

«بِسْمِ تَعَالَى»

**راهنمای بر آورد پارامترهای رودخانه مئادری کارون
با کمک نرم افزار ENVI 5.3.1، GIS 10.3 و AutoCAD و استفاده از تصاویر
سنجنده Landsat 8 OLI**

تهیه و تنظیم:

هادی تاجی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب

Hadi.Taji+ENVI@gmail.com

فروردین ماه ۱۴۰۰

« معرفی محدوده مورد مطالعه »

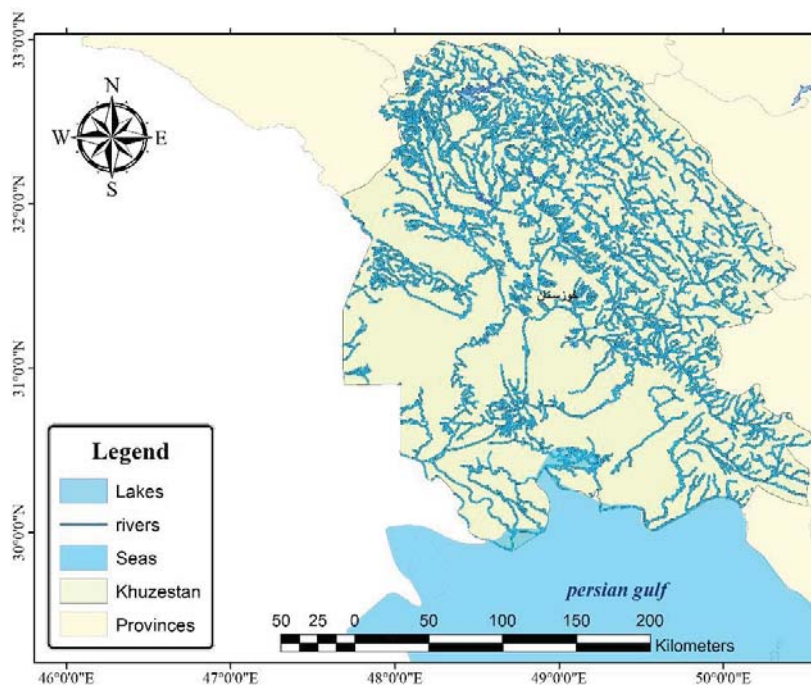
بمنظور انجام تمرین مربوطه در ابتدا می‌بایست با توجه به وسعت محدوده پروژه (حوضه آبریز) و دقت کار مورد نیاز، تصاویر ماهواره‌ای مربوط را تهیه نمود. در این تمرین از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 با قدرت مکانی (رزولوشن) ۳۰ متری و باند پن شارپینگ ۱۵ متری استفاده می‌شود. در پروژه حاضر بخشی از رودخانه کارون در استان خوزستان بعنوان رودخانه مطالعاتی انتخاب شده است که بدلیل گستردگی وسعت منطقه تنها از یک Scene با Path=165 و Row=38 از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده می‌شود. بنابراین استان خوزستان بعنوان تنها بخشی از رودخانه کارون و نمونه، جهت کاهش وسعت محدوده مطالعاتی و سادگی کار، انتخاب می‌شود. خوزستان یکی از استان‌های واقع در جنوب غرب کشور است که در آن رودخانه‌های فصلی و دائمی زیادی جریان دارد و از مهمترین‌های آن می‌توان به زهره، کارون، کرخه و اروندرود اشاره نمود. حوضه رودخانه کارون بزرگ با توجه به شرایط و ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی و بر اساس تقسیمات مدیریت منابع آب کشور شامل ۴۲ محدوده مطالعاتی بوده که ۱۳ عدد از آنها با مساحت ۲۷.۳۲۵ کیلومترمربع در این استان قرار گرفته است.



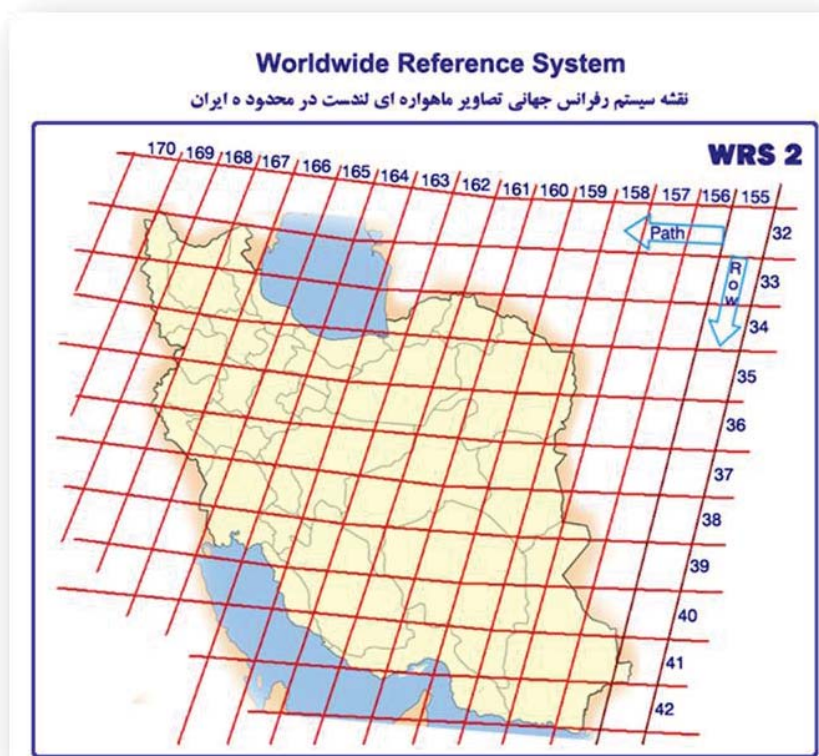
شکل ۱: موقعیت استان خوزستان و رودخانه کارون در ایران



شکل ۲: موقعیت ایران و استان خوزستان در کره زمین



شکل ۳: موقعیت استان خوزستان و رودخانه جاری در آن

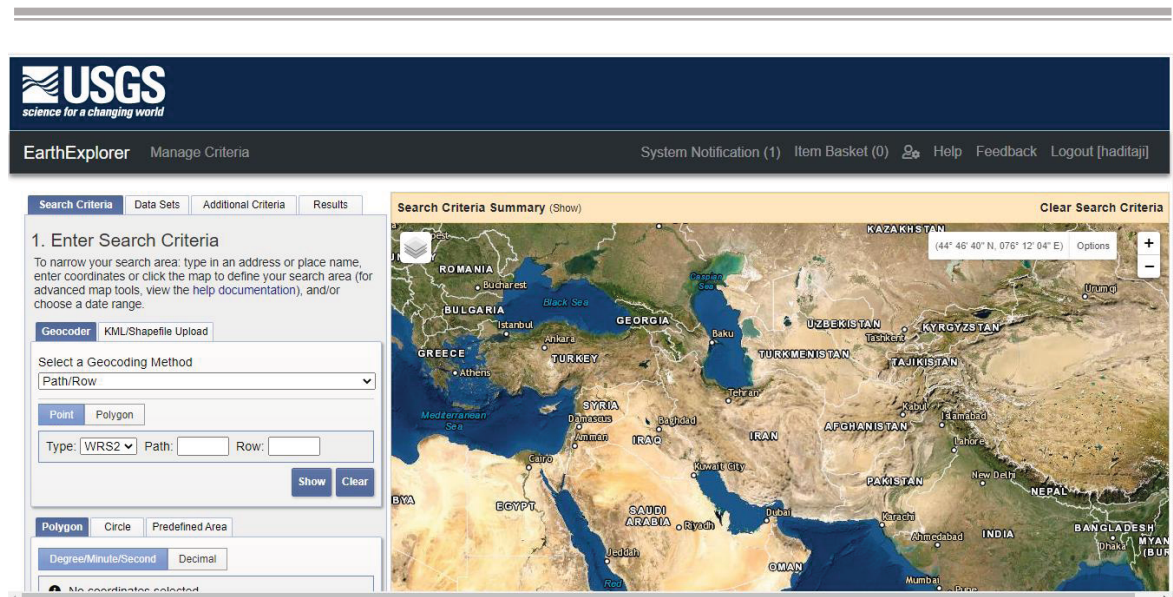


شکل ۴: تصویر تقسیم‌بندی مرز جغرافیایی ایران با سیستم WRS 2

شکل بالا نمایش‌دهنده تقسیم‌بندی مرز جغرافیایی ایران در سیستم WRS 2 می‌باشد. بدین ترتیب هر ردیف و ستون (Path & Row) تشکیل‌دهنده یک کاشی خواهد بود. بنابراین با کمک شکل بالا کاملاً مشخص خواهد بود که قسمت اعظم استان خوزستان در سطر ۳۸ و ستون ۱۶۵ قرار دارد.

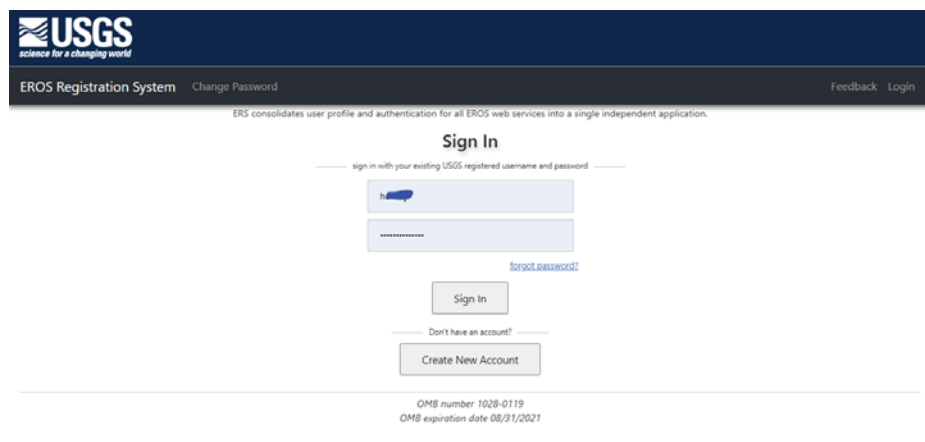
۱. انتخاب سنجنده مورد نظر و دانلود تصویر مناسب

برای دانلود رایگان تصاویر مورد نظر با مراجعه به آدرس اینترنتی <http://earthexplorer.usgs.gov>، محدوده مورد نظر برای جستجوی تصویر در تاریخ مناسب با میزان درصد ابرناکی مدنظر با طی مراحل اشکال زیر انتخاب می‌شود.



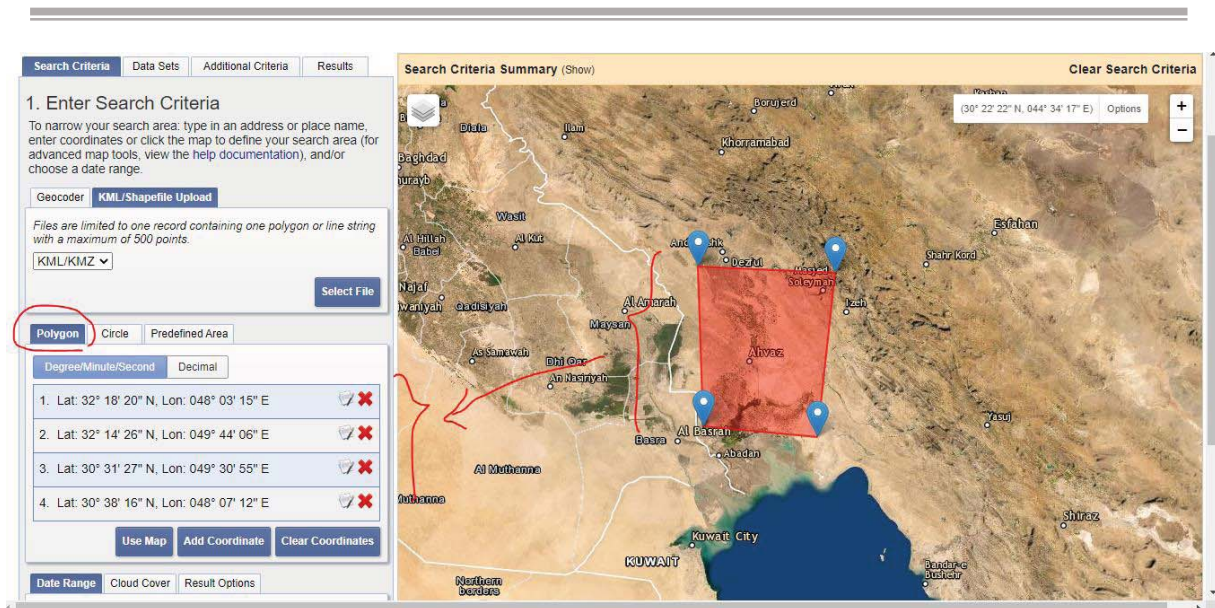
شکل ۵: صفحه اصلی سایت دانلود رایگان تصاویر ماهواره‌ای USGS

با فشردن کلید Register در بالای صفحه ظاهر شده، وارد صفحه ثبت‌نام شده و در صورت داشتن کلمه عبور و پسورد اختصاصی ناشی از ثبت‌نام قبلی، می‌بایست با فشردن دکمه Login، وارد حساب کاربری خود شوید (در صورت نداشتن باید از قبل با کمک دکمه Create New Account ثبت نام را تکمیل نمایید).



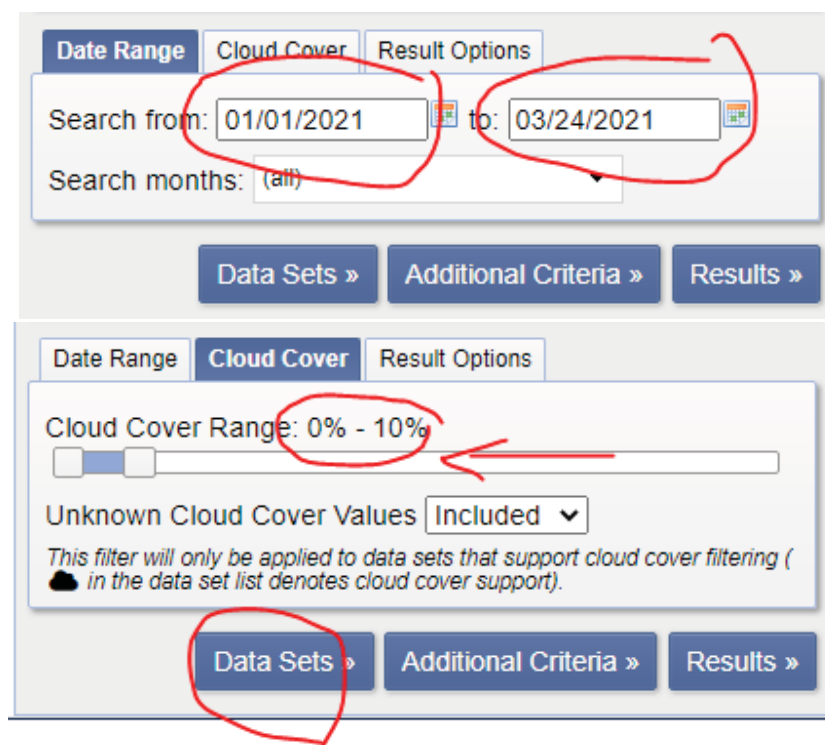
شکل ۶: صفحه ورود به محیط کاربری با نام کاربری و کلمه عبور از قبل تعیین شده

بمنظور ورود اطلاعات در سربرگ Search Criteria دو قسمت وجود دارد. قسمت اول برای مشخص‌سازی محل مورد نظر بصورت های مختصات جغرافیایی، آپلود فایل محدوده (با فرمت های شپ فایل و یا KMZ) و یا کلیک و انتخاب ناحیه بر روی نقشه بصورت چندضلعی، دایره و ... می‌باشد. قسمت بعدی برای انتخاب بازه زمانی مورد نظر و همچنین تعیین کیفیت تصویر از منظر ابرناکی است. با انتخاب گزینه KML/Shapefile Upload می‌توان مرز سیاسی استان خوزستان را به سایت معرفی نمود. در اینجا با انتخاب چهار نقطه بعنوان چهار گوشه یک محدوده پلیگونی بر روی نقشه، محدوده‌ای که می‌بایست تصویر مورد نظر برای آن جستجو شود، معرفی می‌شود.



شکل ۷: مشخص کردن مرز محدوده مورد مطالعه

بدین صورت محدوده مطالعاتی مورد نظر با کمک چهار نقطه در نقشه مشخص می‌شود. در قسمت بعدی زمان میلادی مورد جستجو و همچنین میزان درصد قابل قبول ابرناکی تصویر انتخاب و سپس دکمه Data Sets برای رفتن به مرحله بعدی انتخاب می‌شود.



شکل ۸: تعیین بازه زمانی و کیفیت تصویر برای فیلترسازی تصاویر مورد جستجو

در مرحله بعدی نوع تصویر مورد دانلود را در قسمت Data Sets (در اینجا گزینه Landsat Collection 1 Level-1/ Landsat 8 OLI/TIRS C2L1) تیکدار می‌شود.

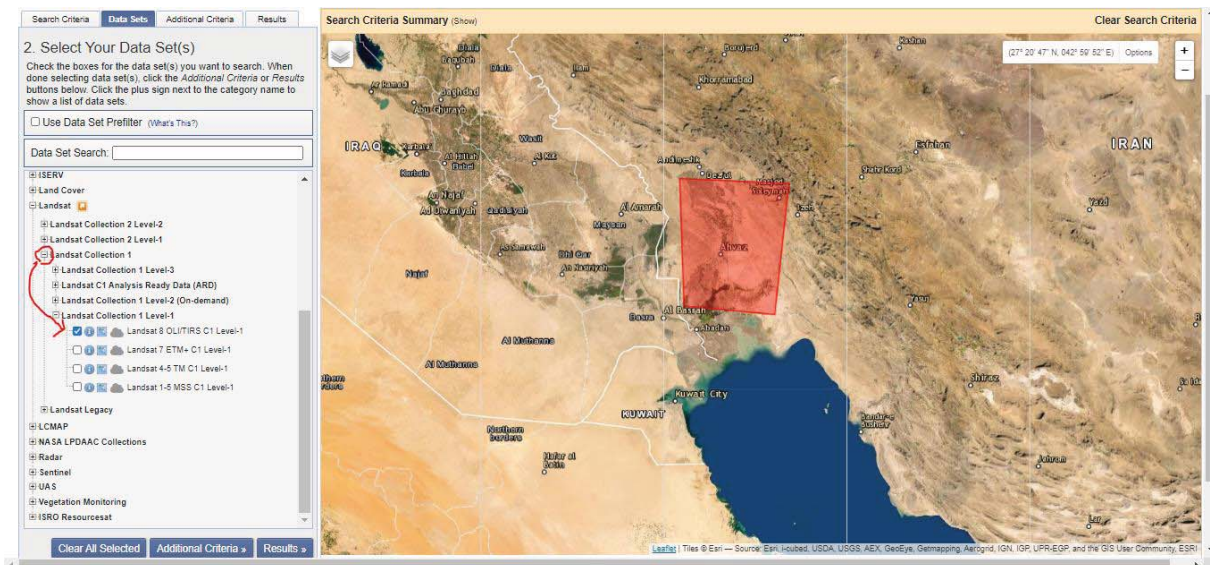


شکل ۹: نتیجه نهایی بعد از ورود محدوده و بازه زمانی و ورود به سربرگ Data Sets

نکته: نامگذاری جدید تصاویر لندست برای آرشیو خود به صورت شکل زیر قابل نمایش است. بدین ترتیب با کمک تصاویر دانلود شده می‌توان به نوع تصویر و ویژگی‌های آن دست یافت. بمنظور کسب اطلاعات بیشتر در خصوص انواع مجموعه تصاویر لندست (Collection 1 & 2) و خصوصیات آنها لطفاً به آدرس [لینک](#) مراجعه نمایید (مقایسه).

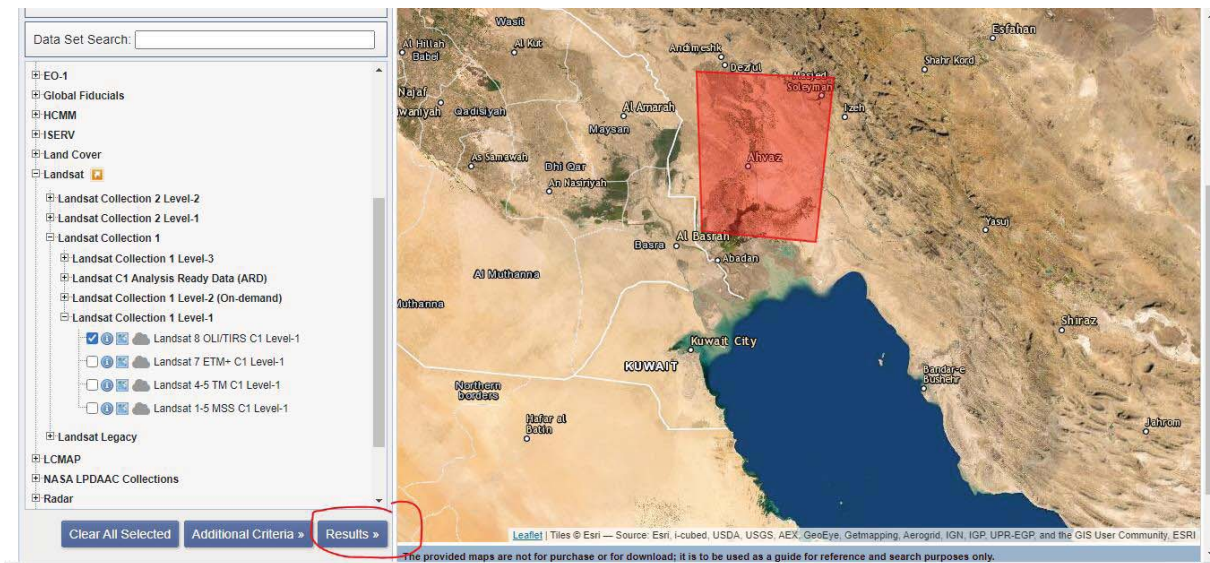
Scene ID	Landsat Product Identifier
LXSPPPRRYYYYDDDGSIIV	LXSS_LLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CC_TX
L = Landsat X = Sensor S = Satellite PPP = WRS path RRR = WRS row YYYY = Year DDD = Julian day of year GSI = Ground station identifier VV = Archive version number	L = Landsat X = Sensor (C=OLI/TIRS Combined, O=OLI-only, T=TIRS-only, E=ETM+, T=TM, M=MSS) SS = Satellite (07=Landsat 7, 08=Landsat 8) LLLL = Processing correction level (L1TP=Precision Terrain, L1GT=Systematic Terrain, L1GS=Systematic) PPP = WRS path RRR = WRS row YYYYMMDD = Acquisition year (YYYY)/Month (MM)/Day (DD) yyyymmdd = Processing year (yyyy)/Month (mm)/Day (dd) CC = Collection number (01, 02) TX = Collection category (RT = Real-Time, T1=Tier 1, or T2=Tier 2)
Examples: LC80290302015343LGN00 LE70160392004262EDC02 LT40170361982320XXX08 LM10170391976031AAA01	Examples: LC08_L1GT_029030_20151209_20160131_01_RT LE07_L1TP_016039_20040918_20160211_01_T1 LT04_L1GS_017036_19821115_20160315_01_T2 LM01_L1GS_017039_19760131_20160225_01_T2

شکل ۱۰: نحوه نامگذاری تصاویر لندست در آرشیو



شکل ۱۱: انتخاب تصویر مورد جستجو

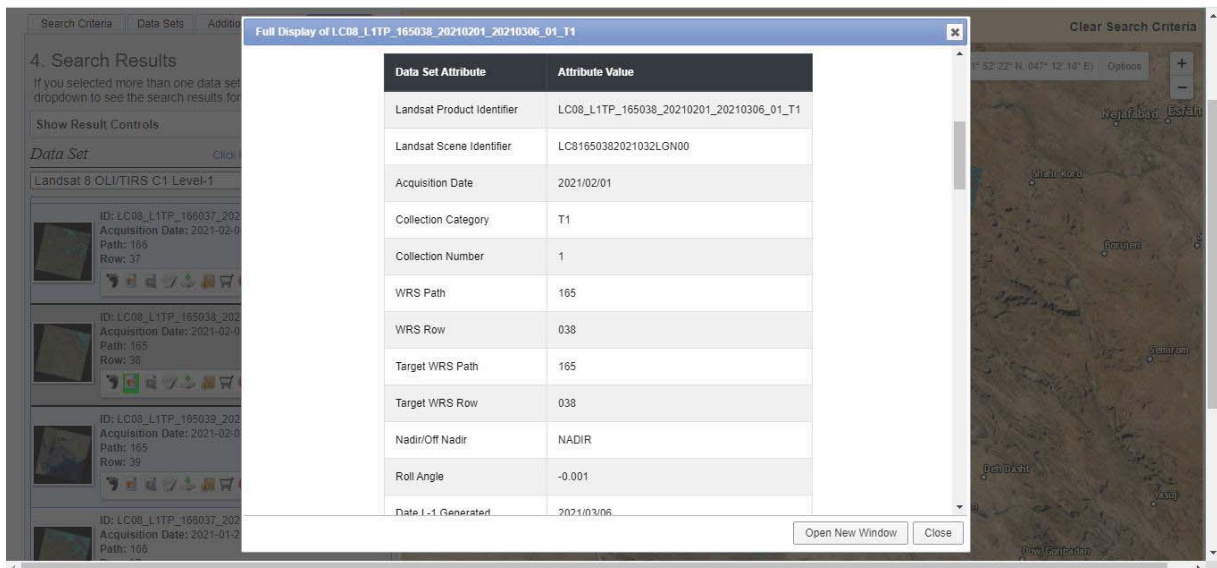
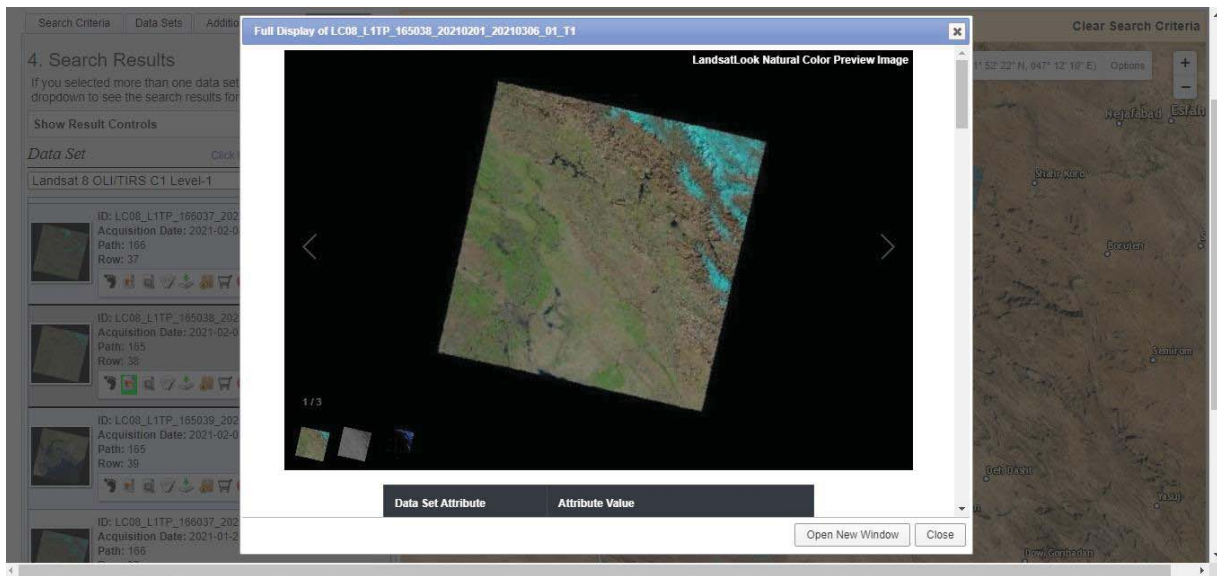
گزینه Results برای آغاز جستجوی تصویر موردنظر در زمان و محدوده معین شده انتخاب می‌شود.



