

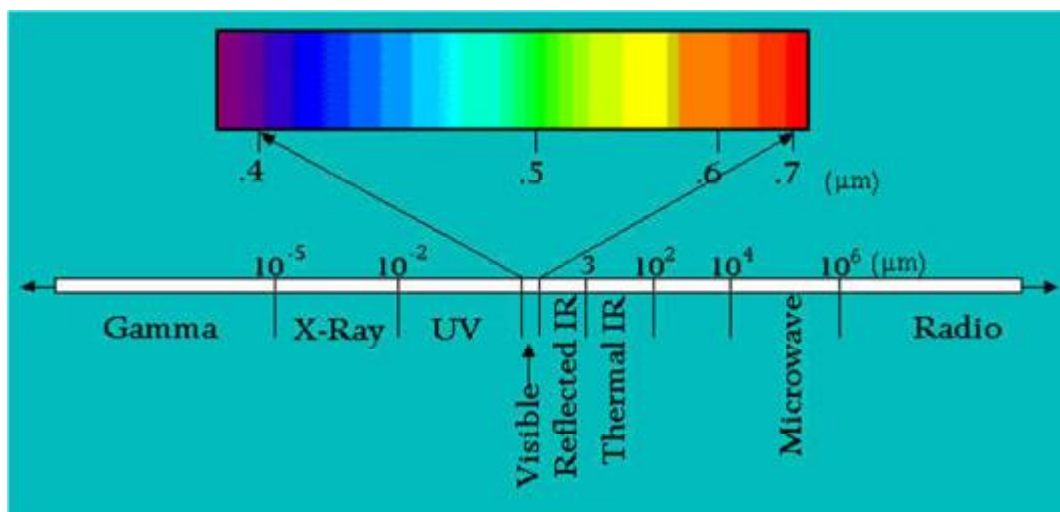
روشهای آب و هواشناسی ماهواره‌ای

طیف الکترومغناطیس

انرژی تابشی خورشید به صورت موج با سرعتی ثابت در حدود 300 هزار کیلومتر در ثانیه انتشار می‌یابد، آن بخش از طیف الکترومغناطیس که قابل رویت هستند موج مرئی یا نور خوانده می‌شود. امواج الکترومغناطیس، طول موجهای مختلفی از 0/03 انگستروم تا چندصد متر دارند که به صورت طیفی پیوسته هستند و نمی‌توان مرزی مشخص و آشکار از هم آنها را تفکیک نمود، اما در سنجش از دور برای شناخت بهتر موج الکترومغناطیس آن را به بخشهایی تقسیم می‌کنیم.

به ترتیب دامنه امواج از کم به زیاد به قرار زیر است:

اشعه گاما، اشعه ایکس، اشعه ماوراء بنفش، موج مرئی، موج مادون قرمز (انعکاسی و حرارتی)، موج ماکروویو (رادار) و موج رادیویی.



اشعه گاما و ایکس با فرکانس زیاد و طول موج خیلی کوتاه که دارای بار الکتریکی شدیدی هستند به وسیله میدان مغناطیسی زمین در جو بالا جذب می‌شوند و در سنجش از دور کاربردی ندارند.

اشعه ماوراء بنفش

طول موج این بخش از طیف الکترومغناطیس در فاصله 0/003 تا 0/4 میکرومتر قرار دارد و بر حسب

نزدیکی به موج مرئی به بخش‌های زیر تقسیم می‌شود.

ماوراء بنفش خیلی دور (از 0/003 تا 0/2 میکرومتر)

ماوراء بنفش دور (از 0/2 تا 0/3 میکرومتر)

ماوراء بنفش نزدیک (از 0/3 تا 0/4 میکرومتر)

تنها 10 درصد از این امواج به سطح زمین می‌رسد که در سنجش از دور کاربرد کمی دارد. برای بررسی

میزان UV موجود در اتمسفر یا سطح زمین در بخش ماوراء بنفش نزدیک (از 0/3 تا 0/4 میکرومتر) که

مقدار بیشتری از آن، از جو زمین عبور می‌کند در سنجش از دور استفاده می‌شود.

