

## درس روشهای آب و هواشناسی ماهواره‌ای پیشرفته

منظور از طیف حرارتی در سنجش از دور چیست؟

سنجش از دور حرارتی شاخه‌ای از سنجش از دور است که پیرامون پردازش، تفسیر داده‌ها و تصاویر به دست آمده در ناحیه مادون قرمز حرارتی (TIR) طیف الکترومغناطیس (EM) بحث می‌کند. در سنجش از دور حرارتی، تشعشع ساطع شده از سطح پدیده یا عارضه، اندازه‌گیری می‌شود. به دلیل ماهیت متفاوت داده‌های سنجش از دور حرارتی با داده‌های سنجش از دور انعکاسی و همچنین قدرت تفکیک مکانی متفاوت این دو نوع داده، تاکنون در بسیاری از موارد از داده‌های سنجش از دور حرارتی در مطالعاتی مانند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده نمی‌شده است. امروزه به دلیل اهمیت سنجش از دور حرارتی در مطالعات محیطی بخصوص مطالعات اقلیمی، بسیاری از محققان تحقیقات پایه در زمینه سنجش از دور حرارتی و توسعه بیشتر فناوری سنجنده‌ها و کاربردهای جدید داده‌های حرارتی را ضروری می‌دانند.

بعضی از سنجنده‌ها مانند سنجنده TM ماهواره لندست (باند 6) در محدوده طیفی  $10/4$  تا  $12/5$  میکرومتر عمل می‌کنند. برخی از باندهای حرارتی در سنجنده‌های چندطیفی مانند ASTER، نیز برای کاربردهای زمین‌شناسی طراحی شده‌اند. گاهی برخی از عوارض یا پدیده‌ها در طول موجهای مرئی و مادون قرمز، به علت فرایندهای بازتاب، مشخصه‌ها و علائم مشابهی از خود نشان می‌دهند. اما ممکن است ویژگیهای متفاوتی در باند حرارتی از خود نشان دهند. از این رو اطلاعات حرارتی ممکن است، کمبود اطلاعات بخشهای طیفی دیگر را برطرف کنند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و یا تصاویر حرارتی بسیار پیچیده است و مفسر باید اطلاعات زیادی از جمله درباره شرایط فیزیکی، زمانی یا دوره‌ای سطح زمین و جو داشته باشد. در سنجش از دور انعکاسی (مرئی و مادون قرمز)، نور منعکس شده از سطح، فقط مربوط به بالاترین لایه سطحی است. در حالی که سنجش از دور حرارتی در رابطه با تغییرات انرژی اعماق کم نیز بررسی می‌شود.

یکی از قابلیت‌های مهم سنجش از دور، تهیه تصویر در شب در محدوده مادون قرمز حرارتی است. محدوده 3 تا 15 میکرومتر طیف الکترومغناطیس را مادون قرمز حرارتی می‌نامند. در سنجش از دور حرارتی بیشتر

از محدوده طیفی 8 تا 14 میکرومتر استفاده می‌شود. بر اساس قانون پلانک، هر جسم بر روی سطح زمین در دمای بالاتر از صفر درجه کلوین، تشعشعاتی دارد که با استفاده از سنجنده‌های حرارتی ماهواره‌های سنجش از دور در طول روز و شب قابل اندازه‌گیری می‌باشند. دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) به عنوان یک کمیت ترمودینامیک، شاخص مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و بررسی اثرات گلخانه‌ای بوده و از مهمترین پارامترها در بررسی فعل و انفعالات سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. به عنوان مثال محاسبه دقیق دمای سطح برف و یخ در مناطق منجمد شمالی به منظور بهبود تخمین بیلان گرمایی و ارتباط آن با تغییرات آب و هوا در مقیاس جهانی، اهمیت بسیار زیادی دارد. در کشاورزی از دمای سطح زمین به منظور ارزیابی میزان آب مورد نیاز محصولات کشاورزی، بررسی خشکسالی، تشخیص سرمازدگی در باغ‌ها و مناطق خسارت دیده از سرمازدگی استفاده می‌گردد. از کاربردهای دیگر نقشه‌های حرارتی می‌توان به تشخیص آنومالی‌های حرارتی قبل از وقوع آتشفشان و زلزله، تهیه نقشه مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی برای تولید انرژی، تشخیص ابر و غیره اشاره نمود.

با توجه به اهمیت مطالعه بر روی کمیت دمای سطح زمین، در طول سال‌های اخیر در گرایش سنجش از دور گروه نقشه‌برداری، پایان‌نامه‌ها و رساله‌های متعددی به منظور پیاده‌سازی و توسعه الگوریتم‌های نوین در جهت استخراج دقیقتر دمای سطح آب و زمین انجام گردیده و یا در حال انجام می‌باشند. با ظهور سنجنده‌های ماهواره‌ای حرارتی جدید همانند LDCM و بهبود توان تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریکی این نوع سنجنده‌ها، زمینه‌های جدیدی برای انجام تحقیقات به منظور مطالعه دقیق‌تر دما و ضریب گسیل به عنوان کمیت‌های فیزیکی پایه در گرایش سنجش از دور فراهم گردیده است.

در ادامه برخی کاربردهای سنجش از دور حرارتی در مقاله مذکور ارائه شده است:

## فناوری سنجش از راه دور حرارتی و کاربرد آن در شناسایی پدیده‌ها

سید کاظم علوی پناه\*<sup>۱</sup>، سعید گودرزی مهر، باهره خاکباز

### چکیده

دستیابی به اطلاعات در کوتاه‌ترین زمان و با کم‌ترین هزینه از جمله عوامل مهم تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری است. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنجش از دور، بعلاوه توانایی در شناسایی پدیده‌ها همواره مورد توجه متخصصین، مدیران و تصمیم‌گیران بوده است. اطلاعات به دست آمده از ناحیه مادون قرمز حرارتی، کمک زیادی به مطالعه پدیده‌های مختلف می‌کند تا آنجا که تغییرات جزئی درجه حرارت ممکن است در تشخیص برخی پدیده‌ها و یا درک شرایط محیط بسیار راهگشا باشد. در این مقاله سعی شده است تا پیرامون کاربردهای سنجش از دور مادون قرمز حرارتی در حوزه‌های مختلفی چون هواشناسی و بررسی کیفیت هوا، کیفیت آب، نقشه‌های زمین‌شناسی، تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی شهر، مطالعه آتشفشان‌ها، بررسی آلودگی‌های نفتی، پیش‌بینی احتمال وقوع زلزله و کاربردهای تصاویر حرارتی در حوزه سلامت، مطالبی ارائه شود که همه‌گویی کارآمدی این فناوری در جامعه است.