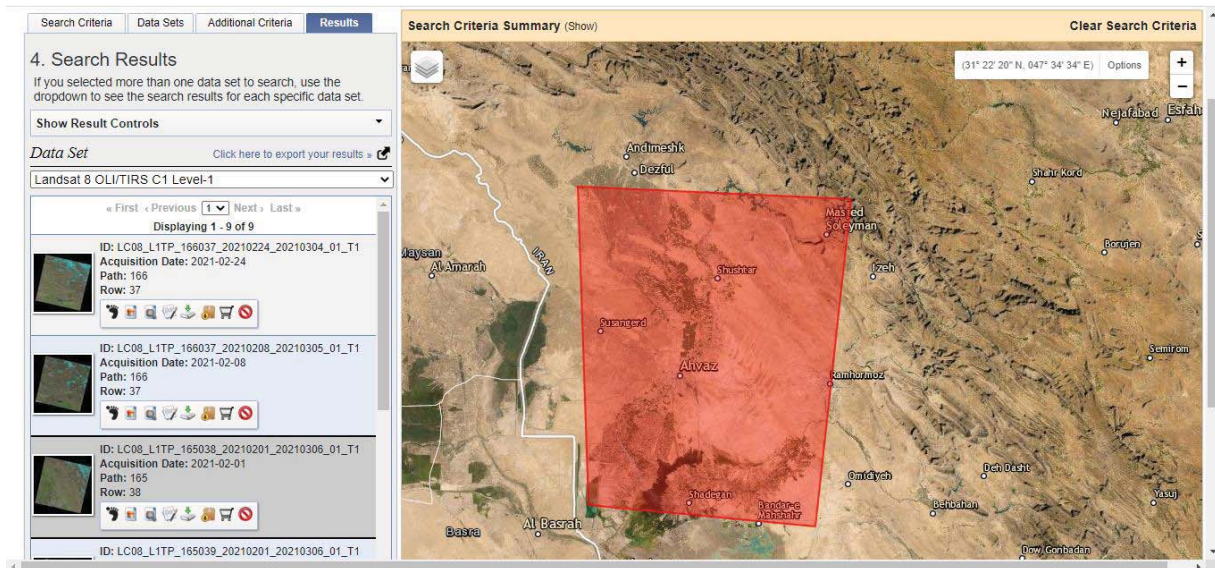
شکل ۱۲: شروع جستجو با فشردن دکمه Results

پس از اتمام جستجو، تصاویر یافت شده نمایش داده می‌شود. در این مرحله نیز با کمک آیکون‌های موجود در زیر تصویر یافت شده می‌توان مکان تصویر در نقشه و نمایی رنگی از تصویر (RGB) را مشاهده نمود. همچنین دکمه‌های MetaData اطلاعات بیشتری (از جمله میزان ابرناکی تصویر و دید RGB بصری) از تصویر مورد نظر را قبل از دانلود می‌تواند در اختیار کاربر قرار دهد.





شکل ۱۳: نمایش اطلاعات بیشتر پس از فشردن دکمه اطلاعات

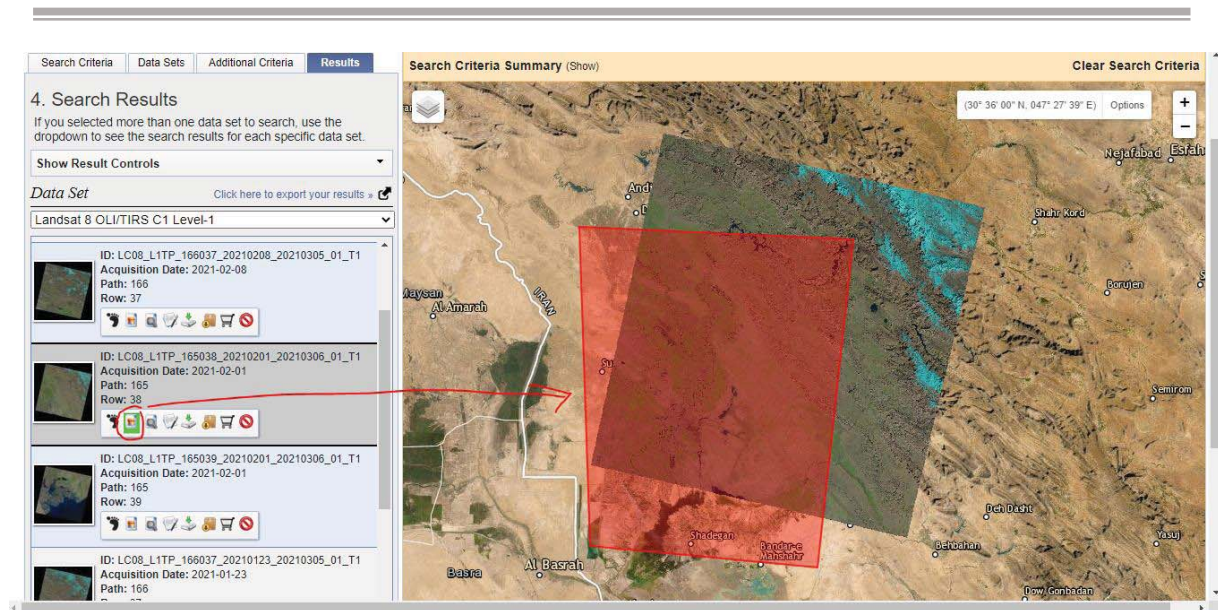


شکل ۱۴: نمایش مجموعه تصاویر پیدا شده

در اینجا بدلیل عدم پوشش کامل یک Scene از دو تصویر استفاده می‌شود. بنابراین تصاویر با مشخصات زیر انتخاب می‌شود:

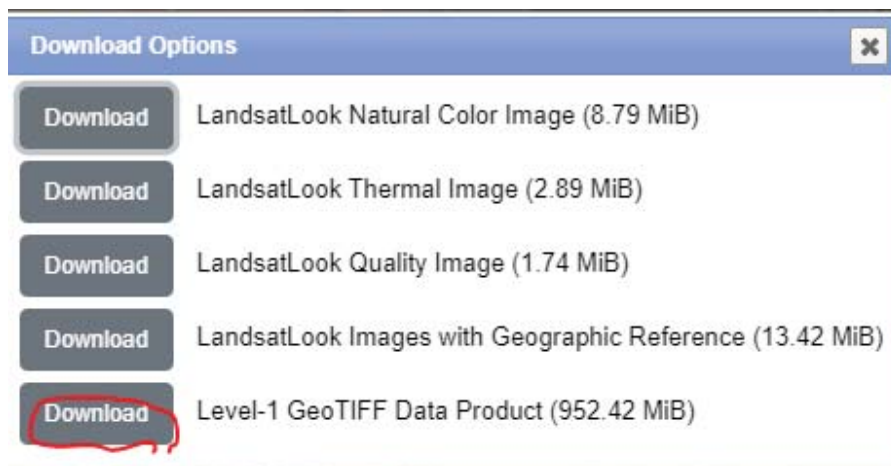
(05/01/2020 - 09/30/2020)

- Image 1:
- **ID:** LC08_L1TP_165038_20210201_20210306_01_T1
 - **Acquisition Date:** 2021-02-01
 - **Path:** 165
 - **Row:** 38



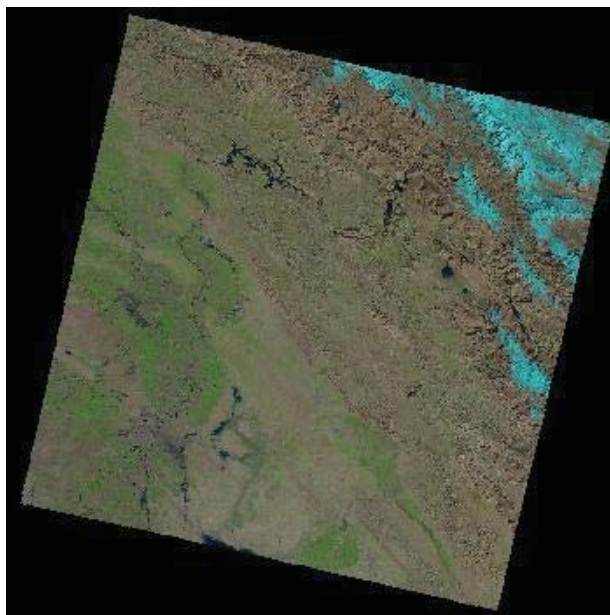
شکل ۱۵: نمایش تصاویر منتخب برای اجرای تمرین

با فشردن آیکون مربوط به دانلود ()، عملیات بارگیری آغاز می‌گردد.

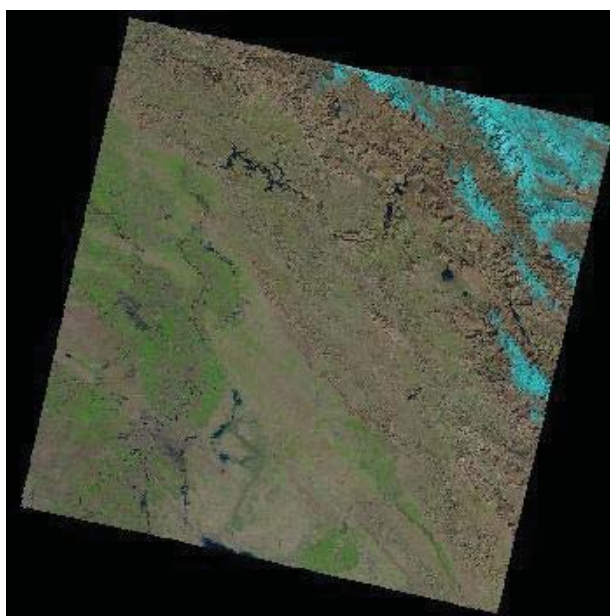


شکل ۱۶: پنجره دانلود تصاویر و باندها

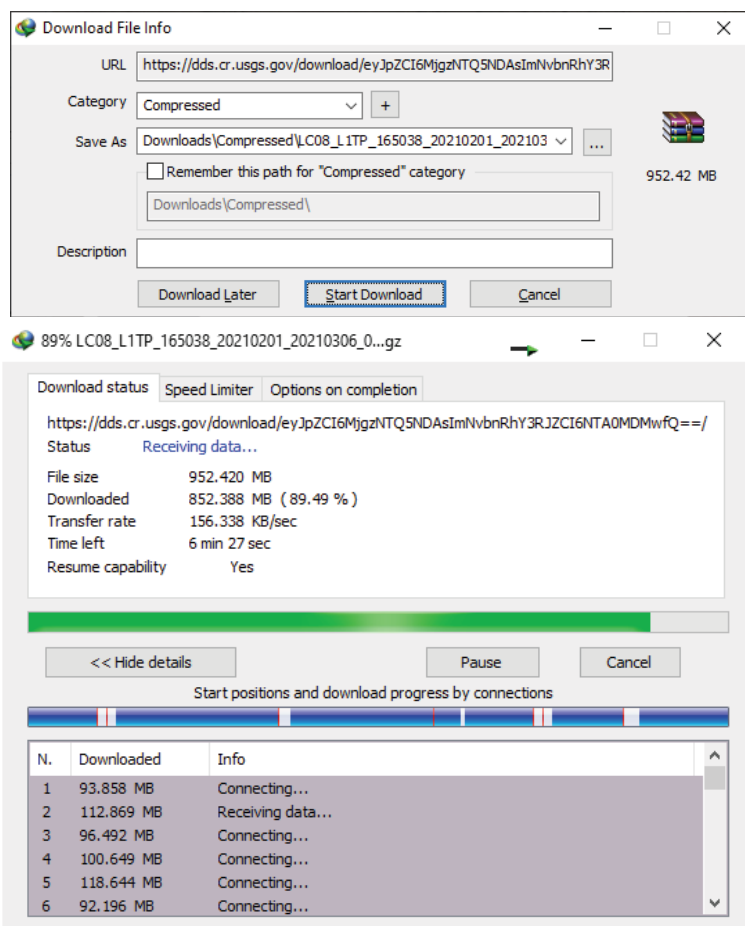
لازم به ذکر است که گزینه‌های اولیه نمایش داده شده در تصویر بالا، تنها مربوط به نمایش تصویر منتخب در ترکیبات باندی و متفاوت است که بدلیل حجم پایین و قبل از شروع دانلود تصویر اصلی (



شکل ۱۷)، برای اطمینان از صحت انتخاب موردنظر قابل استفاده است.



شکل ۱۷: نمایش تصویر رنگی کاذب باندهای مرئی از با فرمت Jpeg (گزینہ پنجم صفحه ابتدایی لینک‌های دانلود)



شکل ۱۸: شروع دانلود با کمک نرم‌افزار دانلود منیجر

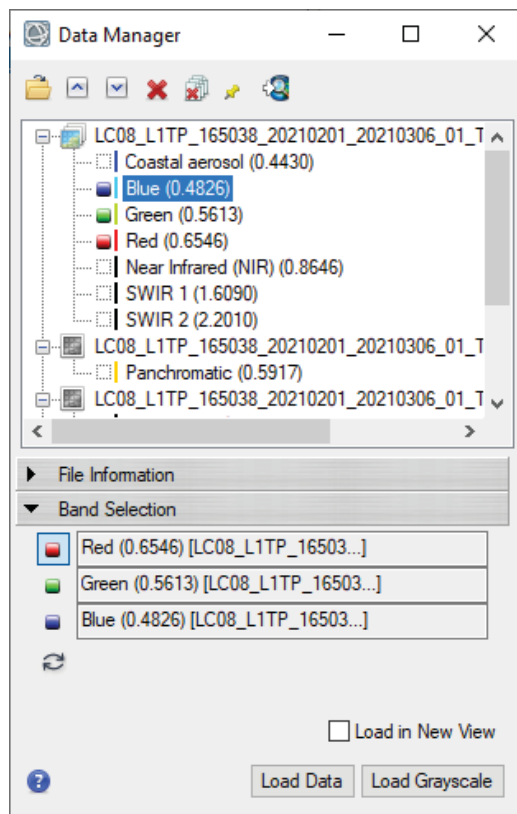
گاهی اوقات آیکون‌های مربوط برای دانلود خاموش می‌باشد که در این مرحله نیز اگر از قبل وارد حساب کاربری اختصاصی خود نشده باشید، می‌بایست با فشردن دکمه Login و وارد نمودن نام کاربری و پسورد اختصاصی، وارد حساب کاربری خود شوید تا این آیکون‌ها قابل استفاده شود.

۲. آماده‌سازی تصاویر در محیط ENVI

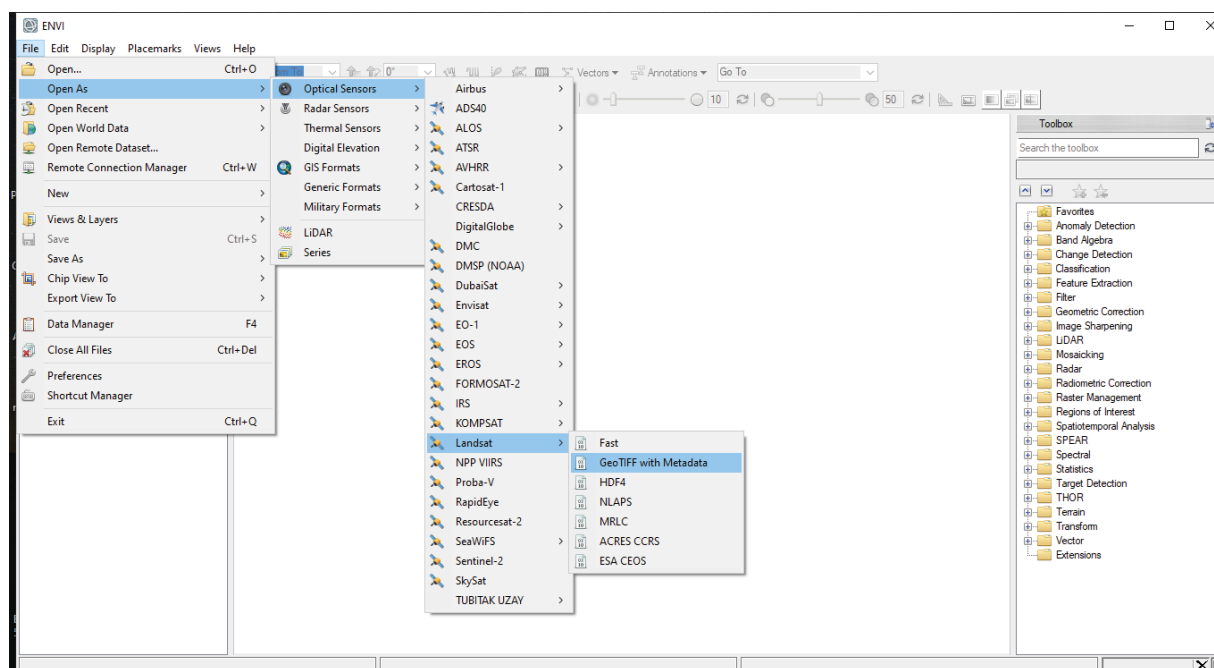
پس از اتمام مرحله دانلود به محل مورد نظر رفته و با کلیک راست بر روی فایل آن را از حالت فشرده خارج می‌نماییم: پس از آن برای باز کردن تصویر، با ورود به محیط گرافیکی نرم افزار ENVIT از گزینه File/Open as استفاده کرده و مشخصات شناسنامه‌ای تصویر دانلود شده را با فرمت " *_MTL.txt" (از نوع نوشتاری) معرفی و Open می‌کنیم. بدین ترتیب تصویر با قالب رنگی کاذب RGB بصورت خودکار شناخته و فراخوانی می‌شود.

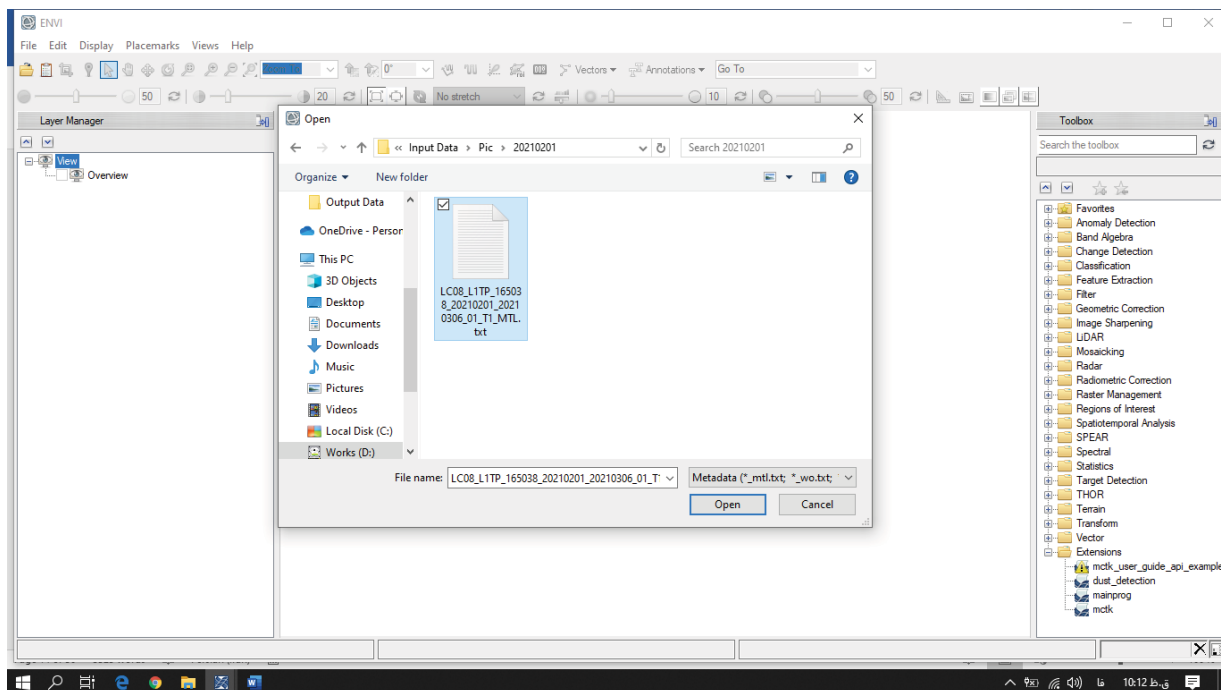
توضیح اینکه بدلیل شناسایی فایل شناسنامه‌ای معرفی شده، نرم‌افزار تمامی باندهای موجود در پوشه مقصد را بطور خودکار شناسایی کرده و با کمک آنها تصویر رنگی RGB را برای ایجاد یک دید بصری مناسب ایجاد می‌کند. در صورت عدم شناسایی باندها و یا ورود جداگانه و تک تک باندها از گزینه Open به محیط نرم‌افزار، می‌توان با کمک Data Manager نرم افزار ENVI (شکل

۱۹) بمنظور ایجاد تصویر رنگی کاذب با معرفی باندهای ۴، ۳ و ۲ بعنوان قرمز، سبز و آبی و فشردن دکمه Load در آن، دید رنگی کاذب مورد نظر را ایجاد کرد.



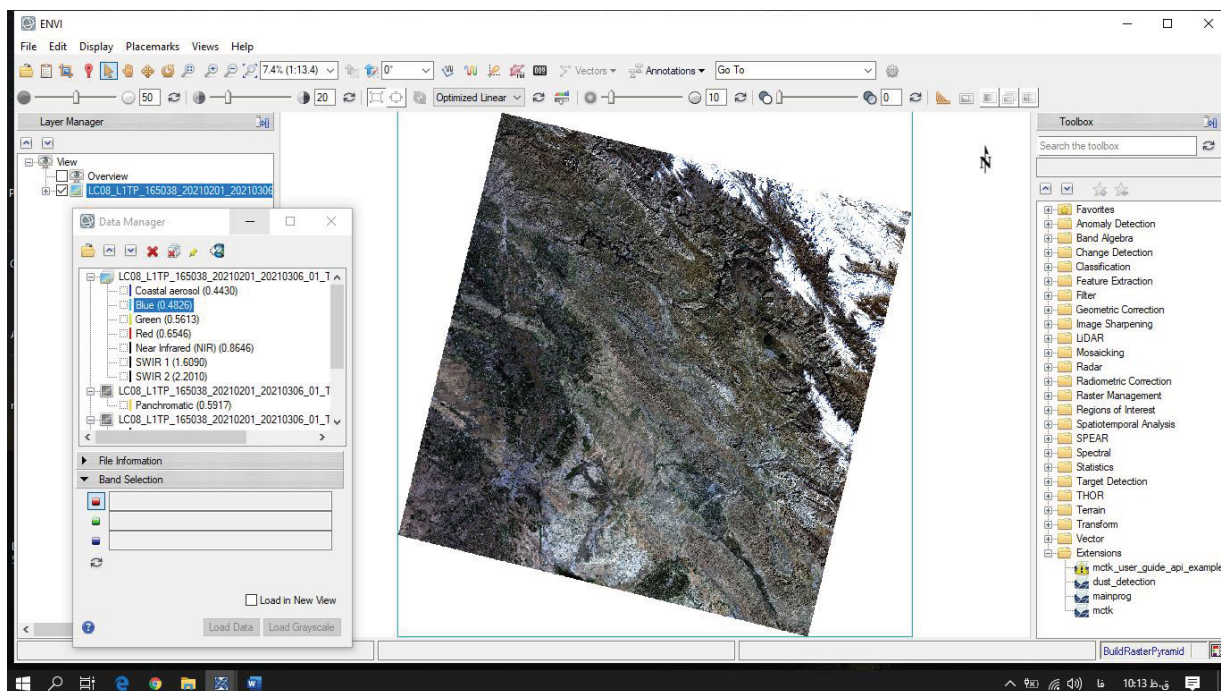
شکل ۱۹: محیط Data Manager نرم افزار ENVI بمنظور ایجاد تصویر رنگی کاذب با معرفی باندهای ۴، ۳ و ۲ بعنوان قرمز، سبز و آبی





شکل ۲۰: نمایی از محیط نرم افزار و نحوه بازکردن تصاویر دانلود شده

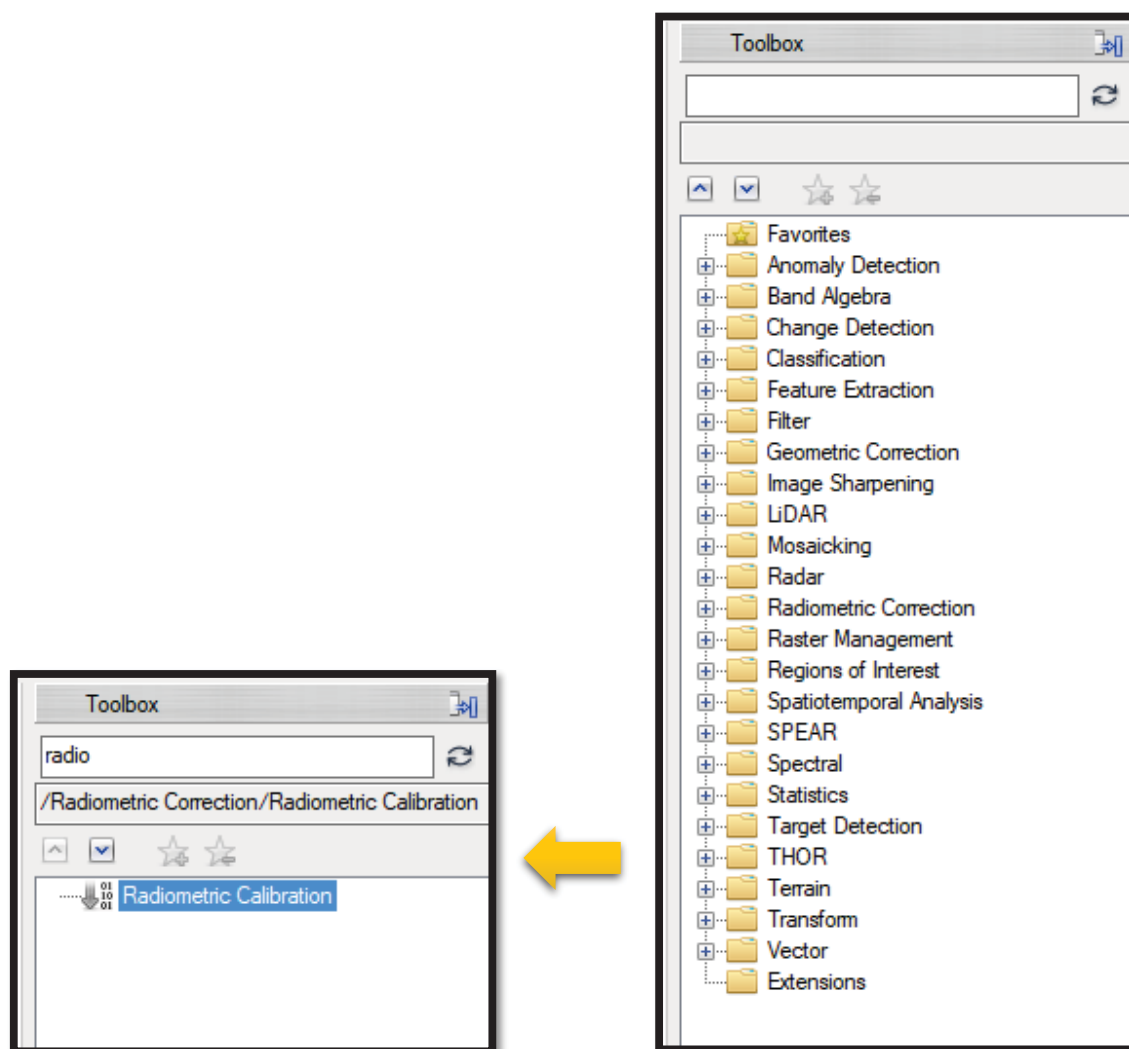
بمنظور مشاهده کامل تصویر در محیط نرم افزار از گزینه **Zoom to Full Extent (F12)** استفاده می شود.