موج مرئی

ناحیه نور مرئی بخشی از طیف الکترومغناطیس است که چشم انسان قادر به رویت آن است و در ناحیه

0/4 تا 0/7 میکرومتر قرار دارد. در طبیعت بیش از 50 درصد انرژی خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد

مربوط به همین امواج است. نور مرئی به سه بخش اصلی آبی، سبز و قرمز تقسیم می‌شود.

بخش آبی (0/4 تا 0/5 میکرومتر)

بخش سبز (0/5 تا 0/6 میکرومتر)

بخش قرمز (0/6 تا 0/7 میکرومتر)

مخلوط یکسانی از این سه بخش باعث می‌شود که رنگ به شکل سفید و در نبود هیچ کدام از این رنگ‌ها

سیاه شکل می‌گیرد.

موج مادون قرمز (Infrared)

محدوده این بخش از طیف الکترومغناطیس از $0/7$ میکرومتر تا 1 میلی‌متر است.

ناحیه مادون قرمز بر اساس نزدیکی به موج مرئی به سه بخش تقسیم می‌شود:

مادون قرمز نزدیک $0/7$ تا $1/3$ میکرومتر

مادون قرمز میانی $1/3$ تا 3 میکرومتر

مادون قرمز دور 3 میکرومتر تا 1 میلی‌متر

در تقسیم‌بندی دیگر موج مادون قرمز به دو بخش تقسیم می‌شود:

مادون قرمز انعکاسی ($0/7$ تا 3 میکرومتر) یعنی مادون قرمز نزدیک و میانی

مادون قرمز حرارتی یا Thermal (3 تا 15 میکرومتر)

منبع اصلی مادون قرمز انعکاسی، نور خورشید است و 40 درصد از انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین

را شامل می‌شود. منبع اصلی مادون قرمز حرارتی گرمای ناشی از تابش خورشید به سطح یا جو زمین یا

انرژی زمین گرمایی است. اکثر سنجنده‌ها قابلیت کار در این طول موجها را دارند. برای شناسایی خیلی از

پدیده‌های اقلیمی از بخش مادون قرمز حرارتی استفاده می‌کنند که پنجره اتمسفری (8 تا 14 میکرومتر) نیز

در این بخش قرار دارد. پنجره اتمسفری بخشی از طیف حرارتی است که موج بازتابیده از عوارض یا

پدیده‌های مربوط به سطح یا جو زمین بدون هیچ مانعی به بیرون از اتمسفر زمین منتقل می‌شوند که

مهم‌ترین آنها بخار آب موجود در اتمسفر است. در اصطلاح جو زمین در این شفاف عمل می‌کند.

امواج راداری یا ماکروویو

طول موج این بخش از 1 میلی‌متر تا 1 متر است. این امواج در شرایط بد آب و هوایی نیز قادر به عبور از

جو زمین هستند و چندان تحت تأثیر اتمسفر قرار نمی‌گیرند. اما مقدار فرکانس آنها کم است، یعنی تعداد

کمی از آنها در حالت طبیعی یافت می‌شود. بنابراین برخی سنجنده‌ها که فعال خوانده می‌شوند از این نوع

امواج تولید کرده و به سمت زمین می‌تابانند که با ثبت امواج بازگشتی از سمت زمین نسبت به شناخت عوارض اقدام می‌کنند.

این امواج قدرت نفوذپذیری زیادی در ابر، باران، مه، برگ درختان و پوشش گیاهی دارند، پس بنابراین در شناخت عوارض زیرین این پدیده‌ها می‌توانند کمک شایانی کنند. عمده امواج تولیدی یک سانتی‌متر تا 3 سانتی‌متر طول دارند.

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.

