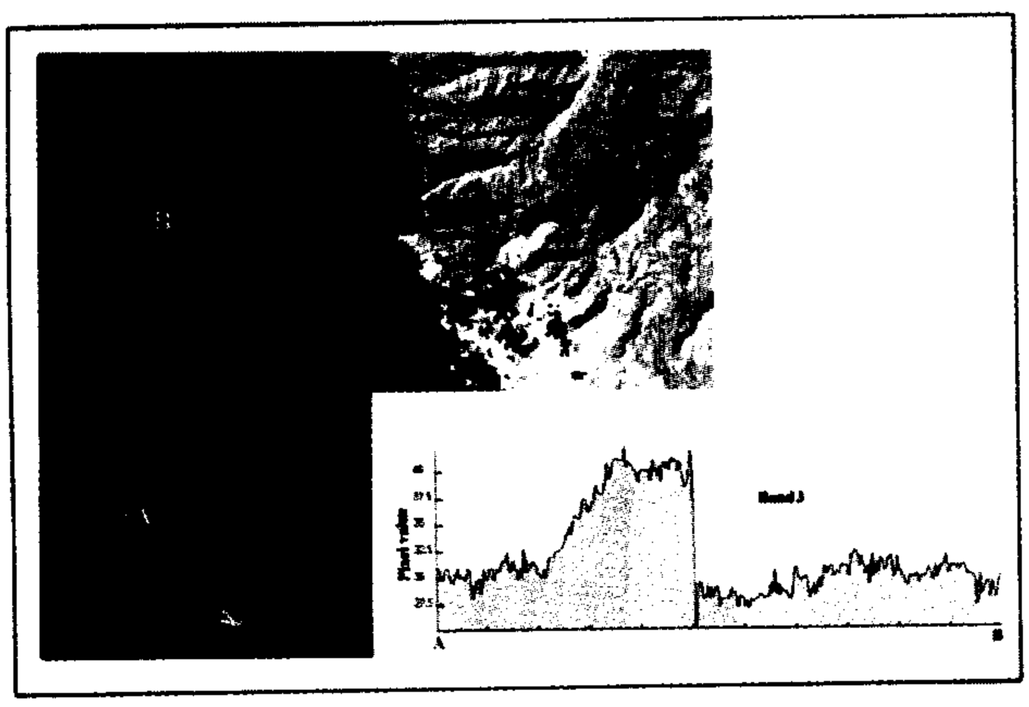
آلودگی هوا در شهرها هر روز توجه بیشتری را بخود جلب می کند. آتش سوزی حدود ۶۵۰ چاه نفت در کویت در سال ۱۹۹۱ اهمیت آلودگی هوا را در منطقه روشن ساخت، به طوری که آسمان جنوب کویت را دود فرا گرفت. چنین آلودگی هایی برای سلامتی بشر

بسیار زیانبار است، اما شهرها نیز که آلودگی های مداوم دارند، همواره سلامت ساکنان خود را تهدید می کنند. مطالعات پزشکی اخیر نشان می دهد آلودگی ها تأثیرات زیانبخش بر دستگاه تنفسی، بویژه در کودکان و افراد مسن دارد. بنابراین مطالعه مداوم آنها دارای اهمیت زیادی است. البته دستگاه های اندازه گیری آلودگی هوا در شهرهای بزرگ نصب شده است، اما چنین ایستگاه هایی فقط محدود به نقاط معینی در شهرها می شوند و بنابراین تهیه نقشه کامل از کیفیت هوای شهرها با این داده ها مشکلاتی در بر دارد. دستیابی به روشهایی که بتواند به تهیه نقشه آلودگی هوای شهرها کمک کند از اهمیت زیادی برخوردار است . فواید نقشه آلودگی هوا به شرح زیر است:

۱- نقشه آلودگی هوای کامل شهر تهیه می گردد؛
۲- منبع اصلی آلودگی و پراکنش آن را نشان می دهد؛
۳- مناطقی که می بایستی آلودگی کاهش یابد را نشان می دهد؛
۴- به‌درک‌رابطه بین پدیده های شهری و پراکنش آلودگی کمک می نماید.