واژگان کلیدی: سنجش از دور مادون قرمز حرارتی، شناسایی پدیده‌ها، زلزله، هواشناسی، جزیره حرارتی، آلودگی‌های محیطی.

\*. استاد، پست الکترونیکی: [salavipa@ut.ac.ir](mailto:salavipa@ut.ac.ir)

۱. گروه کارتوگرافی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.

## مقدمه

سنجش از دور، علم، هنر و فن جمع آوری اطلاعات درباره یک شیء، ناحیه یا پدیده است که از راه تحلیل داده ها بوسیله ابزارهایی که در تماس مستقیم با شیء، ناحیه و یا پدیده مورد مطالعه نیستند، بدست می آید و در حالت کلی به دو دسته سنجش از دور حرارتی و انعکاسی تقسیم بندی می گردد. سنجش از دور انعکاسی در اصل به بازتاب طیفی پدیده ها مربوط می شود و خورشید منبع اصلی انرژی آن است. تصاویر این نوع سنجش از دور تنها با وجود نور خورشید قابل تهیه است. اما در سنجش از دور مادون قرمز حرارتی، منبع انرژی خود پدیده ها و اشیاء هستند که در طول روز توسط خورشید گرم شده اند. این شاخه از سنجش از دور، پیرامون پردازش و تفسیر داده ها و تصاویر بدست آمده در ناحیه مادون قرمز حرارتی (TIR) طیف الکترو مغناطیس بحث می کند. در سنجش از دور حرارتی، تشعشع ساطع شده از سطح پدیده، اندازه گیری می شود [۱].

امروزه بدلیل اهمیت سنجش از دور حرارتی در مطالعات محیطی، بسیاری از محققان، تحقیقات پایه در زمینه سنجش از دور حرارتی و توسعه فناوری سنجش از دور و کاربرد های جدید داده های حرارتی را ضروری می دانند [۲]. از طرف دیگر دما بعنوان یک کمیت مهم ترمودینامیکی می تواند برای شناسایی ماده و انتقال حرارت استفاده شود [۳]. در حقیقت دما یک اندازه گیری کمی از درجه حرارت یک جسم است و گرما مقدار انرژی است که به دلیل اختلاف دما، بین یک جسم و جسم دیگری که با آن در تماس است، مبادله می شود. از اینرو با توجه به اینکه گرما عامل مهمی در سیستم های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی موجود در زمین و فضا است، بنابراین این می توان مطرح نمود که شاخص حرارت می باید در کلیه مطالعات مرتبط با علوم زمین لحاظ شده و مورد بررسی قرار گیرد [۱].

امروزه عوامل موثر بر روی درجه حرارت سطح زمین، توان تشعشعی و تابش های طیفی در حال مطالعه است، بطوری که حتی تاثیر ذرات معلق گرد و غبار در مناطق خشک روی تغییرات درجه حرارت و دیگر شاخص ها توسط برخی از متخصصان بررسی شده است. به این ترتیب کارایی و دقت داده های مادون قرمز حرارتی و استفاده از آنها افزایش چشم گیری خواهد داشت. بطوری که مولفه های بیان انرژی سطحی شهرها از راه مدل های اقلیمی و طیفی بررسی می شود [۴].

## سنجش از دور حرارتی و کاربردهای آن

### ۱- هواشناسی و کیفیت هوا

فناوری سنجش از دور ماهواره ای، با گسترش دانش هواشناسی توسعه یافته است. بطور معمول جریان هوا در اثر تغییرات دمای هوای سطح

زمین بین مناطق استوایی و قطبین بوجود می آید. از این رو در سنجش از دور حرارتی، در مطالعات سیستم های هوا و ابر ها کاربرد زیادی دارد. پیشرفت علم سنجش از دور، پیش بینی طوفان های عظیم را میسر ساخته و به دلیل پیش بینی واقعه در چند روز قبل از وقوع، فرصت برای اقدامات لازم فراهم می شود. برای مثال تصاویر ماهواره GEOS<sup>۲</sup> برای پیش بینی طوفان بسیار مفید است زیرا با تصاویر مادون قرمز حرارتی (تصاویر حرارتی شبانه و روزانه)، می توان حرکت طوفان ها را رد گیری کرد [۱]. ماهواره های کنونی قابلیت تمرکز بر یک منطقه و همچنین قدرت مانور در فضا برای بهترین پوشش برای سطح زمین را دارا هستند. در حقیقت با استفاده از این داده های ماهواره ای می توان به اطلاعاتی نظیر موقعیت ابرها، نمودار دما و در نهایت پیش بینی وضعیت هوا برای روزهای آینده دست یافت.

مطالعات پزشکی اخیر نشان می دهد آلودگی ها تاثیرات زیان بخشی بر دستگاه تنفسی بویژه کودکان و افراد مسن دارند. بنابر این پایش مداوم داده های مربوط به آلودگی هوا اهمیت زیادی دارد. اگرچه دستگاه های اندازه گیری آلودگی در شهرهای بزرگ نصب شده اند اما این ایستگاه ها فقط به نقاط معینی از شهر محدود می شود و داده های آن ها پیوستگی مکانی ندارد بنابراین داده های مربوط به کیفیت هوای شهرها، برای همه مناطق دقیق نیستند.

