مطالعات زمین‌شناسی و ارزیابی‌های معدنی با تکیه بر داده‌های حاصل از بررسی‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی

سوده صدیقیان[۱]

[*۱] -گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ایران
ysedighian@yahoo.ca

چکیده

نقشه‌برداری و تخمین ویژگی‌های قابل استناد زمین‌شناسی یک منطقه در ارزیابی و مدیریت ذخایر معدنی آن محدوده ضروری است. روش‌های قدیمی دستیابی به این اطلاعات نیازمند بررسی‌های صحرایی است که دارای محدودیت‌های قابل توجهی است. استفاده از داده‌های دورسنجی چندطیفی به دلیل در دسترس بودن و هزینه‌های پایین آنها در مطالعات زمین‌شناسی، اکتشاف کانی‌ها و به نقشه درآوردن آلتراسیون‌ها از طرف مهندسین اکتشاف از اولویت برخوردار است. در این پژوهش با بررسی مقالات متعدد در ارتباط با سنجش از دور (RS: remote sensing) و استفاده از GIS (geographic information system) مشخص گردید که این نرم‌افزارها تا حد زیادی می‌توانند ابهامات موجود در زمینه زمین‌شناسی و معدن شامل نقشه‌برداری زمین‌شناسی، زمین‌شناسی ساختاری، طبقه‌بندی سنگ-شناسی، زمین‌شناسی اکتشافی، ارزیابی تغییرات، استخراج ذخایر معدنی و نظارت بر پیامدهای زیست محیطی معدن را برطرف نمایند. در نهایت مناسب بودن این روش‌ها برای ایجاد تمایز میان سنگ‌ها و نشانه‌های طیفی کانی‌ها و همچنین مدیریت داده‌های مختلف مرتبط با زمین شناسی و معدن مورد تایید می باشد.

واژه‌های کلیدی

سنجش از دور، GIS، زمین‌شناسی، ارزیابی های معدنی.

مقدمه

منابع معدنی قابل بهره‌برداری در هر کشور منجر به موفقیت‌های اقتصادی روزافزون آن کشور می‌گردد؛ زیرا مواد اولیه ضروری برای بخش تولید را فراهم می‌آورد. بهره‌برداری تدریجی از مواد معدنی اغلب به وجود آورنده بسیاری از مسائل اقتصادی، فنی و اکولوژیکی [۱] است. این امر معمولاً تأثیر منفی بر چشم‌انداز، پوشش گیاهی، کشاورزی و خاک دارد. همچنین باعث آلودگی، رواناب سطحی، تغییرشکل زمین، تخلیه پساب و انباشت زباله و غیره می‌گردد [۲].

به طورکلی سیستم‌های معمول توسعه و مدیریت مواد معدنی داده‌های مطلوب و کافی در اختیار محققان قرار نمی‌دهد. داده‌های صحرایی نیز خصوصاً برای بخش معدنی مدرن کافی نیست. لذا روش-های مبتنی بر تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای ابزارهای عملی مفیدی برای نقشه‌برداری از منابع زمین [۳] و نیز بخش معدنی هستند [۴].

داده‌های ماهواره‌ای قابلیت‌های انسان را برای تصویربرداری و نقشه‌برداری از سطح زمین به طور گسترده‌ای بهبود بخشیده است. داده‌هایی چون تغییرات جهانی، علوم زمین‌شناسی محیطی، کیفیت آب و هیدرولوژی، اکتشافات معدنی و نفت، خطرات آتشفشانی، زلزله، سیل و نقشه‌برداری دقیق در مناطق با اهمیت و دورافتاده از این طریق با سهولت بیشتری در اختیار پژوهشگران قرار می‌گیرد.