شکل ۲۱: دید بصری و رنگی کاذب (RGB) از تصویر شماره یک

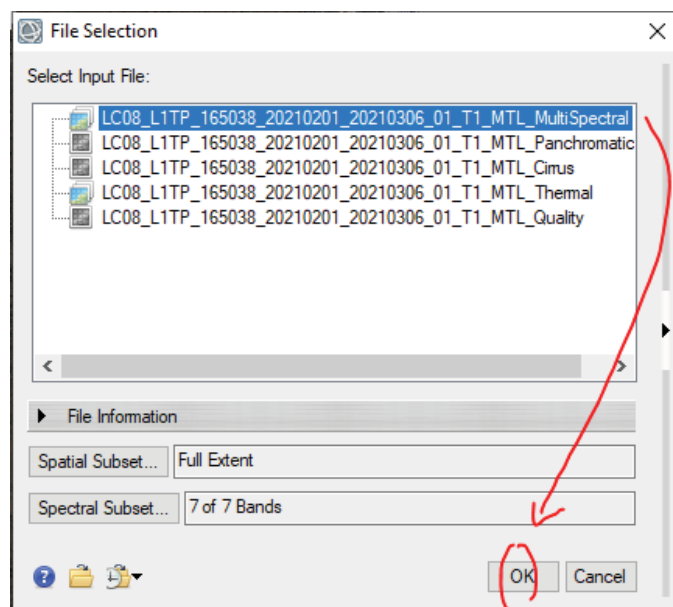
۳. انجام تصحیحات رادیومتریک

با جستجوی کلمه Radiometric Calibration از Toolbox مورد نظر برای کالیبره کردن تصویر بصورت مراحل ذیل استفاده می‌شود:



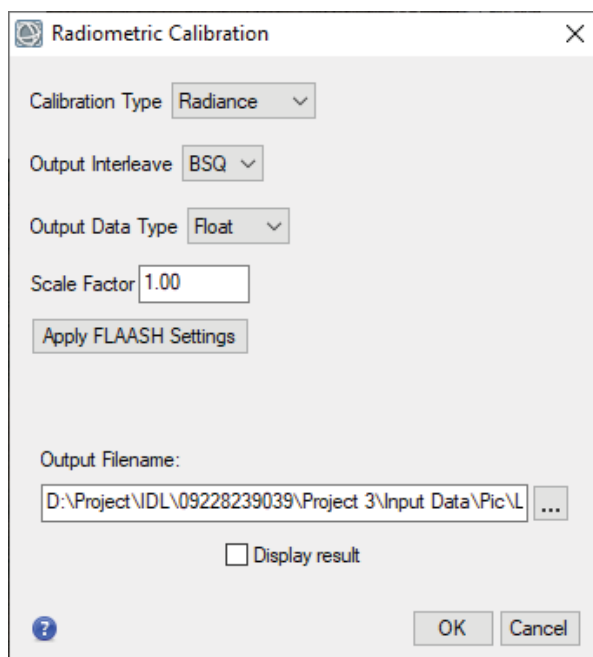
شکل ۲۲: نحوه جستجوی ابزار تصحیح رادیومتریک در جعبه ابزار نرم افزار

پس از آن باندهای MultiSpectral را مطابق شکل ۲۳ انتخاب کرده و بر روی OK کلیک می‌کنیم. لازم به ذکر است که در این پنجره امکان انتخاب قسمتی از تصویر و باندها بوسیله گزینه‌های Spatial Subset و Spectral Subset میسر می‌باشد (که در این مرحله بهتر است فعلا کل تصویر وارد مراحل تصحیح شود چراکه در آینده نیز امکان برش محدوده مطالعاتی پروژه میسر خواهد بود).



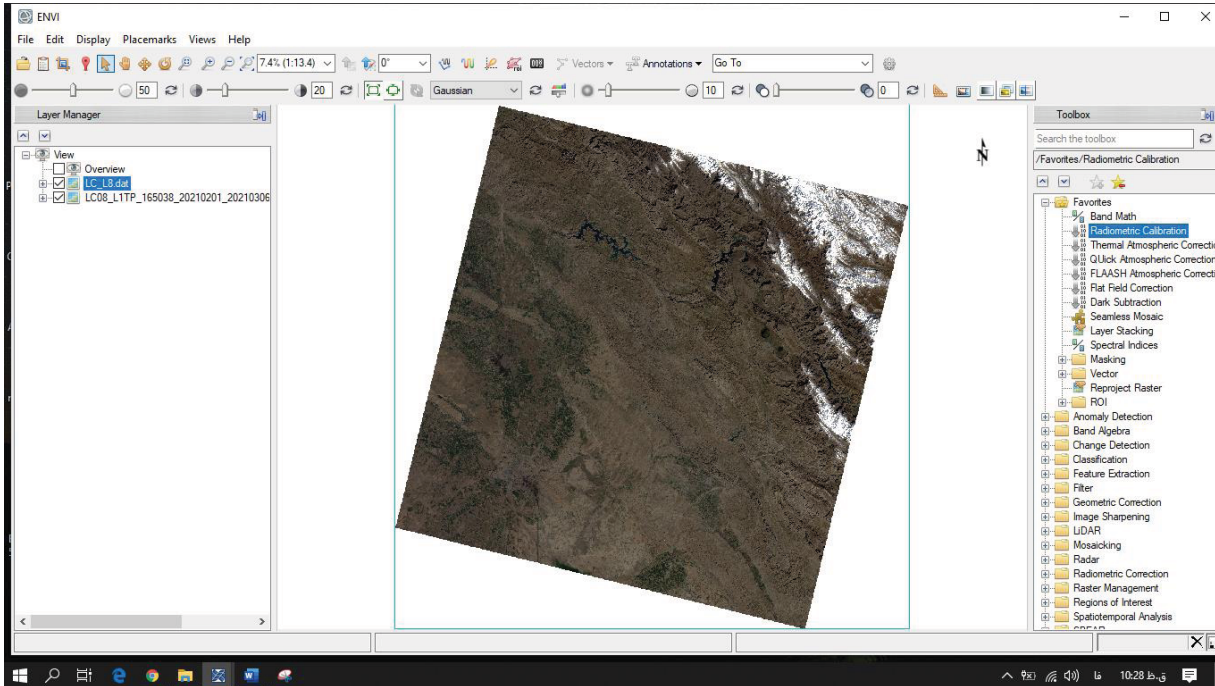
شکل ۲۳: انتخاب باند مجموعه باند مورد نظر برای شروع عملیات تصحیح رادیومتریک

پس از آن با انتخاب گزینه‌های پیش‌فرض و محل ذخیره‌سازی فایل خروجی و فشردن دکمه OK عملیات شروع خواهد شد. شما نیز می‌توانید از کشوی Calibration Type گزینه Reflectance را نیز انتخاب نمایید. البته این گزینه برای گام بعدی تصحیح (تصحیح اتمسفریک) در برخی از روش‌ها (مثل FLAASH) حتماً باید بصورت Radiance باشد. بنابراین هرچند که در روش تصحیح اتمسفریک انتخابی در تمرین حاضر، هر دو مورد قابل استفاده خواهد بود، ولی مقدار آن را بصورت پیش‌فرض همان رادیانس قرار می‌دهیم.

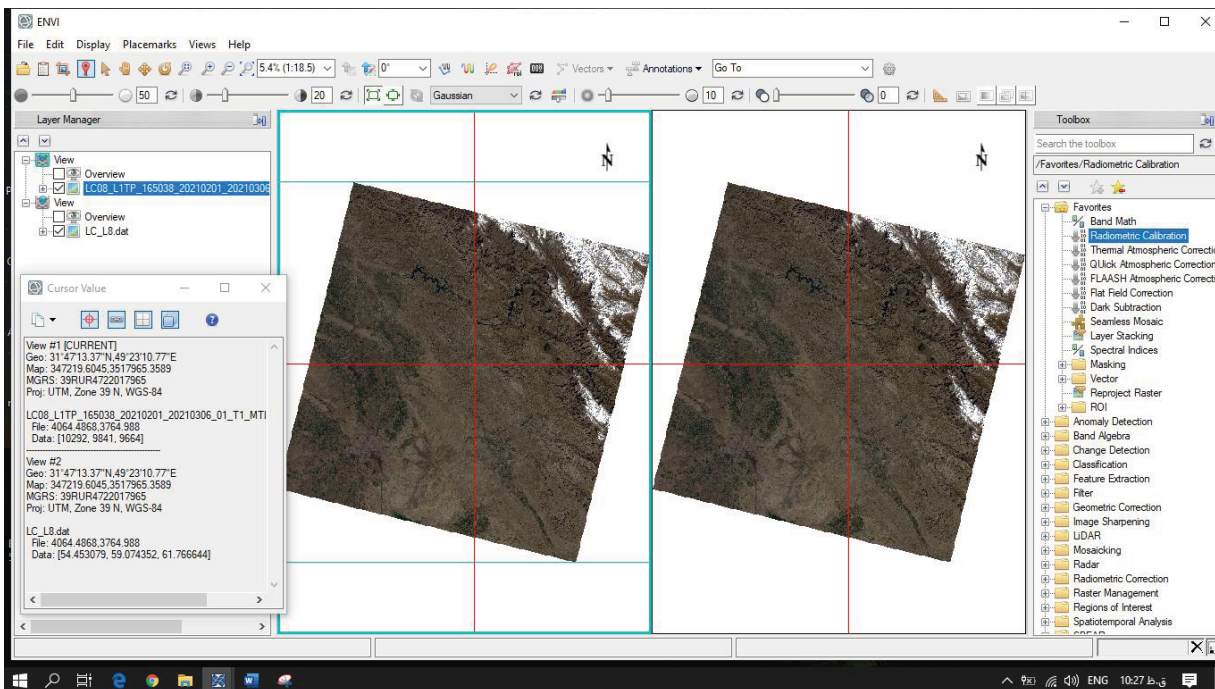


شکل ۲۴: انتخاب گزینه‌های پیش‌فرض و محل ذخیره فایل خروجی

گزینه Reflectance و محل ذخیره‌سازی فایل خروجی انتخاب شده و سپس گزینه OK انتخاب می‌شود. باید منتظر ماند تا عملیات بطور کامل اجرا و نتایج در پنجره کناری (Layer Manager) نمایش داده شود. پس از انجام تصحیح، تصویر رادیومتریک با مقادیری از اعداد صحیح ایجاد می‌شود.



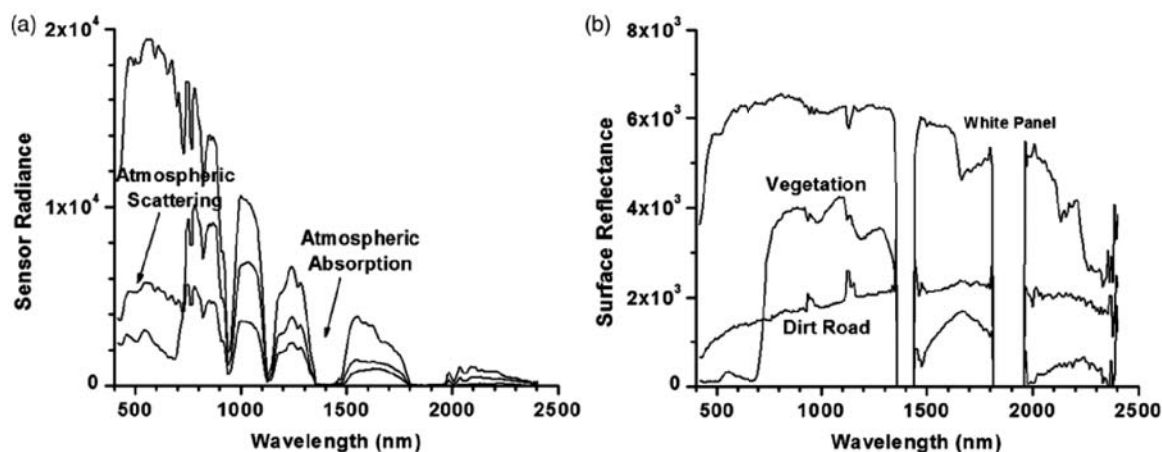
شکل ۲۵: اتمام مرحله تصحیح رادیومتریک تصویر شماره یک با نام CR_L8.dat



شکل ۲۶: مقایسه مقادیر طیف رنگی RGB پس از تصحیح رادیومتریک برای تصویر یک

۱.۳. معرفی تصحیحات اتمسفریک

تصحیح اتمسفری به معنی فرآیند حذف اثر جذب و پخش اتمسفری از روی امواج الکترومغناطیسی رسیده به سنجنده می‌باشد. برخی از کاربران عقیده دارند که تصحیح اتمسفری منجر به حذف ابرها از تصاویر ماهواره‌ای می‌شود اما این دیدگاه کاملاً اشتباه است. در شکل زیر نمونه‌ای از مقایسه رفتار طیفی پدیده‌ها قبل و بعد از انجام تصحیحات اتمسفری صورت گرفته است.



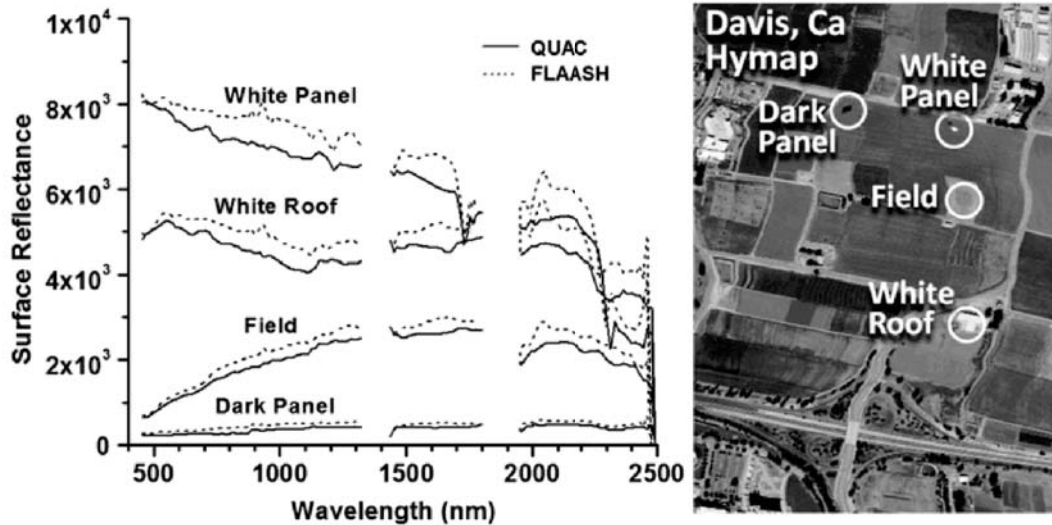
شکل ۲۷: نمونه نتایج رفتار طیفی پدیده‌ها قبل و بعد از انجام تصحیحات اتمسفریک

در تصویر بالا سمت چپ رفتار طیفی بدون انجام تصحیح اتمسفری نمایش داده شده و اثرات جذب موجود در روی رفتار طیفی به شدت باعث ایجاد اعوجاج در آن شده است، این در حالی است که پس از انجام تصحیحات اتمسفری و تعدیل اثر اتمسفر (از حیث جذب و پخش)، رفتار طیفی حاصل شده (تصویر بالا سمت راست) به خوبی تصحیح شده و پدیده‌ها را از یکدیگر متمایز ساخته است.

۱.۱.۳. الگوریتم‌های تصحیح اتمسفری

تاکنون روش‌های مختلفی همچون روش‌های مطلق، نیمه مطلق و نسبی برای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. مانند روش Empirical Line Model و روش‌هایی مانند FLAASH یا QUAC و Dark Subtraction. در روش‌های مطلق مانند Empirical Line Model برای اعمال تصحیحات نیاز به بازتاب‌های زمینی است، این در حالی است که روش‌های نیمه مطلق مبتنی بر مدل‌های انتقال تابشی مانند FLAASH بدون استفاده از داده‌های زمینی و صرفاً بر اساس اطلاعات موجود در تصاویر ماهواره‌ای فرایند تصحیح انجام می‌شود. روش‌های نسبی هم مانند Dark Subtraction با کمک پیکسل‌هایی از تصویر (در مثال پیکسل‌هایی با قابلیت جذب بیشترین تابش از تصویر همچون محیط‌های آبی)، میزان ارزش سایر پیکسل‌ها تصحیح می‌شود. هر کدام از این روش‌ها از مزیت‌ها و معایب خاص خود برخوردار هستند اما هیچ یک از آنها در آن واحد بالاترین دقت، سرعت پردازش و استقلال از داده‌های زمینی را بصورت یکجا ندارند. بر همین اساس در سال ۲۰۰۴ میلادی روش تصحیح اتمسفری QUAC ارائه شد که بتواند همه این موارد را بصورت یکجا در خود پوشش دهد.

الگوریتم QUAC در مقایسه با سایر روش‌های مبتنی بر محاسبات فیزیکی از سرعت بسیار بالایی برخوردار است. بررسی‌های انجام شده در ارتباط با دقت QUAC و FLAASH نشان داده که روش QUAC بصورت تقریبی ۱۵ درصد نتایج آن با روش FLAASH متفاوت است. مقایسه رفتارهای طیفی حاصل از الگوریتم QUAC و FLAASH در شکل زیر نشان داده شده است.



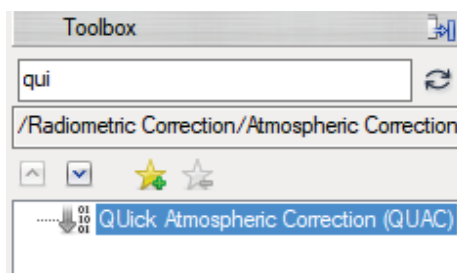
شکل ۲۸: مقایسه رفتار طیفی حاصل از دو الگوریتم QUAC و FLAASH

الگوریتم QUAC برای تصحیح اتمسفری تصاویر چندطیفی و ابرطیفی در بازه بین ۴۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر کاربرد دارد. این الگوریتم برای تصحیح تصاویری مناسب است که در گذشته تهیه شده و یا تصاویری که فاقد نمونه‌های اتمسفری و زمینی برای اعمال روش‌های مطلق هستند. در این روش تنها با استفاده از چندباند و داشتن طول موج هر یک از آنها تصحیح انجام می‌شود و بدون ارائه اطلاعات زیادی تصویر تصحیح می‌گردد. در این الگوریتم از ساختار ساده شده مدل‌های انتقال تابشی استفاده شده است که برای مدل‌سازی مسیر حرکت امواج الکترومغناطیسی رسیده به سنجنده استفاده می‌شود. برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به [مقاله](#) مربوطه مراجعه نمود.

بر خلاف سایر روش‌های فیزیکی که شدت از نوبزه‌های سنجنده تاثیر می‌پذیرند، الگوریتم QUAC بصورت مستقل از اعوجاجات سنجنده فرآیند تصحیح را انجام می‌دهد. امروزه کاربران سنجنش از دور می‌توانند جدیدترین نسخه‌های این الگوریتم را در نسخه‌های نرم افزار ENVI به منظور تصحیح تصاویر ماهواره‌ای چون لندست، استر و هایپریون استفاده نمایند.

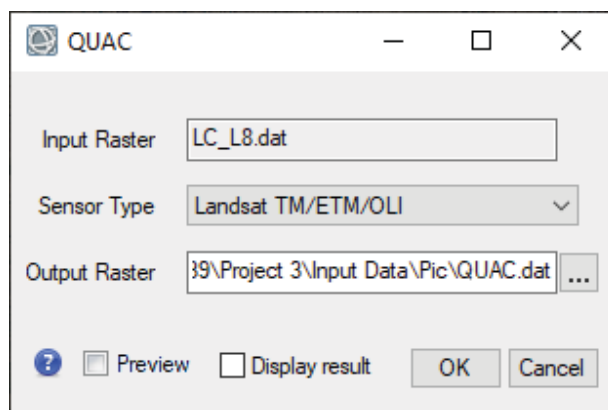
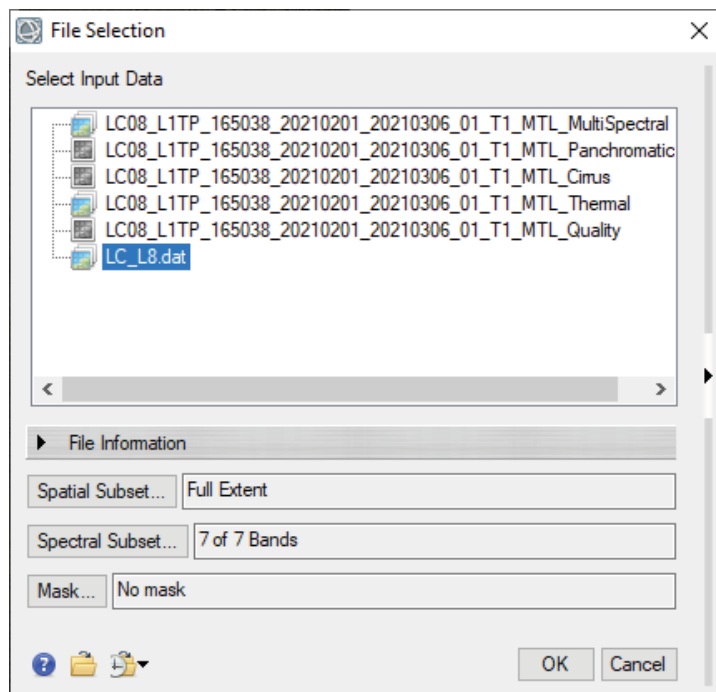
۲.۱.۳. انجام تصحیحات اتمسفریک با الگوریتم QUAC

در این الگوریتم که در نرم افزار ENVI تعبیه شده است، شما می‌توانید داده‌های ماهواره‌ای را به سه فرمت درجه روشنایی، رادیانس و بازتاب TOA وارد فرآیند محاسبه نمایید. با این حال برخی از بررسی‌های نشان داده که استفاده از داده‌های رادیانس در این فرآیند از دقت بسیار بالایی برخوردار است. برای این منظور با جستجوی ابزار QUAC پنجره زیر نمایش داده خواهد شد.



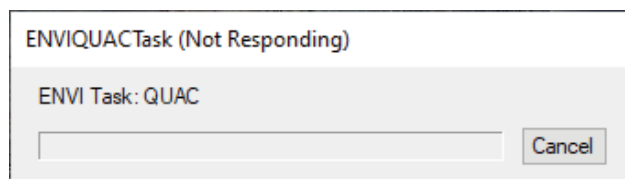
شکل ۲۹: جستجوی ابزار تصحیح اتمسفریک QUAC در مجموعه ابزار

با انتخاب خروجی مرحله قبل (تصحیح رادیومتریک بصورت رادیانس) و انتخاب سنجنده (معمولا با فراخوانی متادیتا بصورت خودکار شناسایی می‌شود) و نهایتا مسیر خروجی و فشردن کلید OK کار تصحیح به اتمام می‌رسد.

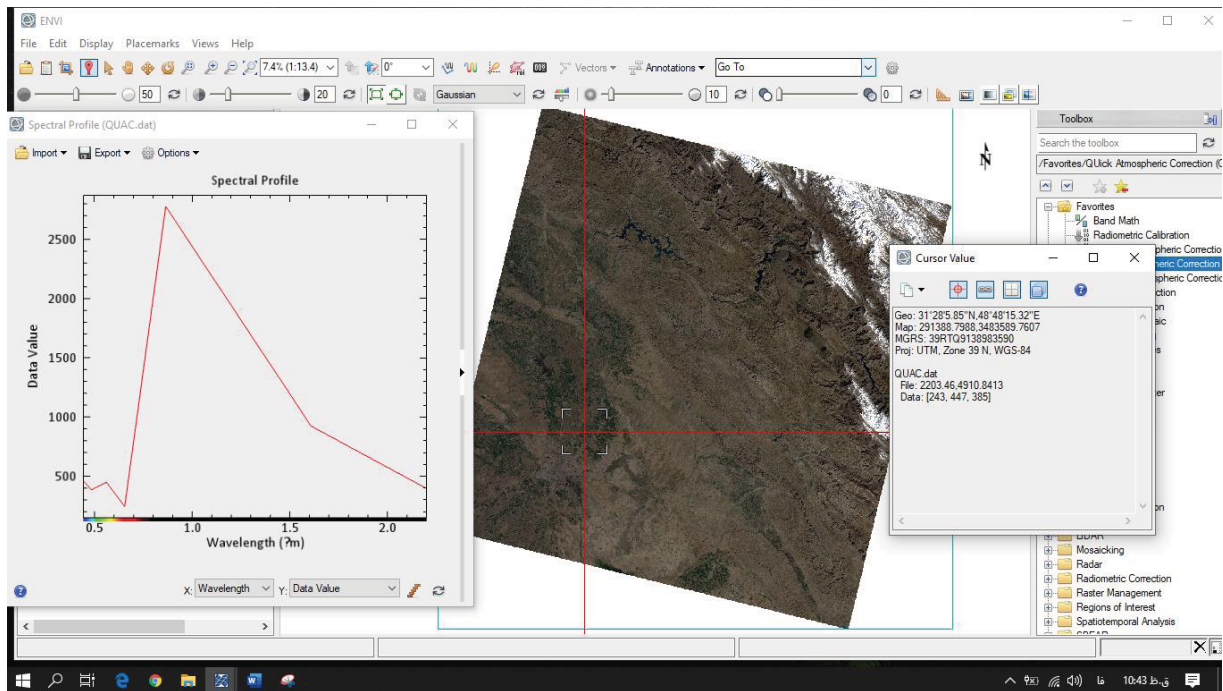


شکل ۳۰: انجام مراحل تصحیح اتمسفریک بر روش QUAC در محیط نرم‌افزار

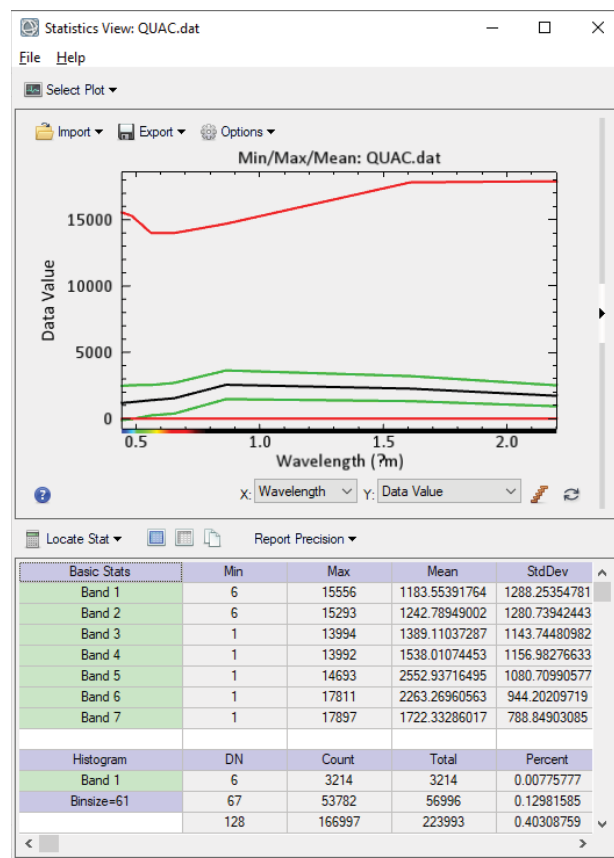
نکته: در صورتی که با فشردن دکمه OK با پیغام شکل ۳۱ بصورت Not Responding مواجه شدید، صبر کنید تا فرآیند بطور کامل انجام شود. این عملیات ممکن است کمی طول بکشد.