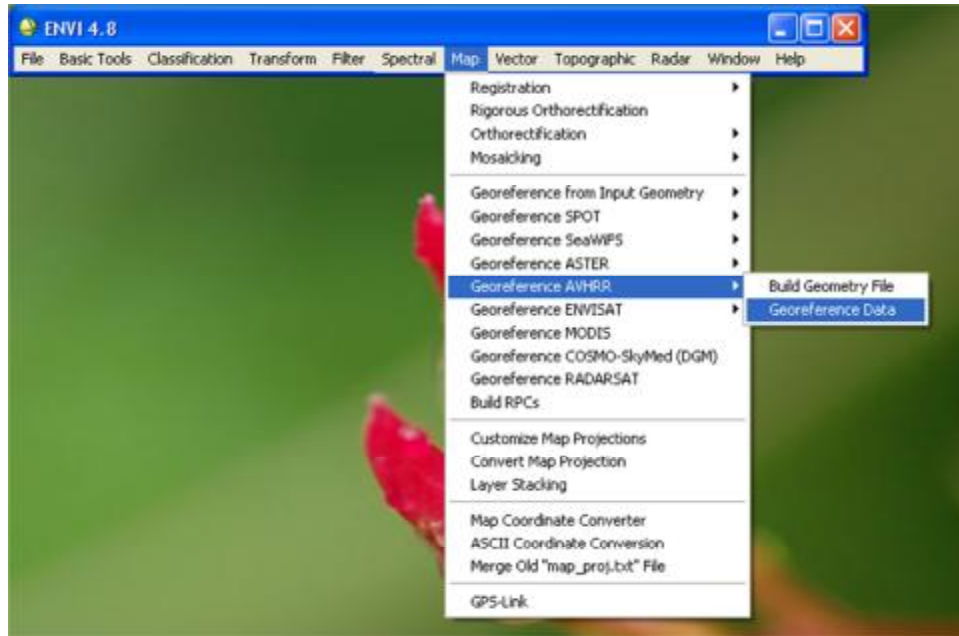
در ادامه روش محاسبه دمای درخشندگی از تصاویر NOAA-AVHRR در نرم افزار ENVI

توضیح داده می شود.

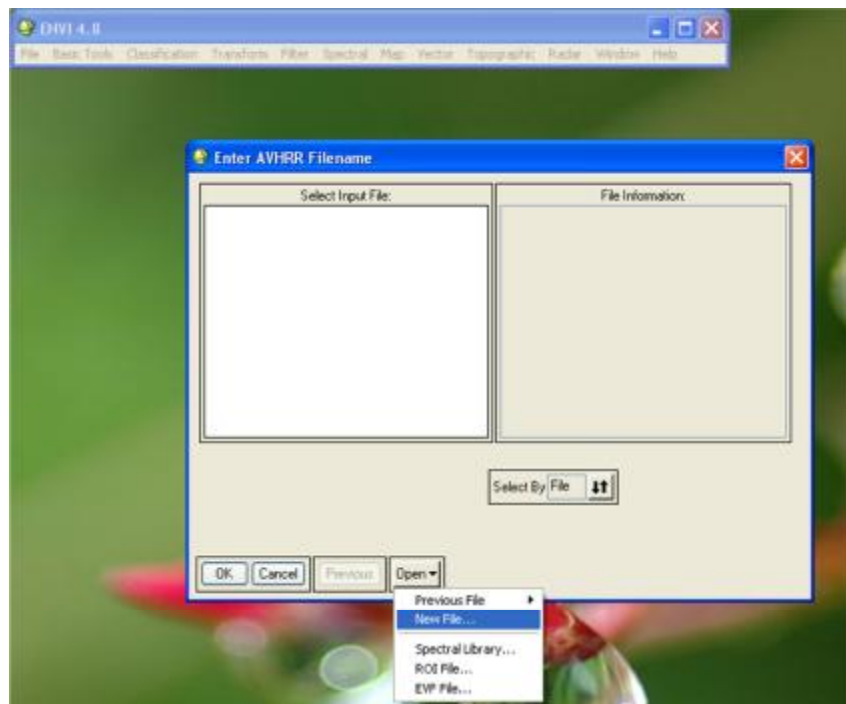
تفاوت دمای درخشندگی (BT Brightness Temperature) با دمای سطح زمین (LST; Land Surface Temperature) یا هوا در آن است که در دمای درخشندگی اثر قابلیت انتشار عارضه یا پدیده مانند سطح زمین یا جو لحاظ نشده است. روش های مختلفی برای محاسبه دمای سطح زمین وجود دارد که یکی بر اساس روش دو پنجره ای یا در اصطلاح Split 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.

