

تجزیه و تحلیل دگرسانی‌های کانسار پلی‌متال با استفاده از شواهد دورسنجی (مطالعه موردی: میانه، استان آذربایجان شرقی)

مرتضی مملوکی^{۱*}، رقیه فکری^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

Morteza_mamlouki@yahoo.com

۲. دانش آموخته دکتری، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

چکیده چکیده

کانسارهای پلی‌متال به عنوان منابع ارزشمند فلزات پایه و گران‌بها، از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار هستند. دگرسانی‌های مرتبط با این کانسارها، اطلاعات ارزشمندی در مورد فرآیندهای تشکیل کانسار و مناطق پتانسیل معدنی ارائه می‌دهند. با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی اکتشاف، استفاده از فناوری‌های دورسنجی به عنوان یک ابزار مکمل، امکان مطالعه دقیق‌تر و گسترده‌تر دگرسانی‌ها را فراهم می‌آورد. در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا (استر و لندست) استفاده شده است. پس از پیش‌پردازش داده‌ها و تصحیح اثرات اتمسفری، از روش‌های پردازش طیفی برای استخراج اطلاعات معدنی از تصاویر استفاده شده است. شاخص‌های طیفی مختلفی برای شناسایی کانی‌های دگرسانی مانند سریسیتی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته استفاده و محاسبه شده‌اند. نقشه‌های پراکنش این شاخص‌ها تهیه شده و با استفاده از روش‌های آماری و زمین‌آماري، ارتباط بین آن‌ها و کانی‌سازی پلی‌متال بررسی شده است. استفاده از داده‌های دورسنجی، امکان تهیه نقشه‌های دقیق و سریع از مناطق دگرسانی شده را فراهم آورده است. این نقشه‌ها می‌توانند به عنوان یک ابزار کارآمد برای اکتشاف و ارزیابی پتانسیل معدنی مناطق مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دورسنجی می‌تواند به عنوان یک ابزار مکمل در کنار روش‌های سنتی اکتشاف مورد استفاده قرار گیرد و به بهبود فرآیند اکتشاف و بهره‌برداری از کانسارهای پلی‌متال کمک کند.

کلیدواژه‌ها: کانسار، پلی‌متال، دگرسانی‌ها، پروپیلیتیک، سنجش از دور، ناحیه میانه.

مقدمه

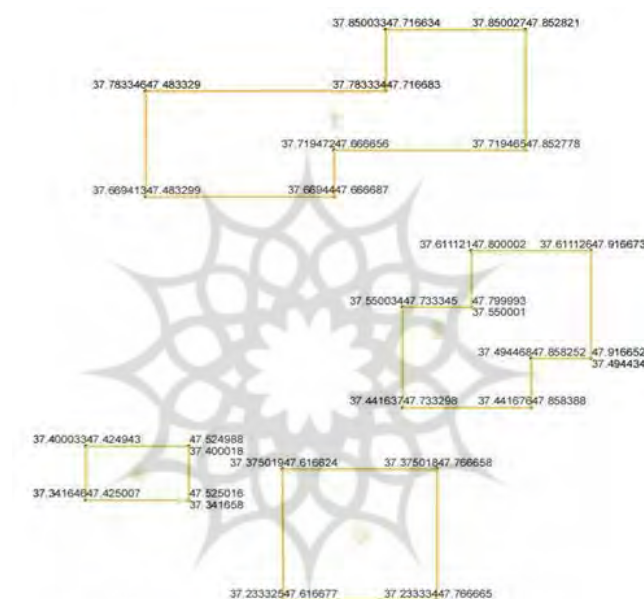
شناسایی و اکتشاف کانسارهای مناطق به روش سنتی از طریق عملیات زمینی و کارهای میدانی نیازمند زمان، هزینه و نیروی انسانی فراوانی است و گاه نیز با خطا همراه است. امروزه علم سنجش از دور با بهره‌گیری از رفتارهای طیفی منحصر به فرد کانی‌ها، به‌عنوان روشی جدید مورد استفاده علم اکتشاف معدن و زمین‌شناسی قرار گرفته است از دیرباز روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها به خصوص داده‌های مکانمند وجود داشته است. سنجش از دور از زمره روش‌های جمع‌آوری داده محسوب می‌شود که در آن‌ها تماس مستقیم فیزیکی با اشیاء مورد اندازه‌گیری در حداقل ممکن نگه داشته می‌شود. اصل محوری در سنجش از دور این است که پدیده‌های زمینی از ویژگی‌های طیفی منحصر به فردی برخوردار است که می‌توان با استناد به این ویژگی‌ها به شناسایی و مطالعه و تفکیک آن‌ها دست یافت. در سنجش از دور جمع‌آوری داده‌ها بر عهده سنجنده است (نمازی و همکاران، ۱۳۹۸؛ فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). از دیگر ویژگی‌های عمده و مهمی که باعث به کارگیری فنون سنجش از دور در اکتشاف مواد معدنی می‌شود این است که با کمک آن می‌توان کانی‌ها و عناصر ویژه‌ای را که با مواد معدنی مخصوصی همراه‌اند شناسایی کرد. از این رو سنجنده استر محصول مشترک آمریکا و ژاپن است که بر روی ماهواره ترا قرار دارد. این سنجنده نسبت به سنجنده‌های چند طیفی قدیمی‌تر، از توان تفکیک طیفی بالاتری برخوردار بوده و دارای توانایی بهتری برای تشخیص و شناسایی دگرسانی‌های گرمایی و تمایز واحدها دارد (Hellman and Ramsey, 2004). سنجنده استر، یکی از سنجنده مستقر بر روی ماهواره ترا است که در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده اطلاعات طیفی منابع زیر زمینی را در ۱۴ باند طیفی و سه سامانه مرئی-فروسرخ نزدیک (VNIR) با سه باند طیفی در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر، سامانه فروسرخ موج کوتاه (SWIR) با ۶ باند طیفی در محدوده‌های ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر و سامانه فروسرخ گرمایی (TIR) با ۵ باند طیفی در محدوده‌های ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر پوشش می‌دهد که به ترتیب دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵، ۳۰ و ۹۰ متر می‌باشد به طور کلی از این داده برای تفسیرهای مختلف زمین‌شناسی و محیطی و کاربردهای متنوعی دیگر استفاده می‌شود (ماهوش محمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ آبرامز و هوک، ۲۰۰۱). از آنجایی که ماهواره سنجنده استر بر مبنای نیازهای زمین‌شناسی طراحی شده است، بنابراین از تصاویر این سنجنده می‌توان به عنوان ابزاری نیرومند در اکتشاف ذخایر معدنی در مراحل ابتدایی به منظور کانی‌شناسی مقدماتی و تهیه نقشه‌های دگرسانی، با هزینه کم و دقت بالا استفاده نمود (رنگرز فروغ، ۱۴۰۳؛ توماس و روبینستین، ۲۰۰۷). مطالعات متفاوتی در خصوص کاربرد این سنجنده در خارج و داخل کشور انجام شده است. گومز و همکاران (۲۰۰۰)، عمل نقش‌برداری واحدهای سنگ شناختی در نامیبیا را با بهره‌گیری از الگوریتم PCA بر روی داده‌های استر انجام دادند. والفیر و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از داده‌های سنجش از دور استر برای تهیه نقشه زمین ریخت‌شناسی در سواحل ناحیه آمازون استفاده نمودند. رنجبر و همکاران (۲۰۰۴)، داده‌های استر را در منطقه سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسانی هیدروترمال از طریق تکنیک کروسا استفاده کردند. در ایران نیز خلیج معصومی و همکاران (۱۳۹۰) با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای ترا و لندست کانی‌های دگرسانی گرمایی مناسب را برای به دست آوردن مناطق مستعد برای کانی‌زایی عناصر را مطالعه نمودند. جهان‌دیده کاظم‌پور و همکاران (۱۳۹۰)، به مطالعه نحوه کانه‌زایی در کانسار پلی‌متال عباس‌آباد در شمال باختر استان قزوین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که محلول‌های گرمایی دما پایین نقش