مطالعات متعدد نشان می دهد که بین آلودگی هوای شهر و تصاویر ماهواره ای رابطه ای وجود دارد و این مطالعات آشکار ساخته است که کاهش زیاد دما مربوط به وجود لایه آلوده بر فراز شهرهاست. آلودگی می تواند نقش مهمی در الگوی دما داشته باشد. وجود لایه آلودگی باعث افت عامل عبور جوی[۲۲] می شود و کاهش تابش خورشیدی به زمین را به دنبال دارد. بنابراین کاهش تابش خورشیدی موجب کاهش گرمای سطح زمین می شود و در نتیجه تشعشع سطح زمین[۲۳] کاهش یافته و مقادیر DN باند حرارتی کمتر می شود. از طرف دیگر لایه آلودگی، تشعشعات را جذب و مانع خروج آن از جو می گردد. این اتفاق در عمل باعث کاهش دمای ظاهری[۲۴] در زمان افزایش آلودگی می شود. قابل توجه است که قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی سنجنده TM ماهواره لندست ۴ یا ۵ (۱۲۰ متر) برای مطالعه کامل شهرها پایین است، یعنی عدد حاصل از پیکسل معمولاً ارزشی خالص از پدیده های خیابان، سنگفرش، ساختمان ها، درختان و برخی پوشش های گیاهی و وسائل نقلیه را نشان نمی دهد و با مقادیر اندازه گیری توسط ایستگاه های اندازه گیری شهری همخوانی ندارد. به عبارتی هر قدر قدرت تفکیک مکانی پایین تر و پیکسل بزرگتر باشد، اختلاف بین دمای به دست آمده از ماهواره و اندازه گیری زمینی بیشتر می شود. بهترین نتایج برای داده های با بالاترین قدرت تفکیک مکانی، به دست آمده است. براساس نتایج مطالعات، امکان تهیه نقشهBP با استفاده از تصاویر TM_6 وجود دارد که البته برای افزایش دقت چنین نقشه هایی به مطالعات بیشتری نیاز است. براساس دو تصویر ماهواره ای اخذ شده در دو زمان، هوای آلوده و هوای غیرآلوده ، نقشهٔ حرارتی را می‌توان تولیدومورد‌مقایسه‌قرار داد.

اهمیت کیفیت آب نه فقط از لحاظ آبیاری، صنعتی و آشامیدنی بلکه به دلیل زندگی ماهیان و آبزیان، فرسودگی دستگاه های صنعتی و تجهیزات پمپ ها نیز بسیار مهم است. با استفاده از داده های ماهواره ای علاوه بر امکان شناسایی منابع آلوده کننده می توان به بررسی و مطالعه طغیان آب و آثار زیانبار آن پرداخت. تصویر شماره (۲) تغییرات DN حرارتی را در دو سوی میانگذر دریاچه ارومیه نشان می دهد. این تغییرات DN بیانگر تغییرات شوری و گل آلودگی و اثر حرارت میانگذر است.



تصویر شماره (۲): تغییرات DN حرارتی در دو سوی میانگذر دریاچه ارومیه

از دیگر کاربردهای داده های سنجش از دور، مطالعه عمق آب و یا ژرفا سنجی است که این عمل توسط باند های طیفی مرئی، یا مادون قرمز امکان پذیر است. البته می باید توجه داشت که تخمین عمق آب وقتی امکان پذیر است که آب شفاف باشد، یعنی در آبهای گل آلود که حامل ذرات ریز رس و یا سیلت می باشند، نور در برخورد با این ذرات بازتاب حاصل نموده و امکان تعیین عمق آب وجود ندارد. در مطالعات مربوط به آب علاوه بر کارایی باندهای مرئی و مادون قرمز، باندهای حرارتی نیز کاربرد زیادی دارند که از جمله کاربردهای آن تعیین دمای سطح دریا و دیگر مسائل مربوط به رطوبت خاک و گیاه است که در زیر مورد بحث قرار گرفته اند.