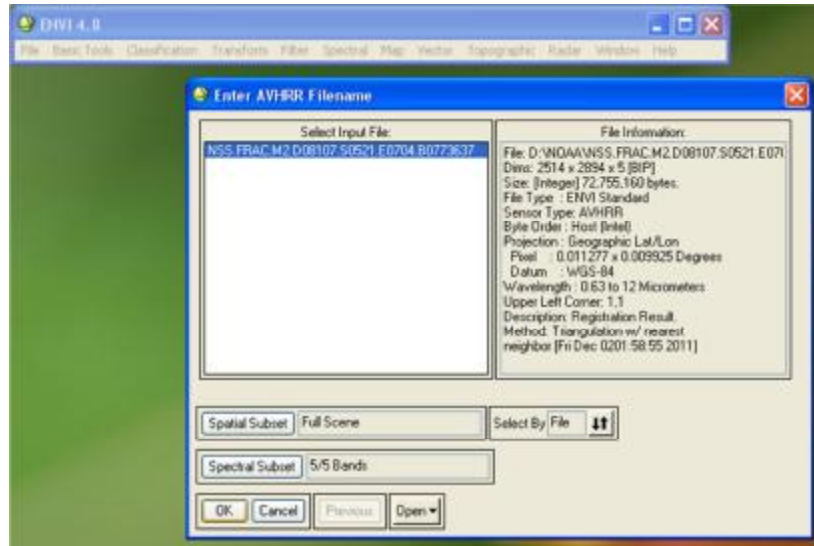
ابتدا تصاویر نوآ به روش زیر تصحیح هندسی می شود.



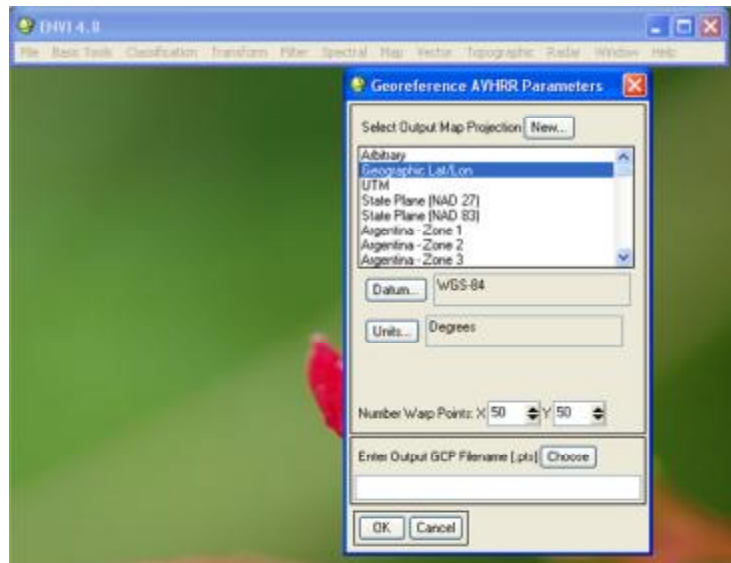
بر روی مسیر بالا کلیک می‌کنیم. سپس جدول زیر ظاهر می‌شود.



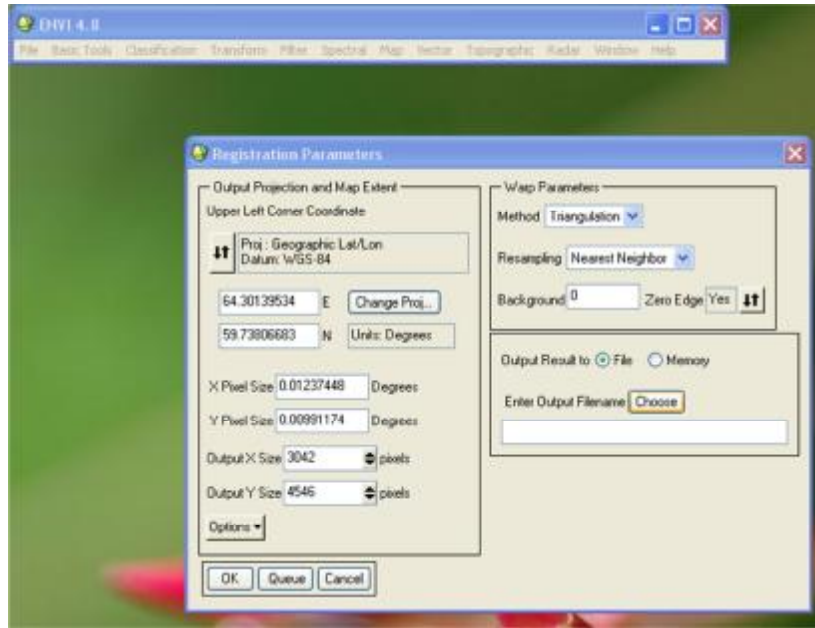
در مسیر بالا یک تصویر که قبلا در یکی از درایوهای رایانه ذخیره شده است را باز می‌کنیم.