عمده‌ای در تشکیل کانسار به‌ویژه در مناطق گسلی با سنگ میزبان آتشفشانی داشته است. همچنین به دلیل بالا بودن مس در سنگ میزبان منشأ اصلی مس سنگ میزبان ولی منشأ اصلی سرب و روی آب‌های ماگمایی تعیین گردید که از توده نفوذی موجود در زون طارم است. معصومی و رنجبر (۱۳۹۰)، با استفاده از تصاویر چند طیفی سنجنده‌های استر و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصاویر جهت مشخص کردن مناطق دگرسان‌شده استفاده کردند و مناطق فیلک و پروپیلیتیک را شناسایی نمودند. نوحه‌گر و همکاران (۱۳۹۲)، با بهره‌گیری از تصاویر چند طیفی استر و تکنیک‌های پیکسل مبنا کانی‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه استان کرمان مورد استفاده قرار دادند. ماهوش محمدی و همکاران (۱۳۹۷)، با به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از سنجنده استر به منظور شناسایی و تفکیک بخشهای دگرسانی منطقه خونی و کالکافی در استان اصفهان را مورد بررسی قرار دادند. صادقی و همکاران (۱۴۰۰)، به منظور منشأیابی نهشته‌های پلاسری کواترنر با بهره‌گیری از مطالعات دورسنجی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر و ژئوشیمی در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران را مورد مطالعه قرار دادند. نظری و همکاران (۱۴۰۰) با به کارگیری روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیک زمینی در پیجویی و اکتشاف ذخایر مس در منطقه باب زنگوییه، چهارگنبد کرمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر پرداختند. نقش دورسنجی در حل چالش‌ها: دورسنجی با ارائه داده‌های مکانی و طیفی از سطح زمین، امکان مطالعه مناطق وسیع و صعب‌العبور را فراهم می‌آورد. این فناوری قادر است تغییرات در ترکیب معدنی سنگ‌ها را شناسایی کرده و نقشه‌های دگرسانی با دقت بالایی تولید کند. برخی از مزایای استفاده از دورسنجی در این زمینه عبارتند از: پوشش گسترده و سریع؛ تصاویر ماهواره‌ای امکان پوشش کل منطقه مطالعه را در یک بازه زمانی کوتاه فراهم می‌کنند. شناسایی مناطق امیدبخش؛ با استفاده از شاخص‌های طیفی، می‌توان مناطق دارای پتانسیل معدنی بالا را شناسایی کرده و برای مطالعات تفصیلی‌تر اولویت‌بندی نمود. تعیین گسترش و نوع دگرسانی‌ها؛ با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان گسترش مکانی انواع مختلف دگرسانی‌ها را تعیین کرده و ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی را بررسی نمود. پایش تغییرات محیطی؛ تصاویر ماهواره‌ای با دقت زمانی بالا، امکان پایش تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را فراهم می‌آورند. کانسارهای پلی‌متال به عنوان یکی از منابع مهم مواد معدنی، از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار هستند. با توجه به پیچیدگی فرآیندهای تشکیل این نوع کانسارها و تنوع دگرسانی‌های مرتبط با آن‌ها، مطالعه دقیق و جامع این کانسارها برای اکتشاف و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها ضروری است. در منطقه کهدلان، وجود کانسارهای پلی‌متال و پتانسیل معدنی بالا، این منطقه را به عنوان یک هدف جذاب برای مطالعات اکتشافی تبدیل کرده است. با این حال، به دلیل وسعت منطقه و پراکندگی رخنمون‌های معدنی، مطالعات زمین‌شناسی سنتی در این منطقه با محدودیت‌هایی مواجه است. در این راستا، استفاده از روش‌های دورسنجی به عنوان یک ابزار مکمل، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد نوع، گسترش و شدت دگرسانی‌های مرتبط با کانسارهای پلی‌متال در منطقه کهدلان ارائه دهد. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل دگرسانی‌های کانسار پلی‌متال در ناحیه میانه در استان آذربایجان شرقی می‌باشد.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

ناحیه میانه در قالب پنج بلوک اکتشافی این منطقه با مختصات طول و عرض جغرافیایی $47^{\circ}02'00''$ تا $47^{\circ}05'00''$ و $37^{\circ}01'00''$ تا $37^{\circ}04'30''$ قرار گرفته است و شهرستان میانه در استان آذربایجان شرقی به عنوان نزدیکترین شهر به آن شکل (۱) در مرکز ناحیه قرار می گیرد. مساحت ۱۰۰۰ بلوک ها به ترتیب زیر بین بلوک های ۱ تا ۵ توزیع شده است: ۴۱۰، ۲۳۵، ۲۱۰، ۵۸ و ۸۷ کیلومتر مربع. همچنین چهارگوش میانه و برگه های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی میانه، سراب، قره چمن و سراسکند (هشترود) وسعت زمین شناسی ناحیه را پوشش می دهند. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱: شماره و مختصات گوشه بلوک های اکتشافی ناحیه میانه

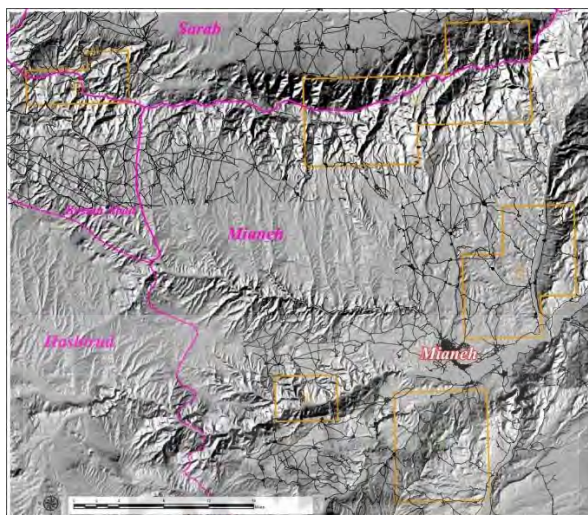
روش پژوهش

منظرهای ^۱ASTER با پهنای جاروب 60° کیلومتر با فرمت HDF در سطوح مختلفی پردازش و به مشتریان عرضه می شوند که متداول ترین و مطلوب ترین آن ها سطح 1b است. برای پوشش ناحیه اکتشافی میانه سه منظر از داده ASTER مطابق جدول (۱) از آرشیو انتخاب شد و برای تکمیل کار یک منظر پوششی داده ETM به مجموعه آن ها افزوده شد. سعی شد داده های انتخاب شده مربوط به فصل تابستان باشد تا پوشش گیاهی و تراکم بخار آب و بخصوص ابرها حداقل و زاویه تابش آفتاب حداکثر باشد، ولی این مهم برای کل ناحیه محقق نشد. در بلوک ۲ در بخش های غربی بلوک لکه های ابر به طور پراکنده دیده می شود که طی بررسی های بعدی و اطمینان از عدم ماسک پدیده های کانی سازی از جایگزینی داده ها اجتناب شد. اما برای بلوک ۱ با وجود جستجو در تمام آرشیوهای داخلی

1- Scene

2- Swath width

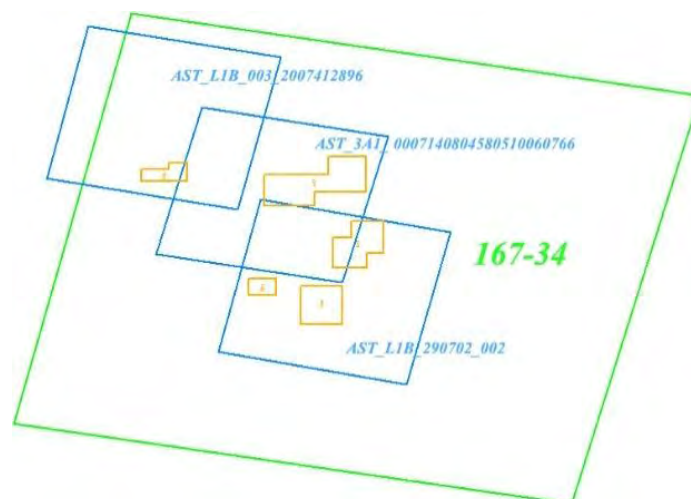
و خارجی ASTER، به دلیل قرارگیری در بخش‌های مرتفع بزقوش داده بدون ابر برای آن یافت نشد و بهترین داده موجود دارای ابرهای نسبتاً متراکمی در گوشه شمال شرقی است که بنا به ضرورت ماسک شد. در شکل (۲)، جدول (۱) و شکل (۳) موقعیت و مشخصات تصاویر همچنین بلوک‌های اکتشافی (نارنجی) بر روی ایندکس داده‌های ASTER (آبی)، ETM مورد استفاده ارائه شده است.



شکل ۲: موقعیت بلوک‌های اکتشافی (نارنجی) بر روی نقشه برجسته میانه به همراه راه‌ها، نقاط جمعیتی (مشکی) و مرز شهرستان

جدول ۱: مشخصات سین‌های ASTER و ETM انتخاب شده برای پوشش بلوک‌های اکتشافی میانه

Scene IDs and Image Strips			Acquisition Date	Cloud Cover %
Scene ID	Path	Row		
AST_L1B_003_2007412896	167	97/2	2002-06-11	0
AST_3A1_0007140804580510060766	168	97/7	2000-07-14	20
AST_L1B_290702_002	167	98/4	2002-07-29	7
L72167034_03420020729	167	34	2002-07-29	2



شکل ۳: بلوک های اکتشافی (نارنجی) بر روی ایندکس داده های ASTER (آبی)، ETM (سبز) و توپوگرافی 25k (قهوه ای)

سنجنده ASTER با ۱۴ باند طیفی (۳ باند مرئی بین ۰٫۵۲-۸۶٫۰ μm به نام VNIR، 6 باند طول موج کوتاه مادون قرمز بین ۱٫۶۰-۲٫۴۳ μm به نام SWIR و ۵ باند حرارتی در محدوده ۸٫۱۲۵-۱۱٫۶۵ μm به نام TIR) با رزولوشن های به ترتیب ۱۵٫۳۰ و ۹۰ متر و هزینه و زمان اندک تهیه، گزینه مطلوبی برای نقشه برداری سیستم های گرمایی و تفکیک زون های دگرسانی همراه با کانی سازی طلا محسوب می شود (Asadi et al., 1999) داده های ASTER در کنار سایر داده های اکتشافی مورد پردازش قرار گرفته و نتایج استخراجی تحلیل شده است که در ادامه به آن پرداخته می شود.