از طرفی مطالعات متعدد نشان می دهد بین آلودگی های هوای شهرها، تغییرات دما، وجود لایه آلوده بر فراز شهرها و داده های ماهواره ای، رابطه معنی داری وجود دارد. از این موضوع می توان نتیجه گرفت که آلودگی می تواند نقش مهمی در الگو و تغییرات دما داشته باشد، که قابل مطالعه از طریق سنجش از دور حرارتی است. وجود لایه آلوده باعث کاهش شفافیت جو شده و کاهش انتقال جوی و کاهش تابش خورشیدی به زمین را به دنبال دارد. بنابراین کاهش تابش خورشیدی، سبب کاهش دمای سطح زمین می شود و در نتیجه تابش سطح زمین کم شده و مقادیر درجه روشنایی طیف حرارتی نیز کمتر شده و از طرف دیگر لایه آلوده تشعشعات را جذب کرده و مانع خروج آن از جو می شود. این اتفاق موجب کاهش دمای ظاهری در زمان افزایش آلودگی خواهد شد [۱]. بنابراین مطالعه تغییرات دمایی رخ داده با توجه به پیوستگی مکانی داده های حرارتی حاصل از تصاویر ماهواره ای می تواند تا حد زیادی وضعیت و کیفیت هوا را مشخص نماید.

### ۲- کیفیت آب

موارد مهم آلودگی که قابل مطالعه با سنجش از دورند عبارتند از:

- ۱-۲- شوری
- ۲-۲- فاضلاب های صنعتی

### 1. Thermal Infrared Remote Sensing

۲. حسگرهایی که بر روی ماهواره ها نصب می شوند و به تصویر برداری در ناحیه خاصی از طیف الکترومغناطیس می پردازند.

### 3. Geostationary Operational Environmental Satellites

۳-۲- مواد شیمیایی و صنعتی

۴-۲- رسوبات و مواد معلق در آب ها

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. از دیگر کاربردهای داده های سنجش از دور، مطالعه عمق آب یا ژرفاسنجی است، که این عمل توسط تصویر برداری در ناحیه طول موج طیف مرئی یا مادون قرمز امکان پذیر است.

در مطالعات مربوط به آب، علاوه بر کارائی طول موجهای مرئی و مادون قرمز، تصاویر تهیه شده در ناحیه حرارتی طیف الکترومغناطیس نیز کاربرد زیادی دارند، که از جمله کاربردهای آن تعیین دمای سطح دریا و مسائل مربوط به رطوبت خاک و گیاه است. مطالعه دمای سطح دریا به درک حوادث اقلیمی کمک می کند [۱].

### ۳- زمین شناختی حرارتی

کاربرد تصاویر حرارتی در تهیه نقشه های زمین شناختی بر اساس این واقعیت بنا شده که سنگ های غیر متخلخل، گرما را بهتر از خاک های نرم انتقال می دهند. بنابراین سنگ های سخت غیر متخلخل در شب، گرمای کره زمین را به نسبت بیشتر از پوشش خاکی مناطق اطراف خود انتقال می دهند، در نتیجه در محدوده هایی آنومالی<sup>۱</sup> گرمایی بوجود می آید که سنجنده ها می توانند آنها را آشکار کنند. از طرف دیگر سنگ های متخلخل، آنومالی حرارتی یکسانی در تصاویر برداشت شده هنگام شب از خود نشان نمی دهند و در واقع ممکن است بعد از بارندگی در آنها، آنومالی سرد ناشی از رطوبت تولید شود [۱].

### ۴- تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی شهر

جزیره حرارتی در شهرها معمولاً ناشی از این موارد می باشند:

۴-۱- ظرفیت گرمایی بالای مصالح ساختمانی

۴-۲- صنایع، وسایل نقلیه و سیستم های گرمای منازل، مقدار زیادی گرما را به شهر اضافه می کند.

۴-۳- آلودگی هوا

۴-۴- ساختمان های مرتفع و برج ها، مشکلاتی در تبادل گرما ایجاد می کنند [۵].

۴-۵- جزایر حرارتی شهری علاوه بر عوامل بالا از تخریب جنگل ها و تغییر پوشش سطح زمین به سطوح بدون تبخیر، مانند آسفالت و سنگفرش ناشی می شود [۱].

اطلاعات حرارتی در موارد زیر می توانند استفاده شوند:

الف- مدل رابطه میان رشد شهر، تغییر پوشش زمین و گسترش جزیره حرارتی شهر در طول زمان

ب- مدل رابطه میان رشد شهر و تغییر پوشش سطح زمین و کیفیت هوا در طول زمان

ج- مدل تاثیرات کلی توسعه شهر روی ویژگی های بیلان انرژی سطح شهر

### ۵- آتشفشان

پوشش مکرر مناطق مختلف زمین و دید یکپارچه جهانی ای که ماهواره مدار قطبی NOAA<sup>۲</sup> فراهم کرده است می تواند برای مطالعه بر روی آتشفشان ها حتی در مناطق دور افتاده نیز بسیار مناسب باشد. داده های چند طیفی ماهواره های مدار قطبی را می توان برای تعیین مورفولوژی و هاله های آتشفشانی عمودی و افقی، ردیابی ابر های غبار آلود، مطالعه فوران آتشفشان ها و محاسبه میزان صعود ذرات معلق در فضا، استفاده کرد [۱]. مطالعات سنجش از دور که در گذشته بر روی آتشفشان ها انجام شده، شاخص های متعددی را اندازه گیری کرده است [۶]. بنابراین این به کمک سنجش از دور می توان پایش آتشفشان را بررسی کرد [۱].

### ۶- آلودگی های نفتی

در گذشته محدودیت قدرت تفکیک مکانی ماهواره ها در شناسایی آلودگی های نفتی مشکل ساز بوده است، اما در شرایط فعلی امکان مشاهده و کنترل تراوش نفتی، با استفاده از داده های ماهواره ای وجود دارد. بطور مثال در مورد انفجار چاه نفت در خلیج مکزیک لکه های بزرگ نفتی که در نتیجه ریزش نفت ایجاد شده بود به خوبی در تصاویر حاصل از سنجنده های ماهواره های مختلفی مانند سنجنده های AVHRR<sup>۳</sup> و CZCS<sup>۴</sup> قابل مشاهده بودند. در این منطقه از داده های ماهواره ای برای شناسایی منشأ آلودگی نفتی، استفاده های زیادی شد و معلوم گردید که ریزش نفت در ناحیه فوق زیاد بوده و اثرات آن تا ماه ها ادامه داشته است. اگرچه قدرت تفکیک مکانی پایین، باعث محدودیت شناسایی این گونه آلودگی ها می شود، ولی نسل های جدید ماهواره ها این مشکل را حل کرده اند [۱].