سنجش از دور و پردازش تصاویر راهی برای مطالعه عکس‌ها و یا تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی پدیده‌های مختلف است که در مقام مقایسه با بررسی‌های صحرایی، یک روش کم هزینه، پرکاربرد و زود بازده برای جمع‌آوری اطلاعات از مناطق دور از دسترس است [۵]. سنجش از دور (RS) اطلاعات زمین را با استفاده از حسگرهای هوابرد یا فضابرد بدون هیچگونه تماس فیزیکی بین سنجنده‌ها و هدف یا شی مورد نظر جمع‌آوری می‌کند. برای این منظور پرتوهای الکترومغناطیسی وسیله انتقال اطلاعات هستند. این در حالی است که، سیستم RS، تشعشعات الکترومغناطیسی منعکس یا ساطع شده از زمین یا هر هدف دیگری که در دید سنجنده قرار می‌گیرد را شناسایی و ثبت می‌کند.

سیستم‌های RS بر دو نوعند که توسط انرژی الکترومغناطیسی استفاده شده توسط سنجنده‌ها تفکیک می‌شوند. نوع اول، "سنجنده-های غیرفعال" هستند که از منابع انرژیی استفاده می‌کنند که از زمین یا شی هدف ساطع یا منعکس می‌شود. نوع دوم، "سنجنده‌های فعال" هستند که خود انرژی الکترومغناطیسی تولید می‌کنند. بر این اساس RS شامل ماهواره‌ها، عکاسی و فتوگرامتری، حرارت، رادار و LiDAR است. سنجنده‌های RS به واسطه خصوصیات ویژه یا قدرت تفکیک خود شناخته می‌شوند. به طورکلی، چهار نوع قدرت تفکیک

در سنجنده‌ها شامل قدرت تفکیک طیفی، مکانی، رادیومتری و زمانی است [۶].

تصاویر Landsat و ASTER رایج‌ترین محصولات مورد استفاده در RS در مباحث زمین‌شناسی و معدن می‌باشند. این تصاویر شواهد روشن و قابل استنادی در مورد سنگ‌شناسی، ترکیب سنگ و یا دگرسانی سنگ‌ها در محدوده مورد مطالعه به دست می‌دهند و در نتیجه با شناسایی کانی‌های شاخص ذخائر معدنی نظیر ذخائر اپی-ژنتیک در کشف مناطق معدنی ارزشمند موثر خواهد بود. سنجش از دور به طور خاص در شرایط اکولوژیکی ویژه که بررسی مستقیم دشوار است، مانند قطب جنوب، به دلیل دور از دسترس بودن و واحدهای سنگ‌شناسی ضعیف، مناسب است [۷].

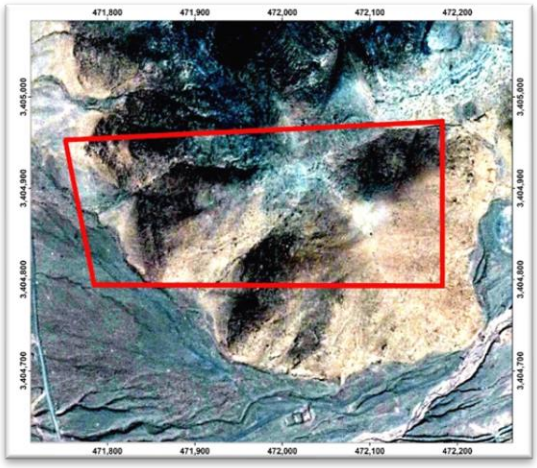
سنجنده آستر یک سنجنده چندطیفی با ۱۴ باند، در سه بخش طول موج‌های مرئی، فروسرخ موج کوتاه و گرمایی است و به خوبی توانسته است نیازهای پژوهشگران را در این زمینه برآورده کند. شش باند طیفی SWIR در سنجنده آستر برای طول موج‌های فروسرخ کوتاه، دارای قدرت تفکیک زمینی ۳۰ متر هستند [۸]. روش نقشه-برداری زاویه طیفی (SAM) نیز از روش‌های مرسوم رده‌بندی نظارت شده است که با کمترین اختلاف زاویه طیفی پیکسل‌ها، موقعیت کانی‌ها را در تصویر مشخص می‌کند. از مزیت‌های این روش شناسایی دقیق نوع و محل کانی‌ها و گسترش و شدت آنهاست.