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.

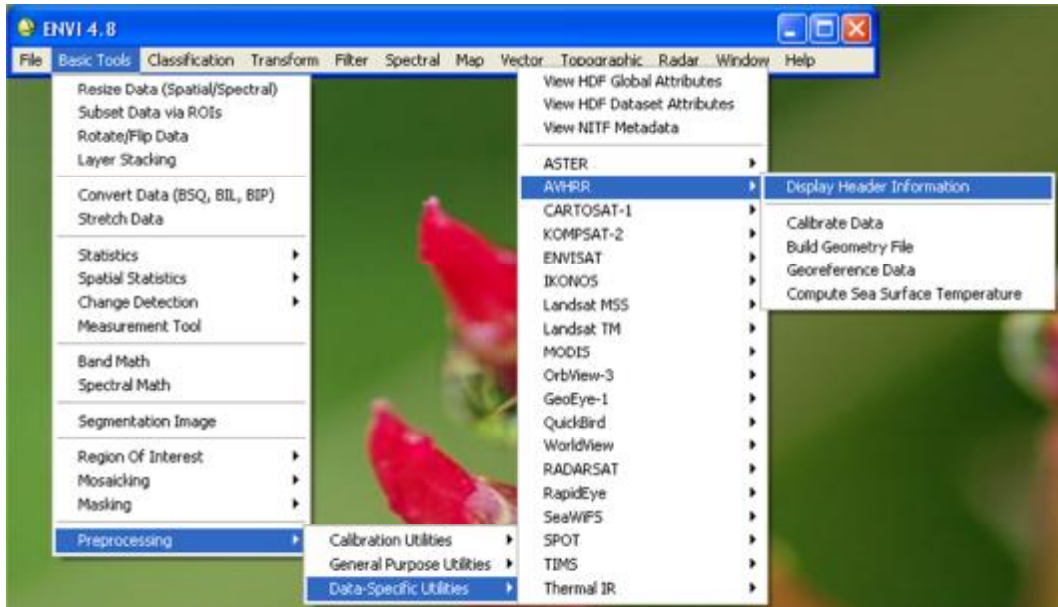
رادیانس باندهای حرارتی

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.

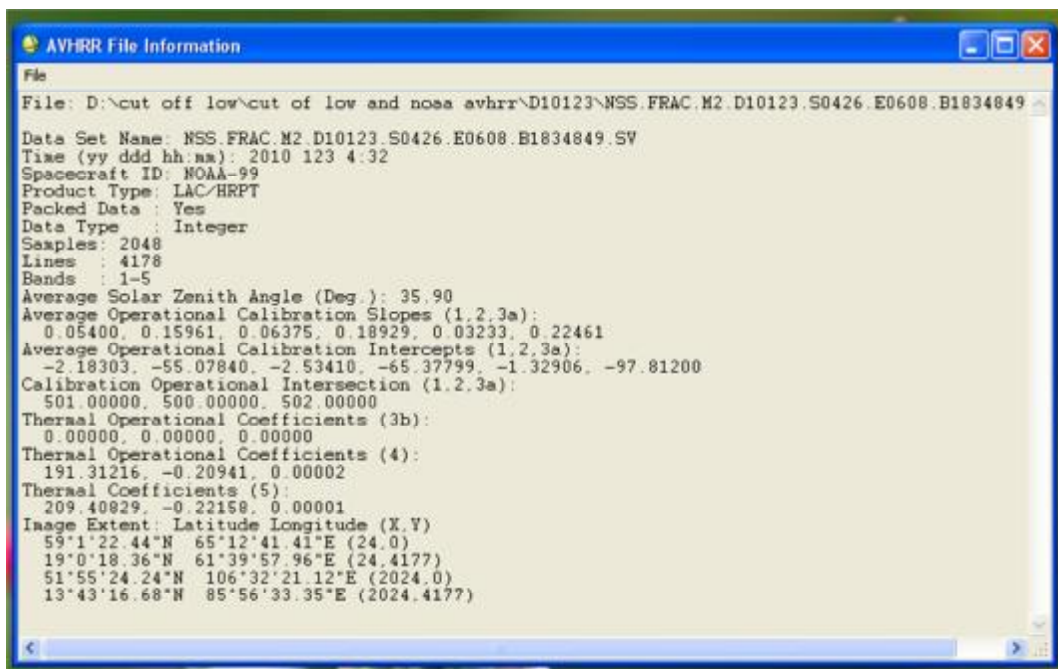
$$L_E \text{ or } L_{LIN} = S \cdot C + I \quad (\text{رابطه زیر})$$

