

## استفاده از هوش مصنوعی در نقشه برداری واحدهای کواترنری

حمید نظری\*؛ دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران،

رئیس کرسی یونسکو در مخاطرات زمین شناختی ساحلی، تهران، ایران

جلال کرمی؛ استادیار دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

سعید عارفی پور؛ کارشناس ارشد سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

الناز آقاعلی؛ کارشناس ارشد زمین شناسی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی

کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱

### چکیده

بیشرفت دانش و فناوری، سبب آزادسازی و دسترسی عمومی به داده‌های مکانی-زمانی در مقیاس متوسط و بزرگ در طیف‌های مختلف شده است. آنچه که منجر به بیش از سه دهه نظارت مستمر پوسته زمین از بالای جو در مدارهای مختلف توسط ماهواره‌های چند حسگر شد، اکنون بر روی یک پلت فرم عمومی تنظیم شده است و برای استفاده تحقیقاتی، دولتی و تجاری قابل دسترسی می باشد. دسترسی نامحدود به تمام داده‌های از پیش موجود مبتنی بر مکان، امکان زمان بندی و پردازش بسیار سریع در محیط ابری سرور با نمونه‌های از پیش آماده شده و امکان بارگذاری داده‌ها علاوه بر آنچه در سرور وجود دارد را فراهم می سازد. در سال‌های اخیر دیدگاه جدیدی برای تعریف مجدد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندحسگر و سرور ایجاد شده است. هدف از این پروژه تدوین و توسعه روش‌های جدید برای تهیه نقشه‌های موضوعی زمین‌شناسی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای از قبل موجود و فرآیند محاسبات ابری بر روی سرورهای عمومی مانند GEE همراه با کنترل‌های میدانی و آزمایشگاهی است. با به کارگیری روش شناسی جدید، بستر مناسبی برای انتقال دانش و فناوری و نهادینه سازی آن در صنعت و دانشگاه فراهم می شود. اکتشافات معدنی و آلاینده‌های معدنی، با قابلیت تفکیک پذیری واحدهای جغرافیایی، ماهیت و منبع ترکیبات در محدوده هدف در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ می باشد.

کلید واژه ها : هوش مصنوعی، نقشه زمین شناسی، Google Earth Engine، کواترنری.

## مقدمه

پردازش داده‌ها و اطلاعات سنجش از دور با ویژگی منحصر به فرد چند منبعی و چند مقیاسی<sup>۱</sup> و با بهره‌گیری از فن‌آوری به روز محاسبات ابری<sup>۲</sup>، دستیابی سریع به حجم بالایی از اطلاعات زمین‌شناسی برای مناطق وسیع را فراهم می‌کند. در این پروژه، با تمرکز بر روی منابع مختلف سنجش از دور و به کارگیری امکانات پردازش در فضای ابری، نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار برگه کویر لوت تهیه گردید (Nazari et al., 2022). تهیه نقشه‌های موضوعی و به ویژه نقشه‌های زمین‌شناسی نظر به پیچیدگی‌های زمین‌شناسی - ساختاری پوسته و فرایند تهیه نقشه از دیدگاه علمی، فنی و هنری در وابستگی شدید سخت‌افزاری و نرم‌افزاری با پیچیدگی‌های چند متغیره پوسته متناسب با هدف و موضوع می‌باشد. بیش از دو دهه تلاش آزمون و خطایی متخصصان در بهره‌مندی از فناوری‌های نو در زمینه‌های گوناگون، سبب شناخت بهتر از منطق ریاضی پیوند متغیرهای سطحی زمین همچون نوع پوشش گیاهی، جنس، نوع و رنگ سنگ نهشته‌ها، فرسایش و بازنهشت رسوب در همراهی با کارکرد عناصر ساختاری و کنترل‌کننده‌های حوضه بوده است ( Zhang et al., 2007; Gabr et al., 2010, 2015; Hassan and Ramadan, 2015). در این فراز و فرود همواره افزون بر محدودیت‌های تخصصی، حجم بسیار بالای داده‌های مورد پردازش از جمله مهمترین محدودیت‌های کاربری داده‌های سنجش از دور در مطالعات زمین‌شناختی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی - موضوعی به شمار آمده است. اگر چه با پیشرفت دانش و فناوری اطلاعات، دسترسی نامحدود به تمامی داده‌های مکان - زمان محور از پیش موجود، امکان برنامه‌نویسی و پردازش بسیار سریع در محیط ابری سرور را به همراه دسترسی کاربر به نمونه‌های از پیش آماده و امکان بارگذاری داده‌هایی افزون بر آنچه در محیط سرور در دسترس می‌باشد را مهیا ساخته است (Nazari et al., 2022). سرعت بالای مطالعات، یکپارچگی لژاند و واحدهای زمین‌شناختی در پهنه‌هایی با شرایط اقلیمی مشابه، تفکیک تطبیقی - سرشتی و سرچشمه‌ای رسوبات سخت نشده و کاهش کمی معنی‌دار در استفاده از آنالیزهای دستگاهی، اقتصادی بودن همزمان فرایند تولید اطلاعات را با حفظ دقت و استاندارد روزآمد از ویژگی‌های قابل توجه اینگونه مطالعات به شمار می‌رود (Abdullateef et al., 2021; Ali- Bik et al., 2022; Ding et al., 2020). به طور خلاصه نقشه راه و شکست پروژه در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی نسل دوم بر اساس شرح زیر قابل ارایه می‌باشد (Nazari et al., 2022). محاسبات ابری را می‌توان یک سیستم تقاضا محور<sup>۳</sup> مبتنی بر توانمندی کامپیوتری، مخصوصاً در ذخیره‌سازی حجم عظیم اطلاعات و قابلیت‌های پردازش آن تعریف کرد که به شکل مستقیم توسط کاربرها مدیریت نمی‌شود. فضاهای ابری بزرگ معمولاً مراکز پردازشی توزیع شده‌ای در جاهای مختلف غیر از مرکز اصلی دارند. این سیستم‌های ابری می‌توانند به یک سازمان محدود شوند که در اینصورت به عنوان سیستم‌های ابری سازمانی<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند. در حالت دوم، به چند سازمان تعلق دارند که در این صورت به عنوان سیستم‌های ابری عمومی<sup>۵</sup> مد نظر هستند (Asran and Hassan, 2021; Okpoli et al., 2022; Ghoniem et al., 2022). فلسفه اصلی این‌گونه سیستم‌ها این است که منابع اطلاعاتی را به منظور رسیدن به

1. Multi-Source, Multi-Resolution

2. Cloud Computing

3. on-demand-availability

4. Enterprise Clouds

5. Public Clouds

مقیاس اقتصادی و یکپارچگی، به اشتراک بگذارند. به عبارتی دیگر، این قبیل سیستم‌ها، امکان بهینه سازی هزینه‌های سنگین زیرساخت‌های فناوری اطلاعات در شرکت‌ها را فراهم می‌نمایند (Cracknell and Reading, 2014; ElGalladi et al., 2022; Niu et al., 2020; Ondieki et al., 2022). با گذشت حدود شش دهه از پیشینه تهیه نقشه‌های زمین شناسی در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، آنچه تفاوت مقیاس را به تعریف کشیده، به جز در کاربری روز افزون اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و گاه تصویری، حجم و تعداد بالاتر مشاهدات، و کنترل کننده‌های میدانی نبوده است که به سبب شرایط و متغیرهای منطقه‌ای، اقلیمی و جغرافیایی، اگر چه ممکن ولی بسیار دشوار می‌نماید. افزایش جمعیت و نیاز روز افزون انسان بر شناخت و بهره‌گیری از منابع معدنی و زیستی موجود در پوسته زمین به عنوان تنها زیستگاه شناخته شده کنونی، نه تنها از هدف پایه و بنیادین مطالعات زمین شناختی در شناخت روزافزون و به نقشه کشیدن داده‌های سطحی و زیر سطحی نکاست که هدف، روش و کاربری نقشه‌های زمین شناختی را متناسب با نیاز در گذر زمان گوناگونی چند باره بخشید که ناگزیر سبب ساز افزایش هزینه و تنوع نیاز تخصصی در مجموعه‌های کاربردی شد. اگر چه به تجربه، تهیه نقشه‌هایی تخصصی‌تر و موضوعی‌تر در گستره‌ی محدود و موردی در چهارچوب پژوهشی، بسیار مرسوم و موفق می‌باشد، ولی پر واضح آنکه مدیریت یکپارچه اطلاعات در کاربری گسترده و نظام‌مند با حفظ کیفیت و در نظر داشتن شاخص‌ها و محدودیت‌های همیشگی و فراگیر زمان و هزینه، نیازمند بهره‌مندی و به روزرسانی فناوری‌ها و شیوه‌نامه‌های نوین متناسب با خواسته و نیاز منطقه‌ای است. ایده‌ی تهیه نقشه‌های موضوعی با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای به دو دهه پیش بر می‌گردد. ایده‌ای که از روز نخست در وابستگی شدید سخت افزاری و نرم افزاری با پیچیدگی‌های چند متغیره پوسته، متناسب با هدف و موضوع، به چالش کشیده شد. در طی دو دهه‌ی گذشته، تلاش متخصصان در آزمون و خطایی نفس‌گیر رهگشای بهره‌مندی از فناوری‌های نو در زمینه‌های گوناگون، سبب شناخت بهتر از منطق ریاضی پیوند متغیرهای سطحی زمین همچون نوع پوشش گیاهی، جنس، نوع و رنگ سنگ نهشته‌ها، فرسایش و بازنهشت رسوب در همراهی با کارکرد عناصر ساختاری و کنترل کننده‌های حوضه و البته آنچه از تمامی این ویژگی‌های فیزیکی توسط سنجنده‌های گوناگون از فاصله چند صد کیلومتری زمین قابل اندازه‌گیری و ثبت می‌باشد، بوده است. در این فراز و فرود، همواره افزون بر محدودیت‌های تخصصی، حجم بسیار بالای داده‌های مورد پردازش، داشتن دسترسی‌های سخت افزاری بالا و هزینه بر چون نیازی ناگزیر از محدودیت‌های پذیرفته شده‌ی کاربری داده‌های دورسنجی به شمار آمده است. محدودیتی که تا به امروز چالش بزرگ پیش روی کاربری سیستماتیک این داده‌ها، به ویژه در مطالعات زمین شناختی به شمار رفته و جز در پژوهش‌های موضوعی - منطقه‌ای محدود با پشتیبانی‌های تخصصی و اعتباری فراهم نیامده است. این مهم با پیشرفت روزافزون دانش و فناوری، سبب آزادسازی و دسترسی عمومی داده‌های مکانی - زمانی میان و بزرگ مقیاس در طیفی گوناگون شد. آنچه که ره آورد بیش از سه دهه پایش پیوسته پوسته زمین از فراز جو در مدارهای گوناگون توسط ماهواره‌های چند سنجنده‌ای به تصویر کشیده شده است، امروزه بر پلاتفرمی عمومی با سطح دسترسی کاربری پژوهشی، دولتی و تجاری به تعریف کشیده شده است. دسترسی نامحدود به تمامی داده‌های مکان - زمان محور از پیش موجود، امکان برنامه نویسی و پردازش بسیار سریع در محیط ابری سرور-پایه در کنار نمونه‌هایی از پیش آماده و امکان بارگذاری داده‌هایی افزون بر آنچه در محیط سرور در دسترس می‌باشد، سبب گشایش نگاهی نو در باز تعریف کاربری داده‌های ماهواره‌ای چند سنجنده و سرور پایه در چند سال گذشته شده است. با این مقدمه هدف از این پژوهش، تدوین و توسعه شیوه‌نامه‌ای نوین بر تهیه نقشه‌های زمین شناختی و