امروزه، ادغام روش‌های نرم‌افزاری RS و GIS برای مدیریت پدیده‌های جغرافیایی نیز ضروری به نظر می‌رسد. GIS ابزاری برای حصول و جمع‌آوری، ذخیره، بازیابی، بازنگری، تخمین و ارزیابی و در نهایت نمایش داده‌های جغرافیایی مرجع است [۹]. دو نوع داده اساسی که توسط این سیستم مدیریت می‌شود، داده‌های زمین‌شناسی ماهواره‌ای که موقعیت ساختارها را مشخص می‌نماید و داده‌های ویژه-ای که خصوصیات خاص ساختارها را مشخص می‌کنند. این داده‌ها معمولاً در قالب‌های وکتور یا رستر در GIS نمایش داده و ذخیره سازی می‌شوند. داده‌های وکتور به صورت نقطه (مانند رخدادهای معدنی، اندازه‌گیری لایه‌ها، نقاط کنترل و غیره)، خط (مانند گسل‌ها، محورهای چین‌خوردگی و غیره) و چندضلعی (مانند سنگ بستر، واحد زمین‌شناسی و غیره) هستند. اما داده‌های رستری داده‌ها را در شبکه‌های سلولی نشان می‌دهند و ویژگی آن برای کل سلول (به عنوان مثال، DEMs) اعمال می‌شود. پیشرفت در GIS اساساً بر پایه ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی متفاوت برای پیش‌بینی وجود ذخایر معدنی صورت پذیرفته است. بنابراین چنین تکنولوژی‌هایی مبتنی بر اطلاعات ماهواره‌ایی ابزارهای مناسبی را برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، پردازش، تجزیه و تحلیل و ارائه داده‌های متمایز در اکوسیستم با سرعت و کارآمدی بیشتری ارائه می‌دهند. لذا در این پژوهش تلاش گردیده است تا با ترکیب اطلاعات مربوط به پژوهش‌های متعدد کارآمدی این روش‌ها در مباحث زمین‌شناسی و معدن را مشخص نمود.

بحث

نقشه‌برداری زمین‌شناسی

نقشه‌های زمین‌شناسی در مباحث معدنی بسیار حائز اهمیت هستند؛ زیرا چشم‌اندازی سه بعدی از رسوبات، سنگ‌ها و واحدهای خاک در مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد و چگونگی روابط میان لایه‌ها، سنگ‌ها و نیز سن آنها را مشخص می‌سازد. نقشه‌های زمین‌شناسی ابزاری برای اکتشاف مواد معدنی، تحقیقات ژئوتکنیکی و نقشه خطرات زمین‌شناسی را فراهم می‌نماید. به عنوان مثال، برخی از محققان از نقشه‌برداری زمین‌شناسی برای تعیین ویژگی‌های ترکیبی گرانیت‌ها [۱۰] و یا میزان خلوص سنگ آهک در منطقه [۱۱] (شکل ۱) استفاده کرده‌اند. هم‌اکنون، سنجنده‌های RS مختلف با ویژگی‌های متفاوت برای بررسی‌های زمین‌شناسی و معدن در دسترس محققان قرار دارد. برای مثال، سنجنده‌های چندطیفی و فراطیفی شامل چندین تا صدها باند طیفی هستند. به طورکلی، داده‌های RS نقشه-های زمین‌شناسی را با استفاده از فرآیند طبقه‌بندی تصویر تهیه می-نمایند. این نقشه‌ها را می‌توان بر اساس تحلیل‌های بافتی صورت گرفته بر روی تصاویر ماهواره‌ای ترسیم نمود. بنابراین در این راستا بایستی تفسیر بصری تصاویر را به نحو احسنت بهبود بخشید.



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای منطقه‌ای آهکی که با بررسی از طریق RS میزان خلوص آن ارزیابی گردید.