مدل فلززایی^۱ و کانی سازی منطقه: یک برنامه اکتشافی مدرن نیازمند استفاده از مدل های مفهومی زمین شناسی برای هدایت و جهت دهی است. از جمله مدل های زمین شناسی که به طور گسترده در اکتشاف مواد معدنی به کار می رود، مدل فلززایی و مدل کانی سازی^۲ است. این دو مدل در مقیاس محلی و ناحیه ای پیدایش کانی سازی در بعد مکانی و زمانی را بر اساس تنوع لیتولوژیکی و ساختارهای زمین شناختی پیش بینی می کنند. فلززایی آمیخته ای از علوم زمین است که قانونمندی طبیعی حاکم بر چگونگی تشکیل کانسارها را با بررسی فاکتورهای تکتونو-ماگمایی توزیع کننده کانی سازی در وسعت یک ایالت، کمربند^۳ یا منطقه بررسی می کند و در پیوند با زمین ساخت ورقه ای^۴ تکامل سیستم های کانی زایی را تفسیر می کند. مدل کانی سازی فرایندهای تشکیل یک نهشته شامل نیروهای فعال کننده، جابجا کننده و تمرکز دهنده عناصر را بررسی می کند و کلید پردازش طیفی داده های ماهواره ای محسوب می شود. می توان برای یک کمربند/ منطقه فلززایی از چند مدل کانی سازی به طور همزمان استفاده کرد. بلوک های اکتشافی حاضر در ناحیه میانه در حاشیه شرقی و غربی رشته کوه بزقوش و نیز نوار ولکانیکی جنوب، جنوب غرب

1- Metallogeny

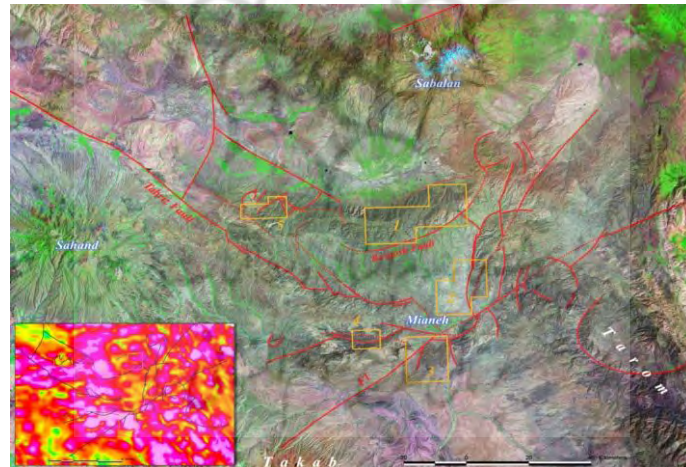
2- Mineral Deposit Models

3- Metallogenic Belt

4- Plate Tectonic

و شمال شرق میانه قرار گرفته است. از دیدگاه زمین ساخت ورقه ای، این ناحیه یکی از پیچیده ترین و فعال ترین بخش های پوسته ایران محسوب می شود که با ولکانیسم گسترده، شکستگی های فراوان و حوضه های رسوبی-تبخیری همراه است (شکل ۴).

بررسی داده های مغناطیس هوایی و تفسیر چشمی تصاویر موزائیک ماهواره ای نشان دهنده تکنیک به شدت فعال ناحیه است، طوری که بلوک های اکتشافی مورد مطالعه هر کدام با وجود نزدیکی جغرافیایی به هم در زون های مختلف ماگمایی- متالورژیکی قرار می گیرند. با علم به وجود سه منطقه فلززایی در این ناحیه، بلوک های اکتشافی به ترتیب زیر در این مناطق تعریف می شوند. بلوک ۱ و ۵ هر دو در منطقه فلززایی بزقوش قرار می گیرند. با وجود تفاوت های جزئی که بخش های شرقی با غربی این زون دارد، ولی استعداد اصلی آن کانی سازی رگه ای- اسکارنی مس و طلا است. بلوک ۲ با توجه به گسل شمالی- جنوبی مرکز آن به دو بخش شرقی و غربی مطابق شکل ۵ تقسیم می شود و بخش شرقی آن قرابت بیشتری با زون تارم پیدا می کند. اگر حدفاصل خطواره های F1 (امتداد گسل آستارا) و گسل تبریز را منطقه فلززایی میانه- سهند بنامیم، آنگاه بلوک ۴ در این منطقه جای می گیرد. به نظر می رسد این منطقه فلززایی ترکیبی از واژگی های زون تارم در شرق و تکاب در جنوب را داشته باشد و بخشی از ایالت فلززایی ارومیه-دختر باشد.



شکل ۴: منطقه فلززایی و زون ماگمایی بزقوش، میانه- سهند، تارم و تکاب در ناحیه آذربایجان به همراه گسل ها و خطواره های تعریف کننده مرزها (قرمز) و بلوک های اکتشافی (نارنجی) بر روی تصویر موزائیک ماهواره ای و داده های مغناطیس هوایی (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)

بلوک ۳ که عمدتاً در جنوب خطواره F1 جای می گیرد، در منطقه تارم قرار دارد. استعداد اصلی سه بلوک ۲، ۳ و ۴ نیز کانی سازی طلا و در درجه دوم پلی متال رگه ای است.

پیش پردازش داده های ماهواره ای: پیش پردازش تصاویر ماهواره ای که از طریق تصحیحات رادیومتریکی شامل آن دسته از تصحیحات می باشند که تنها روی درجات خاکستری اعمال شده و فقط با تغییر مقادیر آن ها به صورت مجزا (به صورت پیکسل به پیکسل) سعی در جبران بعضی خطاهای موجود دارند. از جمله موارد خطاهای رادیومتریکی عبارتند از خطوط جا افتاده، خطای نوار شدن، خطاهای اتمسفری، خطاهای دستگاهی و نویزها عبارتی دیگر تصاویر ماهواره ای برداشت شده از سطح غیر مسطح و ناهموار زمین از مدار بالای جو با ماهواره در حال حرکت و عموماً غیر عمود نسبت به سطح، با خطاهای چندی همراه است. یکی از آن ها عدم انطباق موقعیت هندسی پیکسل ها با سطح واقعی زمین (به دلیل تغییرات موقعیت و وضعیت سنجنده و سکوی ماهواره، دوران و کرویت زمین و پستی و بلندی) و دیگری تغییر در انرژی رسیده به سنجنده حین دوبار عبور از جو (جذب و نشر) است که به آنها به ترتیب خطای هندسی و رادیومتری می گویند. کلیه داده های ماهواره ای نیازمند تصحیح این دو عامل خطا برای استفاده کمی و موثر در اکتشاف هستند (علوی پناه، ۱۳۸۵).

تصحیح هندسی: معمولاً تصاویر رقومی دارای انحرافات قابل توجهی هستند. به طوری که این گونه تصاویر نمی توانند به عنوان نقشه های مسطحاتی به ور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرند. منظور از تصحیحات هندسی جبران خطاهایی است به نحوی که لایه رقومی تصحیح شده قابلیت انطباق با موقعیت های سطح زمین را داشته باشد (عابدینی و سرایی، ۱۴۰۲). در این راستا برای نسبت دادن پیکسل ها به موقعیت دقیق شان در سطح زمین و برقراری ارتباط دوسویه بین فضای تصویر و فضای زمین (تحت یک سیستم مختصاتی) تصحیح هندسی ضرورت می یابد. تصحیح هندسی بصورت دو بعدی و یا سه بعدی قابل انجام است. در تصحیح دو بعدی یک تابع تبدیل از درجه n بین مختصات جغرافیایی زمین (x, y) و مختصات پیکسل های تصویر (i, j) ارتباط برقرار می کند. روش دقیق تر و البته پیچیده تر متعامد سازی^۱ نامیده می شود و طی آن تصویری متعامد^۲ با مقیاس یکسان در کل تصویر حاصل می شود. متعامد سازی نیازمند بازسازی سه بعدی^۳ هندسه تصویر در زمان برداشت است و این مهم به کمک مدل های ماهواره ای، تعداد محدودی نقطه کنترل زمینی و مدل رقومی ارتفاع^۴ میسر می شود (علوی پناه، ۱۳۸۵).