موضوعی میان مقیاس بر پایه اطلاعات و داده‌های از پیش موجود ماهواری و محاسبات ابری در سرورهای عمومی چون GEE به همراه کنترل‌های میدانی و آزمایشگاهی متناسب است. بدیهی است چنین شیوه نامه‌ای فراهم نخواهد آمد مگر با آزمون و خطا و کاهش بازه‌ی خطا در فرایندهای میدانی و پردازش و همسنجی چند باره‌ی داده‌ها و اطلاعات. پژوهش پیش روی در گستره‌ی باختری لوت در حوزه کارکرد پهنه‌ی گسلی نایبند در گستره‌ی بیش از ۳۰ هزار کیلومتر مربع در چهارچوب ۱۱ برگ نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ است. گزارش و نقشه ارایه شده با نام برگه زمین شناسی کویر لوت، شمالی ترین و نخستین نقشه از میان یازده برگ نقشه یاد شده است. در راستی آزمایی میدانی و تدوین گزارش واحدهای تفکیک شده، افزون بر گستره‌ی مورد مطالعه، پهنه‌ی بافر با کمینه پهنای ۳۵ کیلومتر در کنار داده‌های برآمده از گزارش‌ها و نقشه‌های چهارگوشه‌های زمین شناسی نایبندان، لکرکوه و کرمان سازمان زمین شناسی و همینطور مقالات علمی منتشر شده بهره گرفته شده است. در پایان پر بیراه نیست اگر پژوهش پیش روی با به کارگیری شیوه نامه نوین مدعی ارایه نقشه‌ای یکپارچه و چند لایه با تفکیک پذیری قابل قبول از سنگ نهشته‌ها و رسوبات در سرشت و سرچشمه اجزا تشکیل دهنده در گستره‌ی هدف و در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ باشد. از ویژگی‌های قابل توجه در چنین نقشه‌هایی موسوم به "نسل دوم نقشه‌های زمین شناختی"، سرعت بالای مطالعات، یکپارچگی لژاند و واحدهای زمین شناختی، کاهش کمی معنی دار در استفاده از آنالیزهای دستگاهی، اقتصادی بودن همزمان فرایند تولید اطلاعات با حفظ دقت و استاندارد روزآمد جهانی به همراه بانک اطلاعاتی پشتیبان بوده و پر واضح آنکه فرآیند مورد نظر در تمامی گام‌های اجرایی، نیازمند حضور گروه کارشناسی در طیف گسترده‌ای از تخصص‌های گوناگون علوم زمین در پیوند با موضوع خواهد بود (نظری، ۱۴۰۰).

## روش تحقیق

این پژوهش، با هدف تدوین شیوه نامه تهیه نقشه‌های موضوعی سرور پایه یکپارچه با استفاده از تصاویر مختلف و متنوع سنجش از دور (Sentinel11, Sentinel2, Landsat8(OLI), تصاویر Emissivity سنجنده (ASTER) و داده‌های رقومی ارتفاعی (DEM, Aspect, Slope, Hillshade) در محیط فضای ابری و محاسبات ابری (Cloud Computing) بود. در این طرح، با رویکردی کاملاً متفاوت، سعی بر این شد که به جای استفاده از یک یا دو تصویر، از آرشیو متنوع تصاویر موجود که در بالا اشاره گردید، استفاده شود. همچنین به واسطه قابلیت پردازشی ابرکامپیوترهای شبکه شده در سامانه Google Earth Engine، کلیه برنامه نویسی‌ها و پردازش در این فضای ابری انجام گیرد. از جمله دیگر تفاوت‌های قابل توجه این طرح با دیگر مطالعات تهیه نقشه، استفاده از الگوریتم‌های متنوع و پیشرفته پردازش تصویر و داده‌کاوی مانند تبدیلات ریاضی، خوشه‌بندی، و فیلترهای بارزسازی بر روی داده‌ها و تصاویر بود که تا حدود زیادی خطاهای ناشی از روش‌های سنتی تهیه نقشه را مرتفع نمود.

در مطالعات منابع زمینی، دو روش کلی جهت جمع‌آوری اطلاعات وجود دارد که شامل: الف) روش میدانی<sup>۱</sup> ب) روش سنجش از دوری<sup>۲</sup> (RS) می‌باشند. یکی از ابزارهای نوین و مؤثر در زمینه‌ی مطالعات محیط زیست، علوم‌زمین، و اکتشافات معدنی که امروزه در اختیار بشر قرار گرفته است، استفاده از فناوری سنجش از دور و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم‌های کامپیوتری با قدرت پردازش بالا می‌باشند. از جمله اولین کاربردهای سنجش از دور در زمین‌شناسی، استفاده از تکنیک‌های تفسیر زمین‌شناسی عکس‌های هوایی (photogeology)، تصاویر سنجنده MSS ماهواره‌ای Landsat1 برای استخراج عوارض مورفولوژیکی و آنومالیهای اکسید آهن در طول موج مرئی بوده است. بعد از آن، محصولات ماهواره فرانسوی SPOT توسط زمین‌شناسان به خاطر قدرت تفکیک بی‌نظیرش و قابلیت برجسته‌بینی که به واسطه تصاویر دارای همپوشانی مکانی داشتند، استفاده شدند. کاربرد سنجش از دور در زمین‌شناسی با ظهور سنجنده TM ماهواره لندست سرعت گرفت. تصاویر این سنجنده برای سالها، در زمینه تهیه نقشه سنگ‌شناسی و توصیف خطواره‌ها به خصوص در زمینه تهیه نقشه کانی‌های دگرسانی مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۹۹ میلادی ماهواره لندست ۷، مدل پیشرفته‌تری از سنجنده TM را به نام ETM+ در مدار قرار داد که تصاویر بسیار با کیفیت‌تری را نسبت به سری‌های پیشین ارائه می‌داد. متأسفانه در سال ۲۰۰۳ این سنجنده دچار نقص فنی شد و کارایی خود را از دست داد. به دلیل اهمیت بالایی که تصاویر این سنجنده برای متخصصین علوم مختلف به خصوص علوم طبیعی داشتند، بالاخره در سال ۲۰۱۳ ماهواره لندست ۸ به همراه سنجنده OLI/TIRS به فضا پرتاب شد. این سنجنده مشابه با سنجنده ETM+ می‌باشد که البته از نظر قدرت تفکیک طیفی اختلافاتی با آن دارد (جدول ۱). این سنجنده دارای ۹ باند در ناحیه طول موج‌های انعکاسی (زیر سنجنده OLI) می‌باشد که ۷ باند آن مشابه با سری‌های TM و ETM+ لندست‌های قبلی است. دو باند دیگر به نام‌های coastal / aerosol band که در ناحیه طول موج ۴۳۳ تا ۴۵۳ نانومتر می‌باشد و cirrus band در ناحیه طول موج ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ نانومتر می‌باشد، به مجموعه ۷ باند قبلی اضافه گردیده است که به دانشمندان ضمن امکان شناسایی دقیق‌تر و بهتر ابرها، اجازه می‌دهد محتوای آب جوی و ضخامت ابرها را اندازه‌گیری نمایند. همچنین سنجنده OLI/TIRS، به صورت Push broom از سطح زمین اطلاعات جمع‌آوری می‌نماید، در حالیکه سنجنده ETM+ برداشت را به صورت Whisk broom انجام می‌دهد. به این ترتیب کیفیت اطلاعات برداشت شده از طریق آرایه حسگرها در لندست ۸ بسیار بهتر از برداشت با استفاده از آئینه نوسانگر در لندست ۷ می‌باشد. همچنین به دلیل اینکه سنجنده‌های ماهواره لندست ۸ توان تفکیک رادیومتریک تا ۱۶ بیت را دارا می‌باشند، اختلافات ناچیز انرژی رسیده به سنجنده که برای تفکیک عوارض در نواحی بسیار تاریک سطح زمین با اهمیت می‌باشد، به راحتی ثبت و ذخیره سازی می‌گردند. مشخصات لندست ۷ و ۸ برای مقایسه در جدول ۱ آورده شده است. همچنین جدول ۱ بیان‌کننده اختلافات این دو سنجنده در پهنای باند و موقعیت هر باند نسبت به موقعیت روزنه‌های اتمسفری می‌باشد.