شکل ۳۱: ظهور پنجره‌ای بمنظور شروع انجام عملیات



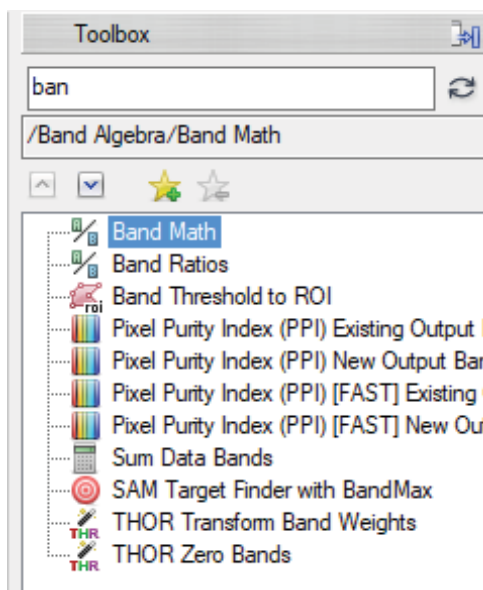
شکل ۳۲: نمایش تصویر خروجی بعد از تصحیح اتمسفری به‌مراه رفتار طیفی منطقه دارای پوشش گیاهی



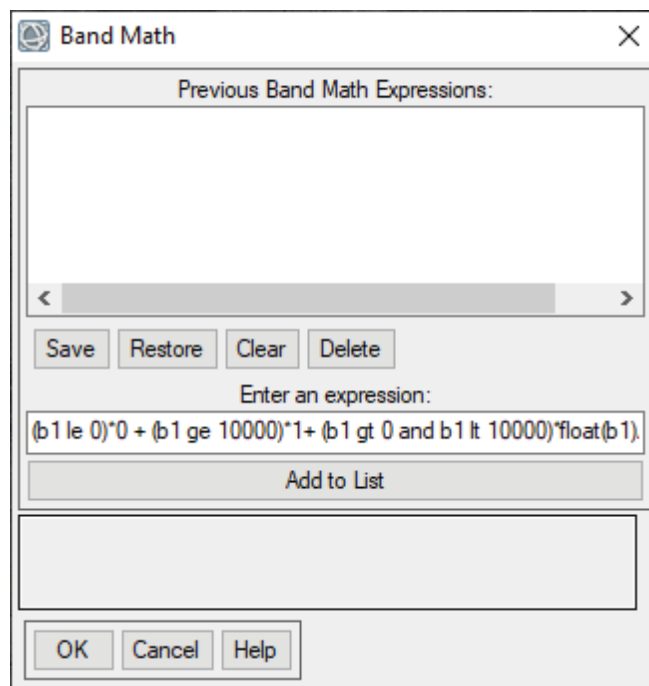
شکل ۳۳: هیستوگرام مقادیر طیفی باندهای مختلف تصویر یک

با توجه به شکل ۳۲ کاملاً مشخص است که تصویر Reflectance ایجاد شده دارای مقادیری صحیح و بزرگتر از یک هستند که باید در بازه عددی صفر تا یک باشند. بنابراین کاملاً مشخص است که بمنظور تبدیل مقادیر پیکسل‌ها به این بازه باید از ابزار Band Math کمک گرفت. برای این منظور با جستجوی در مجموعه ابزار، عبارت زیر را در آن تایپ می‌کنیم.

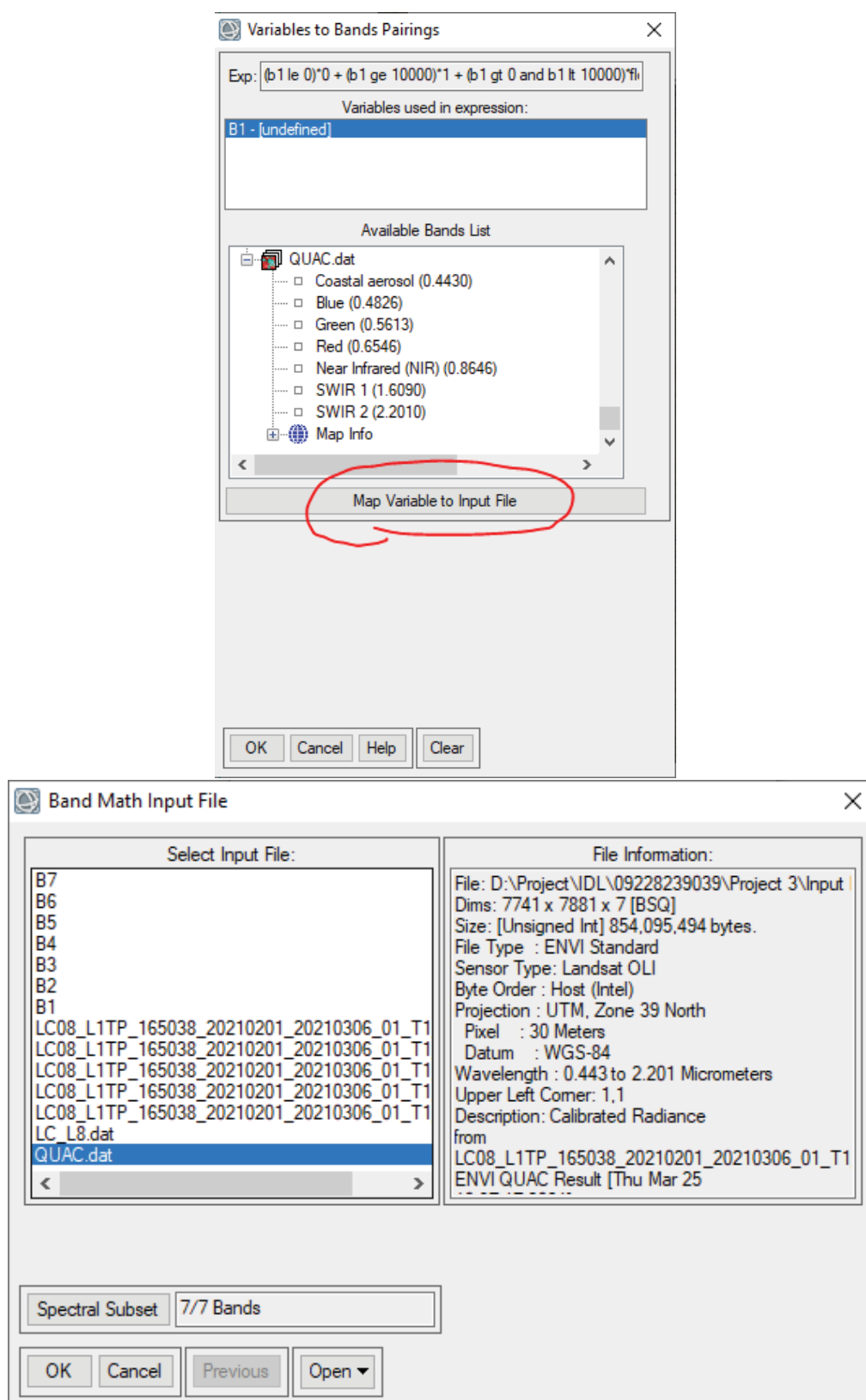
$$(b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000$$



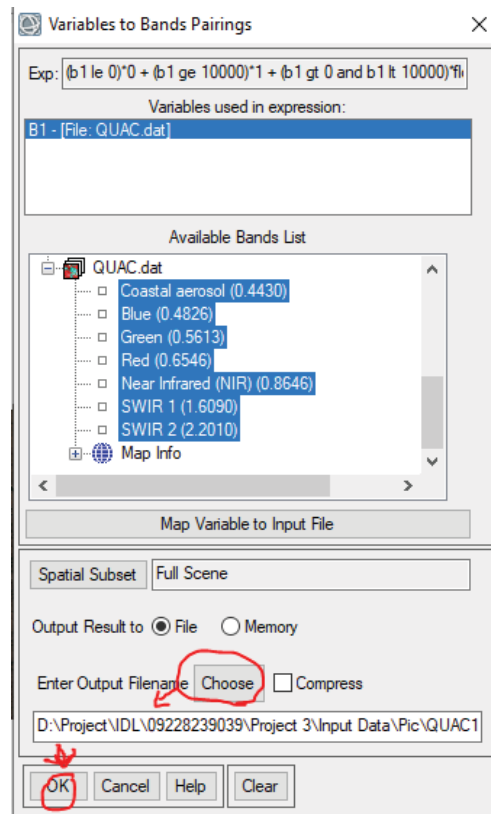
شکل ۳۴: جستجوی ابزار ماشین حساب رستری برای انجام محاسبات



شکل ۳۵: تصویر ابزار Band Math برای محاسبه و تغییر مقیاس باندها به بازه صفر تا یک

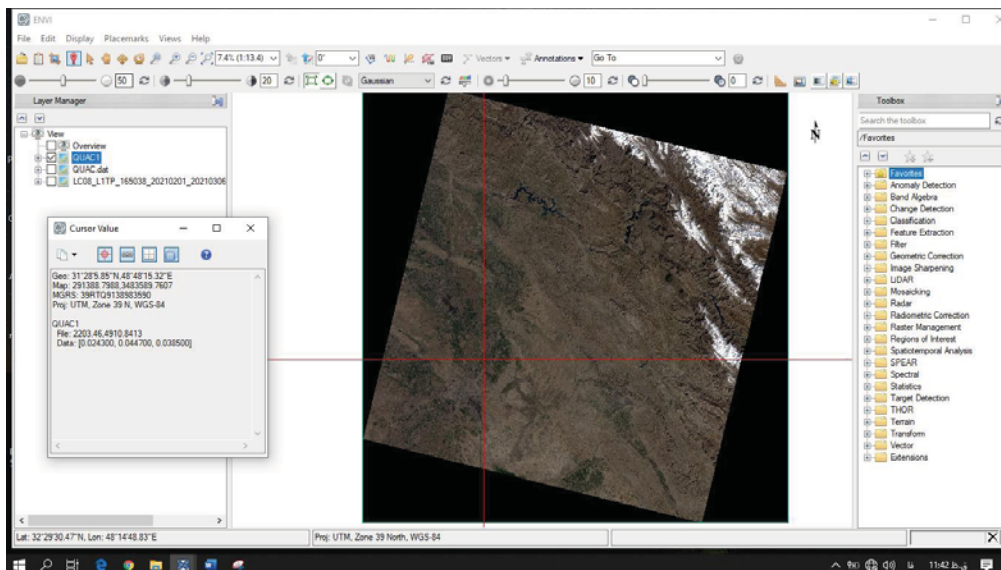


شکل ۳۶: انتخاب مجموعه تصویر مورد نظر برای شروع عملیات



شکل ۳۷: انتخاب مسیر محل ایجاد فایل خروجی به همراه اسم

بدین ترتیب تمام پیکسل‌هایی که دارای مقادیری بزرگتر از یک هستند به زیر یک کاهش یافته و احتمالاً مقادیر عددی کمتر از صفر (منفی) که بدلیل ایرادات دستگاهی بوجود آمده‌اند به صفر تبدیل می‌شوند (با توجه به شکل ۳۳ چنین پیکسلی در تصویر وجود ندارد و کمترین مقادیر باندها بزرگتر از یک است).

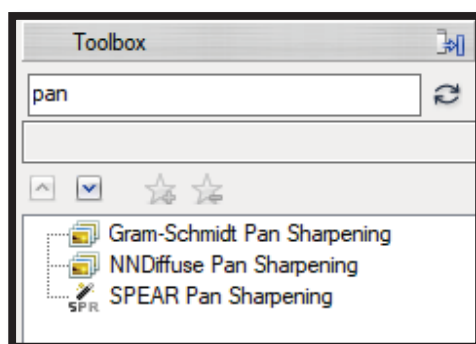


شکل ۳۸: نتیجه تغییر مقیاس مقادیر پیکسل‌های تصویر خروجی *Reflectance* از ابزار *Band Math*

۴. استفاده از عملیات Pan Sharpening، برای بهبود وضوح نمایشی و قدرت تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز با کمک داده‌های باند پانتروماتیک

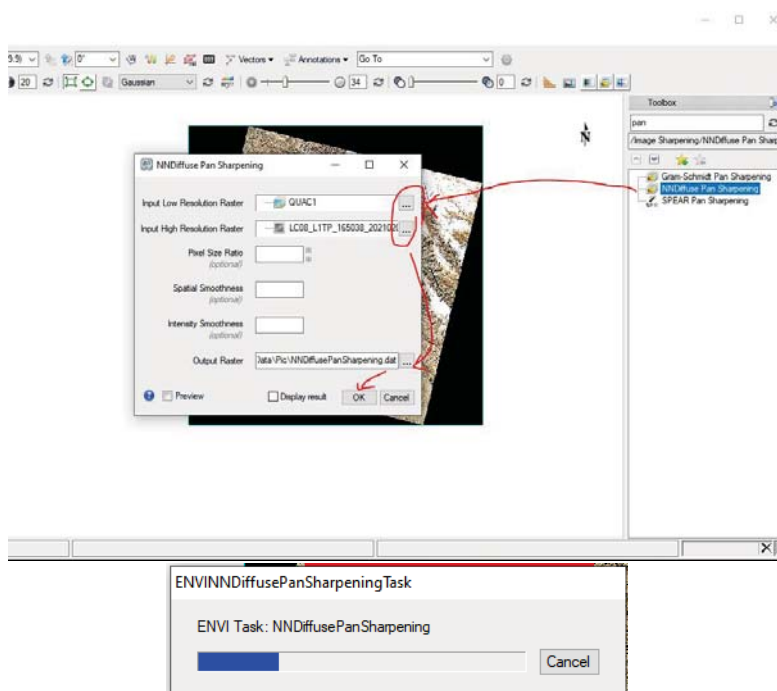
۱.۴ استفاده از ابزار NNDiffuse Pan Sharpening

برای این منظور با جستجوی عبارت "Pan" در مجموعه ابزار، می‌توان ابزار Pan Sharpening را انتخاب نمود. با این جستجوی سه ابزار برای ریزمقیاس کردن تصویر با کمک باند پانتروماتیک لندست ۸ (باند شماره ۸) وجود دارد. در این تمرین ما از ابزار NNDiffuse Pan Sharpening استفاده می‌کنیم.



شکل ۳۹: جستجوی عبارت Pan در مجموعه ابزار

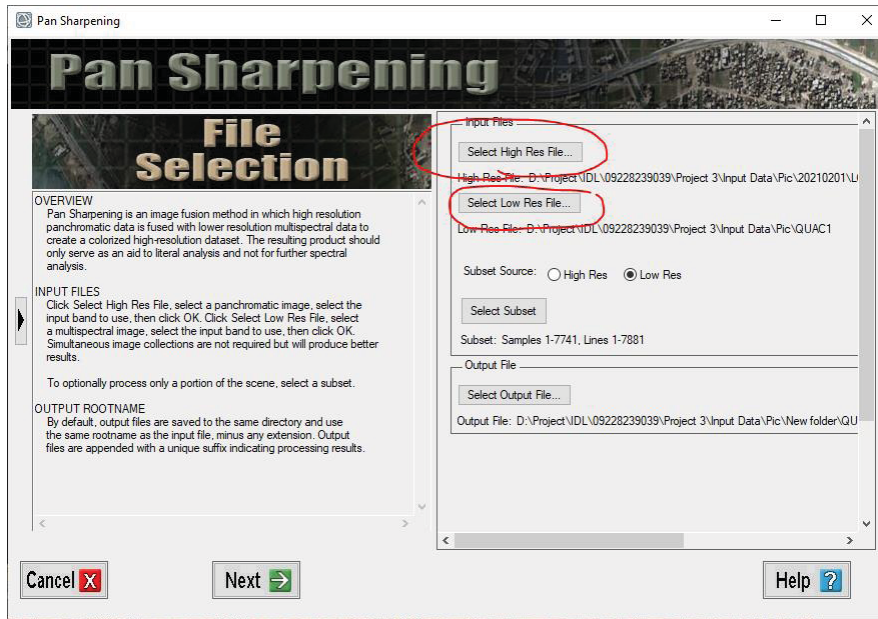
در پنجره ظاهر شده مطابق شکل زیر، فایل ورودی سایر باندهای مرحله قبلی، باند ۸ همان تصویر (بعنوان باند ۱۵ متری پانتروماتیک) و نهایتاً مسیر محل ذخیره‌سازی فایل خروجی را تعیین کرده و منتظر می‌ماند تا خروجی حاصل شود. این مرحله ممکن است وابسته به مشخصات سخت‌افزاری کامپیوتر مورد استفاده کمی طولانی باشد.



شکل ۴۰: استفاده از ابزار NNDiffuse Pan Sharpening در محیط ENVI

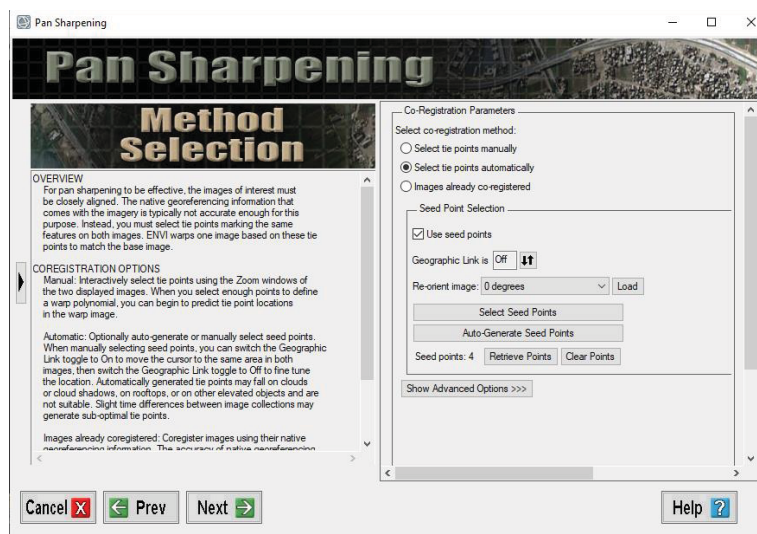
۲.۴. استفاده از ابزار (مدل) SPEAR Pan Sharpening

همچنین برای این کار می‌توان با باز کردن فایل خروجی از مرحله قبل و باند پانروماتیک، از روش Nearest Neighbor در نوار ابزار SPEAR Pan Sharpening در مجموعه ابزار شکل ۳۹، برای ریز مقیاس نمودن سایر باندها (ایجاد سایر باندها با رزولوشن ۱۵ متری) بصورت مراحل اشکال زیر استفاده نمود. با معرفی باند شماره ۸ بعنوان باند رزولوشن بالا و سایر باندها بعنوان رزولوشن پایین (در صورت لزوم استفاده از گزینه Spectral Subset برای انتخاب مجموعه‌ای خاص از باندها) عملیات شروع می‌شود.

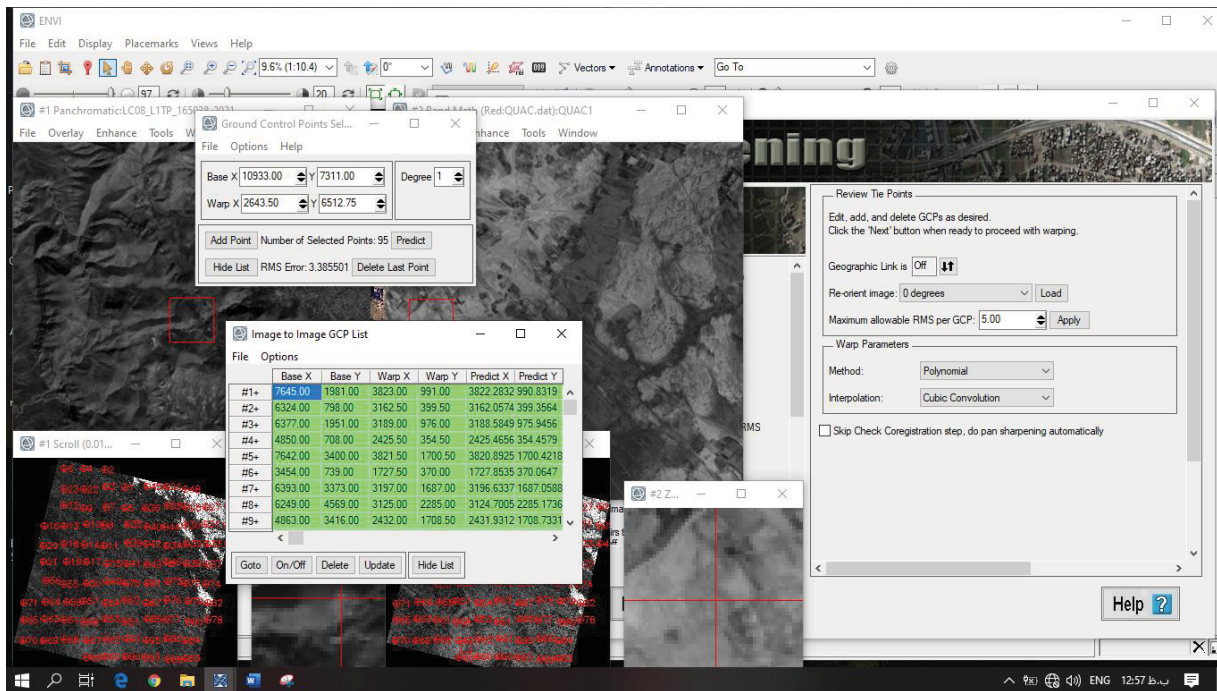


شکل ۴۱: ورود اطلاعات در دو بخش تصاویر مورد نظر برای ریزمقیاس‌سازی و باند ۸ پانروماتیک همان تصویر

محل ذخیره‌سازی فایل خروجی انتخاب شده و سپس دکمه Next زده می‌شود. گزینه Auto Generate برای پیدا نمودن اتوماتیک نقاط کنترل زمینی توسط نرم‌افزار انتخاب می‌شود.

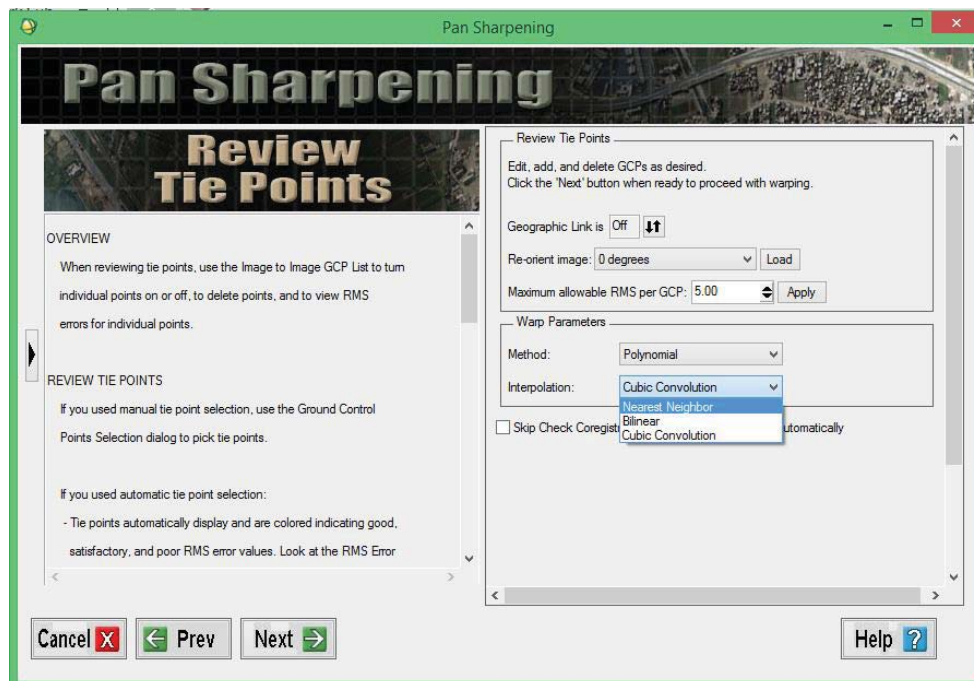


شکل ۴۲: انتخاب نقاط داده‌های قابل استفاده از Scene

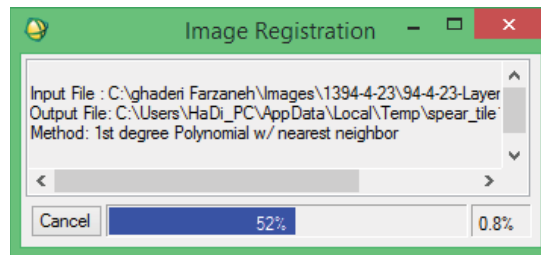


شکل ۴۳: برازش نقاط قابل مقایسه توسط ابزار SPEAR Pan Sharpening

روش چندجمله‌ای و Neares Neighbor برای درون‌یابی پیکسل‌های سایر باندهای انتخاب شده و سپس گزینه Next انتخاب می‌شود.