۳- نتایج

ساخت مدل رقومی ارتفاع: مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شبکه منظمی از داده های ارتفاعی است که پستی و بلندی های سطح زمین را به صورت رستری و ناپیوسته نمایش می دهد و با دو پارامتر وضوح مکانی^۵ و دقت ارتفاعی تعریف می شود. DEM در دورسنجی کاربردهای متنوعی دارد و از جمله مهم ترین آن ها تصحیح و متعامدسازی تصاویر است. DEM با روش های چندی تولید می شود و روش متداول و بکار رفته در این پروژه استفاده از داده های

1- Reliefs

2- Geometric Correction

3- Orthorectification

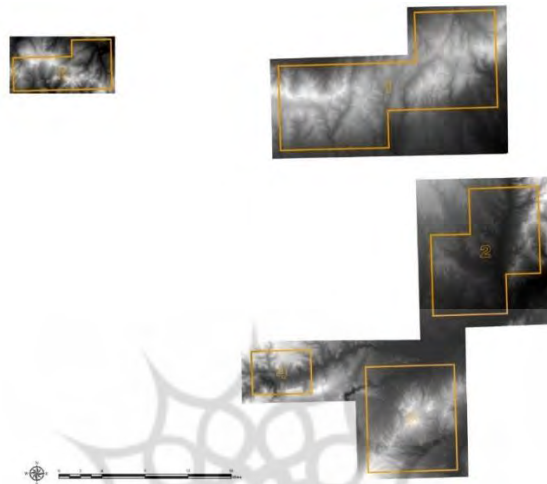
4- Ortho-Image

5- 3D geometric Correction

6- Digital Elevation Model (DEM)

7- Resolution

توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ است. برگه‌های پوشش دهنده منطقه پس از تهیه، وارد محیط GIS شده و لایه‌های منحنی میزان اصلی و فرعی، نقاط ارتفاعی^۱، شبکه آبراهه‌ها و جاده‌ها قابل استفاده در GIS^۲ شدند و اصلاحات لازم بر روی آن‌ها انجام شد. در نهایت این لایه‌ها در سیستم مختصات UTM و بیضوی WGS درون‌یابی شده و مدل رقومی ارتفاع برای تک تک بلوک‌ها ساخته و به شکل مناسب بریده شد (شکل ۵).



شکل ۵. مدل رقومی ارتفاع ساخته شده برای بلوک‌های پنجگانه اکتشافی ناحیه میانه با داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰

تصحیحات رادیومتری: پردازش کمی داده‌های ماهواره‌ای نیازمند تبدیل داده‌ها به واحد فیزیکی بازتاب یا تابش است. این تبدیل طی فرآیندی بنام تصحیح رادیومتری و در چهار مرحله مجرا شامل همسنجی دستگاهی، تصحیح اتمسفری، تصحیح توپوگرافی و نرمال سازی داده‌ها به انجام می‌رسد. در این پروژه ابتدا داده‌ها به رادیانس در سنجنده^۳ با واحد فیزیکی ($w/m^2sr/\mu$) همسنج^۴ شدند و نشت فوتون‌های تلسکوپ SWIR تصحیح^۵ شد. برای تصحیحات اتمسفری دو رویکرد عمده به نام‌های تصحیح^۶ و تعدیل^۷ اتمسفری وجود دارد که اولی رویکردی قطعی برای مدل سازی و حذف اثر اتمسفر و دومی رویکردی تجربی- آماری و متکی به اطلاعات استخراج شده از درون سین است. داده‌های بازتابی بلوک‌های اکتشافی با رویکرد نخست تصحیح اتمسفری شدند و نمودارهای طیفی برای ۹ باند بازتابی ASTER (VNIR و SWIR) و ۶ باند ETM بدست آمد. طی رویه‌ای مستقل، طیف‌های تابشی^۸ برای ۵ باند حرارتی (TIR) نیز تولید شد. به دلیل توپوگرافی خشن بلوک‌ها و نوسانات زیاد شیب و آزمون سطوح

1- Spot Height

2- GIS Ready

3- At_ Sensor Radiance

4- Instrument Calibration

5- Cross-Talk Correction

6- Atmospheric Correction

7- Atmospheric Adjustment

8- E_mmittance

نسبت به خورشید، نورافشانی سطوح توسط خورشید مختلف و وابسته به توپوگرافی است. این درجه روشنایی متفاوت پیکسل ها بر اساس مدل بازتابی لامبرت^۱ تصحیح توپوگرافی^۲ شد.

کاهش نویز^۳ داده ها: اندازه گیری های انجام شده با سنجنده مادامی که دارای اطلاعات باشند علامت و در صورتی که فاقد آن باشند نویز نامیده می شوند. وجود نویز کار پردازش طیفی و شناسایی کانی ها و نقشه برداری آنها را با مشکل مواجه می کند. حذف نویز از داده های ماهواره ای به دلیل ناشناخته بودن مولفه های آن (اتموسفیر، سنجنده، فرآیندهای تقویت و ارسال سیگنال و کار مشکلی است. نویز مجموعه داده های این پروژه با فیلترهای آماری انحراف معیار^۴ در فضای متعامد مدل شده و اثر آن کاهش یافت.

واضح سازی تصاویر: برای افزایش وضوح مکانی تصاویر و بهبود تفاسیر چشمی، داده های رنگی با کیفیت ۱۵ متری از ترکیب باندهای SWIR با VNIR و نیز VNIR با ETM بدست آمد. برای تفاسیر ساختاری تصاویر خاص از ترکیب داده های توپوگرافی برجسته^۵ با ماهواره ای تولید شد.

پردازش داده های ماهواره ای: پردازش داده های ماهواره ای شامل پردازش داده های تصویری^۶ رقومی و استخراج اطلاعات^۷ در رابطه با پدیده خاصی در زمین است. این پدیده خاص در اکتشاف کانی سازی است که مدل کانی سازی آن را توصیف می کند. تفسیر^۸ اطلاعات استخراج شده در رابطه با این هدف منجر به شکل گیری بینشی^۹ راجع به موقعیت، کمیت و کیفیت کانی سازی یا شواهد آن می شود. استخراج اطلاعات در دو مسیر کلی شناسایی الگوی مکانی^{۱۰} و الگوی طیفی^{۱۱} دنبال می شود.

تفسیر چشمی تصویر^{۱۲}: داده های ماهواره ای به دلیل غنای اطلاعاتی که دارند بهترین منبع برای تفسیرهای زمین شناسی و تهیه نقشه محسوب می شوند. استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای متکی به تفسیر چشمی و فتوزئولوژی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

^۱- Lambertian Reflectance Model

^۲- Topographic Correction

^۳- Noise Elimination

^۴- Standard Deviation

^۵- Pan-Sharpening

^۶- Shaded Relief

^۷- Image Data

^۸- Information Extraction

^۹- Interpretation

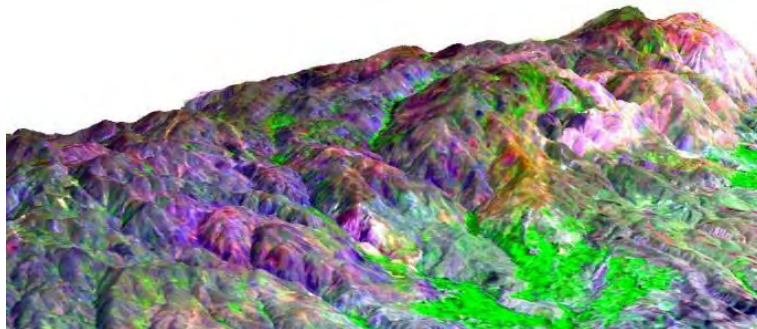
^۱ - Vision 0

^۱ - Spatial Pattern Recognition 1

^۱ - Spectral Pattern Recognition 2

^۱ - Visual Image Interpretation 3

تصویر است. در شکل (۶) بلوک ۱ اکتشافی در یک نمای سه بعدی شبیه سازی شده با DEM و تصویر رنگی ماهواره ای دیده می شود.



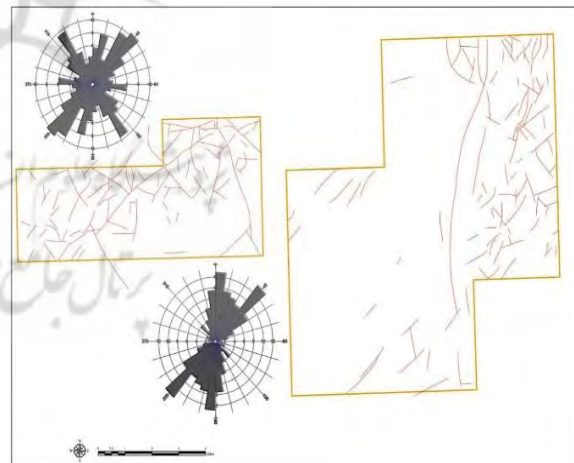
شکل ۶: بلوک ۱ اکتشافی در یک نمای سه بعدی شبیه سازی شده با DEM و تصویر رنگی ماهواره ای (دید به شمال شرق)

در مطالعه حاضر هدف تهیه نقشه بر روی ناهنجاری ها بر اساس تفاسیر چشمی و کنترل های زمینی است. نقشه های آنومالی پس از بازدید و تایید زمینی بررسی و تولید شدند و به این سبب در انتهای گزارش حاضر به آنها پرداخته می شود.