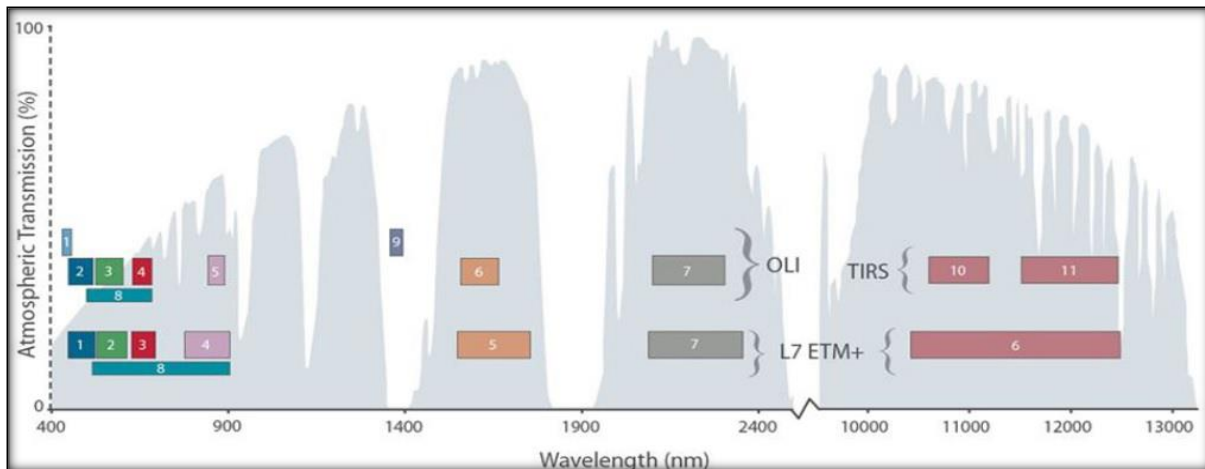
1 Ground based methods

2 Remote Sensing methods

جدول ۱: مقایسه سنجنده‌های OLI/TIRS و ETM+

Sat.	Sensor	Spectral Band	Wavelength	Geometric Resolution	Radiometric Resolution
Landsat 8	OLI	Band 1 - Coastal / Aerosol	0.433 - 0.453 $\mu\text{m}$	30 m	16-bit
		Band 2 - Blue	0.450 - 0.515 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band 3 - Green	0.525 - 0.600 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band 4 - Red	0.630 - 0.680 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band 5 - Near Infrared	0.845 - 0.885 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band 6 - Short Wavelength Infrared	1.560 - 1.660 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band 7 - Short Wavelength Infrared	2.100 - 2.300 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band 8 - Panchromatic	0.500 - 0.680 $\mu\text{m}$	15 m	
		Band 9 - Cirrus	1.360 - 1.390 $\mu\text{m}$	30 m	
	TIRS	Band 10 - Long Wavelength Infrared	10.30 - 11.30 $\mu\text{m}$	100 m	
		Band 11 - Long Wavelength Infrared	11.50 - 12.50 $\mu\text{m}$	100 m	
Landsat 7	ETM+	Band -1	0.45 to 0.515 $\mu\text{m}$	30 m	Best 8 of 9 bits
		Band -2	0.525 to 0.605 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band -3	0.63 to 0.690 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band -4	0.75 to 0.90 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band -5	1.55 to 1.75 $\mu\text{m}$	30 m	
		Band -6	10.40 to 12.5 $\mu\text{m}$	60 m	
		Band -7	2.09 to 2.35 $\mu\text{m}$	30 m	
		Panchromatic	0.52 to 0.90 $\mu\text{m}$	15 m	

با توجه به این مطالب و اطلاعات جدول ۱ به راحتی می‌توان به توان بالاتر سنجنده‌های ماهواره لندست ۸ نسبت به لندست ۷ پی برد. بنابراین در این مطالعه استفاده از آن در دستور کار قرار گرفت.



شکل ۱: مقایسه پهنای باندها و موقعیت هر کدام از آنها نسبت به پنجره‌های اتمسفری

از جمله سنجنده‌های پرکاربرد در زمینه زمین‌شناسی و اکتشاف منابع معدنی، سنجنده Aster<sup>1</sup> می‌باشد که بر روی ماهواره Terra نصب گردیده و با دارا بودن قدرت تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً مناسب، تأثیرات چشمگیری بر مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی گذاشته است. سنجنده مذکور با دارا بودن قدرت تفکیک طیفی نسبتاً مناسب در محدوده مادون قرمز انعکاسی که اکثر کانی‌ها در آن دارای نمودار جذب طیفی هستند، امکان تفکیک انواع آلتراسیون‌ها را فراهم کرده است. علاوه بر آن، این سنجنده با دارا بودن پنج باند طیفی در محدوده مادون قرمز حرارتی تنها سنجنده Multi thermal به حساب می‌آید و از طریق آن امکان تفکیک واحدهای سنگی امکان پذیر می‌باشد. سنجنده ASTER تصاویری با ویژگی‌های زیر برداشت می‌نماید:

تصاویر مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) با قدرت تفکیک زمینی پانزده متر (سه باند)

تصاویر مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) با قدرت تفکیک زمینی ۳۰ متر (شش باند).

تصاویر مادون قرمز حرارتی (TIR) با قدرت تفکیک زمینی ۹۰ متر (پنج باند).

<sup>1</sup>Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer

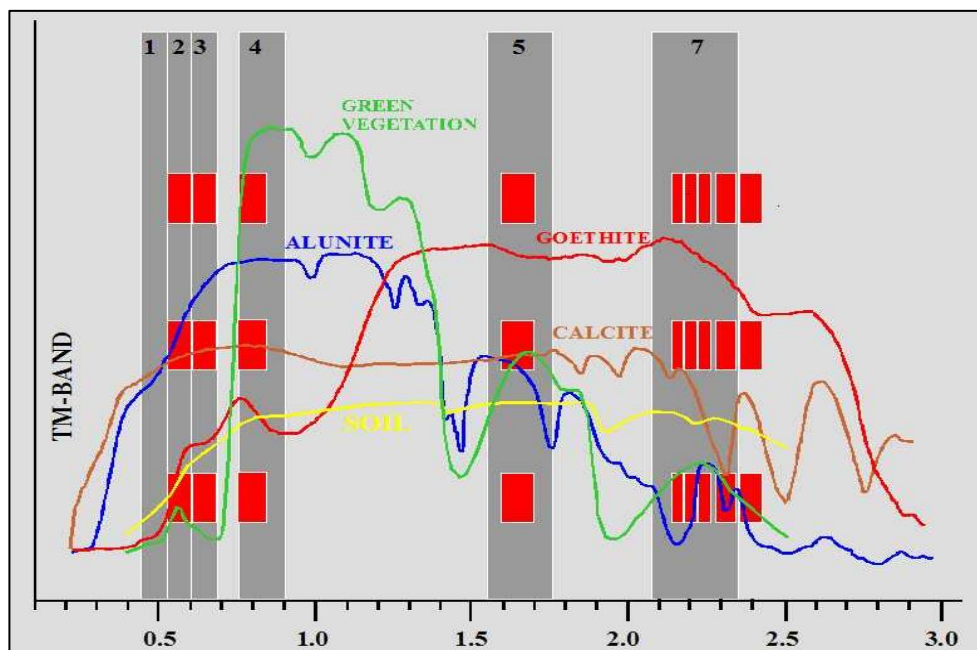
در زیر ویژگی‌های تصاویر سنجنده ASTER آورده شده است (جدول ۲).

جدول ۲: ویژگی تصاویر سنجنده ASTER

Characteristic	VNIR	SWIR	TIR
Spectral Range	Band 1: 0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ Nadir looking	Band 4: 1.600 - 1.700 $\mu\text{m}$	Band 10: 8.125 - 8.475 $\mu\text{m}$
	Band 2: 0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ Nadir looking	Band 5: 2.145 - 2.185 $\mu\text{m}$	Band 11: 8.475 - 8.825 $\mu\text{m}$
	Band 3: 0.76 - 0.86 $\mu\text{m}$ Nadir looking	Band 6: 2.185 - 2.225 $\mu\text{m}$	Band 12: 8.925 - 9.275 $\mu\text{m}$
	Band 3: 0.76 - 0.86 $\mu\text{m}$ Backward looking	Band 7: 2.235 - 2.285 $\mu\text{m}$	Band 13: 10.25 - 10.95 $\mu\text{m}$
		Band 8: 2.295 - 2.365 $\mu\text{m}$	Band 14: 10.95 - 11.65 $\mu\text{m}$
	Band 9: 2.360 - 2.430 $\mu\text{m}$		
Ground Resolution	15 m	30m	90m
Data Rate (Mbits/sec)	62	23	4.2
Cross-track Pointing (deg.)	$\pm 24$	$\pm 8.55$	$\pm 8.55$
Cross-track Pointing (km)	$\pm 318$	$\pm 116$	$\pm 116$
Swath Width (km)	60	60	60
Detector Type	Si	PtSi-Si	HgCdTe
Quantization (bits)	8	8	12
System Response Function	<a href="#">VNIR Chart</a>	<a href="#">SWIR Chart</a>	<a href="#">TIR Chart</a>
	<a href="#">VNIR Data</a>	<a href="#">SWIR Data</a>	<a href="#">TIR Data</a>

[ASTER bands superimposed on model atmosphere](#)

یکی از امتیازات تصاویر ASTER نسبت به ETM قدرت تفکیک طیفی بالای آن مخصوصاً در محدوده های طول موجی مادون قرمز نزدیک می باشد که در تفکیک آلتراسیون ها نقش بسزایی دارد. به منظور مقایسه تفکیک طیفی دو سنجنده مذکور نمودار زیر ارائه شده است. همچنانکه از نمودار زیر پیداست، بیشترین تفاوت ها در محدوده مادون قرمز دیده می شود که سنجنده ASTER علاوه بر افزایش تعداد باندهای طیفی، پهنای باندها نیز کاهش یافته است که همین امر به تفکیک دقیقتر آلتراسیون ها کمک می کند.