### ۷- پیش بینی زلزله

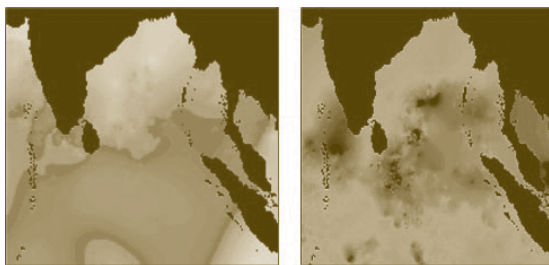
بطور کلی روش های پیش بینی زلزله در سه گروه زیر طبقه بندی می شوند:

۷-۱- پیش بینی بلند مدت که در بازه زمانی چند ساله تا چند دهه در تغییر است.

۷-۲- پیش بینی کوتاه مدت که در بازه چند دقیقه تا چند هفته در تغییر است.

۱. تغییرات ناگهانی و شدید یک پدیده

2. National Oceanic and Atmospheric Administration  
3. Advance Very High Resolution Radiometer  
4. Coastal Zone Color Scanner



شکل ۱. کاربرد تصویر مادون قرمز حرارتی در بررسی گسترش بیماری وبا

بسیاری از مطالعات در خصوص طیف های حرارتی و ارتباط آن با بیماری های واگیردار انجام شده است که در منابع علمی گزارش شده است [۹-۱۳].

### نتیجه گیری

از آنجا که رفتارهای تابشی مواد، اطلاعات مهمی درباره ویژگی های آنها ارائه می کند و همچنین میزان انرژی تابش شده از هر ماده تابعی از دمای سطحی آن است، بنابراین مطالعه دمای سطح اجسام با استفاده از تصاویر سنجش از دور مادون قرمز حرارتی می تواند اطلاعات بسیار سودمندی از وضعیت پدیده ها ارائه کند که دستیابی به این مهم از طریق تصاویر ماهواره ای با طول موج های پایین تر و غیر حرارتی می تواند در بسیاری از موارد امکان پذیر نباشد.

در حقیقت بررسی کاربردهای مختلف سنجش از دور حرارتی در زمینه های گوناگون، توانایی و کاربردهای این فناوری را بیش از پیش نمایان می سازد و می توان با استفاده از این فناوری بر بسیاری از مشکلات فائق شد.

بنابراین در صورتی که امکانات زیر ساختی آن فراهم گردد با توجه به توانایی های فراوان این فناوری در حوزه های مختلفی چون زلزله، بیماری ها و بسیاری زمینه های دیگر، می تواند در حل بسیاری از مشکلات به عنوان ابزاری سودمند استفاده گردد.

امید است با فراهم شدن امکان تهیه تصاویر ماهواره ای در ناحیه طول موج های حرارتی، با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالاتر، امکان مطالعه دقیق تر بسیاری از پدیده ها فراهم گردد و در نتیجه بتوان مطالعات دقیق تری بر روی پدیده ها انجام داد و با اطمینان بیشتری از نتایج آن برای بسیاری از تصمیم های اجرایی در بخش های مختلف بهره مند شد.

۳-۷- پیش بینی میان مدت که از چند هفته تا چند سال در تغییر است. تا کنون روش ها و پیش نشانگرهای متعددی در پیش بینی زلزله مورد بحث و بررسی قرار گرفته است مانند: آنومالی های حرارتی، فوران زمین گرمایی (یونان، ۲۰۰۱)، تغییرات یونسفری، هواشناسی، ابر زلزله، رطوبت هوا، تغییر دمای هوا، تغییر پارامترهای فیزیکی آب، تغییر غلظت گاز در آب، تغییر پارامترهای ژئوشیمیایی، تغییر هدایت الکتریکی آب، رامی توان ذکر کرد اما در این میان آنومالی های حرارتی و ابر های زلزله مورد توجه بسیاری از محققین زلزله قرار گرفته است [۱].

هر گونه تغییر در دمای سطح زمین حاصل شده از طریق فناوری سنجش از راه دور حرارتی، در نواحی ای که به لحاظ تکتونیکی فعال هستند می تواند نشانه ای برای وقوع زلزله باشد [۷].

در همین راستا ساراف و همکارانش در سال ۲۰۰۷ در مورد سه زلزله مهم ایران شامل: بم (۲۵ دسامبر ۲۰۰۳)، زرنند (۲۲ فوریه ۲۰۰۵) و درب آستانه (۳۱ مارث ۲۰۰۶) با استفاده از تصاویر AVHRR و ترا، آنومالی های دمایی را با هدف بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین و ارتباط آن با زمان وقوع زلزله، بررسی کردند. در مطالعه فوق بررسی LST در یک دوره زمانی قبل از وقوع زلزله انجام شد که نتایج آن نشان داد که یک آنومالی حرارتی شدید قبل از تمامی این زلزله ها بوقوع پیوسته است [۷].

- این مطالعه نشان داد که شدت و گستردگی مکانی نواحی دارای آنومالی دمایی، بطور مستقیم با قدرت زلزله و بطور معکوس با عمق کانونی زلزله متناسب است [۷].

البته این نکته حائز اهمیت است که آنومالی های حرارتی تنها بعنوان یک داده کمکی می تواند در مورد زلزله حائز اهمیت باشد و بوسیله آنها می توان تا حدودی احتمال وقوع زلزله را پیش بینی نمود.