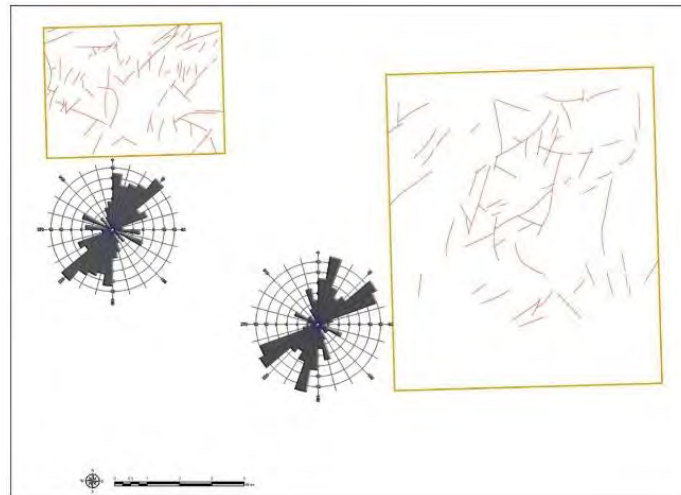
تحلیل ها و تفاسیر ساختاری به دلیل اهمیتی که در تولید و اولویت بندی آنومالی ها دارند برای کلیه بلوک ها به تفصیل و تا دقت ۱:۳۰۰۰۰ به انجام رسیدند. نتایج این تفاسیر به همراه رزدياگرام های مربوطه در شکل های (۷، ۸، ۹) نشان داده شده است. ساختار های خطی در تمامی بلوک ها روند عمده شمال غربی - جنوب شرقی دارند.



شکل ۷: ساختارهای (گسل و شکستگی) تفسیر شده با تصاویر ماهواره ای و رزدياگرام آنها در بلوک اکتشافی شماره ۱



شکل ۸: ساختارهای (گسل و شکستگی) تفسیر شده با تصاویر ماهواره ای و رزدياگرام آنها در بلوک اکتشافی شماره ۲ و ۵



شکل ۹: ساختارهای (گسل و شکستگی) تفسیر شده با تصاویر ماهواره ای و رزیدیاگرام آنها در بلوک اکتشافی شماره

۳ و ۴

دگرسانی آرژلیک پیشرفته: دگرسانی آرژلیکی پیشرفته با حضور کانی های آلونیت، پیروفیلیت و بعضا کانی های گروه کائولینیت و رگه های کوارتز و اپال مشخص می شود. این دگرسانی یکی از شدیدترین انواع دگرسانی ها بوده و نشان دهنده سولفید (گوگرد) بالا، شرايطی اسیدی و pH پایین محلول است و وسعت کافی آن می تواند عامل کلیدی در اکتشاف طلای اپی ترمال سولفید بالا باشد. نقشه کانی های آلونیت به همراه مقادیر کمتر کائولینیت است. لکه های A و B در شکل (۱۰) و (۱۱) به نظر می رسند که دگرسانی آرژلیک پیشرفته همراه یا سیستم کانی سازی طلا باشند. نقاط B در شکل ۳-۱۲ اما خارج از بلوک ۲ بوده و نقطه C (شکل ۱۱) اصولا در ارتباط با واحدهای رسوبی است.

دگرسانی سیلیسی: دگرسانی سیلیسی که یکی از نشانگر مهم اکتشاف کانی سازی طلای اپی ترمال است با افزایش نسبت کوارتز یا سیلیس نهان بلورین^۲ (مثل چرت، کلسدونی یا اپال) در سنگ دگرسان تعریف می شود. سیلیس ممکن است از محلول های گرمابی وارد شده و یا محصول جانبی دگرسانی فلدسپارها و خروج برخی عناصر از محیط باشد. کانی های سیلیسی دارای جذب های شاخص و متوالی در محدوده حرارتی هستند و به دلیل وجود ۵ باند حرارتی در داده های استر، این کانی ها را می توان با وضوح مکانی ۹۰ متر نقشه برداری کرد. البته تفسیر سیلیس های نقشه برداری شده با این داده ها و نسبت دادن آنها به دگرسانی سیلیسی و زون های کانی سازی با دشواری همراه است. چرا که هر دو گروه سیلیس های گرمابی^۳ و سیلیس سنگی^۴ رفتار طیفی مشابه دارند. سیلیس سنگی، کانی های سیلیکاته متن سنگ ها (مثل کنگلومرا و ریولیت) است. از سوی دیگر رگه های باریک سیلیسی ممکن است با وضوح پایین داده های حرارتی تفکیک نشوند. راه حل مورد نخست تفسیر موازی و استفاده از سایر شواهد دگرسانی در کنار نقشه های زمین شناسی است. کانی های سیلیسی نقشه برداری شده با داده های حرارتی به همراه مرز واحدهای سنگی تفکیک شده است. به نظر می رسد نقاط A، B و C دگرسانی سیلیسی بوده و با کانی سازی احتمالی

^۱- Siliceous Alteration

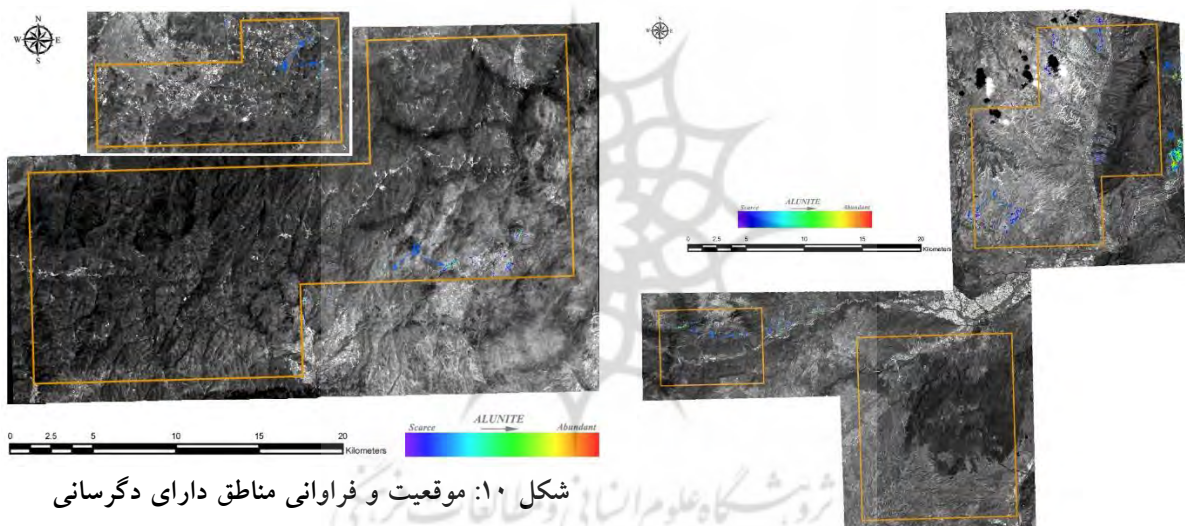
^۲- Crypto-crystalline Silica

^۳- Hydrothermal Silica

^۴ Siliceous Lithologies

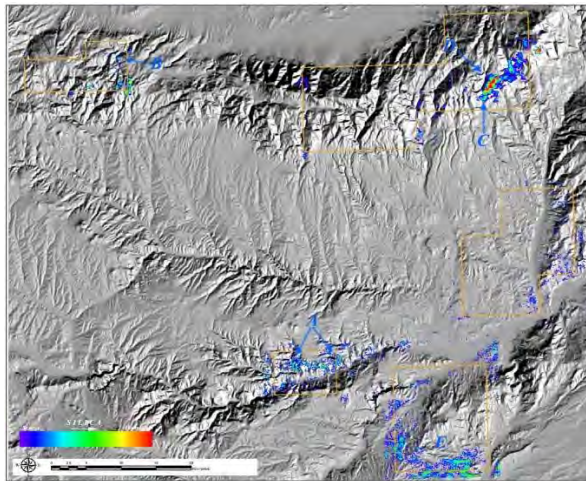
طلا همراه باشند، اما سیلیس های E به نظر می رسد که با واحدهای کنگلومرا در ارتباط بوده و اهمیت اکتشافی نداشته باشند. سیلیس های بخش D شکل (۱۲) باید با کنترل زمینی تفسیر و قضاوت شوند.

دگرسانی آرژیلیک: دگرسانی آرژیلیکی وسیع ترین و متداول ترین نوع دگرسانی برای بسیاری از سیستم های گرمایی و کانی سازی است. دگرسانی پلاژیوکلازهای سنگ موجب تولید این دگرسانی با حضور کانی های گروه کائولینیت، ایلیت و اسمکتیت می شود. داده های ASTER می تواند کانی های گروه کائولن را که معرف دگرسانی آرژیلیک است شناسایی و نقشه برداری کند. گسترش و فراوانی این دگرسانی در شکل های (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است. همانند موارد قبلی وجود رس های رسوبی در واحدهای شیلی، ژئپسی و مارنی تولید آنومالی های کاذب در بخش هایی مثل A و B (شکل ۱۴) کرده است، اما برای نمونه بخش های C، D و E به نظر می رسد که حاصل دگرسانی سنگ ها تا حد آرژیلیک باشند.