زمین‌شناسی ساختاری

مطالعات زمین‌شناسی ساختاری در بررسی ذخایر معدنی و شناسایی/ مانیتورینگ خطرات احتمالی از جمله زمین‌لغزش و فعالیت‌های آتشفشانی [۱۳] ضروری است. این مطالعات شامل شناخت و طبقه-بندی ساختارهایی همانند گسل‌ها، چین‌خوردگی‌ها و خطوارگی‌ها، که

اغلب برای تهیه نقشه زمین‌شناسی ضروری هستند. همچنین، ساختارهای زمین‌شناسی شواهدی از نقاط احتمالی ذخایر معدنی را مشخص می‌سازند؛ زیرا هندسه زیرسطحی واحدهای سنگی را نشان می‌دهند. استفاده از RS در زمین‌شناسی ساختاری به طور قابل توجهی در دهه‌های اخیر مفید بوده است. مطالعات مختلف ثابت کرده‌اند که داده‌های RS می‌توانند شواهد اساسی از گسترش فضایی ساختارهای زمین‌شناسی را ارائه دهند [۱۴].

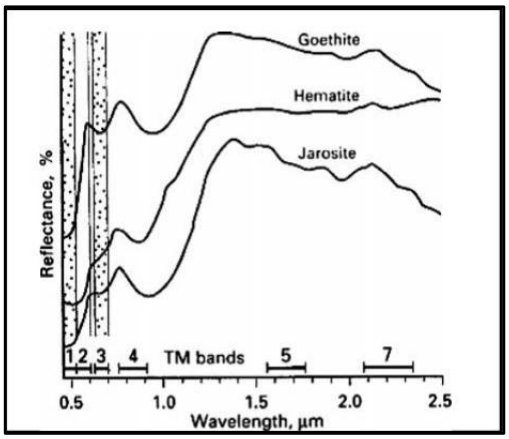
طبقه‌بندی سنگ‌شناسی

با استفاده از داده‌های RS، بررسی‌های دقیق واحدهای سنگی و روابط آنها در هر منطقه می‌تواند اطلاعات سنگ‌شناسی را افزایش دهد. دلیل این امر آن است که نقشه‌های سنگ‌شناسی گسترش سنگ‌های متنوع را در سطح زمین نشان می‌دهد. بر اساس روش‌های گذشته، طبقه‌بندی سنگ‌ها و ساختارها در صحرا بر روی نقشه‌ها از طریق پیمایش زمینی صورت می‌گیرد. مطالعات صحرایی و انجام آنها به صرف زمان و هزینه زیادی نیاز دارد. با استفاده از RS [۱۵] سنگ-شناسی منطقه با دقت قابل توجهی از طریق رنگ، ویژگی‌های هوازدگی و فرسایش، طرح زهکشی و ضخامت بستر به تصویر کشیده می‌شود [۱۱].

اکتشاف منابع معدنی

تا چندی قبل برای تعیین دقیق حجم و ارزش ذخایر معدنی از روش-های عملیاتی زمان‌بر و پر هزینه استفاده می‌شد. ژئوشیمی، ژئوفیزیک، نقشه‌برداری زمین‌شناسی، فتوگرامتری و مشاهدات صحرایی از جمله این روش‌ها بود. زیرا برای برداشت صحیح و دقیق از منابع معدنی به تجزیه، تحلیل و ادغام اطلاعات چند موضوعی نیاز است. بنابراین در این شرایط، RS و GIS ابزارهای پشتیبانی عملی بسیار مهمی بشمار می‌روند و ارزیابی ذخایر معدنی و تغییرات سنگ‌شناسی، ساختارها و غیره سریعتر و کم هزینه‌تر در دسترس می‌باشد.