شکل ۲: مقایسه قدرت تفکیک طیفی تصاویر ETM و ASTER

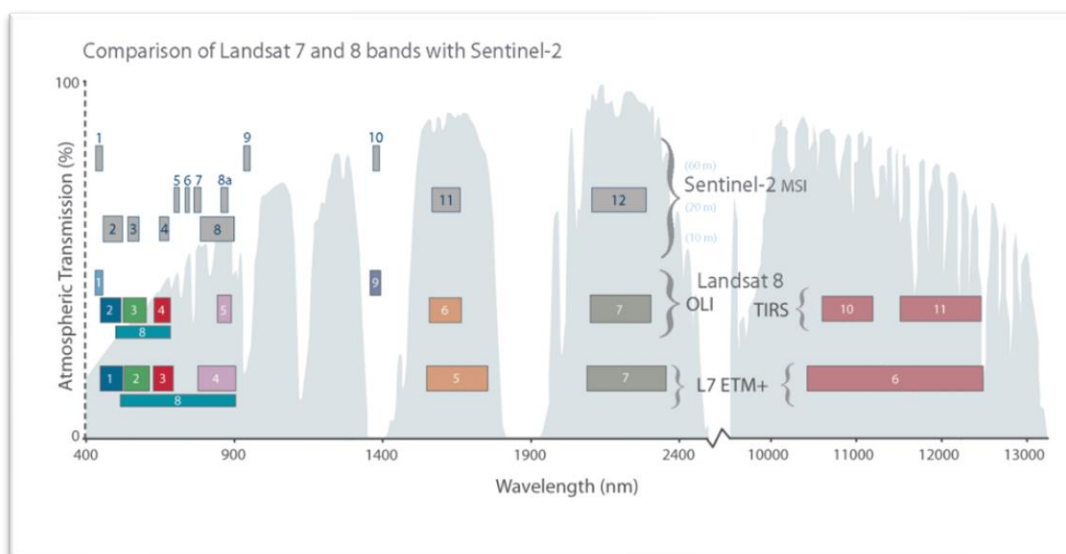
سازمان فضایی اروپا<sup>۱</sup> برنامه کپرنیکوس<sup>۲</sup> رادر قالب ماموریت پایش زمینی سازماندهی کرده است. هدف اصلی این برنامه، پایش زمین با استفاده از داده ها و تصاویر با دقت بالا و بصورت پیوسته می باشد. این برنامه در سال ۲۰۱۴ کلید خورد. آژانس فضایی اروپا هفت ماموریت برای برنامه Sentinel در نظر گرفته است (Sentinel 1,2,3,4,5p,5,6). هر ماموریت Sentinel شامل تصویربرداری راداری و اپتیکی از اقیانوسها، اتمسفر، و زمین است. هر ماموریت Sentinel بر اساس دو ماهواره است بخاطر اینکه بازه زمانی پوشش زمینی را کوتاه تر نماید. ماهواره Sentinel1 بر اساس برداشت تصاویر راداری در شب و روز طراحی شده است. اولین ماهواره Sentinel-1A در آوریل ۲۰۱۴ و ماهواره Sentinel-1B در آوریل ۲۰۱۶ در فضا قرار گرفتند. این ماهواره ها در محدوده C-band، تصویر برداری می کنند. ماهواره های Sentinel-2 تصاویر اپتیکی با دقت بالای اپتیکی را برداشت میکند. Sentinel-2A در ژوئن ۲۰۱۵ و Sentinel-2B در مارس ۲۰۱۷ در مدار قرار گرفتند. در زیر مشخصات فنی ماهواره های Sentinel-2 در زیر ارائه شده است (جدول ۳ و ۴ و شکل ۳).

6. European Space Agency

2. Copernicus Programme

جدول ۳: ویژگی‌های طیفی و مکانی تصاویر Sentinel2

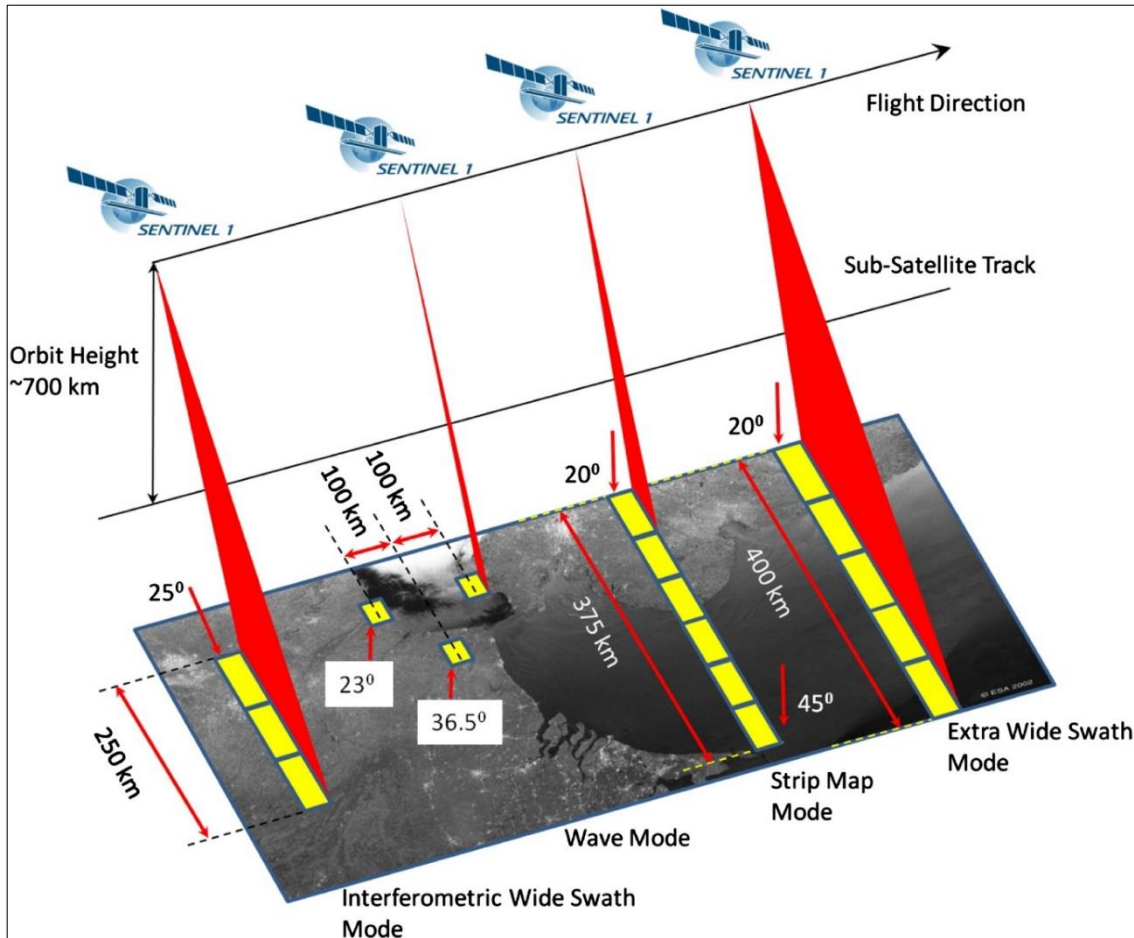
Sentinel- 2 bands	Central wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)
Band 1-Coastal aerosol	0.443	60
Band 2- Blue	0.490	10
Band 3- Green	0.560	10
Band 4- Red	0.665	10
Band 5- Vegetation red edge	0.705	20
Band 6- Vegetation red edge	0.740	20
Band 7- Vegetation red edge	0.783	20
Band 8- NIR	0.842	10
Band 8A- Vegetation red edge	0.865	20
Band 9- Water vapour	0.945	60
Band 10- SWIR- Cirrus	1.375	60
Band 11- SWIR	1.610	20
Band 12- SWIR	2.190	20



شکل ۳: مقایسه محدوده‌های طیفی تصاویر Sentinel2 با تصاویر Landsat7(ETM+) و Landsat8(OLI&amp;TIRS)

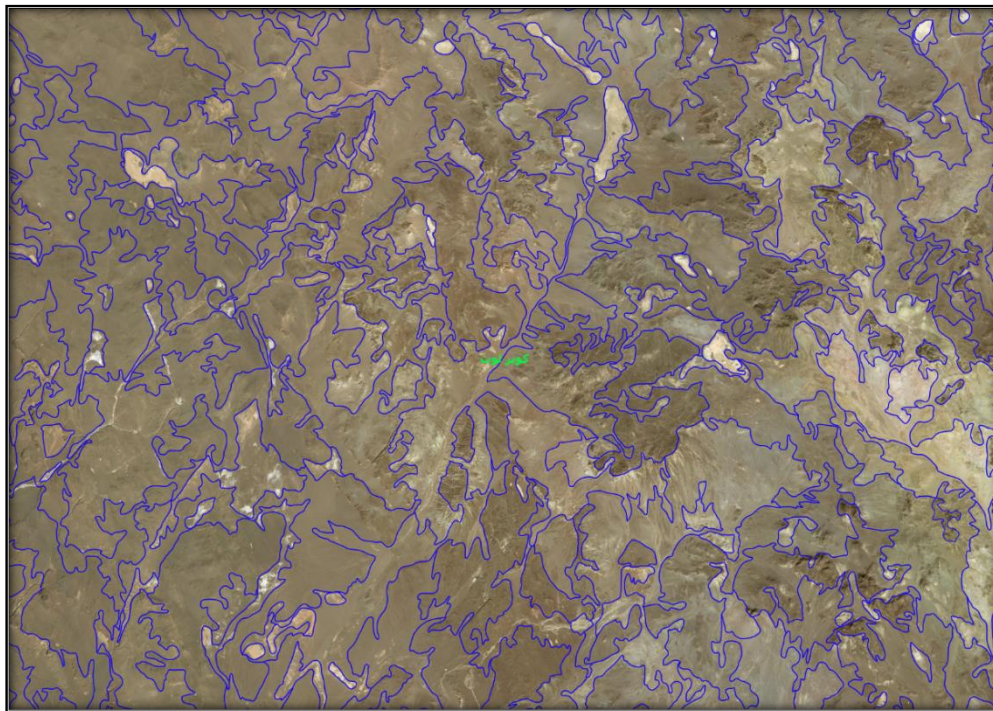
جدول ۴: ویژگی‌های طول موجی (فرکانسی) و مکانی تصاویر Sentinel

Centre frequency	5.405 GHz (corresponding to a wavelength of ~5.5465763cm)
Bandwidth	0-100 MHz (programmable)
Polarisation	HH+HV, VV+VH, VV, HH
Incidence angle range	20°- 46°
Look direction	right
Antenna type	Slotted waveguide radiators
Antenna size	12.3 m x 0.821 m
Antenna mass	880 kg (representing 40% of the total launch mass)
Azimuth beam width	0.23°
Azimuth beam steering range	-0.9° to +0.9°
Elevation beam width	3.43°
Elevation beam steering range	-13.0° to +12.3°
RF Peak power	- 4.368 kW, - 4.075 kW (IW, dual polarisations)
Pulse width	5-100 $\mu$ s (programmable)
Transmit duty cycle	Max 12%, SM 8.5%, IW 9%, EW 5%, WV 0.8%
Receiver noise figure at module input	3 dB
Maximum range bandwidth	100 MHz
PRF (Pulse Repetition Frequency)	1 000 - 3 000 Hz (programmable)
Data compression	FDBAQ (Flexible Dynamic Block Adaptive Quantization)
ADC sampling frequency	300 MHz (real sampling)
Data quantisation	10 bit
Total instrument mass (including antenna)	945 kg
Attitude steering	Zero-Doppler steering and roll steering