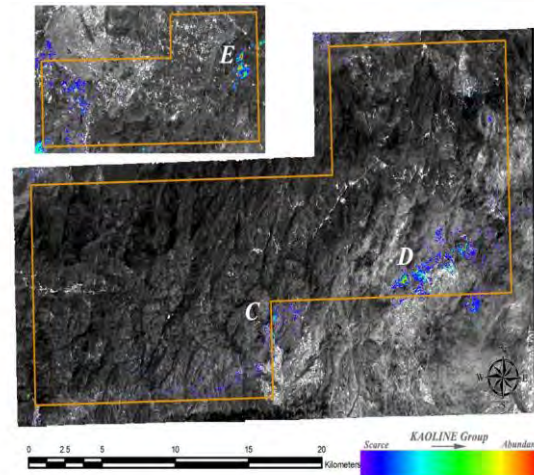


شکل ۱۰: موقعیت و فراوانی مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک پیشرفته استخراج شده از داده های Aster در بلوک اکتشافی ۵

شکل ۱۱: موقعیت و فراوانی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته استخراج شده از داده های Aster در بلوک اکتشافی ۲، ۳ و ۴



شکل ۱۲: موقعیت و فراوانی مناطق سیلیسی شده استخراج شده از داده‌های Aster در ناحیه میانه



شکل ۱۳: موقعیت و فراوانی دگرسانی آرژیلیتی استخراج شده با داده‌های Aster در محدوده بلوک های ۱ و ۵

دگرسانی سیرسیتی: در دگرسانی سیرسیتی، کانی‌های سیرسیت (موسکویت/ایلیت)، کائولینیت $+/-$ کوارتز و نیز تورمالین غالب هستند. دگرسانی سیرسیتی متداول‌ترین نوع دگرسانی در سنگ‌های غنی از آلومینیوم در عمق‌های متوسط است. سیرسیتی شدن معمولاً در فاز آخر کانی‌زایی با دگرسانی فلدسپات و میکاها تشکیل می‌شود و با تولید مقادیر زیادی کوارتز ثانویه همراه است. با اسیدی‌تر شدن محلول، سیرسیت‌های تولیدی جای خود را به کائولن می‌دهند و در صورتی که این فرآیند ادامه یابد، شستشوی شدید سنگ منجر به تولید کانی‌هایی چون آلونیت می‌شود. نقشه برداری دگرسانی سیرسیتی با داده‌های ASTER منجر به استخراج کانی‌هایی چون موسکویت، ایلیت-مونت موریلونیت و آلومینیوم اسمکتیت می‌شود. نتایج نقشه برداری شده در بلوک‌های ۱ و ۵ در شکل (۱۵) نشان داده شده است.

دگرسانی پروپلیتیک: دگرسانی پروپلیتیک اولین و بیرونی‌ترین دگرسانی تشکیل شده پیرامون کانسار در وسعت زیاد است. دگرسانی پروپلیتیک با کانی‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت به همراه مقادیر کمتری اسمکتیت، زئولیت و آمفیبول (اکتینولیت) مشخص می‌شود. عموماً زون دگرسان اولیه در ادامه فعالیت‌های گرمایی با دگرسانی‌های کوارتز-پتاسیک، آرژیلیک و سیرسیت جایگزین می‌شود، لذا تنها بخش‌های حاشیه‌ای آن باقی می‌ماند و به صورت غلاف بزرگی که نشانگر محدوده فعالیت محلول‌های گرمایی بوده، کانی‌سازی را فرا می‌گیرد. با پردازش‌های صورت

گرفته بر روی داده های ASTER برای نقشه برداری کانی های کلریت، اپیدوت، تنها در بلوک ۱ هاله های دگرسانی پروپیلیتیک مرتبط با کانی سازی مشاهده شد. شکل (۱۶) نتیجه این پردازش ها را نشان می دهد.

هوازدگی اکسیدهای آهن! اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن عمدتاً در اثر هوازدگی شکل می گیرند و طی آن کانی های اولیه منیتیت، پیریت و کالکوپیریت و غیره با آب و اکسیژن محیط واکنش داده و به کانی های ثانویه آهن تبدیل می شوند. کانی های ثانویه تشکیل شده شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت، ژاروسیت و در محیط های کربناته سیدریت و آنکیریت است. کانی های آهن دار در اثر فرآیند الکترونیکی^۳ در محدوده های طول موج کوتاه یعنی مرئی و نزدیک

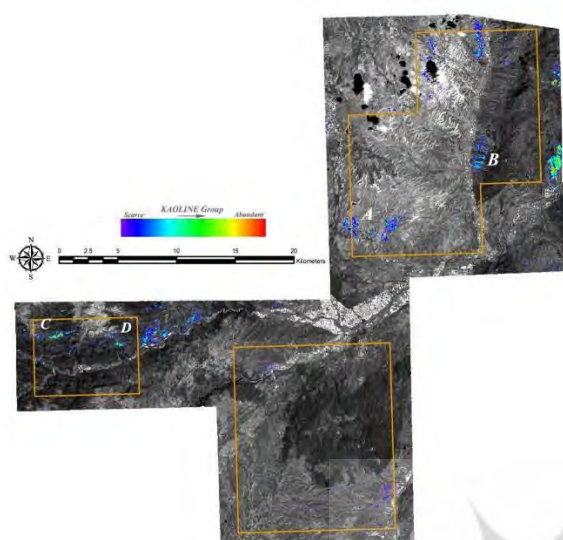


^۱- Ferruginous Weathering

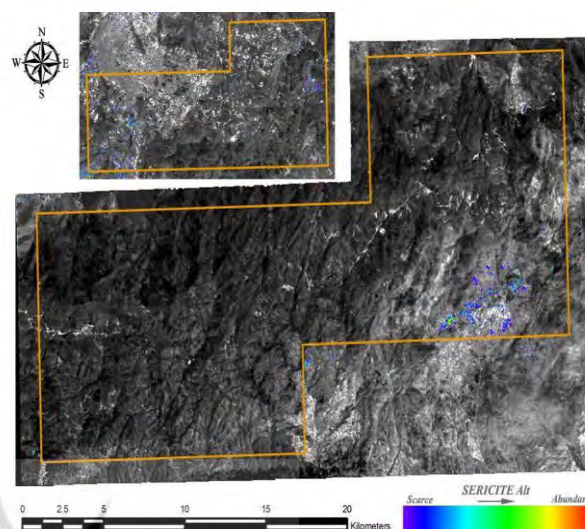
^۲- Weathering

^۳- Electronic Process

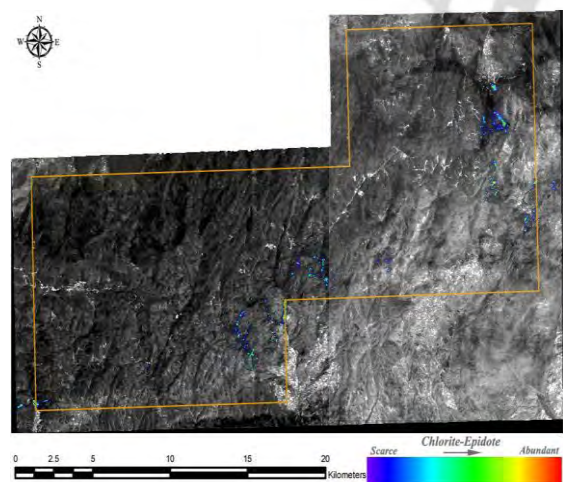
مادون قرمز از خود جذب نشان می دهند و با باندهای طول موج کوتاه ETM قابل نقشه برداری هستند. پردازش های انجام یافته بر روی تصاویر لندست منجر به نتایج شکل (۱۷) شد.



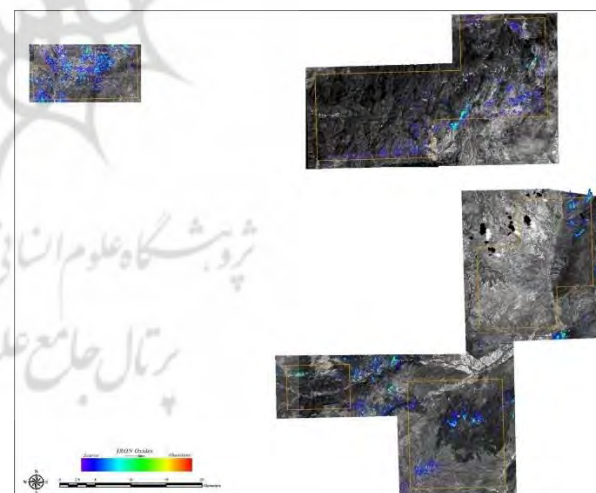
شکل ۱۴: موقعیت و فراوانی دگرسانی آرژیلیتی استخراج شده با داده های Aster در محدوده بلوک های ۲، ۳ و ۴



شکل ۱۵: موقعیت و توزیع نسبی انواع کانی های سریستی استخراج شده از داده های Aster در محدوده بلوک های ۱ و ۵



شکل ۱۶: موقعیت و فراوانی کانی های کلریت/ اپیدوت معرف دگرسانی پروپیلیتی استخراج شده از داده های Aster در بلوک ۱



شکل ۱۷: موقعیت و فراوانی اکسیدهای آهن استخراج شده از داده های ETM در ناحیه اکتشافی میانه

^۱ - Absorption

تلفیق اطلاعات حاصل از دورسنجی: هنگامی که بر اساس مدل کانی سازی چندین داده اکتشافی بکار می رود، بهتر است تحلیل و تفسیر نتایج در ارتباط با اطلاعات بدست آمده از سایر روش ها انجام شده و نتایج با هم تلفیق شوند. تلفیق یا ترکیب در واقع استفاده بهینه از اطلاعات اکتشافی و تفسیر موازی آنها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ است. GIS ابزاری توانمند برای کمک به برنامه های اکتشافی و زمین شناسی است که می تواند اطلاعات مکانی رستری^۳ و برداری^۴ با ماهیت های متفاوت را نگهداری، ویرایش، آنالیز و مدیریت کرده و کارتوگرافی و تهیه نقشه های زمین شناسی را تسهیل کند.