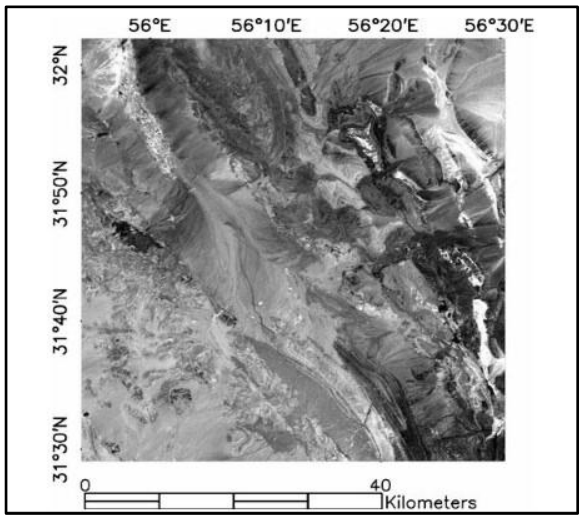
داده‌های فراطیفی با ایجاد اختلاف در طیف‌های مختلف به شناسایی سنگ‌های متفاوت و در نتیجه تهیه تصویر دقیق از کانی‌های سطحی موجود در واحدهای سنگی منطقه کمک می‌نماید. برای نمونه داده‌های چندطیفی و فراطیفی در محدوده LWIR برای نقشه‌برداری ذخایر معدنی[۱۶-۱۷]، شش باند محدوده SWIR ASTER برای نقشه‌برداری کانی‌شناسی سطحی [۱۸] فراهم می‌کند (شکل ۲). همچنین، شناسایی کانی‌های اکسید/ هیدروکسیدآهن می‌تواند در محدوده طیفی ASTER VNIR صورت گیرد [۱۹].



شکل ۲- منحنی‌های چندطیفی برای انواع کانی‌هایی چون جاروسیت، هماتیت و گوتیت.

ارزیابی تغییرات هیدروترمال

دگرسانی گرمابی با تأثیر سیالات گرمابی کانه‌ساز در حاشیه شکستگی‌ها و کانی‌ها، تغییراتی را در سنگ‌های میزبان ایجاد می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای سنگ‌های تغییریافته یا مناطق دگرسان را که در اثر فرسایش یا فرآیند تکتونیکی در معرض دید قرار گرفته‌اند، از طریق ایجاد ناهنجاری‌های طیفی قابل رویت می‌سازد. با شناسایی مناطق دگرسانی امکان کشف ذخایر معدنی وجود دارد. مطالعات نشان داده است که مواد معدنی خاصی با توسعه دگرسانی‌های هیدروترمال ارتباط دارند [۱۷]. باندهای طیفی SWIR در ماهواره آستر برای نقشه‌برداری مناطق دگرسانی هیدروترمال مناسب هستند [۱۷] (شکل ۳).



شکل ۳- سنگ‌های دگرسان شده محدوده مورد مطالعه که نشاندهنده حضور کانی‌های هیدروکسیل به صورت پیکسل‌های روشن در تصاویر ETM است.

استخراج ذخایر معدنی

فرآیند استخراج مواد معدنی مستلزم حفاری چندین تن سنگ و خاک (باطله) است. برای داشتن روند بهره‌برداری و استخراج با صرفه و سریعتر استفاده از داده‌های RS و ایجاد تصاویر DEM بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای است که با دقت بیشتر و در اسرع وقت می‌توان میزان باطله موجود در محدوده معدن را ارزیابی کرد. DEM ابزاری قوی برای بررسی و مدل‌سازی رویدادهای محیطی، هیدرولوژیکی و تغییر محیط طبیعی است [۲۰].

اثرات زیست محیطی معدن

معادن اغلب به دلیل تأثیرات مخرب بر سلامت و ایمنی عمومی در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی منفی تلقی می‌شوند. استخراج معادن به معنای حذف مواد معدنی ارزشمند و دفع زباله در محل کار بر اساس روش‌های روباز یا زیرزمینی است. این روند در بسیاری از کشورها، اثرات فاجعه‌باری بر سیستم‌های اولیه حیاتی، همچون خاک، آب، جنگل و غیره دارد. استخراج معدن ترکیب خاک را عوض می‌کند [۲۱]، خاک را اسیدی می‌نماید و با ایجاد منطقه‌ای تخریب شده و فاقد خاک، پوشش گیاهی و طبیعی را بر هم می‌زند.

اندازه‌گیری‌های InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) می‌توانند تغییرشکل‌های بزرگ مقیاس را با دقت بالا و هزینه‌ای متوسط تا صفر ترسیم کنند [۲۲]. روش‌های پردازش SAR می‌تواند در مطالعه عملی تغییرشکل زمین مفید باشد.