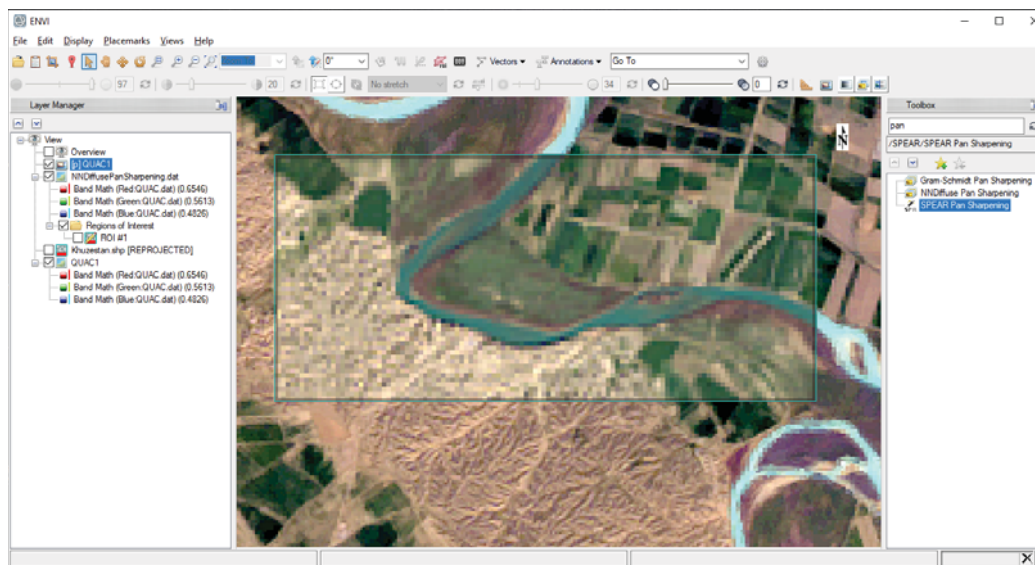


شکل ۴۴: انتخاب روش درون‌یابی مورد استفاده



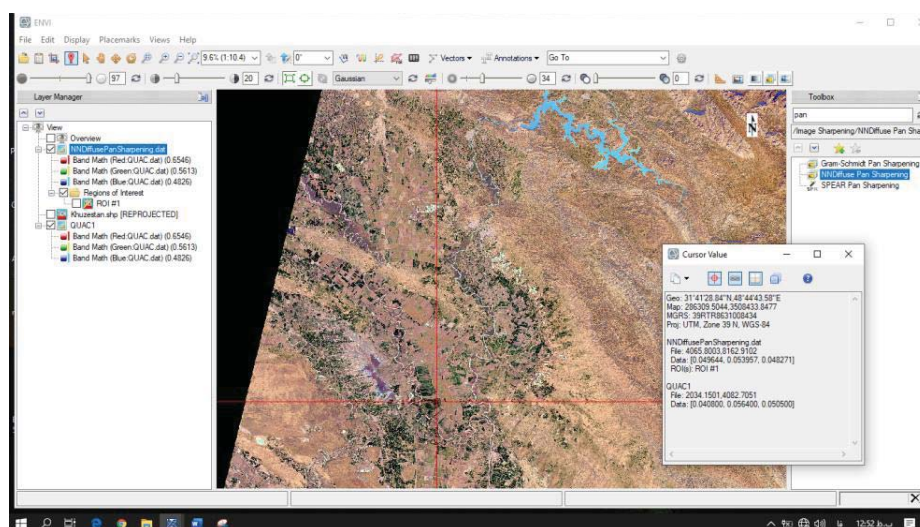
شکل ۴۵: تصویر آغاز عملیات ریزمقیاس سازی

نهایتاً گزینه Finish برای به اتمام رساندن عملیات ریزمقیاس سازی انتخاب می شود.



شکل ۴۶: نمایی از تصویر رنگی کاذب ریز مقیاس شده پس از انجام عملیات Sharpening

با انجام مقایسه بین دو تصویر کاملاً مشخص است که دید بصری کاملاً بهبود یافته است.



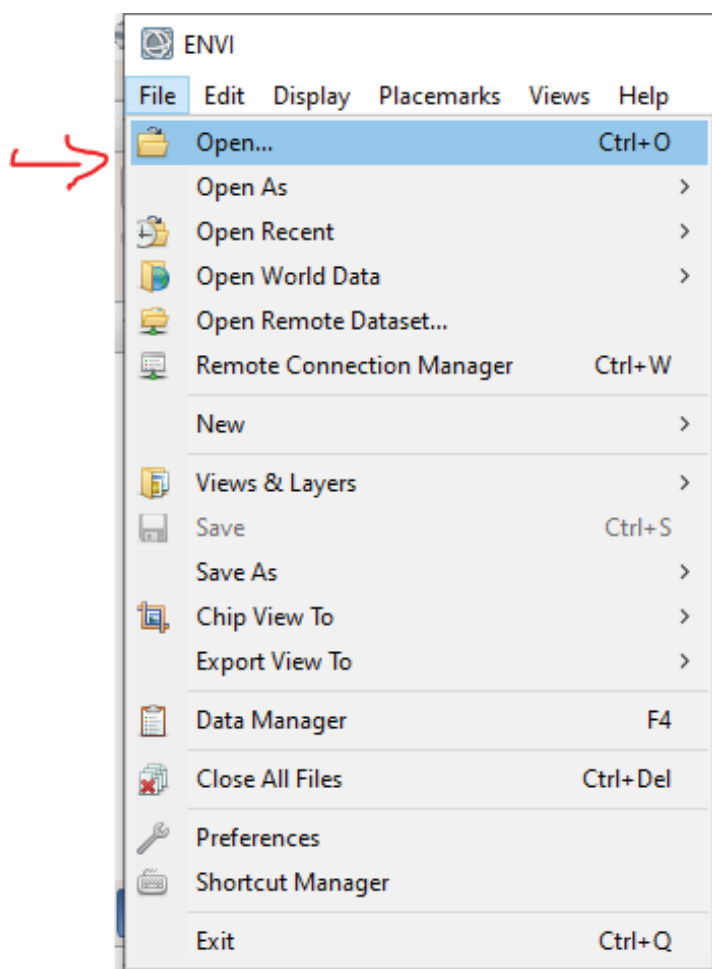
شکل ۴۷: نمایی از تصویر رنگی کاذب ریز مقیاس شده پس از انجام عملیات Sharpening در جنوب غربی کشور و زمین های کشاورزی و بایر اطراف آن

بمنظور برش تصاویر بر روی محدوده مورد مطالعه بصورت زیر عمل می‌کنیم. لازم به ذکر است که قبل از آن نیز برای برش گوشه‌های سیاه ایجاد شده در تصویر می‌توان از ابزار ROI Tools و انتخاب پیکسل‌های دارای مقادیر و نهایتاً برش استفاده کرد. در اینجا با کمک Shape File محدوده مورد مطالعه این عمل صورت می‌گیرد.

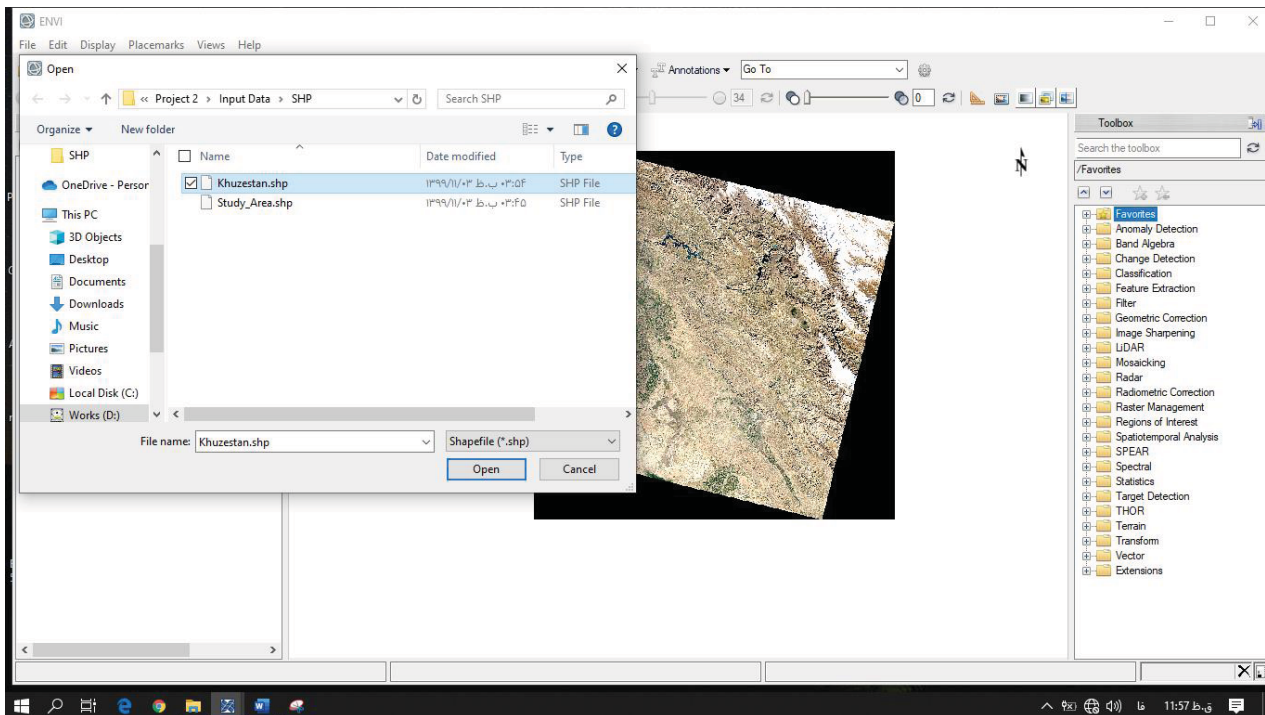
۵. برش محدوده

برای این کار ابتدا می‌توان از فایل وکتوری محدوده مطالعاتی مورد نظر با ابزار Vector/Open Vector File فراخوانی می‌شود. برای این هدف با استفاده Open کردن فایل مرز محدوده بصورت مراحل ذیل باید پیش رفت.

نکته: سیستم مختصات شیپ فایل معرفی شده بهتر است که با سیستم مختصات تصویر یکی باشد.

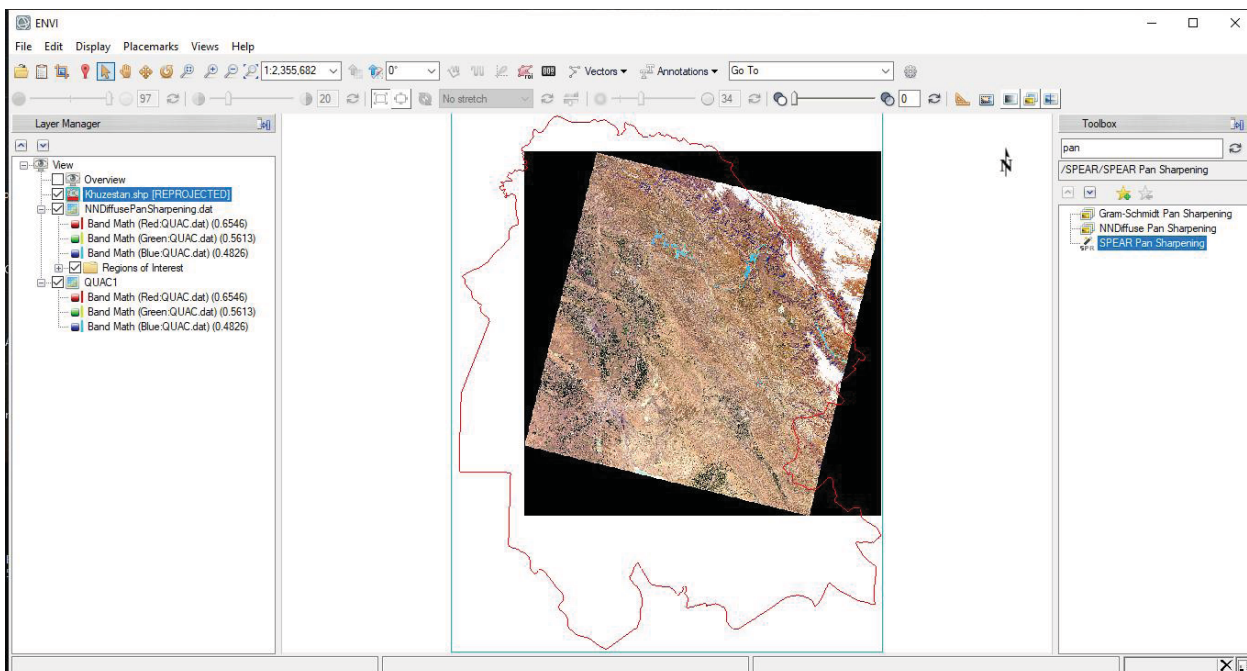


شکل ۴۸: استفاده از Open برای باز کردن فایل‌های وکتوری (ShapeFiles)



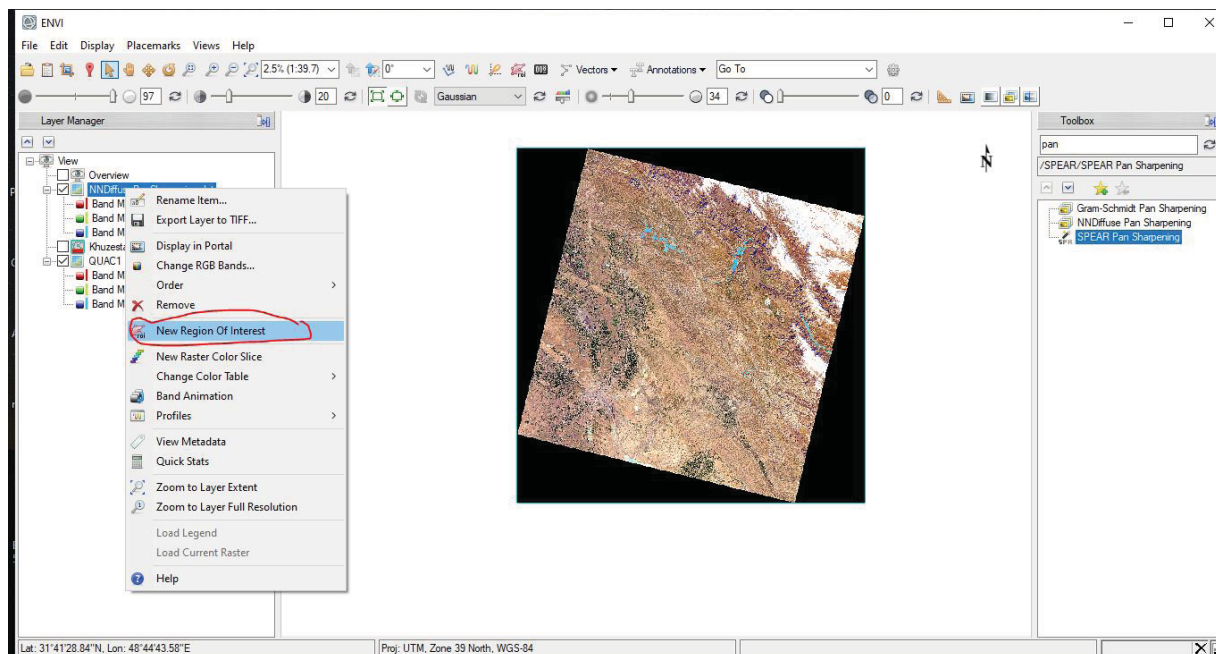
شکل ۴۹: فیلترها فایل‌های قابل مشاهده با پسوند *.SHP*.*

همانگونه که مشخص است محدوده مرزی استان خوزستان بزرگتر از Scene تصویر بوده و نیاز دارد که با ابزار ROI برش قسمت کوچکتري از تصویر شامل رودخانه مارپیچی (مئاندري) برش ایجاد گردد.



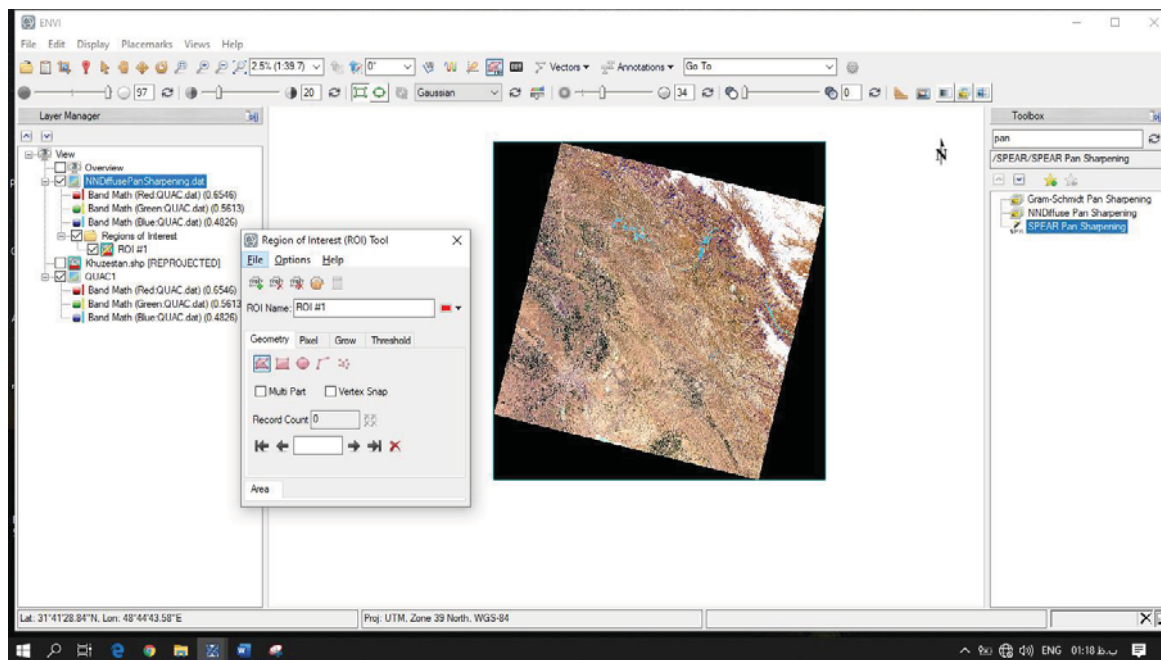
شکل ۵۰: فیلترها فایل‌های قابل مشاهده با پسوند *.SHP*.*

با کلیک راست بر روی لایه تصویر شماره یک، از ابزار New Region Of Interest برای جداسازی بخشی از تصویر بصورت زیر کمک میگیریم.

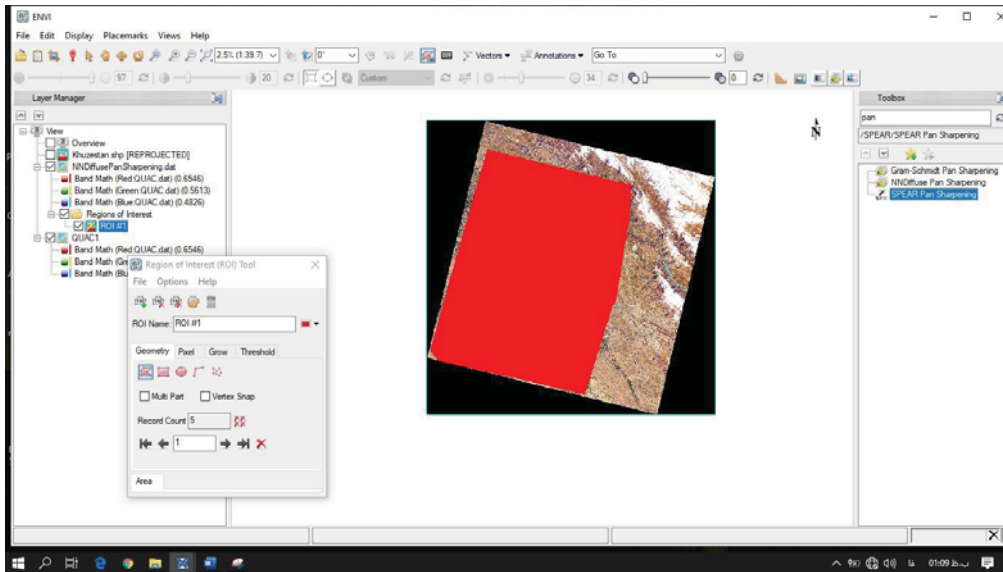


شکل ۵۱: استفاده از ابزار ROI بر روی لایه تصویر

در پنجره ظاهر شده با کلیک بر روی ناحیه دلخواه شامل رودخانه مئاندری می توان بخشی از تصویر را برای برش انتخاب نمود. رنگ محدوده برای نمایش بهتر قابل تعویض می باشد.

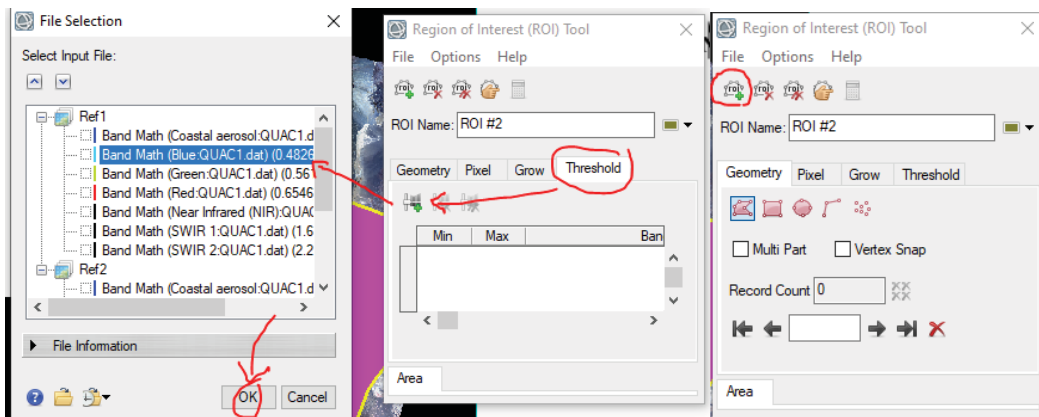


شکل ۵۲: پنجره ROI در محیط ENVI و ایجاد یک پلیگون مشتمل بر بخشی از رودخانه مئاندری کارون

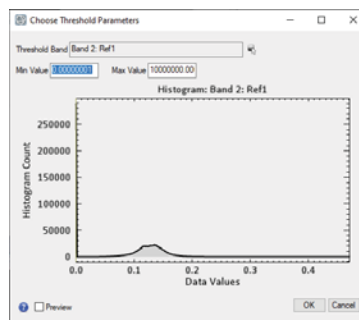


شکل ۵۳: مشخص کردن قسمتی از تصویر با رسم پلیگون

همچنین می‌توان بمنظور خارج ساختن قسمت‌های سیاه از گوشه تصویر که هنگام استفاده از Band Math ایجاد شده بود بهتر است که ارقام خیلی کم همچون ۰.۰۰۰۰۰۰۰۱ تا ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ را انتخاب کرد تا Not a Value از تصویر نیز حذف شود. برای ایجاد یک ROI جدید با فشردن دکمه موردنظر در پنجره ROI بصورت زیر عمل می‌کنیم:



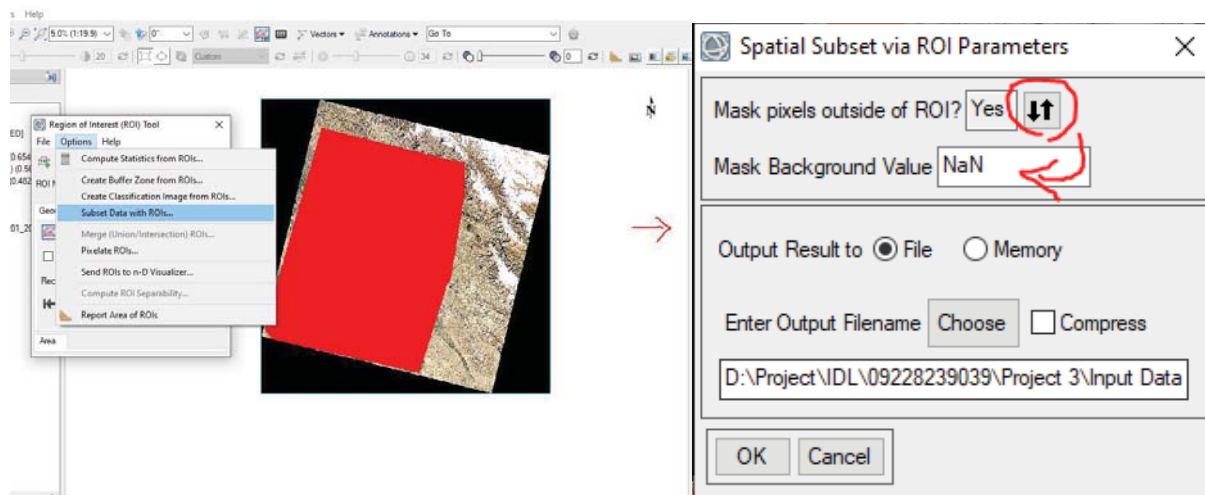
شکل ۵۴: ایجاد یک ناحیه ROI جدید از طریق پرسش از باند آبی تصویر



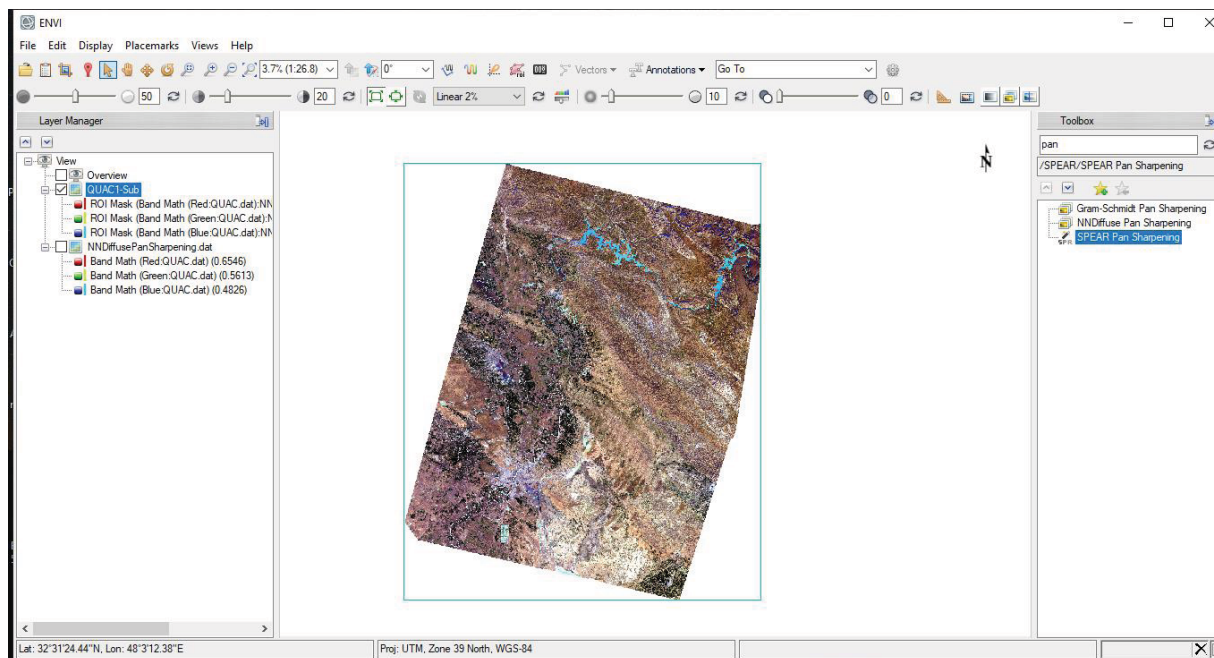
شکل ۵۵: انتخاب محدوده ارقامی از باند Blue برای ایجاد ناحیه جدید

که در نهایت با انتخاب گزینه Merge(...) از منوی Option پنجره ROI می توان اشتراک دو ناحیه قبلی را بصورت یک ناحیه سوم منتخب ایجاد کرد. البته بدلیل انتخاب محدوده کوچکتری از Scene نیازی به برش محدوده سیاه تصویر نیست.

با انتخاب گزینه Subset Data with ROIs... از نوار منوی Options در پنجره ROI و انتخاب گزینه NaN برای قسمت-هایی از تصویر که خارج از برش باقی می ماند و نهایتاً یک نام برای فایل خروجی و مسیر ذخیره سازی، عملیات برش تصویر تمام می شود.