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 شیب¹ و ضریب زاویه² 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.

¹- Slope
²- Intercept

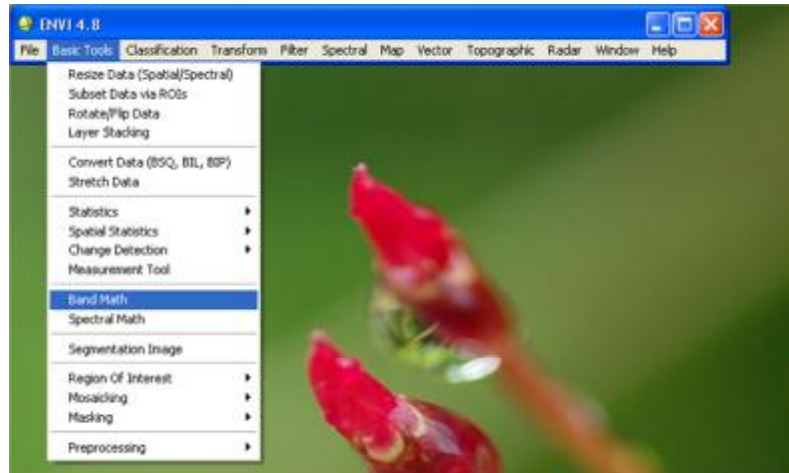


از مسیر بالا اطلاعات مربوط به هر تصویر (به صورت جدا) قابل مشاهده است.



نمونه ای از یک HDR فایل یک تصویر

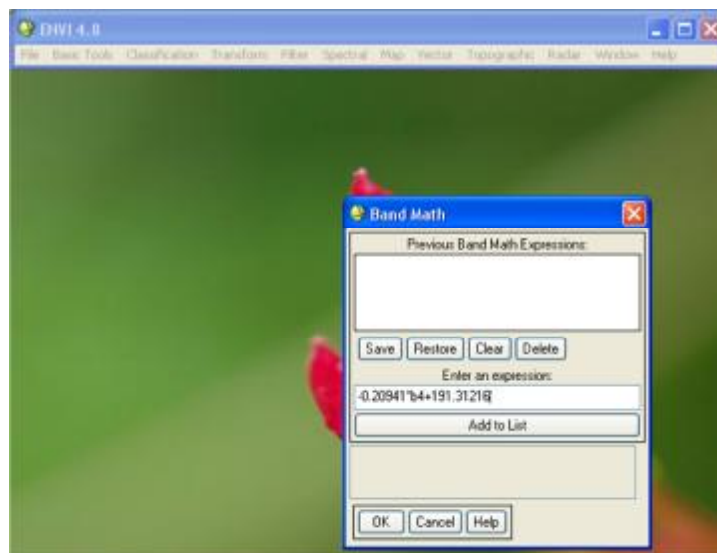
در تصویر بالا زمان تصویربرداری، نوع ماهواره، زاویه زینت خورشیدی، مقدار **S** و **I** نیز قابل مشاهده است. مقدار **S** برای باندها 4 در اینجا **-0.20941** و برای باندها 5 حدود **-0.22158** است. مقدار **I** برای باندها 4 در اینجا **191.31216** و برای باندها 5 حدود **209.40829** است. لازم به ذکر است مقادیر 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 باندها 4 به صورت زیر عمل می‌کنیم.