### ۸- کاربرد سنجش از دور حرارتی در حوزه سلامت

یکی از کاربرد های سنجش از دور حرارتی و بررسی تغییرات دمایی در بحث سلامت و بیماری هاست. شکل ۱، تصویر سمت چپ، تصویر شدت تغییرات نسبی بیماری وبا و شیوع آن و تصویر سمت راست، تصویر ماهواره ای در طیف مادون قرمز حرارتی است که برای خلیج بنگال گرفته شده است. همانطور که نتایج این دو تصویر نشان می دهد، همبستگی بسیار زیادی بین شیوع بیماری وبا و دمای سطح آب (SST) وجود دارد؛ هر جا دما افزایش یافته تکثیر این بیماری هم بیشتر شده است. در حقیقت، گرما و تصویر ماهواره ای مادون قرمز حرارتی باعث آشکار سازی میزان و پهنه تکثیر این بیماری گشته است [۸].

۱. تغییر شکل پوسته زمین بر اثر تنش های وارد در طول دوران های مختلف زمین شناسی

2. Terra  
3. Sea Surface Temperature

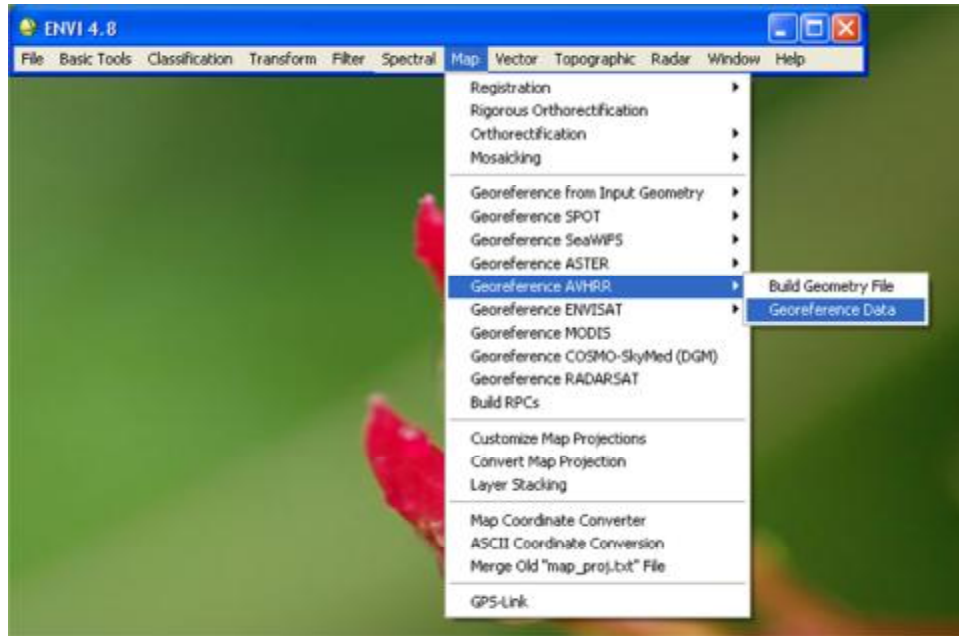
## در ادامه روش محاسبه دمای درخشندگی از تصاویر NOAA-AVHRR در نرم افزار ENVI

توضیح داده می شود.

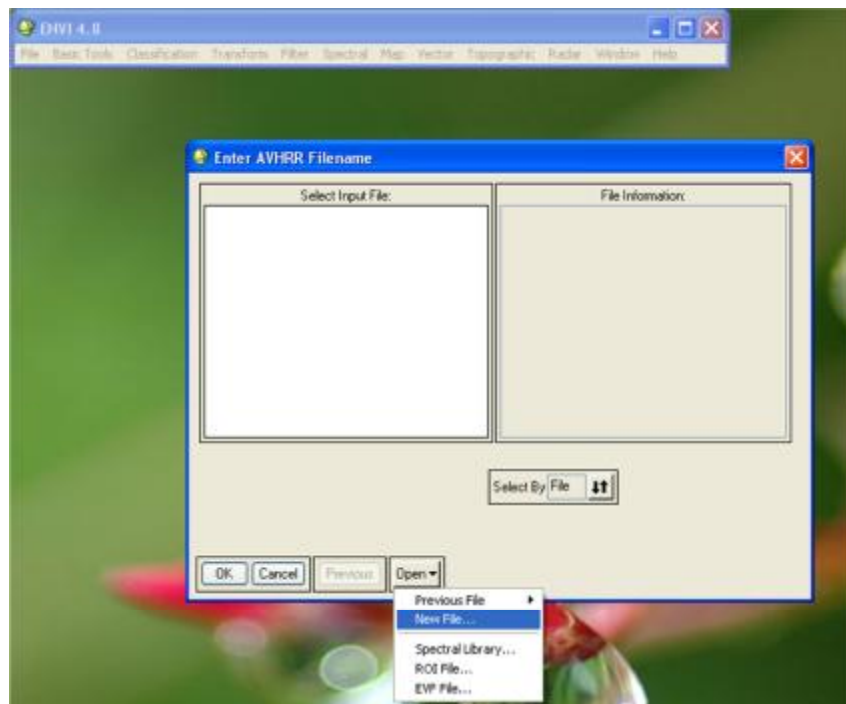
تفاوت دمای درخشندگی (BT Brightness Temperature) با دمای سطح زمین (LST; Land Surface Temperature) یا هوا در آن است که در دمای درخشندگی اثر قابلیت انتشار عارضه یا پدیده مانند سطح زمین یا جو لحاظ نشده است. روش های مختلفی برای محاسبه دمای سطح زمین وجود دارد که یکی بر اساس روش دو پنجره ای یا در اصطلاح Split window است، زمانی این روش استفاده می شود که حداقل دو باند حرارتی در یک سنجنده وجود داشته باشد. تصاویر ماهواره ای نوآ که قبلاً در مورد روش دانلود آنها توضیح داده شده است، دارای 5 باند است که دو باند 4 و 5 آن در همه ماهواره ها از ابتدا تا حال حاضر حرارتی بوده و باند 3 آن از ماهواره نوآ 15 به بالا در طول شب به صورت حرارتی فعالیت می کند.