شکل ۵۶: برش تصویر با انتخاب گزینه مربوطه در منوی Option

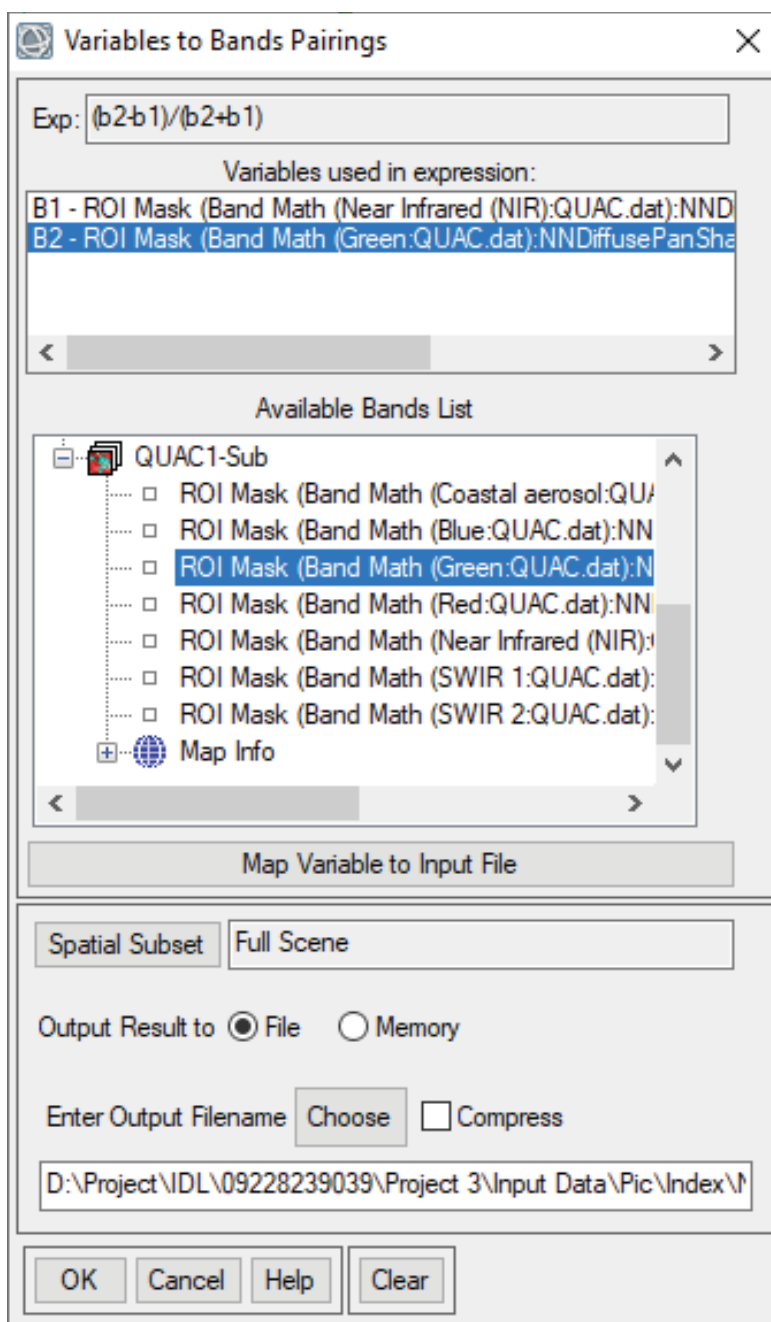


شکل ۵۷: نمایی از تصویر برش خورده اول بر روی مرز محدوده مورد مطالعه

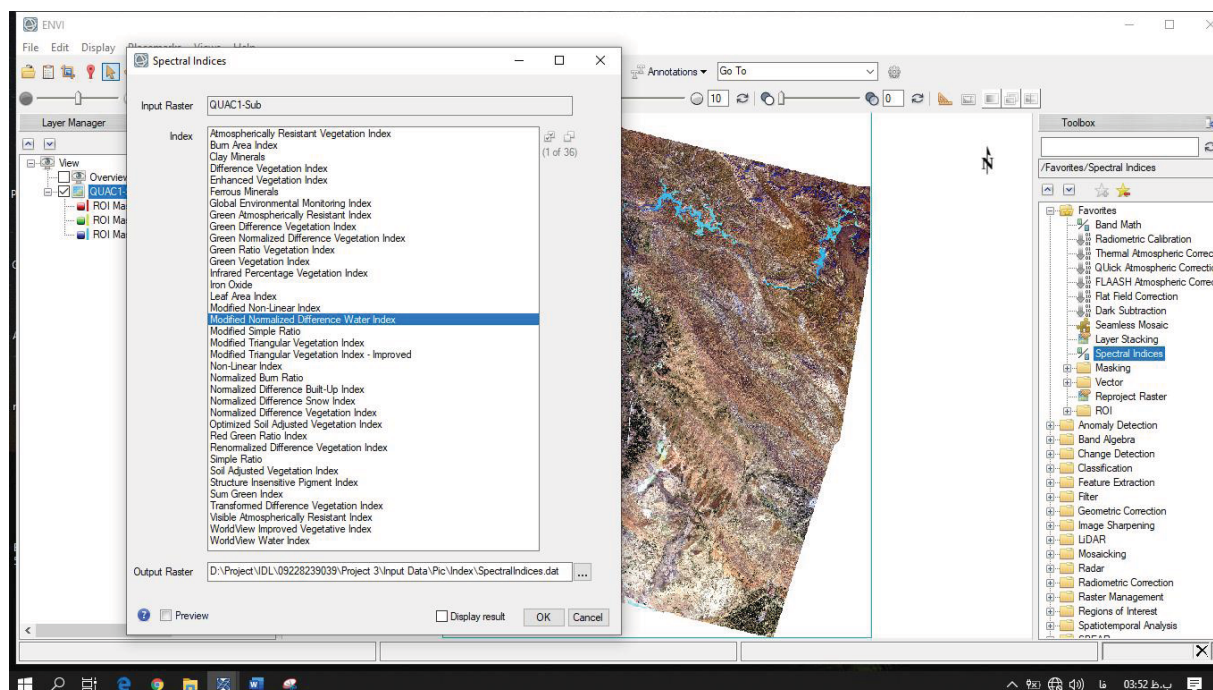
۵.۱. محاسبه شاخص نرمال شده پوشش آب در محیط ENVI

برای این منظور از گزینه band math برای محاسبه شاخص NDWI استفاده می‌شود. همچنین شما نیز می‌توانید با جستجوی ابزار Spectral Indices از مجموعه ابزار و انتخاب آن گزینه‌های زیادی از شاخص‌ها را با معرفی تصویر محاسبه نمایید.

در فرمول نوشته شده شکل ۵۸، از باند NIR (باند شماره ۵) بعنوان b_1 و از باند Green (باند شماره ۳) بعنوان b_2 استفاده می‌شود و سپس محل ذخیره‌سازی فایل خروجی از این محاسبه تعیین می‌شود.



شکل ۵۸: استفاده از ابزار Band math برای محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی (NDWI)



شکل ۵۹: محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی NDWI

۶. محاسبه شاخص NDWI و مقایسه پهنه‌های آبی منطقه با پهنه‌های آبی ناشی از تصاویر ترکیب رنگی کاذب (Geo et al. 2016)

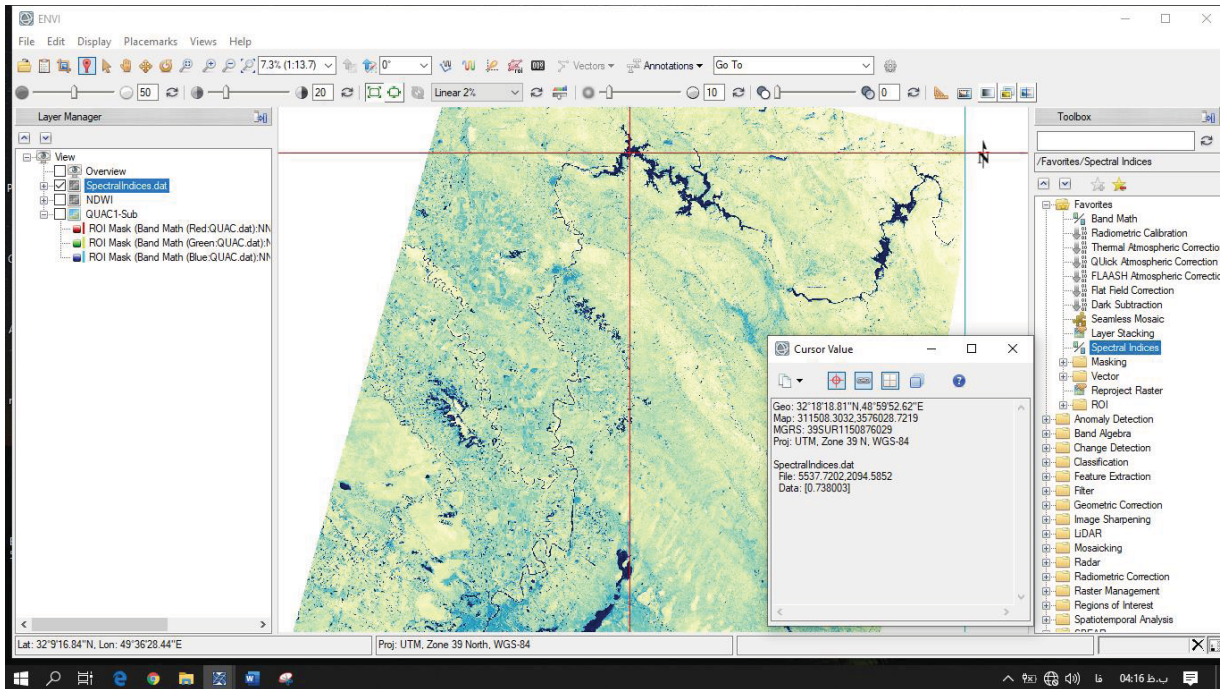
شاخص NDWI¹ یکی از شاخص‌هایی است که جهت بررسی پهنه‌های آبی سطح زمین با استفاده از نسبت‌گیری طیفی محاسبه می‌شود. دلیل قدرت جذب بالای آب در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک و انعکاس بالای آن در ناحیه مادون قرمز میانی طیفی الکترومغناطیس، شاخص اختلاف نرمال شده آب برای جداسازی پیکسل‌های آب از دیگر پیکسل‌های سطوح زمین بکار گرفته می‌شود. شاخص آبی تفاضلی نرمال شده NDWI، برای اولین بار در سال ۱۹۹۶ توسط گائو معرفی شد که انعکاس دهنده مقدار رطوبت در گیاه و خاک بوده و تا حدودی مشابه NDVI تعریف و تعیین می‌شود. فرمولی که توسط گائو ارائه شد از باندهای NIR و SWIR استفاده می‌کند که بعدها این فرمول توسط سو (Xu) تغییر یافت و در آن بجای باند NIR از باند Green استفاده می‌کند.

$$NDWI_{Xu} = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

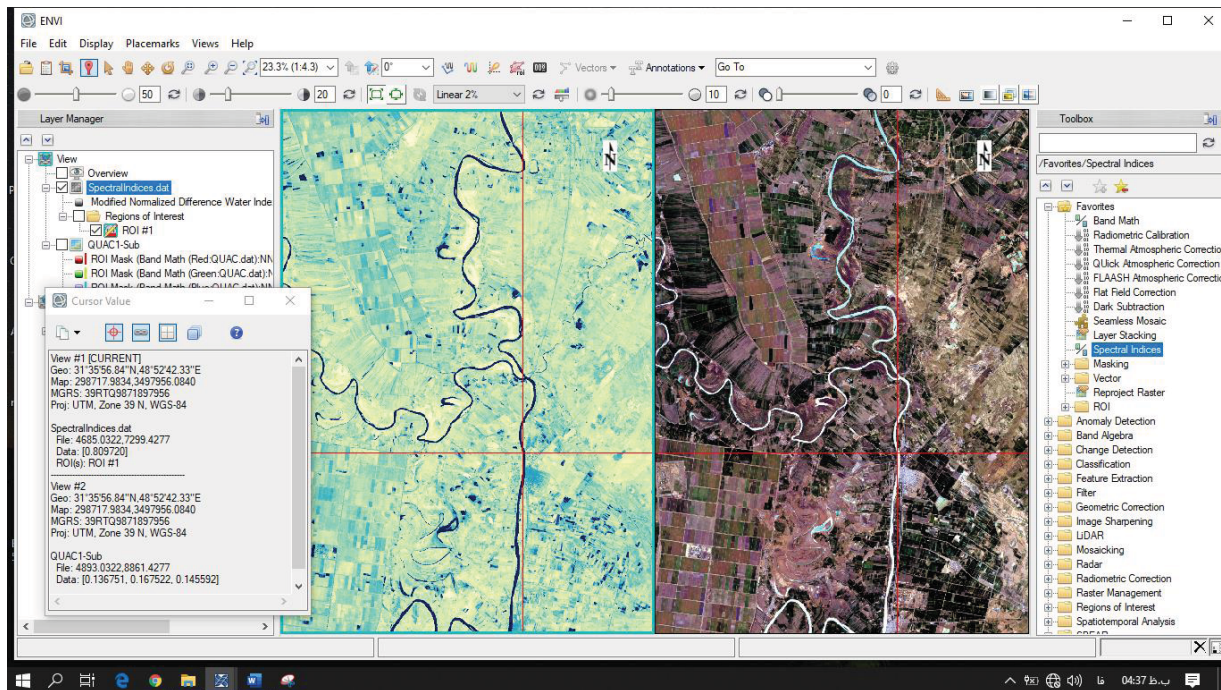
$$NDWI_{Geo} = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

این شاخص همانند اکثر شاخص‌ها، در بازه -۱ تا +۱ نوسان می‌کند که در آن اعداد بزرگ نشان‌دهنده وجود رطوبت و پیکره آبی و اعداد منفی و کوچک نشان‌دهنده مناطق خشک و اعداد نزدیک به صفر دارای تنش آبی و رطوبت کم است. در این تمرین از فرمول آقای Xu استفاده می‌شود. البته یک فرمول عمومی دیگر نیز وجود دارد که در آن بجای استفاده از SWIR از NIR استفاده می‌شود.

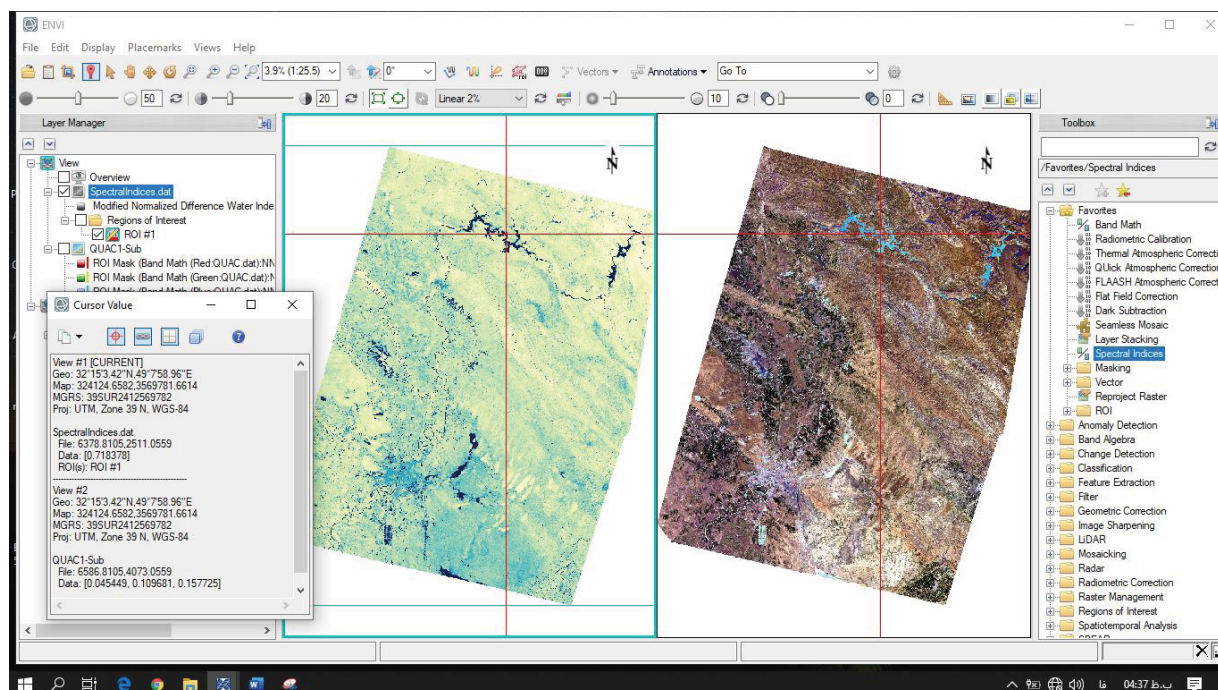
¹ Normalized difference water index



شکل ۶: نمایش بصری تصویر NDWI در محیط ENVI به صورت یک طیف رنگی

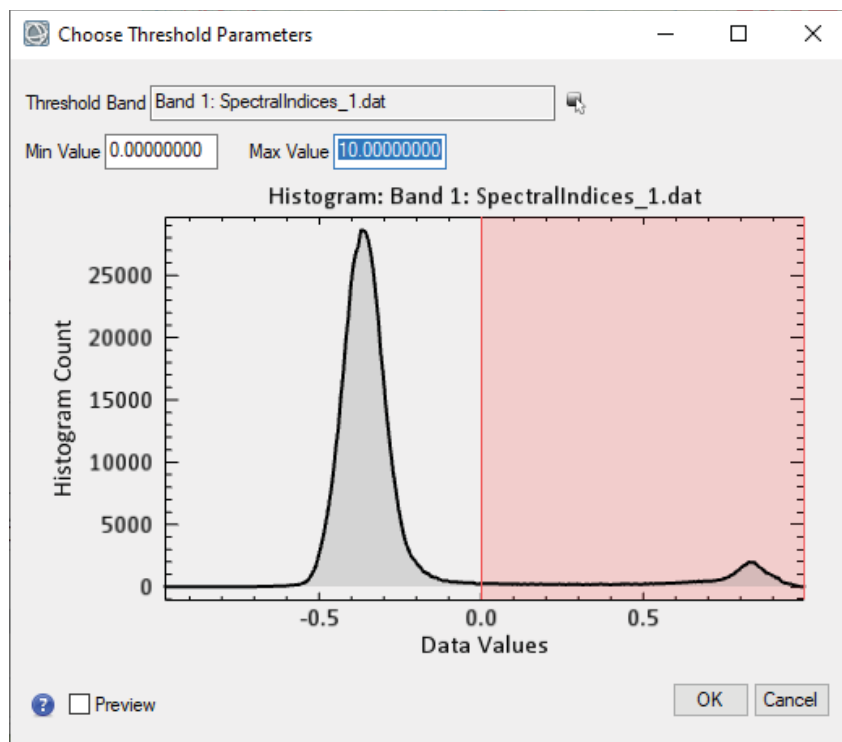


شکل ۷: مشخص کردن پیکسل‌های آبی با کمک شاخص NDWI و مقایسه بصری با تصویر رنگی کاذب

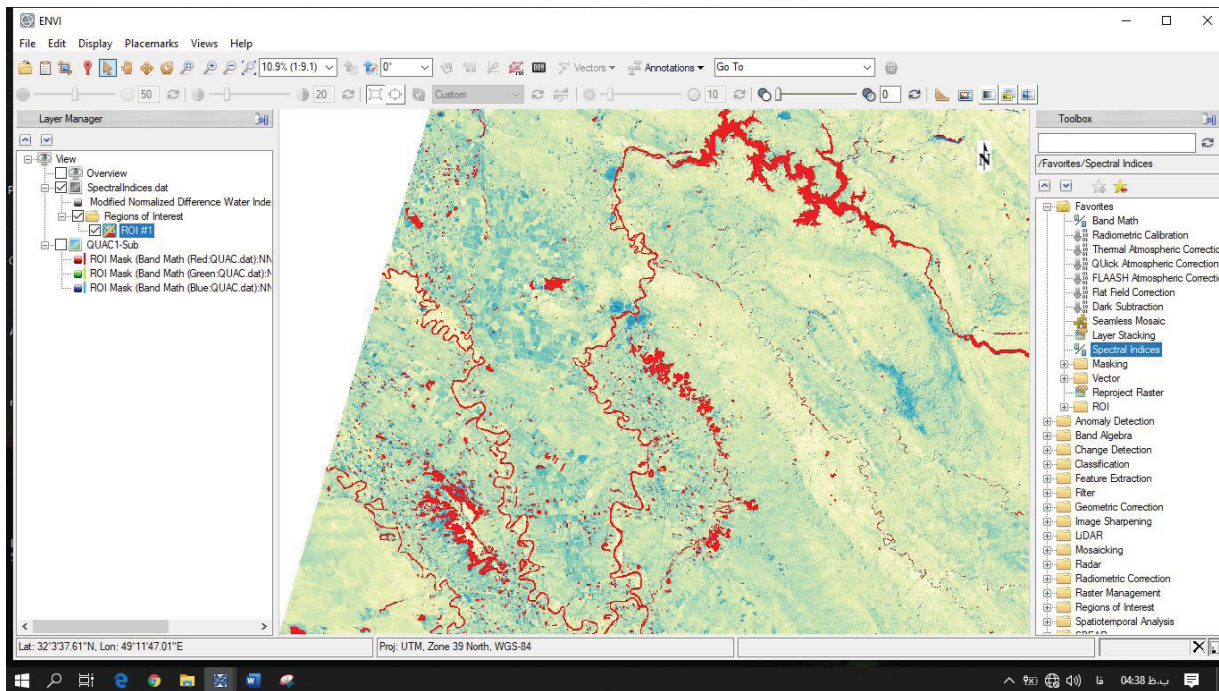


شکل ۶۲: مشخص کردن پیکسل‌های آبی با کمک شاخص NDWI و مقایسه بصری با تصویر رنگی کاذب

با کمک ابزار ROI می‌توان در خصوص مقادیر پیکسلی بزرگتر از صفر تصویر را بررسی و این مقادیر را بعنوان پهنه آبی معرفی نمود. بعنوان مثال برای تصویر مورد نظر بصورت زیر خواهد شد.



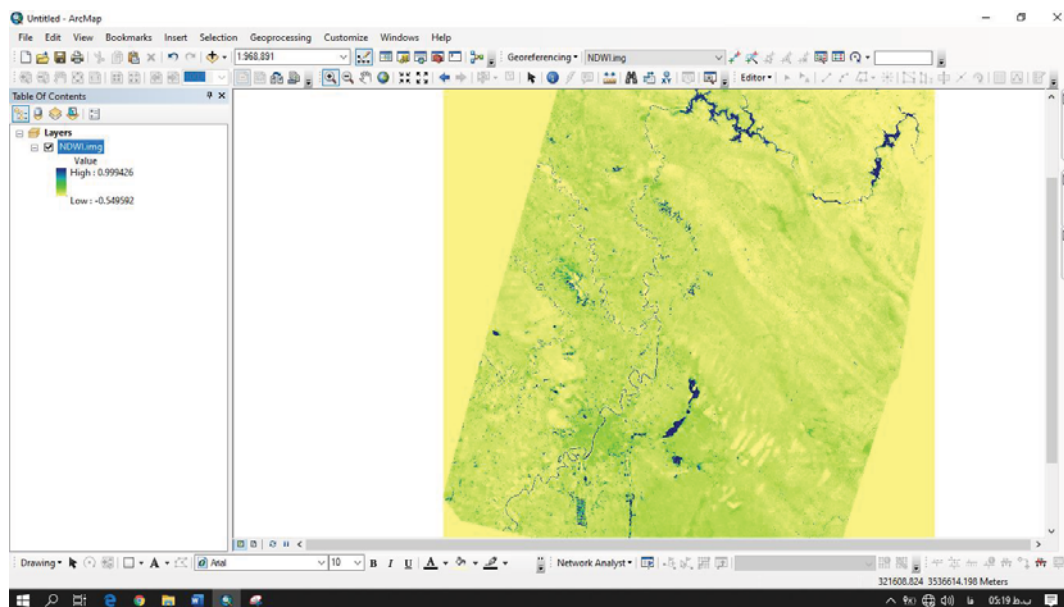
شکل ۶۳: انتخاب مقادیر پیکسلی بیشتر از صفر تصویر NDWI_2020 برای مشخص کردن پیکره آبی با کمک ابزار ROI



شکل ۶۴: انتخاب مقادیر بزرگتر از یک از شاخص NDWI مبین پهنه‌های آبی

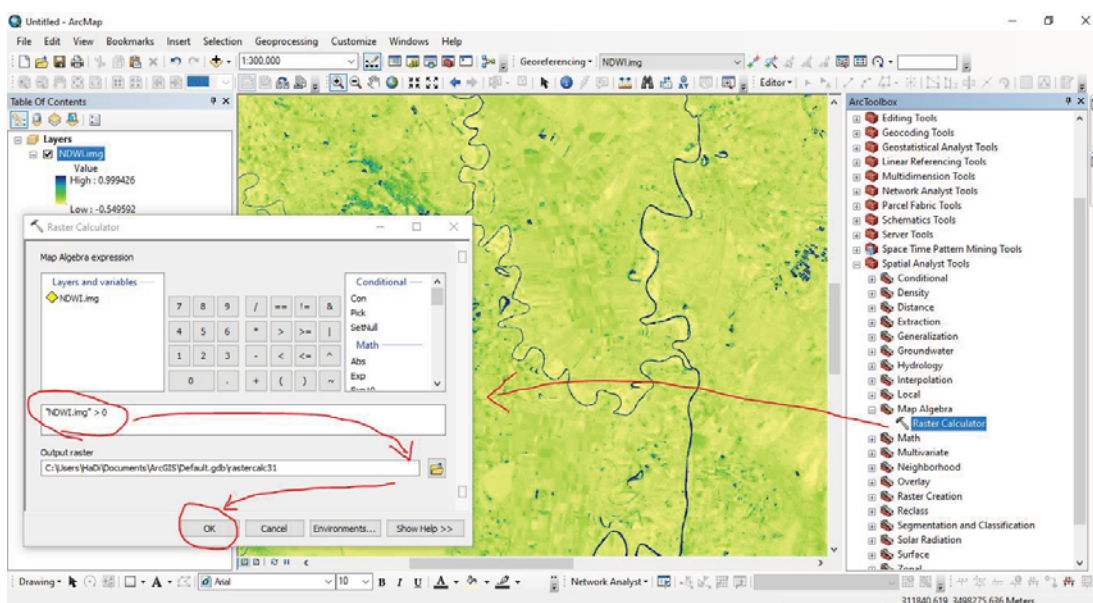
۷. تهیه نقشه وکتوری و انتخاب بخشی از رودخانه پیچانرودی کارون

بمنظور برآورد پارامترهای مثنادری رودخانه با بهره‌گیری از منوی File/Save as NDWI بصورت Erdas Imaging.img از محیط ENVI و اضافه کردن آن به محیط Arc Map (GIS) با کمک ابزار Add Data زیر قابل نمایش خواهد بود.