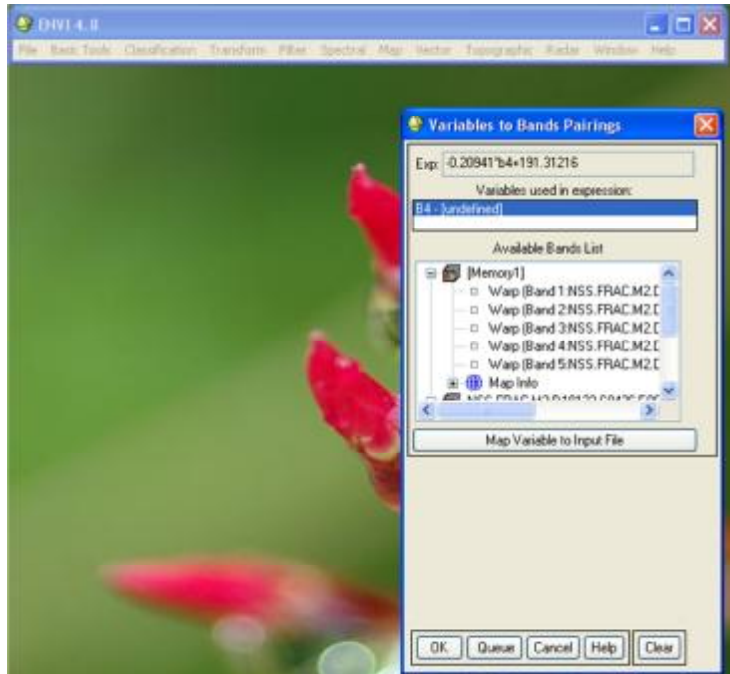
ابتدا همانند تصویر بالا بر روی آیکن **band math** کلیک می‌کنیم. سپس معادله را در داخل نوار ابزار به شکل زیر می‌نویسیم.

$$-0.20941*b4+191.31216$$

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.

برای ماهواره NOAA 13-14 رابطه زیر اعمال می‌شود:

$$L_E = D + A \times L_{LIN} + B \times L_{LIN}^2 \quad (\text{رابطه زیر})$$

که در رابطه فوق D ، A و B ضرایب ثابت هستند که برای انواع ماهواره‌های نوآ متفاوت بوده و از راهنمای KLM استخراج می‌شود.

برای ماهواره‌های NOAA 15-19 نیز رابطه زیر به کار برده شد:

$$L_E = b_0 + (1 + b_1) \times L_{LIN} + b_2 \times L_{LIN}^2 \quad (\text{رابطه زیر})$$

که b_0 ، b_1 و b_2 ضرایب تصحیح غیرخطی هستند، برای انواع ماهواره‌های نوآ متفاوت و باید از راهنمای KLM استخراج می‌شود.

دمای روشنایی

دمای به دست آمده از زمین در ارتفاع ماهواره دمای روشنایی³ نامیده می‌شود. باند مادون قرمز مقدار تشعشع را اندازه‌گیری می‌کند که قابلیت تبدیل به دمای روشنایی در بخش فوقانی اتمسفر را دارد. برای محاسبه دمای روشنایی ابتدا رادیانس محاسبه و در معادله معکوس پلانک بر روی تصاویر اعمال می‌شود.

برای تصاویر مربوط به ماهواره NOAA 14 رابطه زیر اعمال می‌شود:

$$T_E = \frac{C_2 \nu}{\ln\left(1 + \frac{C_1 \nu^3}{L_E}\right)} \quad (\text{رابطه زیر})$$

و برای ماهواره‌های NOAA 15-19 روابط زیر بکار برده می‌شود:

$$T'_E = \frac{C_2 \nu}{\ln\left(1 + \frac{C_1 \nu^3}{L_E}\right)} \quad (\text{رابطه زیر})$$

در نتیجه:

$$T_E = \frac{T'_E - A}{B} \quad (\text{رابطه زیر})$$

که در روابط فوق T_E دما به کلوین، L_E مقدار رادیانس بر حسب $W/m^2/sr/cm$ ، ν طول موج مرکزی باند مورد نظر بر حسب (cm^{-1}) ، \ln لگاریتم نپر می‌باشد. A و B ضرایبی هستند که برای هر ماهواره متفاوت و C_1 و C_2 ضرایب ثابت به شرح زیر می‌باشند:

$$C_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} mW(m^2/sr/cm^{-4}) \quad (\text{رابطه زیر})$$

$$C_2 = 1.438833 cm.K \quad (\text{رابطه زیر})$$

³ - Brightness temperaturer