برای محاسبه دمای درخشندگی تصاویر سنجنده AVHRR به قرار زیر عمل می کنیم. از آنجاییکه تصاویر این سنجنده از ابتدا خام بوده است مقدار DN یا رقومی هر پیکسل به رادیانس بایستی تبدیل شود. منظور از رادیانس مقدار انرژی ذخیره شده در هر پیکسل در باند مورد نظر می باشد. رادیانس به دو صورت خطی و غیر خطی محاسبه می شود. بعد از محاسبه رادیانس نوبت به محاسبه دمای روشنایی می رسد. لازم به ذکر است که برای هر باند حرارتی مراحل به صورت جداگانه و مقادیر محاسبه فرق می کند.

ابتدا تصاویر نوآ به روش زیر تصحیح هندسی می شود.

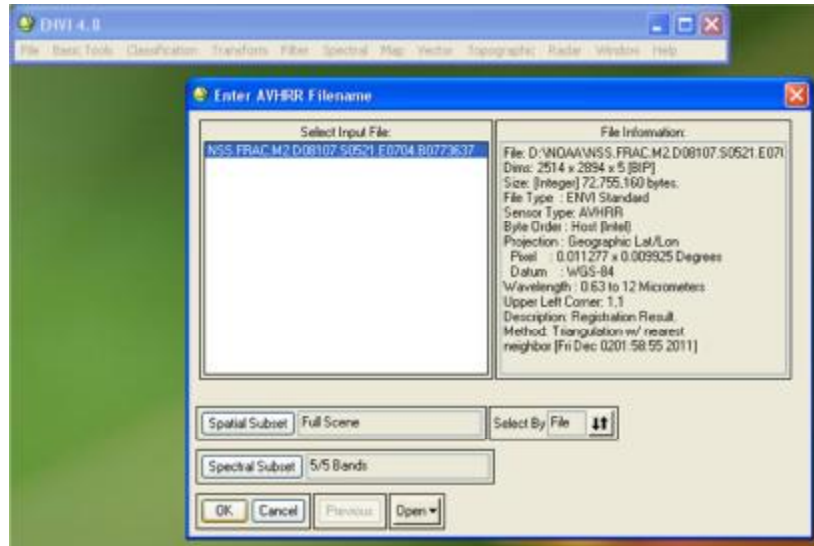


بر روی مسیر بالا کلیک می‌کنیم. سپس جدول زیر ظاهر می‌شود.

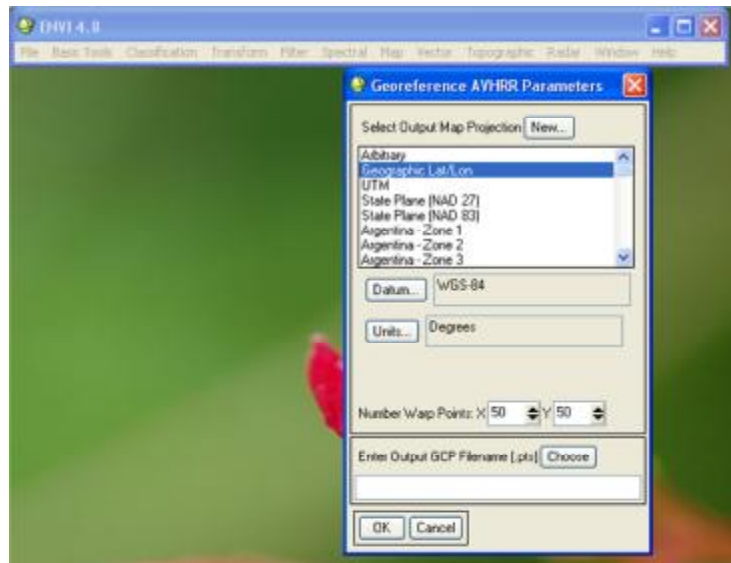


در مسیر بالا یک تصویر که قبلا در یکی از درایوهای رایانه ذخیره شده است را باز می‌کنیم.

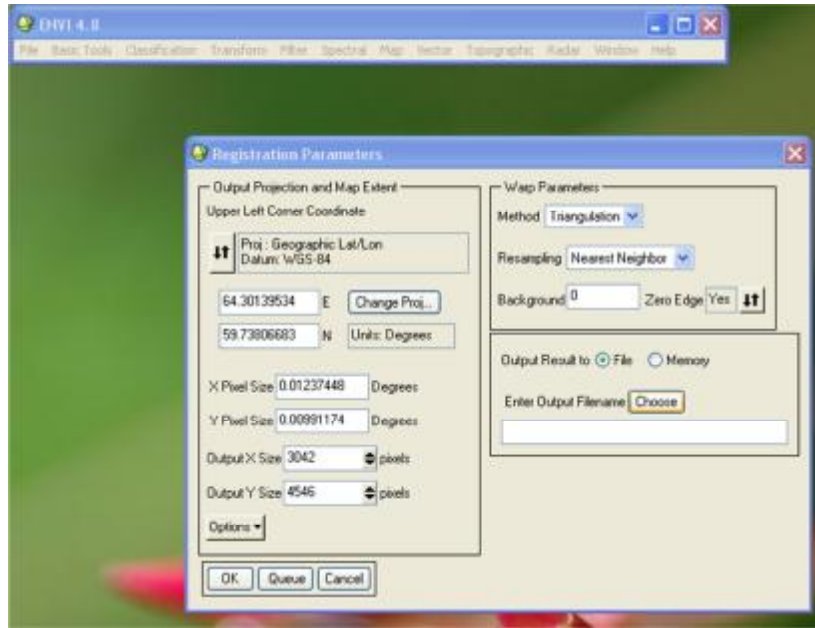




بعد از شدن تصویر مشخصات آن در سمت راست پنجره ظاهر می شود، در ادامه بر روی دکمه OK کلیک می کنیم.



در پنجره ظاهر شده عبارت Geographic Lat/lan انتخاب شده و بر روی دکمه OK کلیک می کنیم. چون تصاویر نوآ به صورت سیستم مختصات جغرافیایی تصحیح هندسی می شوند.