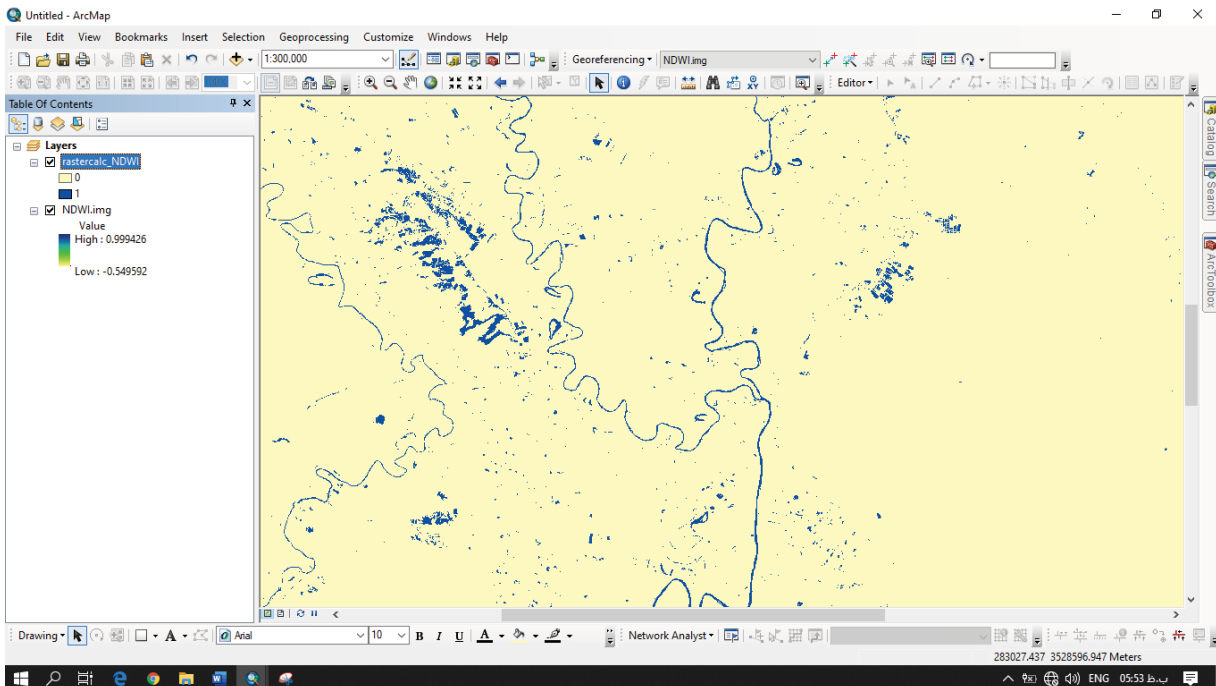


شکل ۶۵: تصویری از شاخص NDWI در محیط منتخب کارون در نرم‌افزار GIS

پس از آن با بهره‌گیری از ابزار Raster Calculator از نوار ابزار Toolbox می‌توان پهنه‌های آبی را با کمک فرمول $NDWI > 0$ مشخص نمود و همچنین خروجی آن را به فایل وکتوری تبدیل نمود.

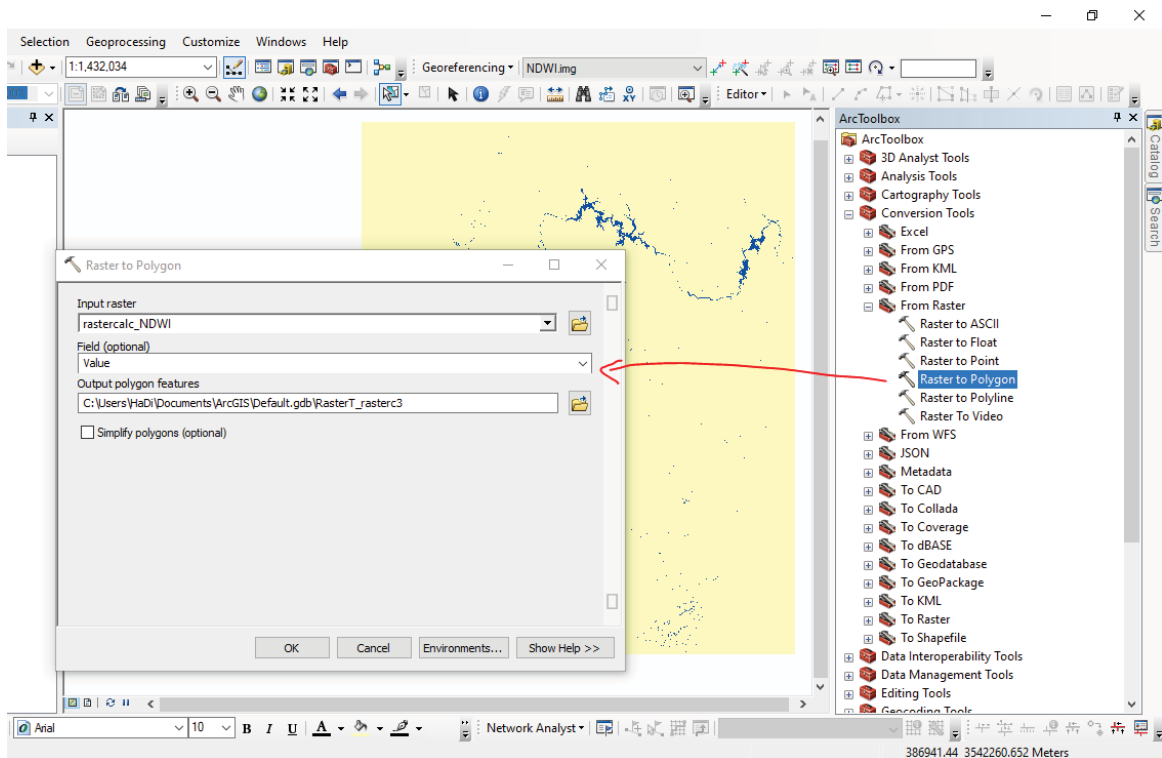


شکل ۶۶: استفاده از ابزار Raster_calculator بمنظور مشخص‌سازی پهنه‌های آبی

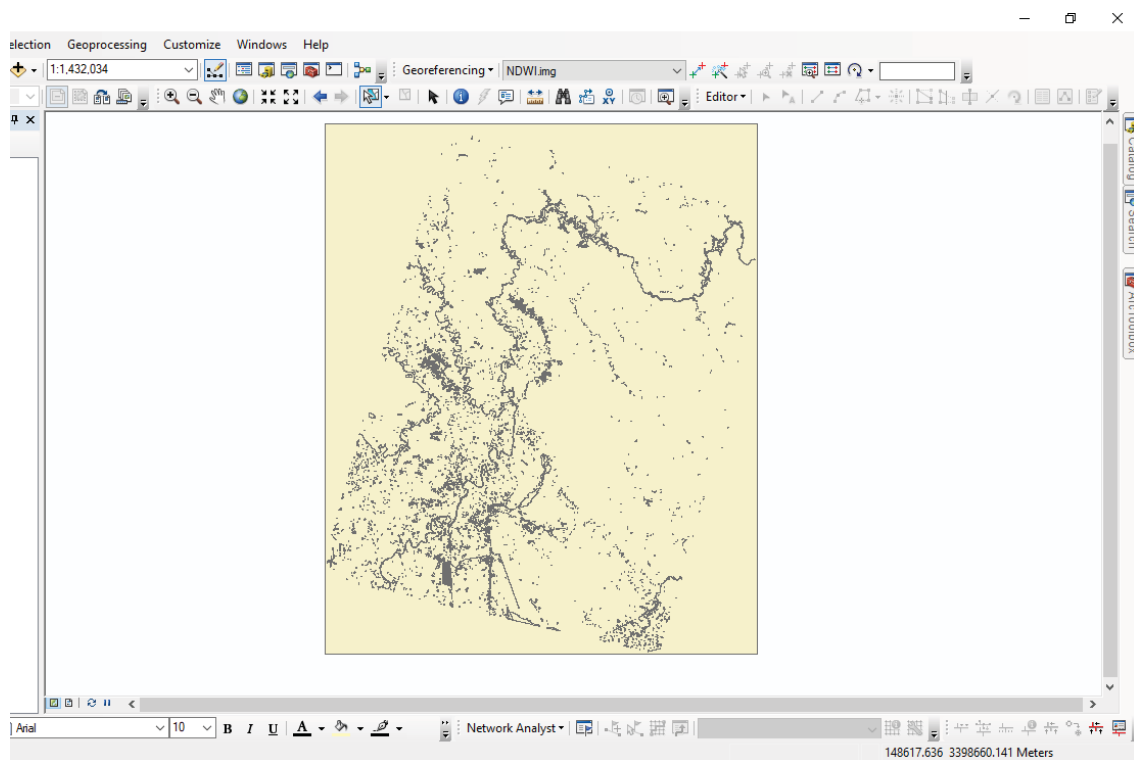


شکل ۶۷: خروجی حاصل از ابزار Raster Calculator در محیط Arc Map بمنظور مشخص نمودن پهنه‌های آبی و رودخانه

در نهایت با استفاده از ابزار Arc ToolBox/ Conversion Tools/ From Raster/ Raster to Polygon می‌توان نقشه وکتوری از نوع پلیگون از سطح پهنه‌های آبی با $DN\ Value = 1$ ایجاد نمود.

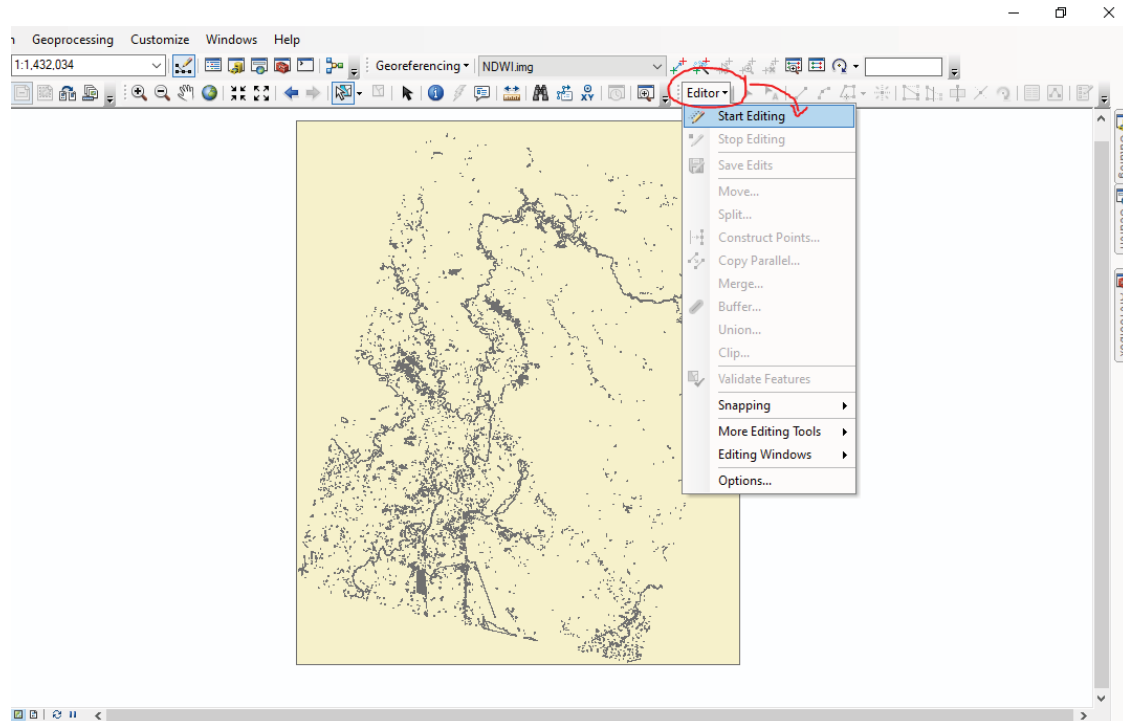


شکل ۶۸: استفاده از ابزار تبدیل فایل رستری با مقادیر مشخص به فایل پلیگون وکتوری



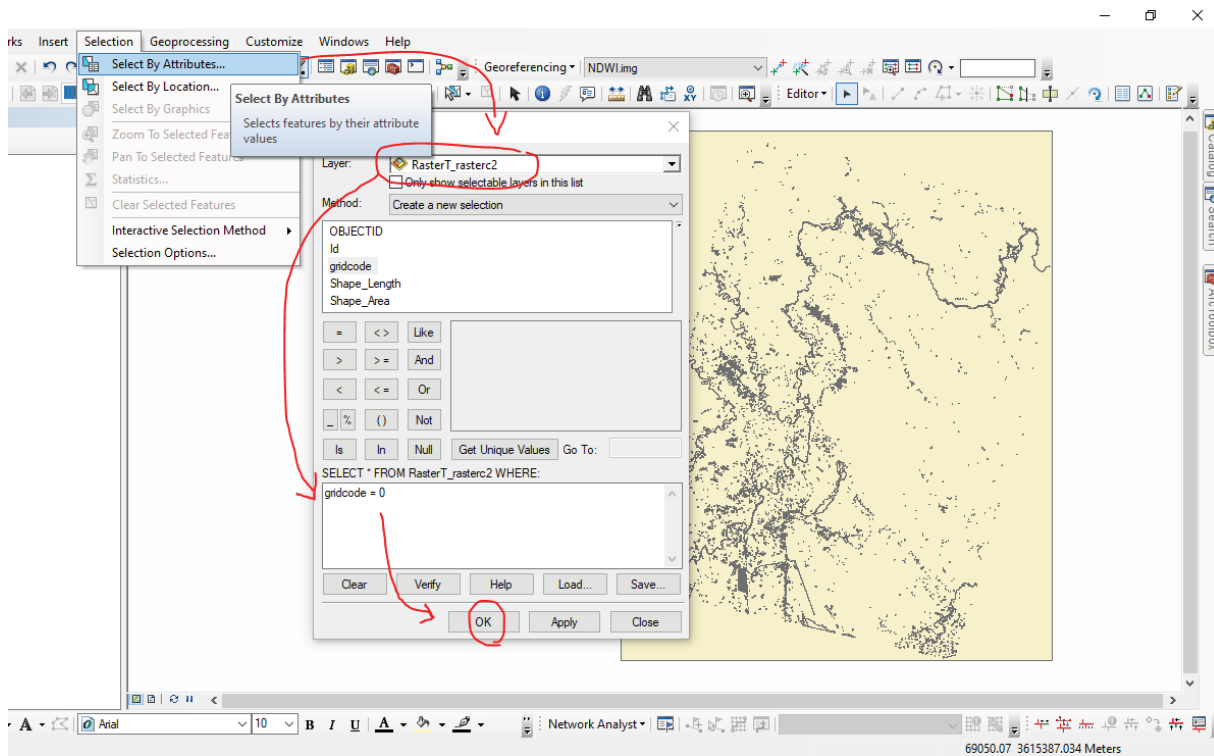
شکل ۶۹: خروجی حاصل از تبدیل به فایل وکتوری

در خاتمه کار می‌توان با استفاده از نوار منوی Editor لایه وکتوری ایجاد شده را با حذف مقادیر $DN\ Value = 0$ تصحیح نمود تا تنها فایل وکتوری مربوط به پهنه‌های آبی باقی بماند.



شکل ۷۰: فعال‌سازی ابزار Editor مربوط به لایه وکتوری ایجاد شده

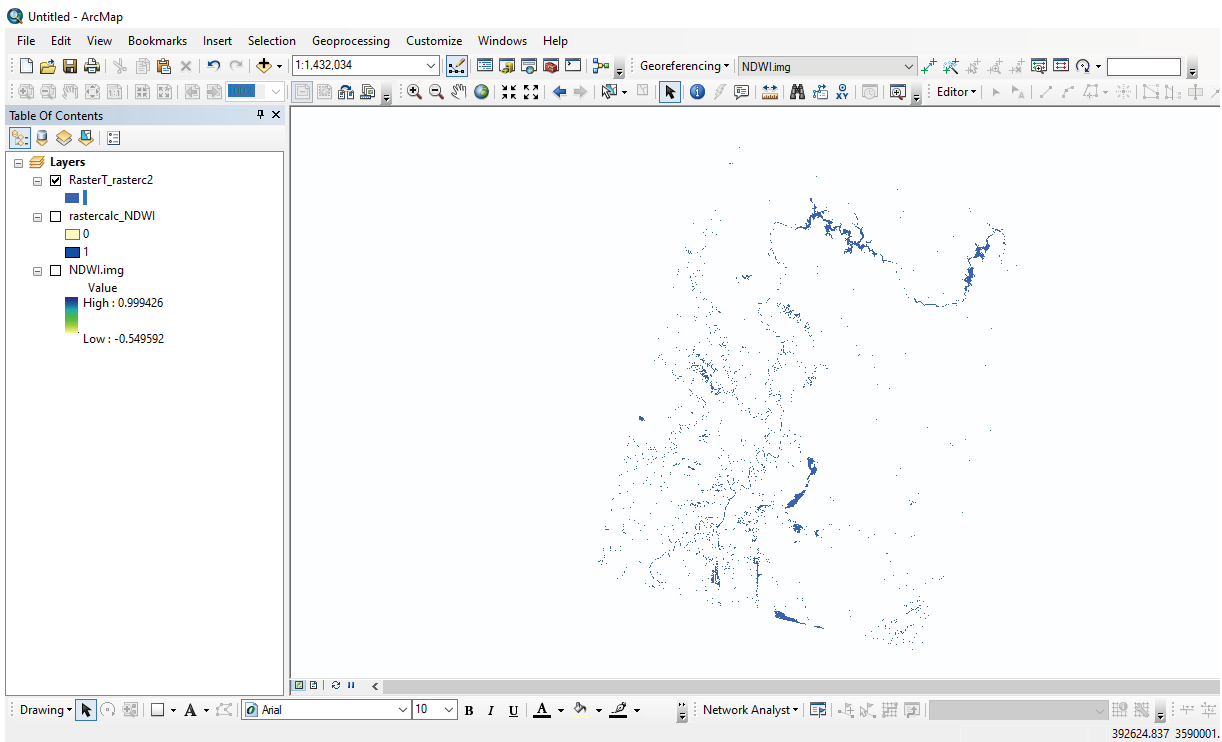
بعد از فعال‌سازی لایه موردنظر، بمنظور انتخاب تمامی مقادیر صفر، از ابزار Selection By Attributes... بصورت زیر بهره جست و مقادیر مربوط را با فشردن کلید delete حذف نمود.



شکل ۷۱: استفاده از ابزار Selection بمنظور انتخاب بخشی از فایل وکتوری با مشخصات مدنظر از جدول Attribute table آن



شکل ۷۲: انتخاب شدن مقادیر وکتوری با مشخصات صفر که مبین پهنه‌های غیر آبی است



شکل ۷۳: باقی ماندن پهنه‌های آبی بر روی لایه وکتوری

در تصویر زیر تمامی پهنه‌های آبی شامل زمین‌هایی با آبیاری غرقابی شده (اراضی کشت و صنعت) و کانال‌ها و oxbowها (شاخه‌های بریده شده رودخانه مئاندری) باقی مانده است.

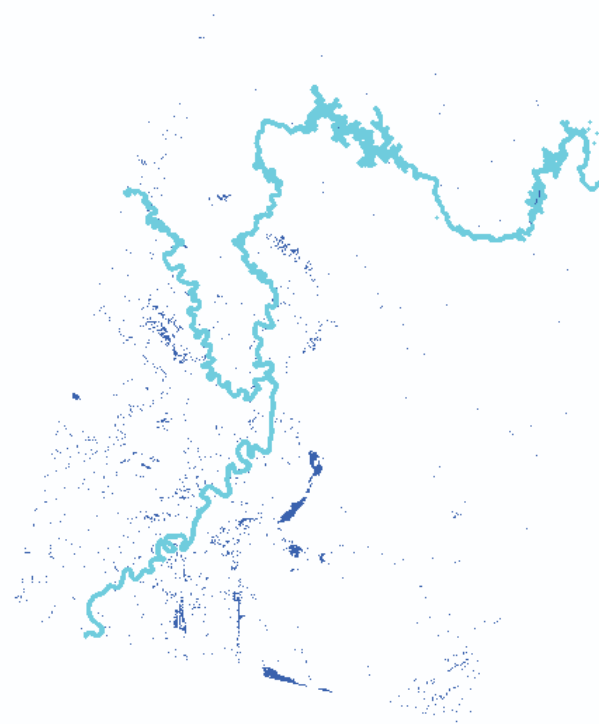


شکل ۷۴: کمان باقی مانده حاصل از بریده شدن شاخه رودخانه پیچان‌رودی

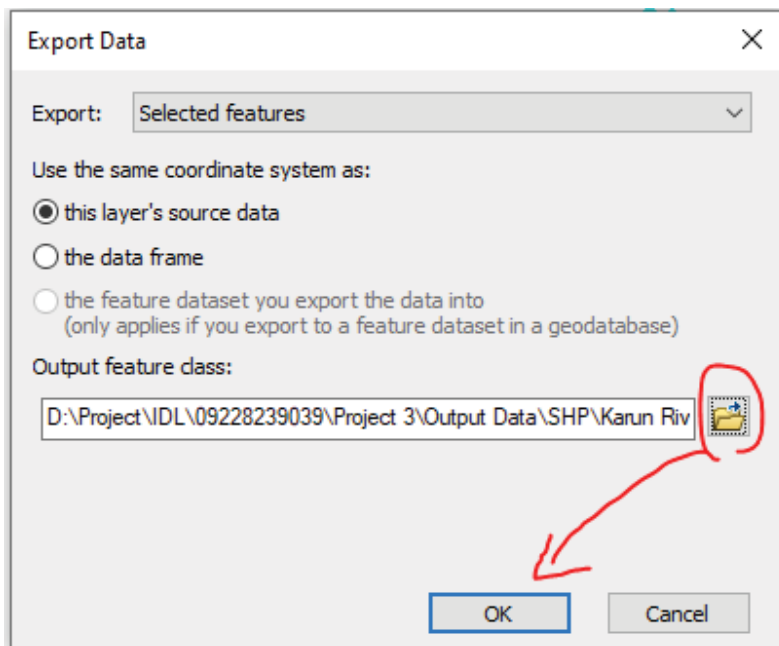
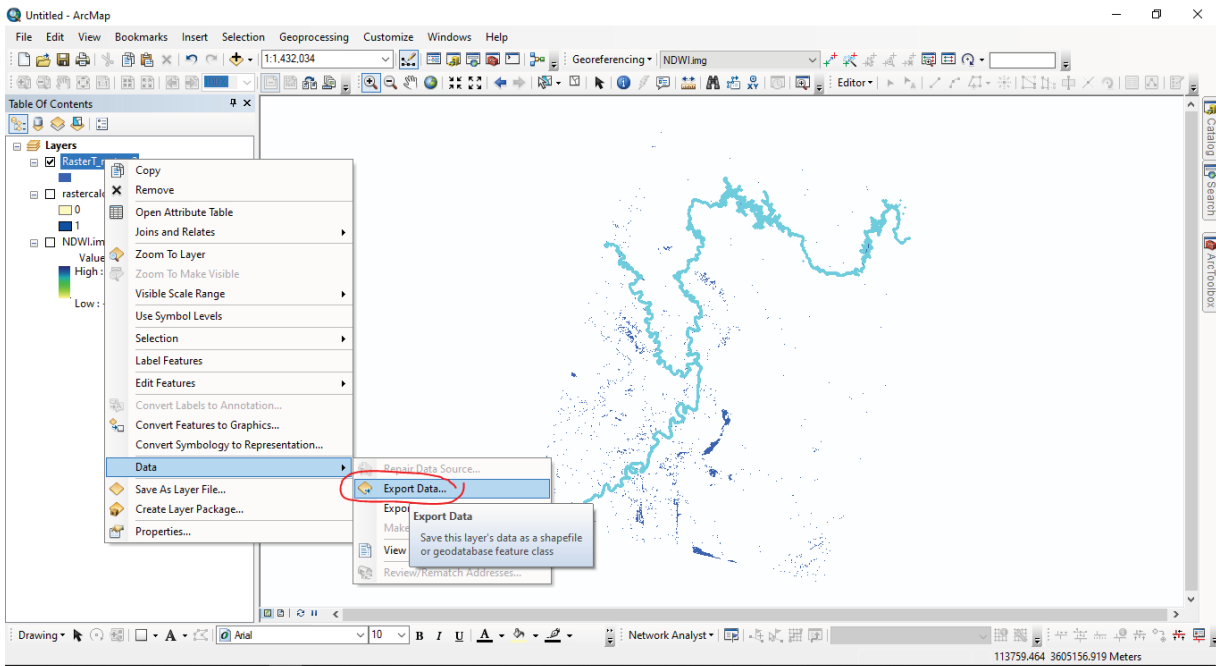


شکل ۷۵: نمایی از زمین‌های کشاورزی کشت و صنعت عراقایی شده در تصویر

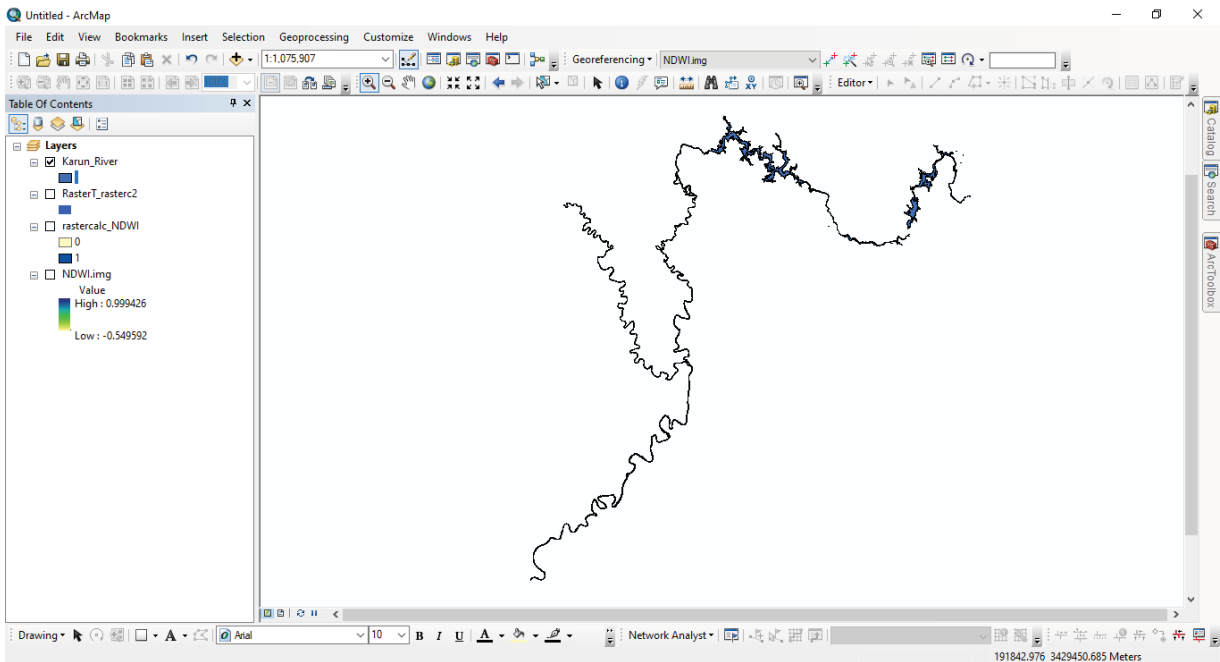
بمنظور حذف پهنه‌های آبی غیررودخانه‌ای، می‌توان با بهره‌گیری از ابزار **Select Feature** و فشردن نگه داشتن کلید **Shift** از صفحه کلید تنها پهنه‌های آبی را انتخاب نمود و از مابقی لایه صرف‌نظر نمود.