دمای سطح دریا (SST)[۲۵]

مطالعه دمای سطح دریا کمک زیادی بـه درک برخـی حـوادث اقلیمی می نماید. دمای سطح دریا و برخی جریان های دریایی با هـم رابطه دارند. چنانچه از دمای سطح دریا اطلاع حاصل شود، مـی تـوان از برخی حوادث اقلیمی متعاقب آن نیز با خبر شد.

اندازه گیری یا محاسبه صحیح دمای سطح دریا (SST) کـاربرد وسیعی در مـاهیگیری و پـیش بینـی هـوا دارد. اسـتفاده از فـن آوری سنجش از دور برای محاسبه دمای سطح دریـا بـا تحقیقـات در سـال ۱۹۷۴ شروع شد و روشهایی برای دستیابی عملی به دمای سطح دریـا ابداع گردید (علوی پناه، ۱۳۸۲). داده هـای مـاهواره ای را مـی تـوان کالیبره کرد و به معادل دمای جسم سیاه (BB) تبدیل نمود. ایـن دمـا به نام دمای روشنایی (Tbi)[۲۶] برای باند طیفی I نامگذاری می شود. مقادیر Tbi برای هر پیکسل در باندهای مختلف متفـاوت اسـت، زیـرا طـول موجهـای مختلـف در ارتبـاط بـا تغییـرات از عبـور از اتمسـفر نوسان‌هایی دارند. از جمله روشـهای مـوثر بـرای دمـای سـطح دریـا استفاده از الگوریتم چند باندی محاسبه دمای سطح دریـا (MCSST)[۲۷] می باشد (MC clain et al., 1980). در این روش ضرایب جهانی ارائه شده توسط NOAA برای محاسبه دمـای دریـا در آژانـس ملـی سنجش از دور حیدر آباد هند) محاسبه شده است

شاخص رطوبت[۲۸] در مناطق خشک و نیمه خشک

از جمله عوامل مربـوط بـه پدیـده هـای سـطحی اراضـی کـه می تواند توسط سنجش از دور حرارت مورد مطالعه قرار گیرد، رطوبت است. انتخاب باندهای مرئی (آبی)، مـادون قرمـز نزدیـک و حرارتـی، مثلثی قائم الزاویه می سازد که در نتیجه تمامی پدیده هـای دارای آب روی ضلع عمودی و منطقه ای که کاملاً از پوشـش گیـاهی تشـکیل شده بر روی ضلع افقی قرار مـی گیرنـد. در حـالی کـه ایـن شـاخص شباهت هایی با شاخص های موجود پوشش گیاهی و خاک دارد ولـی از لحاظ ترکیب اطلاعات رطوبت، درجـه روشـنایی و پوشـش گیـاهی تفاوت هایی به چشم می خورد. درجه روشنایی از پایین به بالای خـط خاک و رطوبت در طول خط عمود بر وتـر مثلـث افـزایش مـی یابـد. شاخص رطوبت تابعی است از فصل و به دلیل تغییرات پوشش گیاهی در هر فصل، این شاخص نیز تغییراتی می کند.

خاک

بسیـاری از خواص فیزیکـی و شیمیایـی خاک ها و کانیـها روی توان تشعشع طیفی[۲۹] تأثیر می گذارند . این خـواص شـامل شـوری و گل آلودگی خاک، بافت و مینرالـوژی (وجـود جـلای بیابـانی، تـراکم، رطوبت و ماده آلی) است. متغیر های دیگری مانند دمای پدیده یا ماده مـورد نظـر، گرادیـان حرارتـی، تشعشـعات حرارتـی اراضـی مجـاور، میکروتوپوگرافی، زبری و صافی، تشعشعات مستقیم و انعکاسی اتمسفر نیز مؤثرند. کانی ها و ازجمله کوارتز که بخش مهمـی ازمـاده معـدنی خاک را تشکیل می دهند به سبب فراوانی، بازتاب های طیفی راتحت تأثیر قرارمی دهند (Salisbury & Avia ,1992). وجـود بسـیاری از ترکیبات و عناصر سنگین باعث تغییرات سطح خـاک شـده و بـر روی تشعشعات طیفی خاک اثر می گذارند.