با ظاهر شدن پنجره بالا مسیر ذخیره فایل (دکمه Choose) و اسم آن را تعیین می‌کنیم. لازم به ذکر است برای نام‌گذاری فایل عبارت لاتین یا عدد نوشته شود از حروف فارسی و ممیز انگلیسی خودداری شود.

در انتها بر روی دکمه OK کلیک می‌کنیم. در این حالت تصویر مورد نظر تصحیح هندسی می‌شود.

برای محاسبه رادیانس به طریق زیر عمل می‌کنیم.

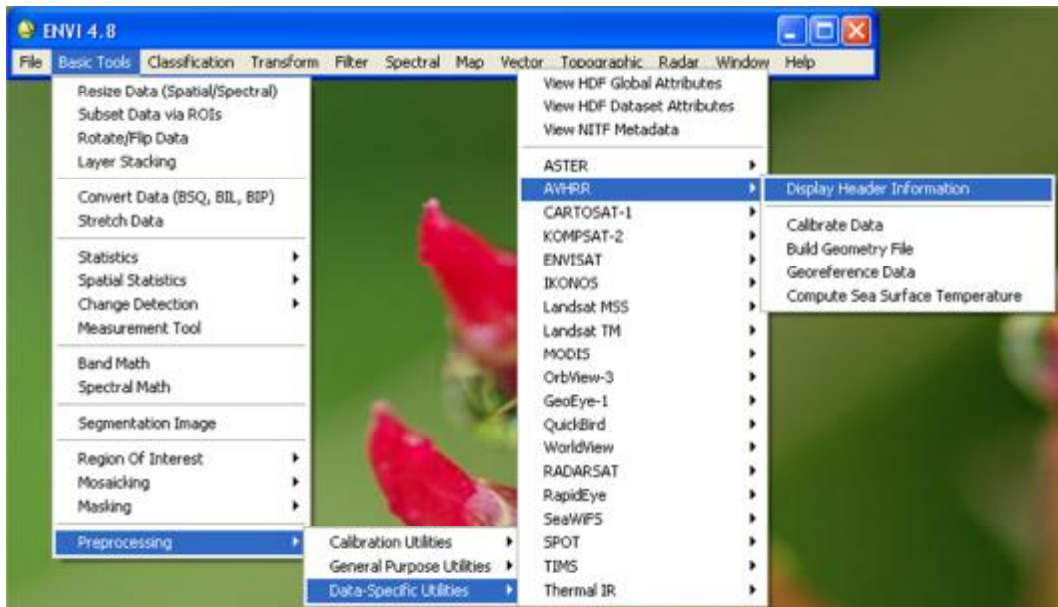
### رادیانس باندهای حرارتی

برای محاسبه دمای روشنایی و دمای سطح، ابتدا باید مقادیر رقومی باندهای حرارتی تبدیل به رادیانس شوند. برای این کار دو نوع تابع باید بروی تصاویر اعمال گردد: 1) تابع خطی 2) تابع غیر خطی ابتدا تابع خطی برای تمامی ماهواره‌های NOAA کاربرد دارد.

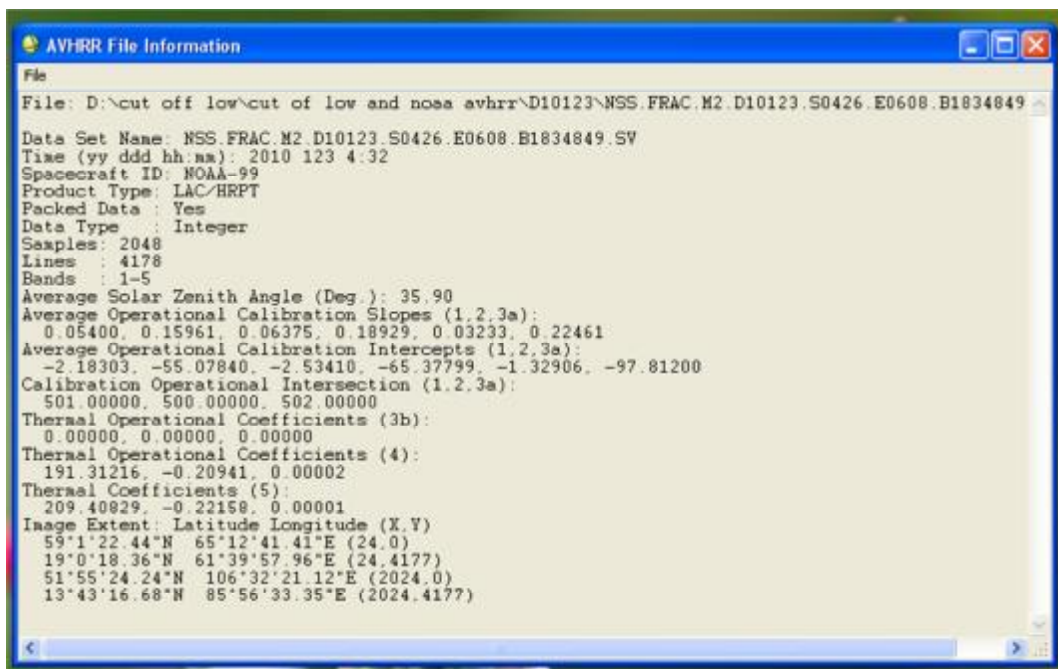
$$L_E \text{ or } L_{LIN} = S \cdot C + I \quad (\text{رابطه زیر})$$

که  $L_E$  رادیانس نهایی در رابطه بالا برای ماهواره‌های NOAA 7-12 و  $L_{LIN}$  رادیانس خطی برای ماهواره‌های NOAA 13-19 بر حسب  $C, W/m^2/sr/cm$  مقادیر هر پیکسل (دامنه‌ای از 0 تا 1023)،  $S$  و  $I$  به ترتیب شیب<sup>1</sup> و ضریب زاویه<sup>2</sup> می‌باشد که برای هر تصویر از HDR فایل تصویر به دست می‌آیند. تابع بالا بر روی باندهای 4 و 5 هر تصویر به صورت جداگانه اعمال می‌شود.