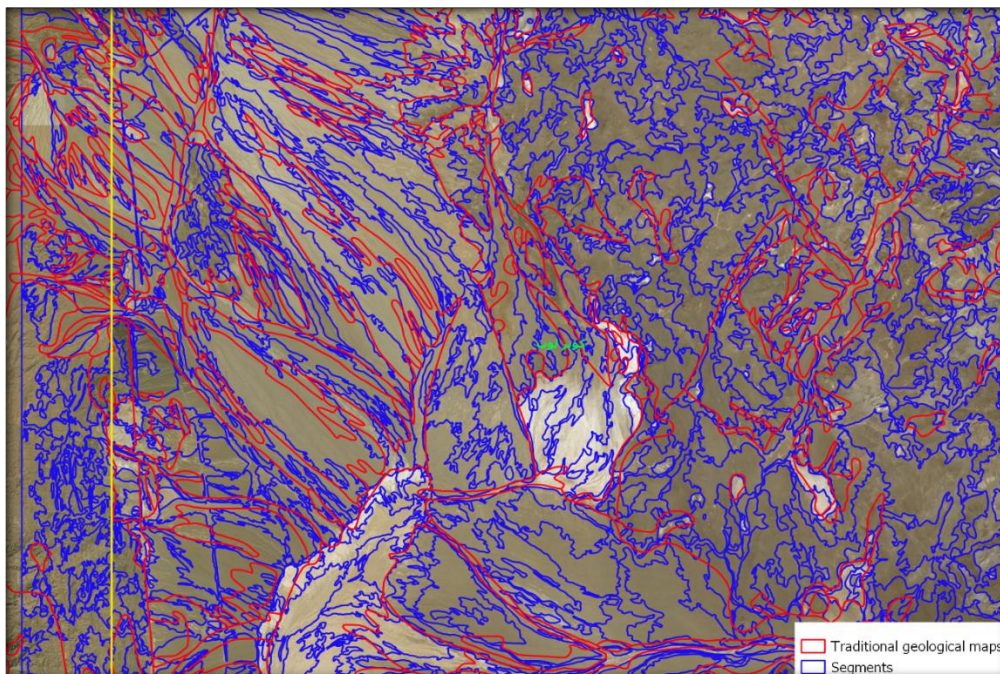
شکل ۴: هندسه تصویربرداری ماهواره Sentinel

در تهیه نقشه‌های زمینی، بطور کلی دو رویکرد پیکسل-پایه (pixel- base) و سوژه-پایه (object- base) وجود دارد. در نوع پیکسل-پایه، واحد پردازش پیکسل می باشد و اطلاعات طیفی پیکسل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله محدودیت‌ها و معایب این روش اینست که با واقعیت‌های زمینی و به تبع آن رفتار آنها سازگار نیست. محدودیت دوم در نوع و تعداد ویژگی‌های مورد استفاده می باشد. در روش‌های پیکسل-پایه، می بایستی ویژگی‌ها هم جنس و از یک منبع باشند (بطور مثال همه ورودی‌ها باندهای طیفی باشند) و این دو محدودیت، استفاده از روش‌های پیکسل پایه را محدود می کند. یکی از چالش‌های ترین زمینه‌های تهیه نقشه‌های زمینی (Land cover)، حوزه زمین شناسی می باشد. این چالش‌ها ناشی از دو مولفه می‌باشد که عبارتند از: تشابه طیفی بسیار بالای واحدهای زمین شناسی و بعضی از واحدها در واقعیت بصری وجود ندارند و بایستی بر اساس تجربه و دیدگاه کارشناسی به شکل مفهومی تعریف شوند. این دو مولفه موجب شده اند که تاکنون روش‌های پیکسل-پایه در زمینه تهیه نقشه‌های زمین شناسی موفقیت چندانی نداشته باشند. در این پروژه، رویکرد تهیه نقشه‌ها بر اساس سوژه-پایه انجام شد.



شکل ۵: نمایش قطعه بندی در برگه کویر لوت

یکی از چالش‌ها و محدودیت‌های روش‌های سنتی تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، عدم یکپارچگی و ناهماهنگی در لبه نقشه‌های مجاور می‌باشد. بزرگترین مزیت تهیه نقشه‌ها در این روش، یکپارچگی نقشه‌ها در کل منطقه و حذف عدم انطباق در حاشیه‌های نقشه می‌باشد. نکته دیگر در خصوص نقشه‌های قدیمی، عدم انطباق بسیار بالای آن‌ها با واحدهای زمینی و حذف بسیاری از جزئیات می‌باشد، موضوعی که در قطعه‌بندی به طور برطرف شده است.



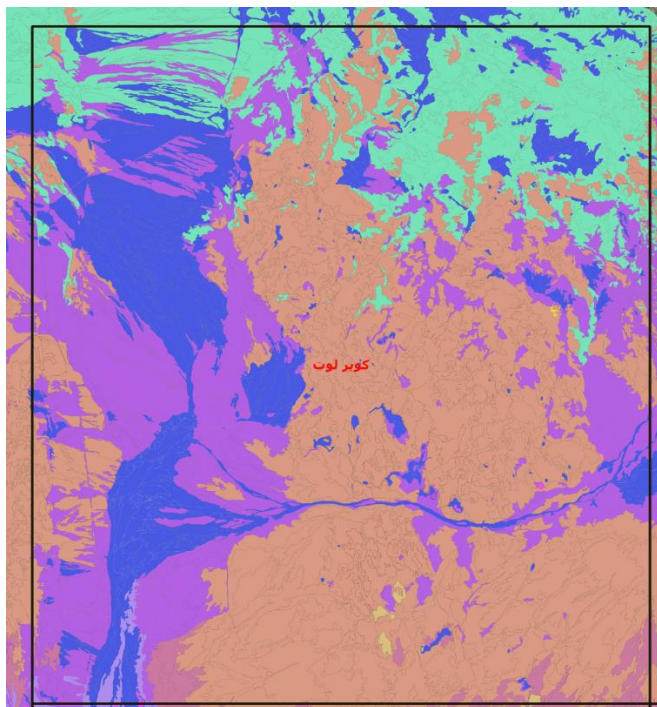
شکل ۶: نمایی از هم‌سنجی بین قطعه‌بندی و نقشه‌های قدیمی در برگه کویر لوت

دومین مرحله بعد از اجرای قطعه‌بندی، خوشه‌بندی قطعات می‌باشد. خوشه‌بندی به منظور رسیدن به کلاسهای اولیه از منطقه و تعیین میزان تفکیک‌پذیری واحدهای اولیه می‌باشد. در واقع این پروسه به عنوان بخشی از فرایند تهیه نقشه، گریز ناپذیر است. برای اجرای فرایند خوشه‌بندی، از تعداد منابعی از ویژگی‌ها با مقیاس‌ها و منابع مختلف استفاده گردید. در جدول زیر لیست این ویژگی‌ها آورده شده است. تعیین تعداد خوشه‌ها نقش بسزایی در تعیین واحدهای اولیه زمین‌شناسی ایفا می‌کند و باید مبتنی بر دانش کارشناسان و مطالعات میدانی باشد. خروجی این مرحله بعنوان راهنمای کارشناسان برای بازدید اول قرار می‌گیرد. بعبارت دیگر این نقشه اولیه، هم به شفاف‌سازی و ارائه دیدگاه اولیه کارشناسی کمک می‌کند و هم به کمک کارشناسان، برخی از دسته‌بندی‌ها کاهش یا افزایش می‌یابند. در این مرحله ارتباط تنگاتنگی بین مطالعات میدانی و دفتری برقرار می‌شود و در اکثر مواقع با هماهنگی طرفین، تعداد خوشه‌ها بهینه می‌گردد. در این مرحله، حتی خیلی از خوشه‌ها دارای هویت زمین‌شناسی شده و برای آن‌ها برچسب زمین‌شناسی تهیه می‌شود. در طول فرایند بازدید اولیه میدانی، اطلاعات کارشناسان به متصدی پردازش تصویر منتقل می‌شود و بر اساس این اطلاعات، تعداد خوشه‌ها و کم و کیف ویژگی‌های مورد استفاده، بهینه می‌شوند. در پایان این مرحله، تا حدود خیلی زیادی، تعداد و نوع واحدهای زمین‌شناسی تثبیت می‌شوند و آمادگی برای فرایند طبقه‌بندی و استخراج کلاس‌های نهایی ایجاد می‌شود.

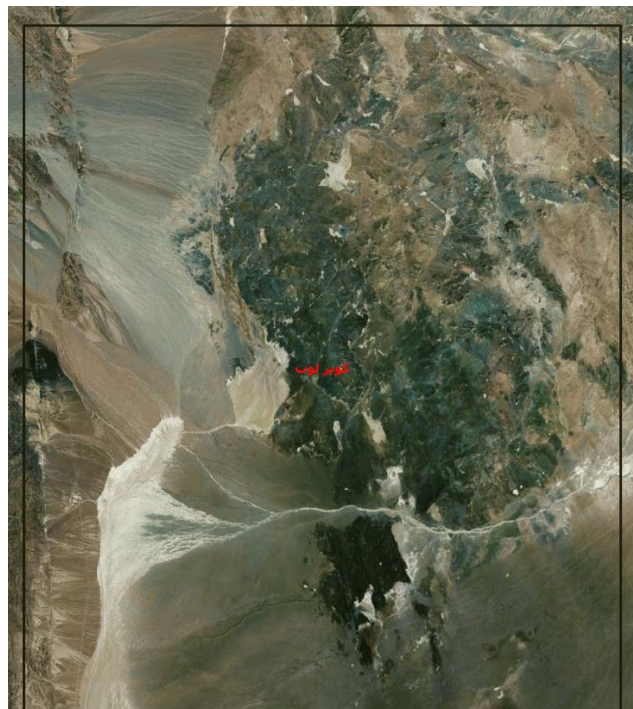
جدول ۵: ویژگی‌های مورد استفاده در خوشه بندی قطعات

ردیف	منبع مورد استفاده	داده های مورد استفاده	ویژگیهای استخراج شده و مورد استفاده	تعداد نهایی ویژگیهای مورد استفاده
۱	Sentinel 1(Radar)	باندهای پلاریزاسیون VV, VH	استخراج سه پارامتر آماری مینیمم، ماکزیمم، و میانگین از هر باند (مجموعاً ۶ ویژگی)	۶ ویژگی
۲	Sentinel 2(MSI)	تعداد ۹ باند ۱۰ و ۲۰ متری	استخراج ۱۲ شاخص زمین شناسی شامل داسیت، داسیت-آندزیت، ایگنمیریت-لاوا، کلوت ۱ و ۲، سنگ آهک، ماسه بادی، ماسه های تبخیری، شیل، سیلت، و تراورتن	۱۲ شاخص زمین شناسی (میانگین مقادیر برای قطعات) بعلاوه ۹ باند طیفی در مجموع ۲۱ ویژگی
۳	Landsat8(OLI)	تعداد ۶ باند طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز با دقت زمینی ۳۰ متری	از تعداد ۶ باند، میانگین مقادیر طیفی برای قطعات استفاده گردید	۶ ویژگی
۴	ASTER	تعداد ۵ باند حرارتی مورد استفاده قرار گرفت	از باندهای حرارتی، گسیلمندی سطحی (Emissivity) استخراج گردید	تعداد ۵ ویژگی (میانگین ویژگیها برای قطعات)
۵	DEM From SRTM satellite	اطلاعات ارتفاعی	Slope, Aspect, Hillshade, Profile&Plan convexity	تعداد ۶ ویژگی (میانگین ارتفاعی و ۵ ویژگی استخراج شده)
۶	قطعات	پارامترهای شکل	Asymmetry, Border Index, compactness, main direction, Elliptic, Density, Roundness	هفت ویژگی برای قطعات استفاده شد
۷	مجموع	۲۴		۵۱

همچنان که در شکل های ۷ و ۸ دیده می شود، با استفاده از خوشه بندی، یک دسته بندی و شناخت اولیه از واحدهای زمین شناسی به دست می آید.