گونه های مختلف گیاهان به دماهای متفاوتی نیازمندند و بازدهی آنها در محدوده معینی از دما به بیشترین مقدار خود می رسد. بسیاری از خاک شناسان معتقدند دمای خاک توأم با نوسانات آن، اهمیت زیادی در فرایندهای خاک سازی و تولید محصولات کشاورزی دارد.

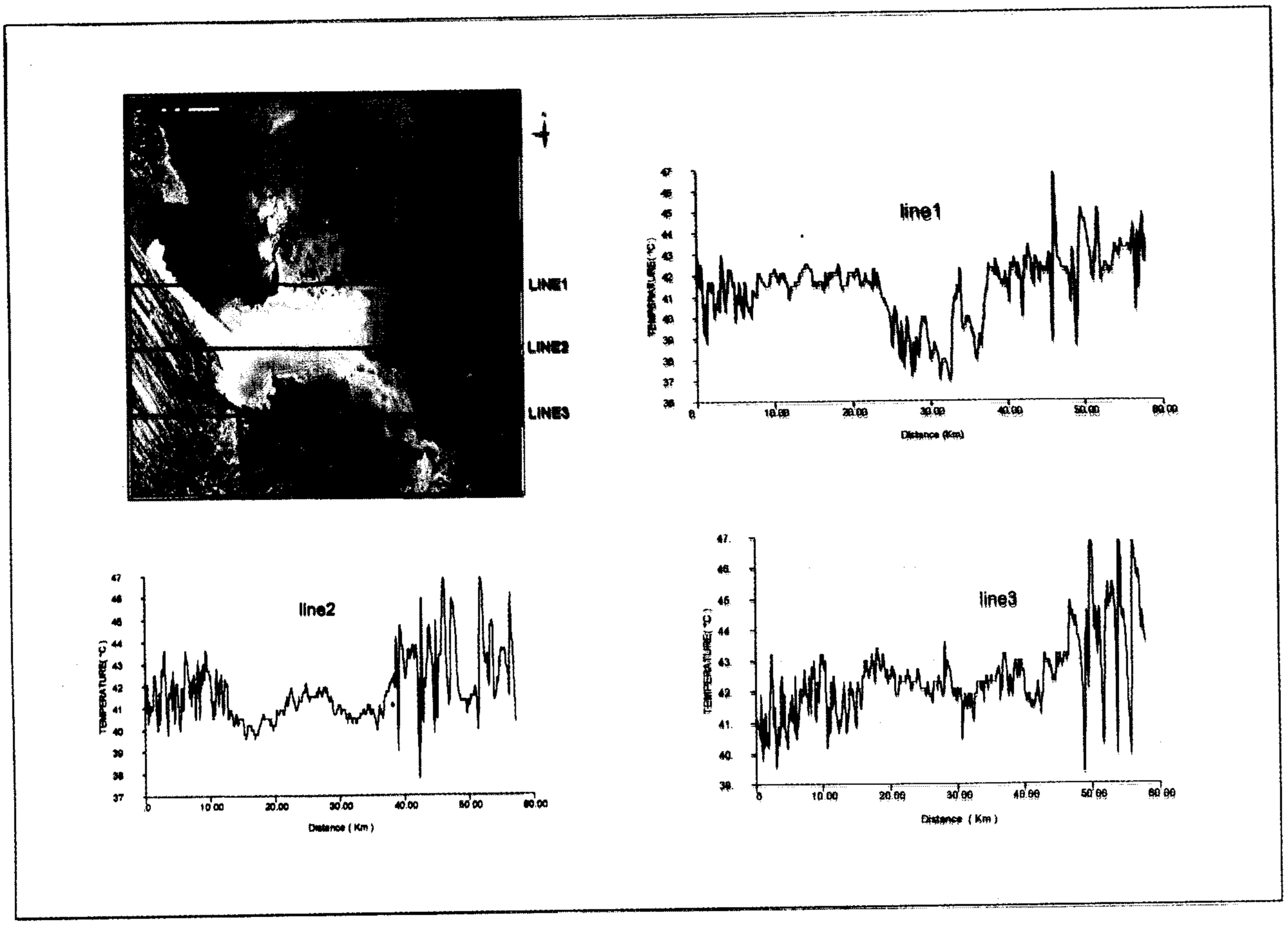
زلزله

اولین کاربرد تصاویر حرارتی در زلزله شناسی[۳۰] در سـال ۱۹۸۵ در روسیه مطرح و نتایج آن در سال ۱۹۸۸ منتشر گردید. از داده هـای AVHRR برای مطالعات مناطق زلزله خیز در چین و ژاپن نیز استفاده شده است (Tronin, 2000). نتایج این مطالعات نشان می دهد که ۶ تا ۲۴ روز قبل و یک هفته بعد از زلزله وضعیت غیر متعارف حرارت[۳۱] روی داده است. این جریان غیر متعارف، به زلزله بزرگتر از ۴/۷ ریشتر تا فاصلهٔ ۵۰۰ کیلومتر حساس بود و وسـعت منطقـه‌ای کـه وضـعیت حرارتی غیـر متعـارف بـر آن حـاکم بـود بـه ابعـاد ۷۰۰×۵۰ کیلـومتر تشخیص داده شد. نوسان تغییرات غیـر عـادی حـرارت هـم حـدود ۳ درجه سانتیگراد اندازه گیری شده است.

بیابان

به منظور استخراج اطلاعات درجه روشنایی باند ترمال (TM_6) در طول ۳ برش از نقطه A تا B (خط ۱ و ۲ و ۳) از منطقه یاردانگ و تپه های ماسه ای بیابان لـوت اسـتفاده شـد (تصـویر شـماره ۳). ایـن تصویر هر سه خط مسیر غرب شرق، که از یاردانگ ها، اراضی شـوره زار و مرطوب تپه های ماسه ای می گذرد و همچنین نمـودار حاصـل درجه روشنائی، باند حرارتی در این مسیر را نشان می دهد. این منطقه از لوت که یکی از گرم ترین مناطق بیابانی ایران و جهان اسـت دارای پدیده ها و رخساره های متفاوتی است که از جمله آنهـا یاردانـگ هـا،