<sup>1</sup>- Slope  
<sup>2</sup>- Intercept

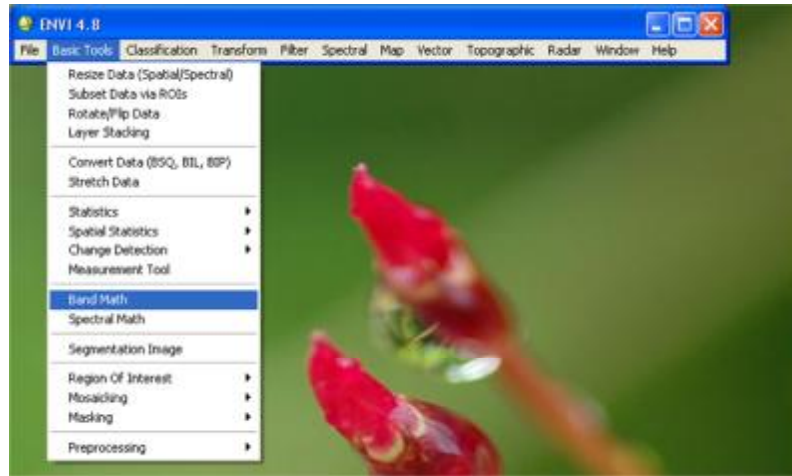


از مسیر بالا اطلاعات مربوط به هر تصویر (به صورت جدا) قابل مشاهده است.



نمونه ای از یک HDR فایل یک تصویر

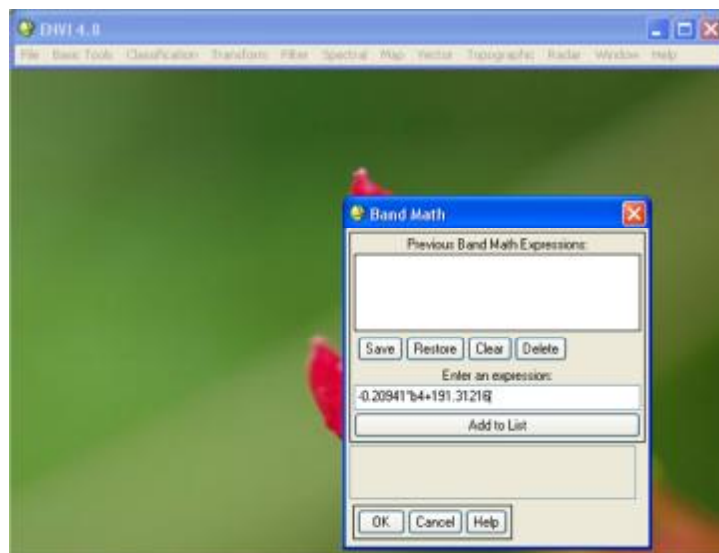
در تصویر بالا زمان تصویربرداری، نوع ماهواره، زاویه زینت خورشیدی، مقدار **S** و **I** نیز قابل مشاهده است. مقدار **S** برای باند 4 در اینجا **-0.20941** و برای باند 5 حدود **-0.22158** است. مقدار **I** برای باند 4 در اینجا **191.31216** و برای باند 5 حدود **209.40829** است. لازم به ذکر است مقادیر ذکر شده که در تصویر نیز قابل پیدا کردن است، بایستی در محاسبات تماماً نوشته شود و اعشار آن کم نشود. برای نوشتن معادله رادیانس خطی و اعمال آن بر روی باند 4 به صورت زیر عمل می‌کنیم.



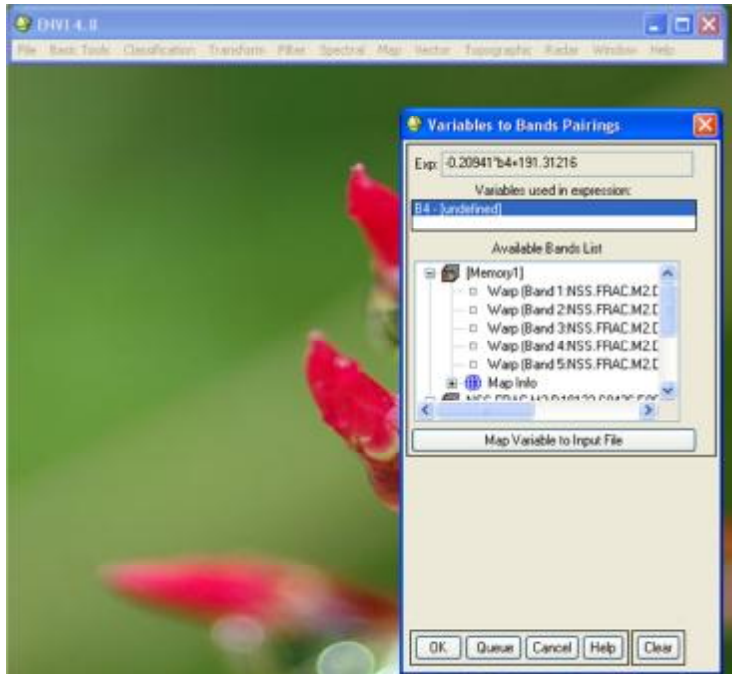
ابتدا همانند تصویر بالا بر روی آیکن **band math** کلیک می‌کنیم. سپس معادله را در داخل نوار ابزار به شکل زیر می‌نویسیم.

$$-0.20941 * b4 + 191.31216$$

محاسبه بالا برای باند 4 است.



سپس بر روی دکمه **OK** کلیک می‌کنیم.



در پنجره ظاهر شده بالا باند 4 به صورت تعریف نشده است که با کلیک بر روی باند 4 به صورت تعریف شده ظاهر می شود. در ادامه مسیر ذخیره فایل و نام آن از ما درخواست کرده و در انتها بر روی دکمه **OK** کلیک می کنیم.

برای باند 5 رادیانس به صورت زیر نوشته می شود. که مراحل بالا بایستی طی شود.

$$-0.22158*b5+209.40829$$

بعد از محاسبه رادیانس خطی، نوبت به تصحیحات رادیانس غیر خطی تصاویر به وسیله روابط زیر می باشد.