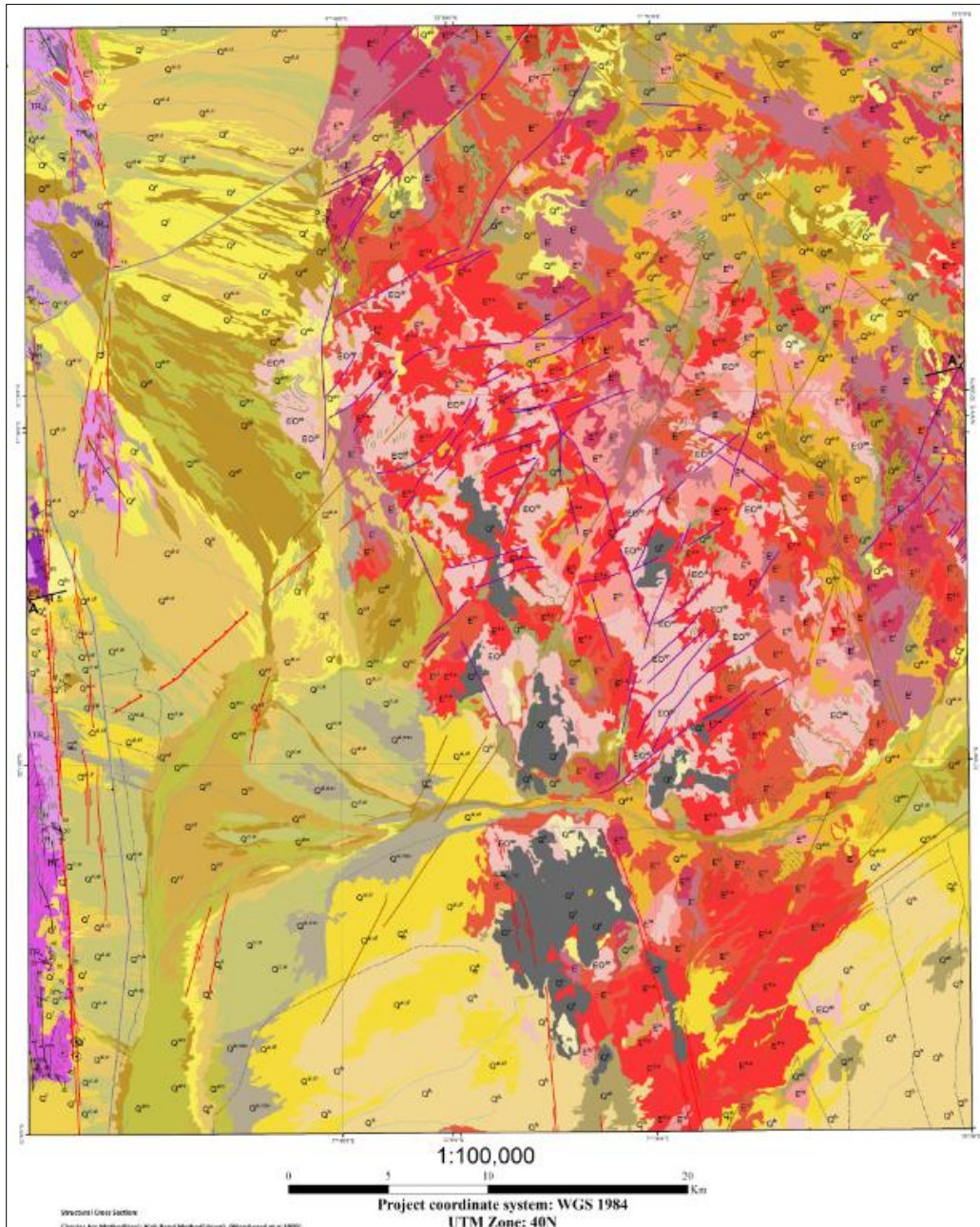
شکل ۸: نتیجه خوشه بندی و پردازش در برگه کویر لوت



شکل ۷: تصویر سنجنده OLI مربوط به لندست ۸ از برگه کویر لوت

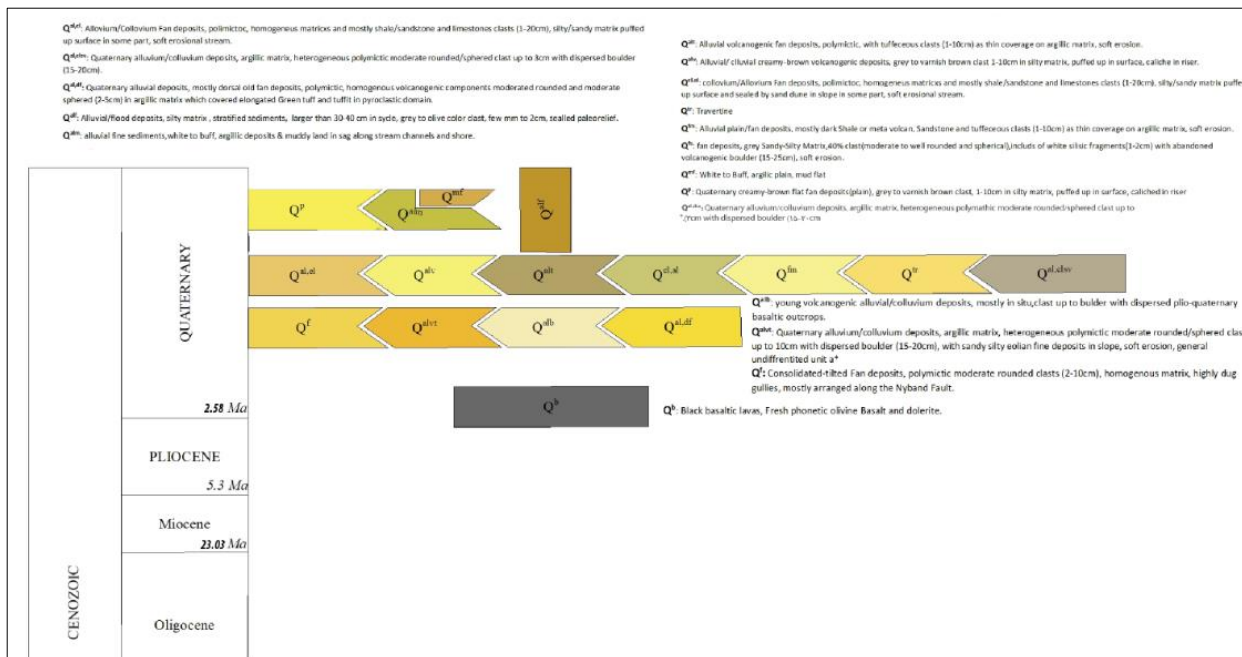
(ترکیب باندی ۲-۴-۹)

همچنان که در مقدمه پردازش تصاویر ماهواره ای اشاره گردید، یکی از مهمترین مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای، الگوریتم خوشه‌بندی می‌باشد. انواع روشهای آماری، ریاضی و هوشمند خوشه‌بندی وجود دارد که همگی به عنوان روش‌های داده‌کاوی در نظر گرفته می‌شوند. در این پژوهش تمامی شاخص‌های تصاویر Landsat8 و Sentinel-2 (تصاویر PCA)، اطلاعات پردازش شده تصاویر راداری Sentinel-1، و تصویر Hillshade سنجنده SRTM، به عنوان ورودی اولیه به سیستم خوشه‌بندی وارد شدند که در ادامه با اطلاعات زمینی و استخراج شاخص‌های حقیقی مبتنی بر نمونه‌برداری میدانی بازآرایی و بازپردازش شدند. برای خوشه‌بندی تصاویر ورودی از الگوریتم WEKA که از جمله روش‌های یادگیری ماشین است، استفاده گردید. تعداد کلاس‌ها با نظر تیم کاری و بر اساس سعی و خطا بهینه شد با این توضیح که ابتدا ۲۵ خوشه انتخاب گردید و پس از بررسی‌های اولیه به ۳۵ کلاس و نهایتاً ۴۰ کلاس نهایی گردید. نوع تصاویر ورودی نیز بر اساس تحلیل حساسیت و حذف و اضافه کردن متغیرها بهینه گردید. نقشه زیر پس از خوشه بندی و تصحیحات کارتوگرافیکی نهایی گردیده است (شکل ۹ و ۱۰).