تلفیق نقشه های شاهد کانی سازی: بررسی نقشه های شاهد به دو روش متکی بر داده ها^۵ و متکی بر دانش^۶ انجام می شود. ایراد وارده به این روش ها وزن دهی به تک تک "نقشه ها" برای تولید ناهنجاری ها و نیز تولید ناهنجاری های بزرگ و کاذب، بخصوص در صورت کم بودن اطلاعات، وزن دهی غلط و یا عدم ویرایش صحیح نقشه های شاهد است. در بسیاری مواقع ناهنجاری ها بر اساس نقشه های دگرسانی و با کمک شواهد زمین شناسی و ژئوفیزیکی قابل شناسایی هستند. در مرحله تلفیق می توان این ناهنجاری ها را بر اساس شواهد موجود در لایه های مختلف اعتبارسنجی کرده و پس از حذف انواع کاذب، آنها را بر اساس اهمیت اولویت بندی کرد. با دنبال کردن این رویکرد متفاوت در منطقه اکتشافی حاضر، ناهنجاری های عمده استخراج و بر اساس نوع و همراهی دگرسانی ها، وسعت و شدت آنها و در نهایت شواهد زمین شناسی از جمله سنگ میزبانی که دگرسانی در آن رخ داده است و وجود گسل ها اولویت بندی شدند.

معرفی و توصیف ناهنجاری های اکتشافی: در مجموع ۲۴ محدوده ناهنجار با مساحت کلی ۲۹/۷ کیلومتر مربع (یعنی ۳٪ مساحت مطالعاتی) که بالاترین احتمال برای حضور کانی سازی را داشتند تعیین و در سه گروه A، B و C به تفکیک هر بلوک اولویت بندی و از ۱ تا حداکثر ۵ شماره گذاری شدند. اهمیت گروه ها به ترتیب $A > B > C$ است و شماره کوچکتر اهمیت بیشتر ناهنجاری را دلالت می کند. استعداد اصلی برای مناطق انتخابی کانی سازی طلای اپی ترمال و در وهله بعدی کانی سازی رگه ای / اسکارنی مس است. شناسنامه ناهنجاری های تولید شده در جدول ۲-۳ و موقعیت مکانی آنها در شکل های ۱۸ تا ۲۰ نشان داده شده است. بررسی این جدول حاکیست بلوک های ۱ و ۴ بیشترین استعداد کانی سازی و بلوک های ۳ و ۲ کمترین استعداد را در خود جای داده اند. اگر از دید استعداد معدنی بلوک ها را مرتب کنیم به ترتیب زیر می رسیم: ۱، ۴، ۵، ۲ و ۳. لازم به یادآوری است که نه همه دگرسانی ها با کانه سازی همراهند و نه همه کانه سازی ها با دگرسانی، ولی حضور دگرسانی نشانه با ارزش کانی سازی احتمالی است. گاهی نیز ممکن است دگرسانی همراه کانی سازی باشد، ولی به دلیل ابعاد کوچک آن در مقایسه با اندازه پیکسل های

1- Information Synthesis

2- Geographical Information System (GIS)

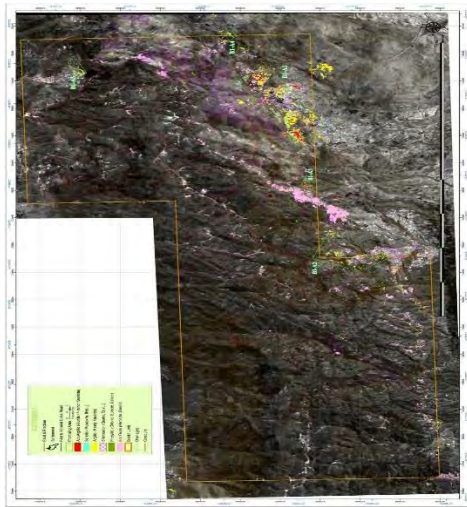
3- Raster

4- Vector

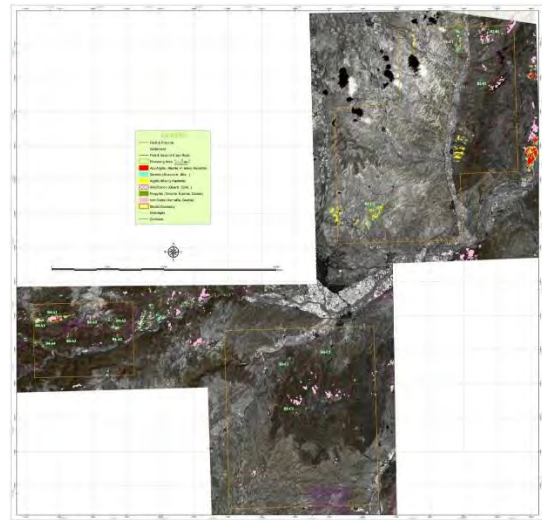
5- Data - Driven

6- Knowledge -Driven

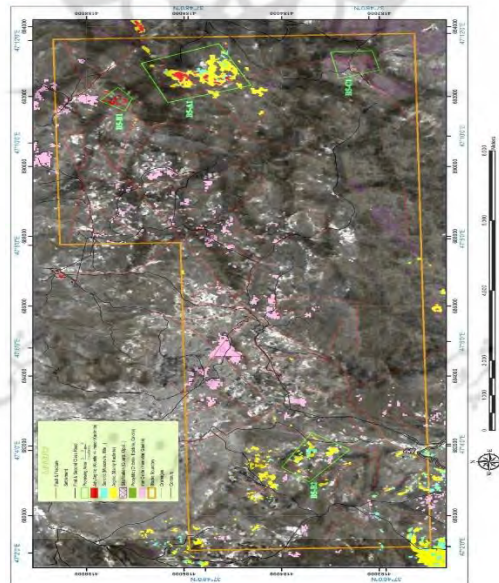
تصویر، نقشه برداری آنها دشوار یا ناممکن باشد. در جدول (۲) نیز شناسنامه ناهنجاری های پیشنهادی بر اساس پردازش داده های ماهواره ای با کانی سازی احتمالی طلای اپی ترمال در ناحیه میانه ارائه شده است.



شکل ۱۸: مناطق امیدبخش و مستعد کانی سازی طلا و اولویت بندی آنها با تلفیق شواهد کانی سازی در بلوک ۱ اکتشافی



شکل ۱۹: مناطق امیدبخش و مستعد کانی سازی طلا و اولویت بندی آنها با تلفیق شواهد کانی سازی در بلوک ۲، ۳ و ۴ اکتشافی



شکل ۲۰: مناطق امیدبخش و مستعد کانی سازی طلا و اولویت بندی آنها با تلفیق شواهد کانی سازی در بلوک ۵ اکتشافی

جدول ۲: شناسنامه ناهنجاری‌های پیشنهادی بر اساس پردازش داده‌های ماهواره‌ای با کانی سازی احتمالی طلای اپی
ترمال در ناحیه میانه

مساحت Km2	شواهد کانی سازی		مختصات مرکز آنومالی (UTM-38N)		شماره بلوک	شناسه آنومالی/ اولویت
	شواهد زمین شناسی		دگرسانی (طیفی)			
	لیتولوژی	ساختاری	X	Y		
10.8		مقاطع و گسل خورده	746224	4179925	1	B1-A1
5.1		مقاطع، حلقوی	735349	4176745	1	B1-A2
0.24		مجاور گسل	740389	4178650	1	B1-A3
0.33 0.18		مقاطع و گسل خورده	751243 750415	41825654181864	1	B1-A4
0.59		مجاور گسل	748955	4190173	1	B1-A5
0.96		مقاطع و گسل خورده	754933	4165810	2	B2-B1
0.59		مقاطع و گسل خورده	755698	4161731	2	B2-B2
1.56		مجاور گسل	752544	4165391	2	B2-C1
1.23		-	745020	4150055	2	B2-C2
0.18		مجاور گسل	737528	4137148	3	B3-C1
0.14		مجاور گسل	741175	4138201	3	B3-C2
0.25		مجاور گسل	738164	4132494	3	B3-C3

1.41		مجاور گسل	آرژیلیک پیشرفته، سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیتی، اکسید آهن	717018 715177	4140855 4140580	4	B4-A1
0.36							
0.84		مجاور گسل	آرژیلیک پیشرفته، سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیتی، اکسید آهن	721800 722205	4140243 4139255	4	B4-A2
0.08							
0.18		مقاطع و گسل خورده	سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیتی، اکسید آهن	717805	4139266	4	B4-A3
0.38		مقاطع و گسل خورده	آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیکی، سریسیتی، اکسید آهن	715271	4138461	4	B4-A4
0.20		مجاور گسل	سیلیسی، آرژیلیکی، سریسیتی، اکسید آهن	720489	4140055	4	B4-A5
2.21		مقاطع و گسل خورده	سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیکی، سریسیتی	692647	4185768	5	B5-A1
0.23		مجاور گسل	آرژیلیک پیشرفته (؟)، سریسیتی	691915	4187358	5	B5-B1
0.97		مجاور گسل	آرژیلیکی، سریسیتی، اکسید آهن	681673	4183339	5	B5-B2
0.57		مقاطع	سیلیسی	692953	4182514	5	B5-C1