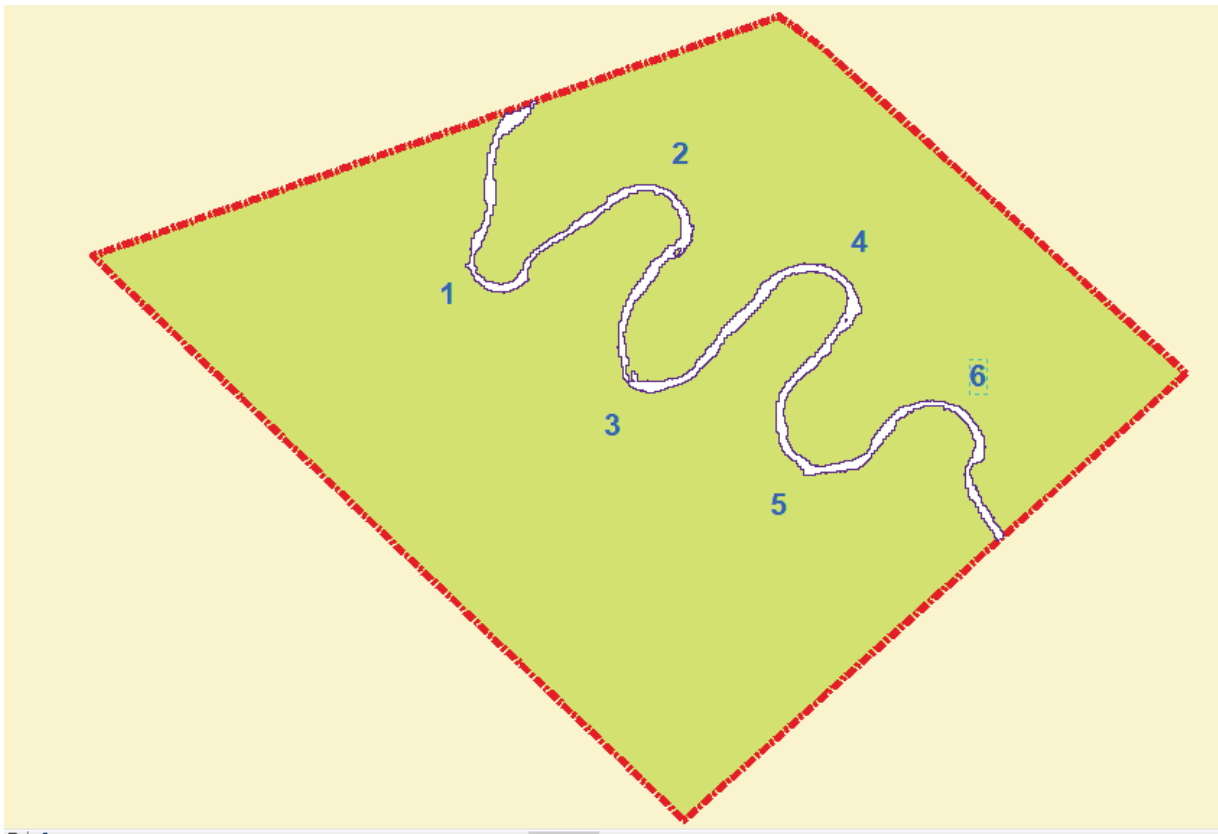
شکل ۷۶: انتخاب رودخانه کارون در لایه وکتوری از میان پهنه‌های آبی



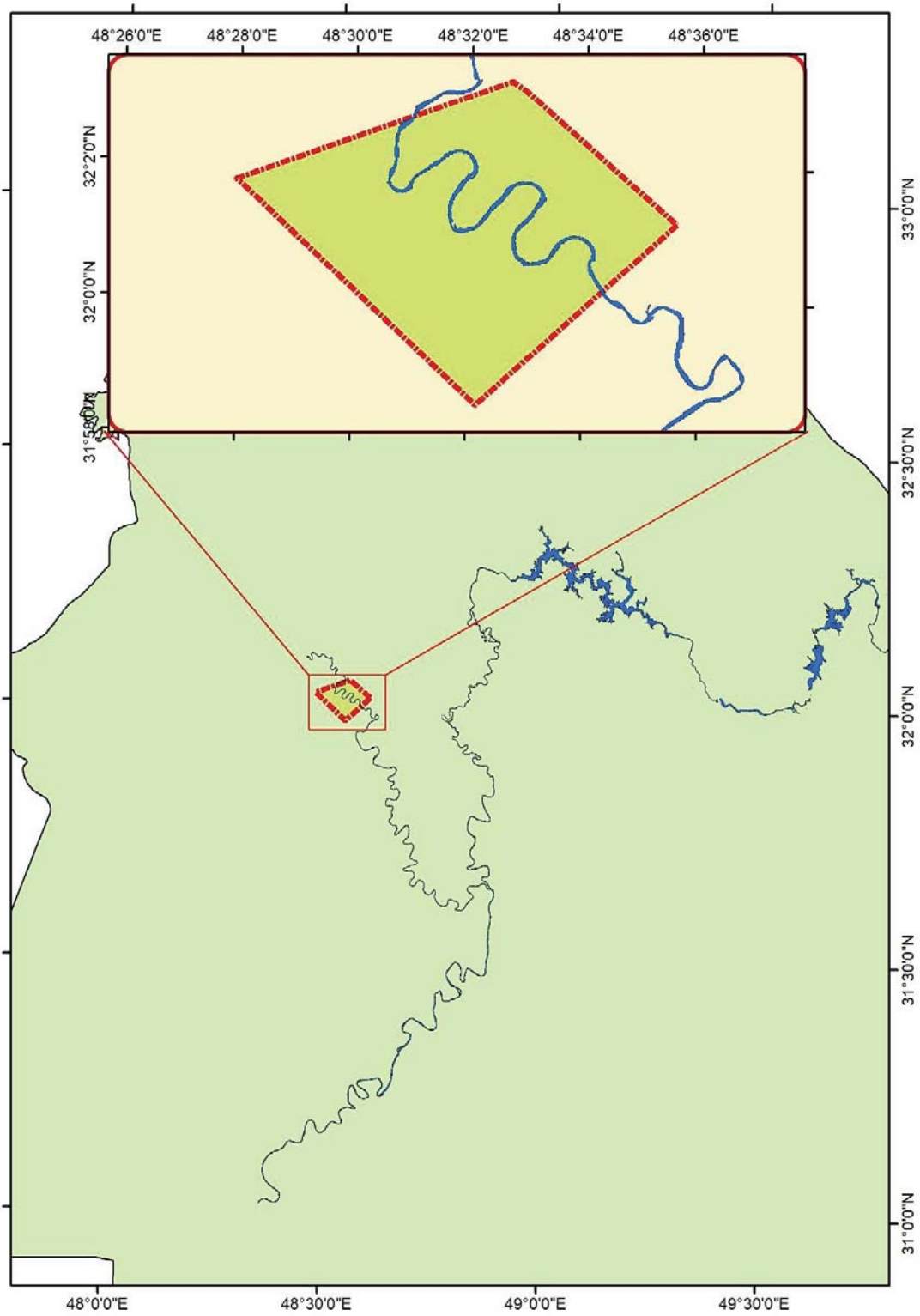
شکل ۷۷: ایجاد یک لایه جدید از مقادیر انتخاب شده با گرفتن خروجی از لایه وکتوری



شکل ۷۸: ایجاد فایل وکتوری شامل انتخاب قسمتی از رودخانه مئاندری کارون



شکل ۷۹: انتخاب بخشی از رودخانه کارون بعنوان نمونه و تمرین



شکل ۸۰: انتخاب بخشی از رودخانه پیچانرودی کارون بعنوان نمونه کاری

۸. بر آورد پارامترهای قسمتی از رودخانه مئاندری کارون با نرم افزار اتوکد

در ادامه با نرم افزار اتوکد مشخصات هندسی قوس های هریک از ۶ مئاندر انتخابی همانند شعاع قوس، طول موج، زاویه مرکزی، طول دره و ضریب خمیدگی استخراج شده است. از جمله پارامترهای مهم رودخانه پیچانرودی می توان به موارد زیر اشاره داشت:

الف) زاویه مرکزی و شعاع پیچان رود:

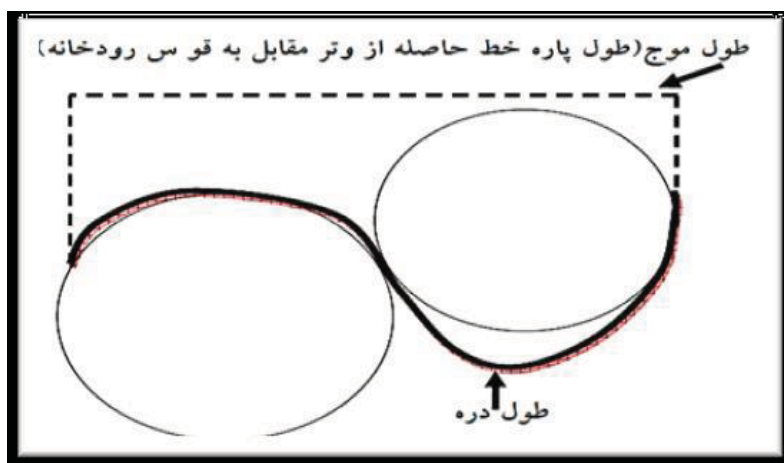
زاویه مرکزی به عنوان معیاری جهت تقسیم بندی و شناسایی میزان توسعه پیچانرودی رودخانه استفاده می شود. پس از ترسیم دایره های مماس بر مسیر رودخانه در نرم افزار اتوکد، از مرکز هر یک از دایره های مماس بر قوس ها دو شعاع به نقاط عطف دایره ها با دره رودخانه ترسیم می شود. به زاویه ایجاد شده از محل اتصال دو شعاع، زاویه مرکزی و به شعاع مماس بر دایره قوسها، شعاع دایره گفته می شود. کورنیس برای بیان کیفی توسعه و پیشرفت پیچان رودی رودخانه های آبرفتی و تمایز آنها از یکدیگر از معیار زاویه مرکزی استفاده نموده است. بر این اساس وی جدول زیر را پیشنهاد نموده است.

جدول ۱: استفاده از زاویه مرکزی برای تقسیم بندی توسعه پیچان رودی رودخانه

شکل رودخانه	زاویه مرکزی (درجه)
مستقیم	۰
شبه پیچانرودی	۰-۴۱
پیچانرودی توسعه نیافته	۴۱-۸۵
پیچانرودی توسعه یافته	۸۵-۱۵۸
پیچانرودی زیاد توسعه یافته	۱۵۸-۲۹۶
شاخ گاوی	>۲۹۶

ب) طول موج و طول دره:

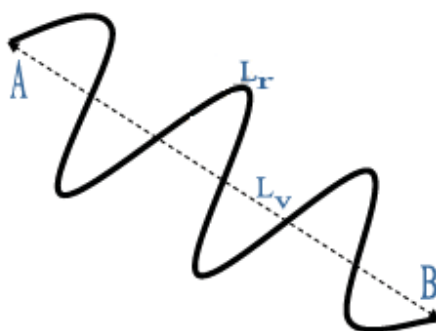
طول موج و طول دره رودخانه، دو پارامتر اصلی در طبقه بندی رودخانه و تعیین ضریب خمیدگی آن است. برای به دست آوردن طول موج روی نقشه محور مسیر رودخانه، ابتدا نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه با دقت زیاد مشخص می شود، سپس هر دو نقاط عطف مربوط به یک قوس به یکدیگر متصل شده و طول پاره خط به دست آمده با نرم افزار اتوکد با دقت زیاد اندازه گیری می شود. در ادامه مقدار طول موج برای هر قوس و مقدار میانگین حسابی آن برای بازه مورد پژوهش محاسبه می شود. برای به دست آوردن طول دره نیز نقطه عطف یک قوس تا نقطه عطف قوس بعدی در روی مسیر محور رودخانه مشخص و با استفاده از نرم افزار برای هر قوس اندازه گیری می شود.



شکل ۸۱: تعریف شماتیک طول موج و طول دره

ج) ضریب سینوسیته (خمیدگی):

شاخص ضریب خمیدگی یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم بندی شکل رودخانه استفاده می شود. بنا به تعریف، ضریب سینوسیته برابر است با طول تالوگ رودخانه (محل عمیق ترین جای جریان) به طول دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد. مطابق شکل زیر L_T طول تالوگ مجرای رودخانه و L_V فاصله مستقیم بین نقاط A و B (ابتدا و انتهای بازه رودخانه) یا همان طول دره است.



شکل ۸۲: شکل تیپ رودخانه‌های متاندری

به همین دلیل، بنا بر تعریف، P یا همان ضریب سینوسیته برابر خواهد بود با:

$$P = \frac{L_r}{L_v}$$

از طرفی اگر در شکل بالا اختلاف تراز نقاط A و B برابر h باشد، شیب طولی رودخانه برابر خواهد بود با:

$$S_r = \frac{h}{L_r}$$

و به همین ترتیب S_v شیب دره برابر است با:

$$S_v = \frac{h}{L_v}$$

پس:

$$\frac{S_v}{S_r} = \frac{\frac{h}{L_v}}{\frac{h}{L_r}} = \frac{L_r}{L_v} = P$$

رابطه قبل نشانگر این مطلب است که ضریب سینوسیته تابعی از شیب دره و شیب واقعی رودخانه است. شیب دره در زمان‌های بسیار طولانی و در اثر فرایندهای زمین شناسی شکل می‌گیرد؛ بنابراین در کارهای مهندسی شیب دره ثابت در نظر گرفته می‌شود. لیکن شیب رودخانه پدیده‌ای مورفولوژیک است که در اثر فرایندهای آبرفتی و عوامل مؤثر در رفتار رودخانه‌ها در کوتاه مدت تغییر می‌کند. به همین دلیل ضریب سینوسیته نیز پدیده‌های مورفولوژیک و متغیر خواهد بود که تمام فرایندهای مورفولوژیکی در آن نهفته است و عواملی از قبیل دبی جریان، میزان بارهای رسوبی، مقاومت بستر و سواحل در مقابل جریان، پوشش گیاهی کناره‌ها و فعالیت‌های بشری بر آن مؤثرند. با این وجود در پروژه‌های مهندسی رودخانه می‌توان به کمک عملیات نقشه برداری و اندازه‌گیری شیب طولی رودخانه و شیب دره، بر اساس معادله بالا ضریب سینوسیته را برای بازه‌های مورد مطالعه در یک رودخانه محاسبه کرد.

رودخانه‌ها را با توجه به مقدار ضریب سینوسیته به سه دسته می‌توان طبقه بندی کرد:

الف) رودخانه‌های با ضریب سینوسیته کم ($1 < P < 1.5$)

ب) رودخانه‌های با ضریب سینوسیته متوسط ($1.5 < P < 2$)

ج) رودخانه‌های با ضریب سینوسیته بزرگ ($P \geq 2$)

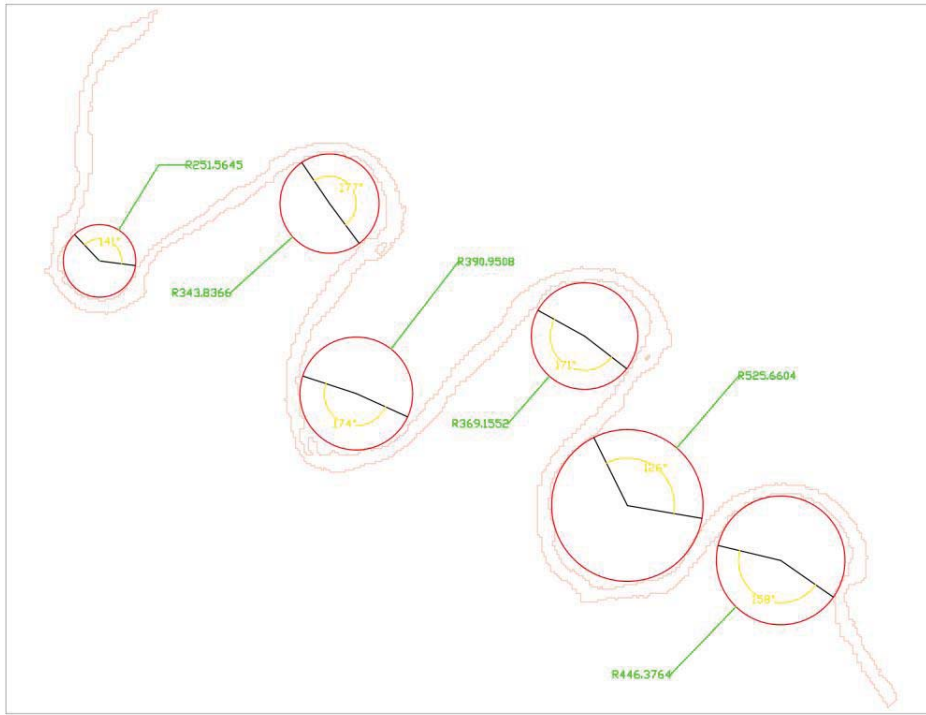
در صورتیکه ضریب سینوسیته رودخانه در حد متوسط یا بزرگ باشد، رودخانه ممانداری محسوب می‌شود. همچنین طبق برخی از تعاریف و مطابق جدول زیر، ضریب خمیدگی بزرگ تر ۱.۴ تا ۱.۵ نشان دهنده پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن نشان دهنده مستقیم بودن رودخانه و بازه مورد نظر است.

جدول ۲: تقسیم بندی رودخانه‌ها بر اساس ضریب پیچشی

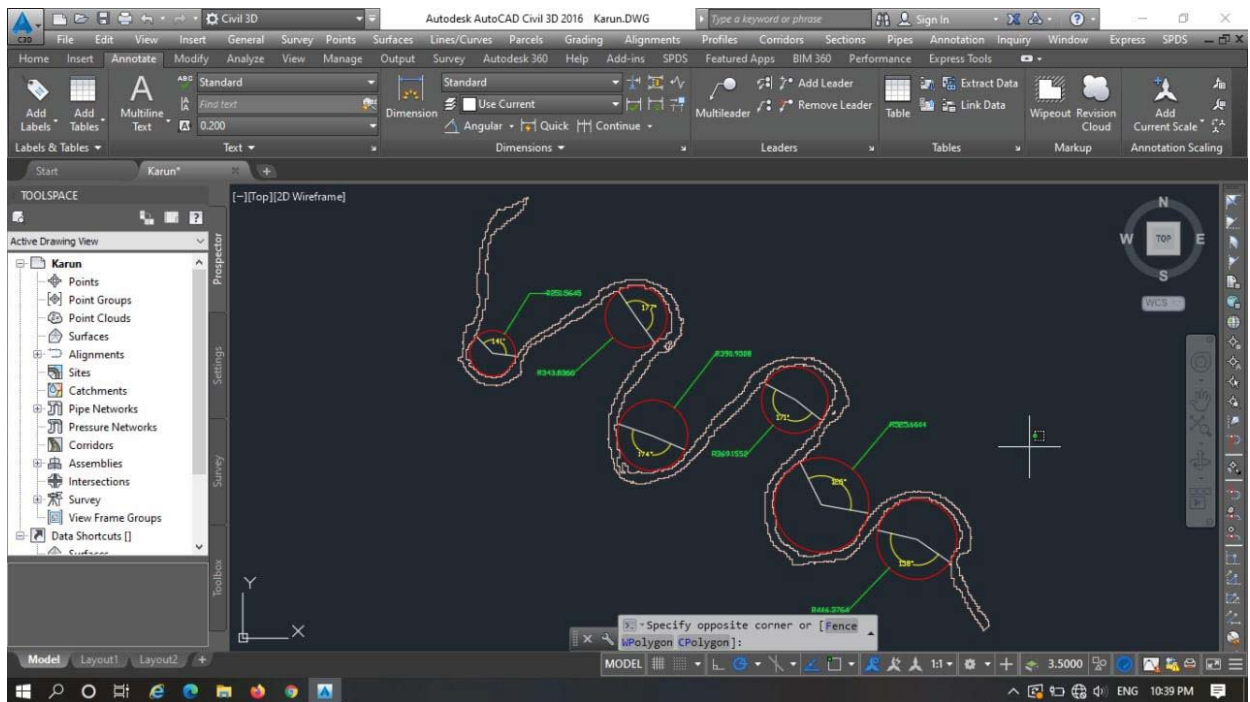
۱-۱.۰۵	۱.۰۶-۱.۲۵	۱.۲۵-۲	>۲	ضریب پیچشی
مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید	نوع رودخانه

۹. نتایج

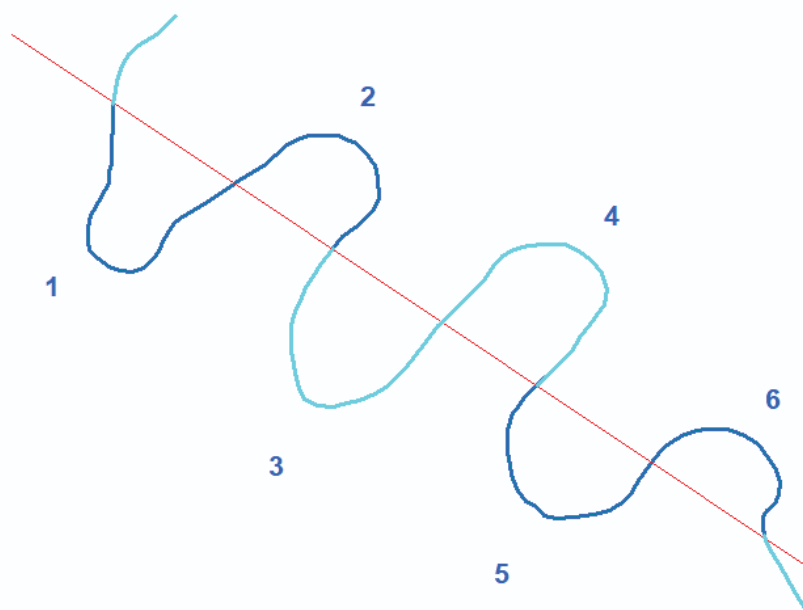
در نهایت نتایج خروجی نرم افزار اتوکد بصورت زیر بدست می آید:



شکل ۸۳: تصویری از برازش دایره بر قوس‌ها در محیط اتوکد



شکل ۸۴: تصویری از برازش دایره بر قوس‌ها در محیط اتوکد



شکل ۸۵: محاسبه طول موج و طول دره هر یک از پیچ‌های رودخانه متاندری

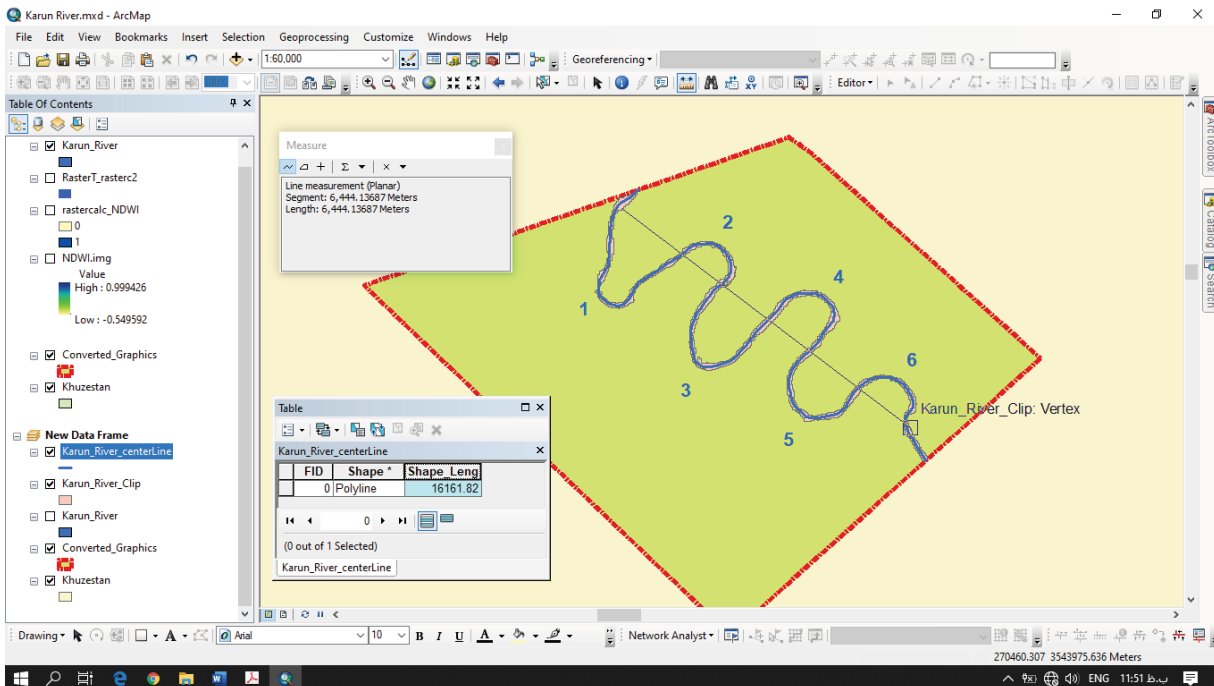
جدول ۳: مشخصات مربوط به زاویه مرکزی و شعاع پیچان‌دهی هر قوس متاندر

شماره قوس	زاویه مرکزی (درجه)	شعاع (متر)	میانگین عرض رودخانه (متر)	گذاره (متر)	دامنه یا کمره متاندر (متر)	طول موج (متر)	طول دره (متر)	ضریب خمیدگی
۱	۲۱۹	۲۵۱.۵۶	۹۸	۱۱۸۶	۱۸۸۲	۲۱۳۰	۴۹۳۲	۲.۳۲
۲	۱۸۳	۳۴۳.۸۴	۱۰۹	۱۳۰۰	۲۰۳۴			
۳	۱۸۶	۳۹۰.۹۵	۱۱۲	۱۰۵۴	۲۱۴۵	۱۹۸۳	۵۴۷۶	۲.۷۶
۴	۱۸۹	۳۶۹.۱۶	۱۱۷	۱۶۰۵	۲۱۹۶			
۵	۲۳۴	۵۲۵.۶۶	۱۱۴	۱۱۸۸	۱۷۵۴	۲۱۹۳	۴۱۱۸	۱.۸۸
۶	۲۰۲	۴۴۶.۳۸	۱۰۶	۷۱۱	۱۲۴۳			
میانگین	۲۰۲.۱۷	۳۸۷.۹۳	۱۰۹	۱۱۷۴	۱۸۷۶	۲۱۰۲	۴۸۴۲	۲.۳۱

بنابراین با توجه به میانگین ارقام و اعداد جدول ۱، این بازه انتخابی جزو دسته پیچان‌رودی زیاد توسعه یافته است.

جدول ۴: نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای هندسی قوس‌های بخشی از رودخانه کارون

نام رودخانه	پارامترهای هندسی	شعاع (متر)	زاویه مرکزی (درجه)	طول موج (متر)	طول دره (متر)	ضریب خمیدگی
کارون	میانگین	۳۸۷.۹۳	۲۰۲.۱۷	۲۱۰.۲	۴۸۴۲	۲.۳۱
	حداقل	۲۵۱.۵۶	۱۸۳	۱۹۸۳	۴۱۱۸	۱.۸۸
	حداکثر	۵۲۵.۶۶	۲۳۴	۲۱۹۳	۵۴۷۶	۲.۷۶



شکل ۸۶: محاسبه طول تالوگ و طول دره بازه انتخابی رودخانه مئاندری کارون

بدین ترتیب میزان ضریب خمیدگی یا سینوسیته این بازه از روخانه برابر $۲/۵۰۸$ می‌گردد و بدین لحاظ با توجه به ارقام جدول ۲، جزو رودخانه‌های با ضریب سینوسیته بزرگ و پیچانرودی شدید محسوب می‌شود.

«موفق، پیروز و همیشه سربلند باشید»