اراضی مرطوب شور و تپه های ماسه ای است. پروفیل های تصویر فوق بخوبی تغییرات داده های حرارتی را نشان می دهد، به طوری که بیشترین داده های ترمال به عنوان تابعی از حرارت بر روی تپه های ماسه ای و کمترین آنها به مناطق مرطوب شور مرتبط می شود. با استفاده از چنین روش ساده ای وضعیت پدیده ها و حرارت سطحی آنها قابل تفسیر است (علوی پناه، ۱۳۸۲).



تصویر شماره (۳): مقطع عرضی تغییرات داده های حرارتی منطقه از یاردانگ ها و تپه های ماسه ای بیابان لوت

نتیجه گیری

سنجش از دور حرارتی پردازش و تفسیر داده های به دست آمده، در محدوده مادون قرمز حرارتی طیف الکترومغناطیسی بحث می کند. اگرچه ماهیت سنجش از دور حرارتی و سنجش از دور می تواند مکمل داده های سنجش از دور انعکاسی باشد، کاربرد داده های حرارتی در مواردی مانند هواشناسی، کیفیت هوا، دمای سطح دریا، خاک، بلایای طبیعی مفید است. بنابراین می توان گفت که حرارت عامل مهمی است که در بسیاری از مطالعات محیط زیست می تواند دخالت داشته باشد. از این رو لازم است که این شاخه از سنجش از دور در کشور مورد توجه بیشتر قرار گیرد تا بسیاری از مطالعات با سهولت بیشتری انجام پذیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه در انجام تحقیقات مربوط به طرح مطالعه سنجش از دور حرارتی تشکر می شود. ضمناً از همکاری های کارمندان مرکز تحقیقات بین المللی همزیستی با کویر (دانشگاه تهران) و همچنین مرکز سنجش از دور به سبب در اختیار قرار دادن داده های ماهواره ای سپاسگزاری می شود.