RS برای شناسایی میزان آلودگی، تعیین امکان احیای مناطق استخراج شده و ارائه سایر داده‌های مکانی برای ارزیابی پیامدهای معدن بر روی اکوسیستم مناسب است. با استفاده از ماهواره‌های قابل دسترس متعدد، اکنون می‌توان داده‌های ماهواره‌ای هر مکان خاص را به دست آورد و آن را با سایر داده‌های جانبی در GIS برای تصمیم‌گیری به موقع ترکیب کرد.

نتیجه‌گیری

در ادوار گذشته برای مطالعات مختلف زمین‌شناسی و معدنی (همچون کشف و ارزیابی میزان ذخائر معادن) از روش‌های بسیار زمان‌بر و پر هزینه استفاده می‌شد. اگرچه این روش‌ها هم اکنون نیز کاربردی است و برای تکمیل و تایید نتیجه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ ولی وجود روش‌ها و ابزارهایی چون سنجش از دور و GIS توانسته است با صرف زمان و هزینه‌ای ناچیز تا حد قابل قبولی جایگزین روش‌های قبلی گردد. در RS روش چندطیفی امکان جدیدی را برای تمایز مواد و شناسایی اجزای معدنی اصلی که در هر پیکسل تصویر وجود دارد را فراهم آورده است. بعلاوه، بیشتر داده‌هایی که به بررسی‌های زمین‌شناسی و معدن مربوط می‌شوند، ماهیت جغرافیایی دارند. بنابراین، GIS نیز ابزاری کاربردی برای مدیریت داده‌های زمین‌شناسی مختلف، از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، تصاویر ژئوفیزیکی، گمانه‌ها، اندازه‌گیری شعاع و تجمعات معدنی است و ظرفیت نمایش و تفسیر فوری داده‌ها را دارد.

در این روش‌ها نقشه‌برداری و ارزیابی‌های زمین‌شناسی به صورت مدلسازی‌های دو بعدی و سه بعدی با کاربردهای زمین‌شناسی میدانی متعدد است که با تولید مدل‌های چهار بعدی در آینده کاربرد بیشتری خواهد یافت و در نتیجه قابلیت آن را دارد که بتواند ویژگی‌های تکتونیکی و ژئومورفیک فعال در هر منطقه را آشکار سازد.

مراجع

[1] Carvalho, F.P., 2017. “Mining industry and sustainable development: time for change,” Food Energy Secuity, Vol.6, pp.61–77.
[2] Kamble, P.H., Kumbhar, J.S., 2019. “An Overview of Impact of Coal Mining on Water Resources,” International journal of multidisciplinary studies. Vol.5, Issue.12, pp.115-121.
[3] A. Madani, B. Niyazi, 2015. “Groundwater potential mapping usingremote sensing techniques and weights of evidence GIS model: a case study from Wadi Yalamlam basin, Makkah Province, Western Saudi Arabia,” Environmental Earth Sciences, Vol.74, Issue.6, pp.1-14.
[4] Asadzadeh, S., Roberto, D.S., 2016. “A review of spectral processing methods for geological Remote Sensing,” Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. Vol.47, pp.69–90.
[5] El Kati, I., Nakhcha, Ch, El Bakhchouch, O., Tabyaoui, H., 2018. Application of Aster and Sentinel-2A Images for geological mapping in arid regions: the Safsafate Area in the Neogen Guercif basin, Northern Morocco. International Journal of Advanced Remote Sensing & GIS, 7 (1): 2782–2792.
[6] Nagel, G.W., Novo, E.M, Kampel, M., 2020. “Nanosatellites applied to optical Earth observation: a review,” Rev. Ambient. Água, Vol.15, Issue.3, pp.2513, (19 pages).
[7] Poura, A.B., Parka, Y., Parka, T-Y. S., Honga, J.K., Hashimb, M., Wooa, J., Ayoobic, I., 2018. “Regional geology mapping using satellite-based remote sensing approach in Northern Victoria Land, Antarctica,” Polar Science Vol.16, pp.23–46.
[8] Abrams, M. J., Tsu, H., Hulley, G., Iwao, K., Pieri, D., Cudahy, T, Kargel, J., 2015. “The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) after fifteen years: Review of global products”. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 38: 292–301.
[9] Vovk, I.G., 2012. “Mathematical modelling in applied geoinformatics. Bulletin of SSGA, Vol.1, Issue.17, pp.94–103.
[10] Sambo, G.N., Adegbe, M., Onimisi, E.A., 2020. “Petrochemistry of Granitic Rocks in Gwada, North Central Nigeria,” International Journal of Scientific