شکل ۹: نمایی از برگه زمین شناسی لوت (تهیه شده بر پایه شیوه نامه نقشه های سرور پایه ، نسل دوم) در مقیاس

۱:۱۰۰۰۰۰

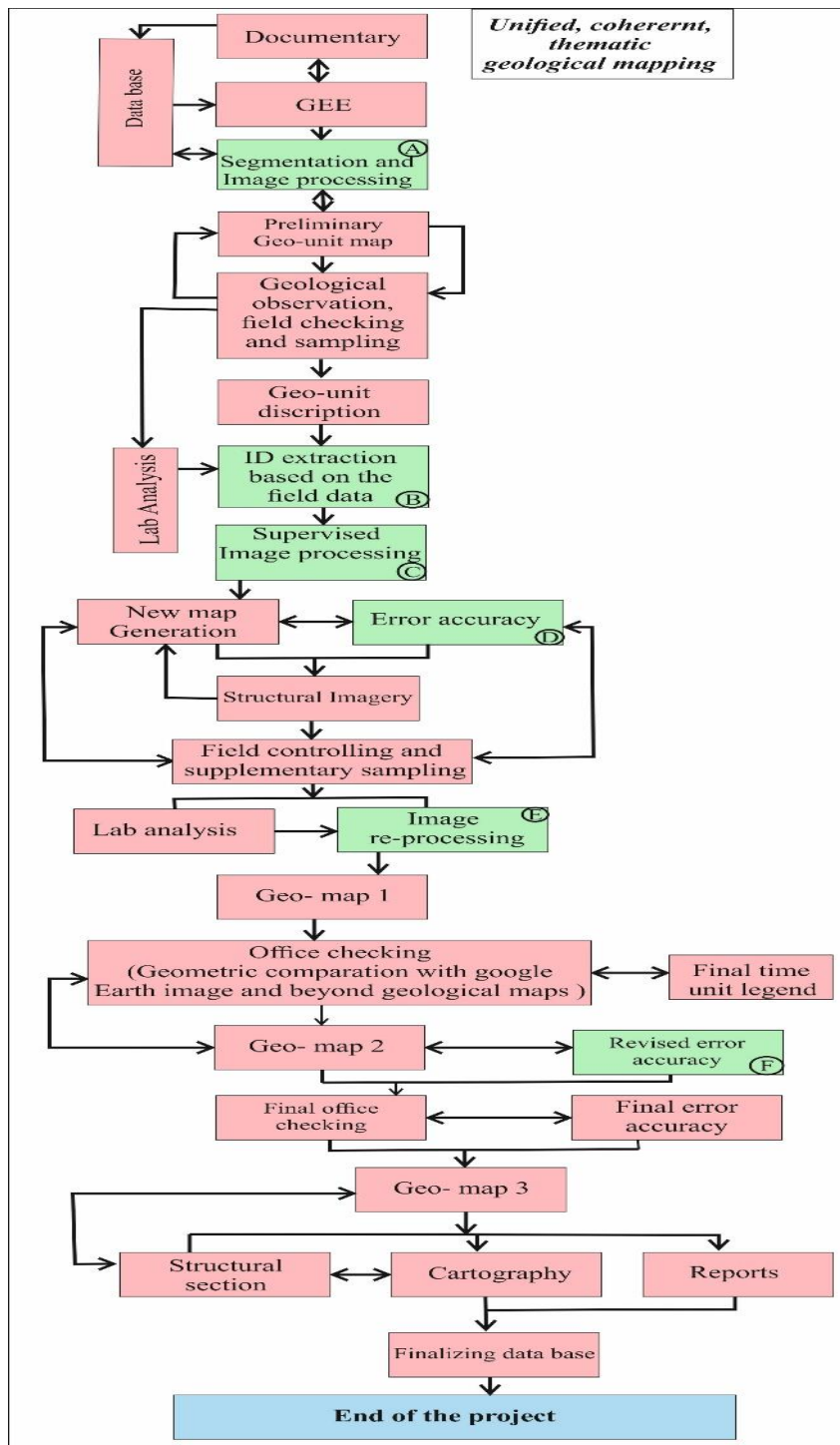


شکل ۱۰: برشی از نمای نزدیک نژاند و شرح واحدهای کواترنری در نقشه زمین شناسی لوت (۱:۱۰۰۰۰۰)

## نتیجه گیری

فرایند و کیفیت تولید نقشه های موضوعی یکپارچه سرورپایه در وابستگی مطلق به داده های ورودی، چه داده های از پیش موجود و چه داده های تولیدی در مسیر فرایند مطالعات زمین شناختی می باشد. انتخاب پلاتفرم مناسب پردازش اطلاعات، داده های طیفی و راداری تصاویر ماهواره ای و حتی بهره گیری از عکس های هوایی متناسب با مقیاس مورد نظر در تهیه و بالابردن دقت نقشه اولیه نقشی بسزا و انکار ناشدنی را داراست. طبیعی است دست یابی به بیشینه دقت نهایی مورد نظر و ممکن در فرایند راستی آزمایی با تکرار مرحله ای مشاهدات میدانی و نمونه برداری و البته تلفیق چندباره آن با نتایج آزمایشگاهی فراهم می آید. باز پروری و بهینه سازی داده های سنی، سنگ شناختی و ژئوشیمیایی هر واحد سنگی تفکیک شده، افزون بر بهره گیری از اطلاعات مستدل و قابل اعتنای منتشر شده از تلفیق داده های آزمایشگاهی برآمده از نمونه برداری های صورت گرفته در مراحل چند گانه کنترل میدانی بدست خواهد آمد. راستی آزمایی میدانی بر پایه نقشه پایه، امکان دسترسی و مشاهده هدفمند یک یا چند باره هر واحد سنگی تفکیک شده حاصل از فرایند پردازش داده ها و تصویرمکان محور ماهواره ای را نه تنها در گستره چهار گوشه نقشه، که فراتر از آن در پهنه پوششی به دست می دهد.

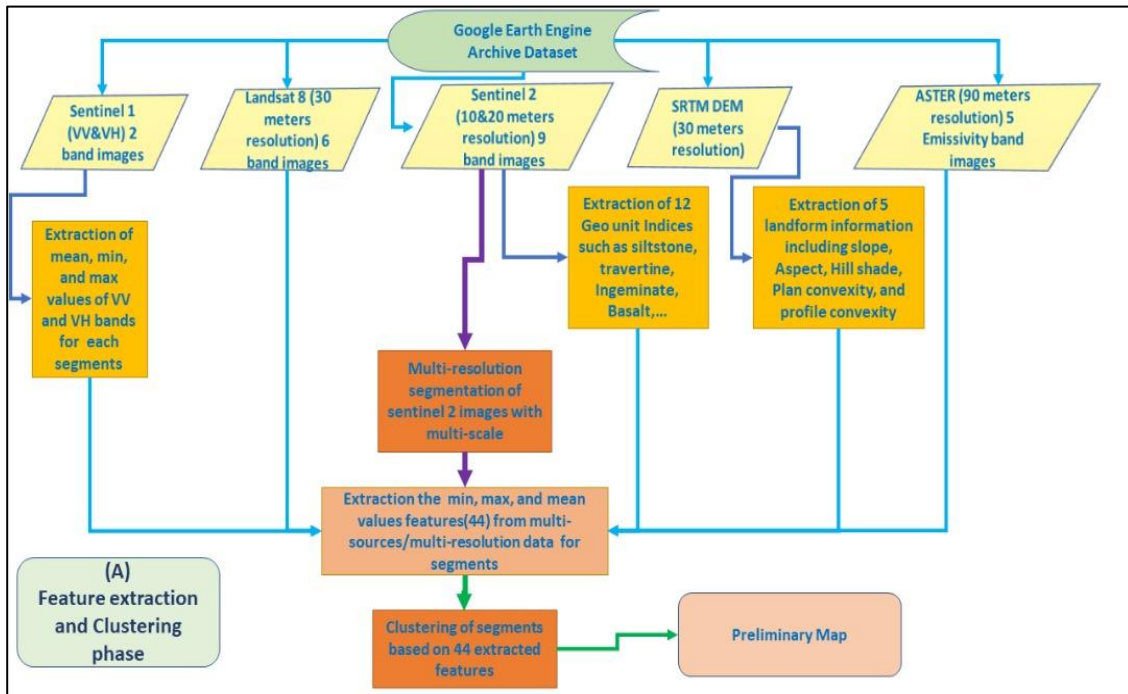
ماهیت پردازش لایه لایه و چند باره اطلاعات مکانی و تلفیق برخط آن با داده های از پیش موجود چه در گستره ی هدف و چه در مناطق پیرامونی از جمله مواردی است که متناسب با میزان و دقت داده های بکار گرفته تعیین کننده ضریب عدم قطعیت نهایی می باشد. انجام این فرایند دقت و عدم قطعیت نقشه های زمین شناسی نسل دوم سرورپایه را نه تنها از ضریبی کیفی (حدس و گمان) به کمی ارتقا می دهد، که ضریب خطای هر واحد را نسبت به واحد پیرامونی تعیین می نماید. پر واضح آنکه بهر حال در پایان این مرحله نه تنها امکان ویرایش و اصلاحات چشمی (دستی) نقطه به نقطه نقشه در هم سنجی با تصاویر ماهواره ای و هوایی با دقت بالاتر فراهم می باشد، که لازم می نماید. در مطالعات پیش روی میانه ضریب خطا و عدم قطعیت پیش از اعمال ویرایش های چشمی کمتر از ۲۰٪ و پس از انجام تصحیحات در هم سنجی نقطه به نقطه با تصویر ماهواره ای دقت بالا به زیر ۷٪ ارتقا یافت. تردیدی نیست که میزان دقت و ضریب عدم قطعیت نهایی در گرو دقت و وضوح داده های ورودی، کمیت و کیفیت برداشت های میدانی و در پایان ویرایش موردی نقشه متناسب با مقیاس خروجی نقشه هدف می باشد.