یادداشتها

1- Thermal infrared
2- Emitted radiation
3- Passive
4- Spectrometer
5- The airborne ASTER simulator
6- The airborne hyperspectral scanner
7- The MKII airborn multispectral scanner

8- The moderate resolution imaging spectrometer
9- MODIS airborne simulator
10- The multispectral infrared and visible imaging spectrometer
11- The thermal infrared multispectral scanner
12- Short wave infrared
13- Landsat thematic mapper bands
14- The advanced spaceborne thermal emission reflectance radiometer
15- Advanced very high resolution radiometer
16- Normalized Difference Vegetation Index
17- Digital Number
18- Thermal IR
19- Thermal emission
20- Thermal radiance
21- Leaf Area Index
22- Atmospheric transmission
23- Emitted radiance
24- Apparent temperature
25- Sea surface temperature
26- Brightness temperature
27- Multi- Chanel Sea Surface Temperatrue
28- Moisture index
29- Spectral emission
30- Seismology
31- Thermal anomalies

منابع مورد استفاده

علوی پناه، سید کاظم. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.

Alavi panah, S.K. et al., 2001. The use of TM Thermal band for land cover and land use mapping in two different conditions of Iran. Sci. Tech. Vol.3, 331-340.

Alavi panah, S.K and Goossens, R. 2001. Comparison between the role of thermal IR on two different areas (Iran) of desert and mountain lands. Proceedings of the first workshop of the EARSEL Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries. Gent University, Belgium, 13-15 September 2000.

Alavi panah, S.K. 1997. Study of Soil Salinity in the Ardakan Area, Iran, based up on Field Observations, Remote Sensing and a GIS P.292. Gent: University of Gent (Ph.D. Thesis).

Jensen. J. R. 2000. Remote Sensing of the Environment; an Earth Resources Perspectives Upper Saddle River, N.Y.: Prentice - Hall, Inc., 544 pp.

LO, C.P. et al., 1997. Application of high resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. International Journal of Remote Sensing, 18(2) : 278-304.

Norman, J. M. et al., 1995. Algorithms for extracting information from remote thermal - IR observations of the earth surface. Remote Sensing Environment , 51: 157-168.

Prakash, A. 2000. Thermal Remote Sensing Concepts Issues and Applications. International Archives of Photogrametry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, part B1. Amsterdam, 2000.

Mc clain, E. P. et al., 1985. Comparative performance of AVHRR based multi- channel sea surface temperature. Journal of Geophysical Research, 90, 11587-11601.

Nemani, R. R. and Running, S. W. 1989. Estimating regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal IRAVHRR data, Y. April. Metro.

Quattrochi, D.A. and Ridd, M. K. 1998. Analysis of vegetation within a semi arid urban environment using high spatial resolution air borne thermal infrared remote sensing data, Atmospheric Environment, 32(1):19-33.

Salisbury, J.W. and Avia, D. M. 1998. Infrared (8-14 μm) remote sensing of soil particle size, Remote Sensing Environment. 420: 157-165.

Sequin, B. et al., 1989. Use of meteorological satellite for water balance monitoring in Sahelian regions. Intern. J. of Remote Sensing 10:1101-1117.

Simonett, D. S. 1983. The development and principles of remote sensing. In Manual of Remote sensing, 2nd edn (falls church, Virginia: American society of photogrammetry: 1- 35.

Tronin, A. A. 2000. Thermal IR satellite sensor data application for earthquake research in China. Int. J. of Remote Sensing, 21 (16): 3169-3177.