Research in Multidisciplinary Studies, Vol.6, Issue.3, pp.32-38.

[۱۱] صدیقیان، س.، بهرام‌بیگی، ب.، معین‌زاده، ح.، ۱۴۰۱. تشخیص مناطق آهکی با خلوص بالای کانی کلسیت با استفاده از داده‌های فروسرخ موج کوتاه سنجنده آستر در منطقه آهک داهوئیه، استان کرمان. هفتمین همایش ملی انجمن رسوب-شناسی ایران، اصفهان.

[13] Pyle, D.M., Mather, T.A., Biggs, J., 2021. Remote sensing of volcanoes and volcanic processes: integrating observation and modelling– introduction. Geological Society, London, Special Publications, 380: 1-13.

[14] Oyawale, A.A., Adeoti, F.O., Ajayi, T.R., Omitogun, A.A., 2020. "Applications of remote sensing and geographic information system (GIS) in regional lineament mapping and structural analysis in Ikare Area, Southwestern Nigeria," J. Geol. Min. Res. Vol.12, Issue.1, pp.13-24.

[15] Ali-Bik, M.W., Hassan, S.M., Abou El Maaty, M.A., Abd El Rahim, S.H., Abayazeed, S.D., Wahab, W., 2018. "The late Neoproterozoic Pan-African low-grade metamorphic ophiolitic and island-arc assemblages at Gebel Zabara area, Central Eastern Desert, Egypt: petrogenesis and remote sensing-Based geologic mapping,". J. Afri. Earth Sci. Vol.144, pp.17–40.

[16] Eisele, A., Lau, I., Hewson, R., Carter, D., Wheaton, B., Ong, C., Cudahy, T.J., Chabrillat, S., Kaufmann, H., 2012. "Applicability of the thermal infrared spectral region for the prediction of soil properties across semi-arid agricultural landscapes," Remote Sens., Vol.4, pp.3265–3286.

[۱۷] صدیقیان، س.، بهرام‌بیگی، ب.، معین‌زاده، ح.، ۱۴۰۱. مطالعات دورسنجی در پی‌جویی و اکتشاف معدنی در محدوده نارپ، جنوب‌غرب استان کرمان. چهارمین کنفرانس انجمن سنجش از دور زمین‌شناختی ایران، کرمان.

[18] Mars, J.C., Rowan, L.C., 2010. "Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals," Remote Sens. Environ., Vol.114, pp.

[19] Ciampalini, A., Garfagnoli, F., Del Ventisette, C., Moretti, S., 2013. Potential use of remote sensing techniques for exploration of iron deposits in Western Sahara and Southwest of Algeria," Nat. Resour. Res., Vol.22, pp.179–190.

[20] Reddy, G.P.O., Kumar, N., Sahu, N., Singh, S.K., 2018. "Evaluation ofautomatic drainage extraction thresholds using ASTER GDEM and Cartosat-1 DEM: a case study from basaltic terrain of central India," Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Vol.21, pp.95–104.

[21] Umoru, K., Omali, T.U., Akpata, S.B.M., Agada, G.O., 2019. "Assessment of land degradation in abandoned mine site atOkaba in Kogi state of Nigeria," Global Scientific Journal, Vol.7, Issue.1, pp.839-846.

[22] Lubitz, C., Motagh, M., Wetzel, H.U., Kaufmann, H., 2013. "Remarkable urban uplift in Staufen im Breisgau, Germany: Observations from TerraSAR-X InSAR and leveling from 2008 to 2011", Remote Sens. Vol.5, pp.3082–3100.