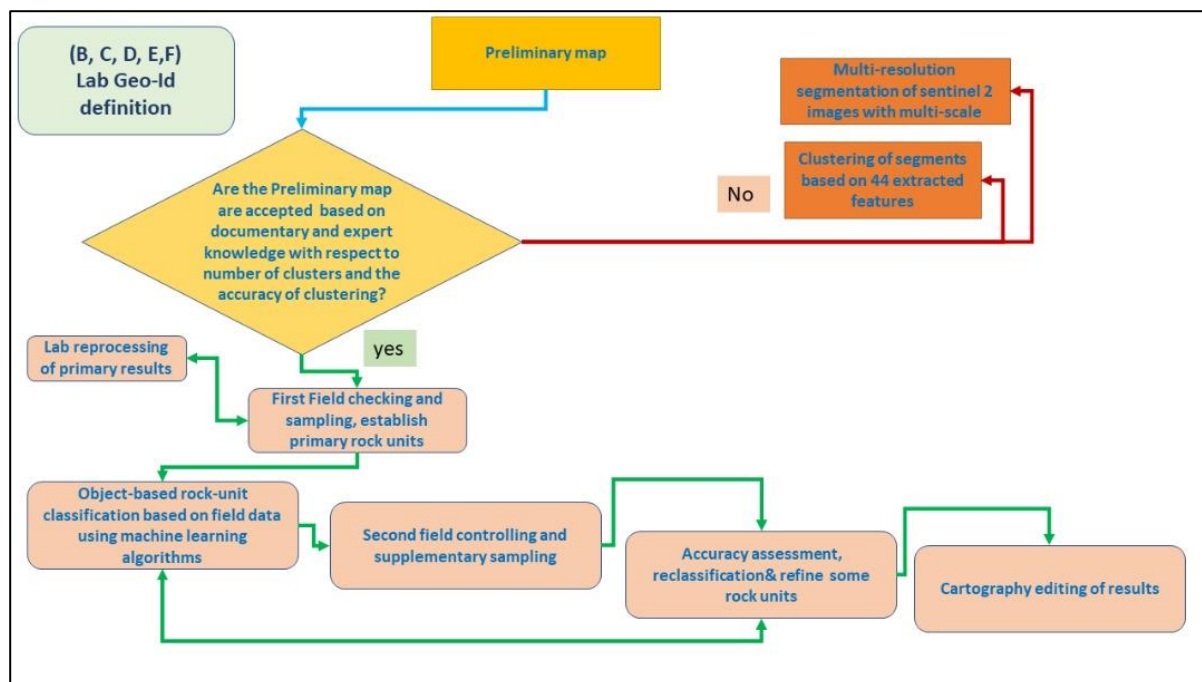
شکل ۱۳: فلوجارت و درخت منطقی ارتقا یافته تهیه نقشه های موضوعی سرور پایه بر اساس بهره گیری از پلاتفرم

پردازشی

GEE (Google Earth Engine) ، حروف A-B-C-D-E & F پنجره ای است بر فلوچارت با نمای نزدیک در جزئیات از مراحل پردازش داده های تصویری در فرایند تولید نقشه از ابتدا تا پایان، در این مدل انتخاب نوع تصاویر ماهواره ای اشاره شده در فلوچارت متناسب با دقت مورد نیاز برای تهیه نقشه های زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انجام شده است. بدیهی است در تهیه نقشه های موضوعی سرورپایه (نقشه های نسل دوم) متناسب با اهمیت راهبردی اطلاعات تولیدی و ضریب حساسیت و یا محرمانگی! آنها، امکان بهره وری از پلاتفرم های اختصاصی (بومی) و تصاویر ماهواره ای با وضوح و دقت مکانی بالاتر در همین فلوچارت با چیدمان یکسان فراهم می باشد.



شکل ۱۴: نمای نزدیک از فلوچارت و نقشه راه فرایند پردازش داده در تولید نقشه پایه



شکل ۱۵: نمای نزدیک از فلوجارت و نقشه راه فرایند پردازش چند باره داده ها در تلفیق با داده های میدانی و آزمایشگاهی در

#### تولید نقشه نهایی

در نقشه های زمین شناسی برای بیان اطلاعات سطح نقشه در قالب و چهره لژاند با تقسیم بندی و چیدمانی چینه شناختی که قدیمی ترین آنها در پایین و جوانترین آنها در بالا است، از مقیاس زمان زمین شناسی استفاده می شود. ستون های چینه شناسی نمای گرافیکی جانشینی عمودی سنگ های رسوبی و آتشفشانی در زمان رسوب گذاری آنها هستند. طرح کلی روابط چینه شناسی به طور مفهومی موقعیت نسبی هر واحد نقشه نگاری را نسبت به سایر واحدها و همچنین با توجه به ساختارهای زمین شناسی بیان می دارد. آنها ایده ای درباره جانشینی رویدادهای زمین شناسی و رابطه بین آنها ارائه می دهند و اطلاعات بیان شده در لژاند واحدهای به نقشه درآمده را تکمیل می کنند. در این پروژه با هدف فراهم آوردن شیوه نامه و پروتوکل تهیه نقشه های نسل دوم زمین شناسی، از آنجا که پروتوکل نوین در تهیه نقشه های یکپارچه و سرورپایه به آورنده اطلاعات زمین شناختی در تلفیق داده های چینه نگاری با داده های سن سنجی مطلق از هم سنجی و هم ارزی ناحیه ای زمانی- سنگی است. چیدمان واحدهای زمین شناسی تفکیکی بصورت چینه ای- زمانی سازماندهی شده است. با توجه به فراین هم سنجی و هم ارزی داده های سنی مطلق بکاررفته در این پروژه، از ساختار لژاند در این پروژه با آرایش زمان پایه واحد ها در شمار لژاند (Time- Rock Unit) بشمار می رود. بنابراین پر بیراه نیست، اگر طراحی و اجرای مطالعات چند منظوره زمین شناسی سرورپایه لوت باختری را نقطه همگرایی و ارتقا ساختاری بخش های تخصصی کشور بدانیم.

پژوهش انجام شده همگام با آخرین استانداردهای بین‌المللی دستاوردهای علمی روزآمد برآورنده چهار گام عملیاتی در هوش مصنوعی در حوزه **Machin Learning** بشرح زیر می‌باشد:

#### انتقال یادگیری (Transfer Learning)

یادگیری انتقالی یک روش یادگیری ماشینی است که در آن از مدلی که برای یک کار توسعه یافته است به عنوان نقطه شروع برای یک مدل در دستور کار دوم استفاده می‌شود.

#### • آموزش‌های کوتاه و پیاپی (Few Shot Learning)

یادگیری چند مرحله‌ای، تغذیه و بارگذاری یک مدل یادگیری با مقدار بسیار اندک از داده‌های آموزشی، برخلاف روش‌های معمول که در وابسته به استفاده کمی و زیادی تعداد داده ورودی است.

#### • یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning)

هوش مصنوعی، آموزش ماشین و شبکه‌های عصبی، از جمله عبارات و اصطلاحاتی هستند که می‌توانند تخیل شما را در مورد آینده‌ای که ربات‌ها در آن به عنوان موجوداتی در حال تکامل و صاحب اندیشه هستند فعال و پویا می‌نمایند.

#### • یادگیری متا (Meta Learning)

فراگیری یا آموزش یادگیری، علم مشاهده روشمند در عملکرد شیوه‌های مختلف هوش مصنوعی در گستره وسیعی از وظایف و اهداف یادگیری همزمان با بکارگیری این تجربه یا فرا داده برای یادگیری و اجرای عملیات جدید، بسیار تندتر از آنچه پیش از این ممکن بوده است می‌باشد.

**منابع:**

- نظری، ح.، ۱۴۰۰. تهیه و تدوین پروتکل عملیاتی مطالعاتی تهیه نقشه های سرور پایه زمین شناسی و اکتشافی. طرح پژوهشی شماره ۱۰۷-ط-پ-۹۹ (گزارش و نقشه)، پژوهشکده علوم زمین، ۲۳۷ رويه.
- Abdullateef, L., Tijani, M. N., Nuru, N. A., John, Sh., Mustapha, A., 2021. Assessment of groundwater recharge potential in a typical geological transition zone in Bauchi, NE-Nigeria using remote sensing/ GIS and MCDA approaches. *Heliyon* (7) e06762, 1-14 p
- Ali- Bik, M. W., Elmagd, K. A., Bakry, A. R., Taha, M. M. N., 2022. Lower Eocene shale, south- west Aswan, Egypt: Remote sensing analysis, geological investigations and innovative utilization of Ca- bentonite. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 25, 337-347 p.
- Ali- Bik, M. W., Sadek, M. F., Hassan, S. M., 2022. Basement rocks around the eastern sector of Baranis- Aswan Road, Egypt: Remote sensing data analysis and petrology. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 25, 113-124 p.
- Asran, A. M., Hassan, S. M., 2021. Remote sensing- based geological mapping and petrogenesis of Walid Khuda Precambrian rocks, South Eastern Desert of Egypt with emphasis on leucogranite. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 24, 15-27 p.
- Cracknell, M. J., Reading, A. M., 2014. Geological mapping using remote sensing data: A comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information. *Computers & Geosciences* 63, 22-23 p.
- Ding, W-C., Li, T-D., Chen, X-H., Chen, J-P., Xu, Sh- L., Zhang, Y-P., Li, B., Yang, Q. 2020. Intra-continental deformation and tectonic evolution of the West Junggar Orogenic Belt, Central Asia: Evidence from remote sensing and structural geological analyses. *Geoscience Frontiers* 11, 651-663 p.
- ElGalladi, A., Araffa, S., Mekkawi, M., Abd-ElHai, M. 2022. Exploring mineralization zones using remote sensing and aeromagnetic data, West Allaqi Area, Eastern- Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 25, 417-433 p.
- Gabr, S., Ghulam, A., Kusky, T., 2010. Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data. *Ore Geol. Rev.* 38, 59-69.

- Gabr, S.S., Hassan, S.M., Sadek, M.F., 2015. Prospecting for new gold-bearing alteration zones at El-Hoteib area, South Eastern Desert, Egypt, using remote sensing data analysis. *Ore Geol. Rev.* 71, 1–13.
- Ghoneim, S.M., Yehia, M. A., Salem, S. M., Ali, H. F. 2022. Integrating remote sensing data, GIS analysis and field studies for mapping alteration zones at Wadi Saqia area, central Eastern Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 25, 323-336 p.
- Hassan, S.M., Ramadan, T.M., 2015. Mapping of the late Neoproterozoic Basement rocks and detection of the gold-bearing alteration zones at Abu MarawatSemna area, Eastern Desert, Egypt using remote sensing data. *Arab. J. Geosci.* 8, 4641–4656.
- Nazari, H., Karami, J., Arefipour., 2022. The server based unified thematic Geological mapping cloud computing, Approach: deep machine learning. GIER, 14-15 December, Muscat- Oman
- Nazari, H., Karami, J., Arefipour, S., Aghaali, E., 2022. The server based unified thematic Geological mapping in cloud computing. AAPG Europe Regional Conference 3-4 May, Budapest
- Niu, S- D., Guo, J., Xing, G-F., Huang, Zh- Q., Wu, H-Y., Fan, F- P. 2020. Magmatism, geological setting, alteration, and metallogenic potential of Donghua area, Dehua County, Fujian Province, Southeast China: Insights from porphyry zircon U-Pb and Pyrite Rb- Sr geochronology, geochemistry. *Ore Geology Reviews* 126, 103726
- Okpoli, C. Ch., Ogbole, J. O., Victor, O. A., Okanlawon, G. O. 2022. Mineral exploration of Iwo-Apomu Southwestern Nigeria using aeromagnetic and remote sensing. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 25, 371-385 p
- Ondieki, J. O., Mito, C. O., Kaniu, M. I., 2022. Feasibility of mapping radioactive minerals in high background radiation areas using remote sensing techniques. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 107, 102700
- Zhang, X., Pazner, M., Duke, N., 2007. Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). *Photogramm. Remote Sens.* 62, 271–282.