۴- نتیجه گیری

مطالعات اکتشافی مواد معدنی، به ویژه کانسارهای پلی متال، همواره با چالش هایی از جمله دسترسی محدود به مناطق صعب العبور، هزینه های بالای عملیات حفاری و نمونه برداری، و زمان بر بودن روش های سنتی مواجه بوده است. در این میان، پیشرفت های چشمگیر در فناوری های سنجش از دور، فرصت های جدیدی را برای اکتشاف و ارزیابی منابع معدنی فراهم آورده است. کانسارهای پلی متال از این نظر حائز اهمیت هستند که کانسارهای پلی متال به عنوان منابع غنی از فلزات پایه و گرانبها، نقش حیاتی در صنایع مختلف ایفا می کنند. با افزایش تقاضا برای این فلزات در صنایع الکترونیک، انرژی، و حمل و نقل، اهمیت اکتشاف و بهره برداری بهینه از این کانسارها بیش از پیش احساس می شود. منطقه کهدلان به دلیل پتانسیل معدنی بالا، همواره مورد توجه زمین شناسان و اکتشافگران بوده است. با این حال، این منطقه با چالش هایی از جمله: پوشش گیاهی انبوه و توپوگرافی ناهموار: این عوامل، دسترسی به رخنمون های معدنی و انجام مطالعات زمین شناسی سنتی را با محدودیت مواجه می سازد. پراکندگی گسترده کانی سازی: کانی سازی پلی متال در این منطقه به صورت پراکنده و با گسترش فضایی متفاوت رخ داده است که شناسایی آن را دشوار می سازد. عمق زیاد زون های دگرسانی: در بسیاری از مناطق، زون های دگرسانی در عمق قرار دارند و شناسایی آن ها از سطح زمین به راحتی امکان پذیر نیست. نقش دورسنجی در حل چالش ها بدین منظور اهمیت دارند که با ارائه داده های مکانی و

طیفی از سطح زمین، امکان مطالعه مناطق وسیع و صعب‌العبور را فراهم می‌آورد. این فناوری قادر است تغییرات در ترکیب معدنی سنگ‌ها را شناسایی کرده و نقشه‌های دگرسانی با دقت بالایی تولید کند. بنابراین هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل دگرسانی‌های کانسار پلی‌متال با استفاده از شواهد دورسنجی در ناحیه میانه استان آذربایجان شرقی می‌باشد. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا (استر و لندست) استفاده شده است. پس از پیش‌پردازش داده‌ها و تصحیح اثرات اتمسفری، از روش‌های پردازش طیفی برای استخراج اطلاعات معدنی از تصاویر استفاده شده است. در این پژوهش از شاخص‌های طیفی مختلفی برای شناسایی کانی‌های دگرسانی مانند سریستی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته استفاده و محاسبه شده است. نقشه‌های پراکنش این شاخص‌ها تهیه شده و با استفاده از روش‌های آماری و زمین‌آماری، ارتباط بین آن‌ها و کانی‌سازی پلی‌متال بررسی شده است. استفاده از داده‌های دورسنجی، امکان تهیه نقشه‌های دقیق و سریع از مناطق دگرسانی شده را فراهم آورده است. این نقشه‌ها می‌توانند به عنوان یک ابزار کارآمد برای اکتشاف و ارزیابی پتانسیل معدنی مناطق مورد استفاده قرار گیرند. از سوی دیگر برخی از مزایای استفاده از دورسنجی در این زمینه عبارتند از: پوشش گسترده و سریع: تصاویر ماهواره‌ای امکان پوشش کل منطقه مطالعه را در یک بازه زمانی کوتاه فراهم می‌کنند، شناسایی مناطق امیدبخش: با استفاده از شاخص‌های طیفی، می‌توان مناطق دارای پتانسیل معدنی بالا را شناسایی کرده و برای مطالعات تفصیلی‌تر اولویت‌بندی نمود، تعیین گسترش و نوع دگرسانی‌ها: با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان گسترش مکانی انواع مختلف دگرسانی‌ها را تعیین کرده و ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی را بررسی نمود، پایش تغییرات محیطی: تصاویر ماهواره‌ای با دقت زمانی بالا، امکان پایش تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را فراهم می‌آورند. نتایج این پژوهش می‌تواند به اکتشافگران کمک کند تا مناطق امیدبخش معدنی را با دقت بیشتری شناسایی کرده و هزینه‌های اکتشاف را کاهش دهند، با تعیین دقیق گسترش و شدت دگرسانی‌ها، می‌توان به تخمین دقیق‌تر ذخایر معدنی پرداخت. همچنین به شناخت دقیق تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی، امکان مدیریت پایدار منابع معدنی را فراهم می‌آورد.

منابع

- جهان‌دیده کاظم‌پور، ک.، حسینی، م.، حکیمی آسیابر، س.، ۱۳۹۰. مطالعه نحوه کانه‌زایی در کانسار پلی‌متال عباس‌آباد (شمال باختر استان قزوین)، مجله زمین و منابع واحد لاهیجان، ۴(۳): ۲۱-۳۲.
- خلیج معصومی، م.، لطفی، م.، معمار کوچه باغ، ا.، خاکزاد، ا.، ۱۳۹۰. دگرسانی گرمابی در ناحیه آنومالی ۵ ساغند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER، مجله پژوهش‌های دانش زمین، ۲(۶): ۲۹-۴۱.
- صادقی، س.، یزدی، م.، رسا، ا.، جانثاری، م.، ر.، ۱۴۰۰. منشاء‌یابی نهشته‌های پلاسری کواترنر با بهره‌گیری از مطالعات دورسنجی و ژئوشیمی در محدوده زواریان، جنوب غرب قم، مرکز ایران، مجله کواترنری ایران، ۷(۲): ۶۲۹-۶۴۹.

- عابدینی، م.، سرایی، ب.، ۱۴۰۲. شناسایی و استخراج تغییرات ماسوله رودخان استان گیلان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مجله مطالعات علوم محیط زیست، ۸(۴): ۷۴۰۷-۷۴۱۷.
- علوی پناه، ک.، ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، دانشگاه تهران، ص ۴۸۷.
- فاطمی، س. ب.، رضائی، ی.، ۱۳۸۹. مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاد، ص ۲۶۸.
- ماهوش محمدی، ن.، هزارخانی، ا.، مقصودی، ع.، ۱۳۹۷. به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی و تفکیک بخش‌های دگرسانی منطقه خونی و کالکافی (استان اصفهان)، مجله دانش زمین، ۹(۳۳): ۱۳۷-۱۵۲.
- معصومی، ف. ا.، رنجبر، ح. ا.، ۱۳۹۰. مقایسه بین داده‌های ژئوفیزیک هوایی و تصاویر حسگر استر در نقشه برداری از مناطق دگرسانی گرمابی به منظور اکتشاف کانی‌سازی مس در منطقه بافت کرمان، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۱): ۸۳-۱۰۰.
- نظری، س.، عرب‌امیری، ع.، کامکار روحانی، ا.، ۱۴۰۰. به کارگیری روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیک زمینی در پی جویی و اکتشاف ذخایر مس در منطقه باب زنگویه، چهار گنبد کرمان، مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۵(۲): ۳۳۷-۳۶۰.
- رنگرز فروغ، ف. ۱۴۰۳. ارزیابی توان ژئوتوریستی میراث زمین شناختی شهرستان مراغه، جغرافیا و روابط انسانی، انتشار آنلاین، [10.22034/GAHR.2024.437346.2042](https://doi.org/10.22034/GAHR.2024.437346.2042)
- نمازی، ن.، جعفری، م. ر.، جعفری‌راد، ع.، خاکزاد، ا.، ۱۳۹۸. بررسی دگرسانی‌های کانسار پلی‌متا پس قلعه (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران) با استفاده از شواهد دورسنجی، مجله علوم زمین، ۲۹(۱۱۳): ۲۲۱-۲۲۸.
- نوحه گر، ا.، بداغی، م.، کاظمی، م.، کمالی، ع.، ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های پیکسل مبنا و زیر پیکسل مبنا در شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی با استفاده از داده‌های ASTER، مجله دانش زمین، ۱۶: ۱-۱۳.
- Abrams, M., Hook, S. 2001. ASTER User Handbook Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA-91109, USA, P. 135.
- Asadi, H. 2000. The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in IRAN, Delft University, Holland, P. 160.
- Gomez, C., et al. 2004. Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia, Remote Sensing, 15, 125-142.
- Hellman, M., Ramsey, M. 2004. Analysis if hot springs and associated deposits in Yellowstone national park using ASTER and AVIRIS remote sensing, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 135, 195- 219.
- Ranjbar, H., et al. 2004. Integration of ASTER and airborne geophysical data for exploration of copper mineralization, A case study of Sarcheshme area, Proceedings of 20th congress, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul Turkey, 4, 701-706.
- Tommaso, D., Rubinstein, N. 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, Ore Geology Reviews, 32, 275-290.

- Walfir, P., et al. 2005. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. Can. J. Remote Sensing, 31, 214-224.

