



1- مقدمه

هر ماده طبیعی در کنش با انرژی الکترومغناطیسی بسته به ترکیب شیمیایی خود، بخش یا بخش هایی از انرژی را جذب، بخشی را عبور و مابقی را بازتاب می‌دهد. انرژی جذب شده خود در طول موج های بالاتر به صورت تشعشعات حرارتی از ماده منتشر می‌شود. طیف نگاری¹ علمی است که به این مقوله می‌پردازد و شاخه زمین شناسی آن که زمین شناسی طیفی² نامیده می‌شود، ترکیب شیمیایی کانی ها و سنگ ها و ارتباط این تغییرات با شکل طیف انعکاسی³ یا تابشی⁴ را بررسی می‌کند. زمین شناسی طیفی نشان داده که برای بسیاری از کانی ها نه تنها می‌توان یک نمودار طیفی منحصر به فرد تهیه کرد، بلکه این امکان وجود دارد تا تغییرات جزئی عناصر در شبکه کانی ها، شرایط فیزیکی - شیمیایی و محیط تشکیل کانی ها، شکل شبکه بلورین و در نهایت فراوانی یک کانی در یک نمونه را در قالب تغییرات در شکل، موقعیت و شدت جذب و بازتاب طیفی اندازه گیری و کمی کرد.

طیف سنج ها و سنجده های دورسنجی کار ثبت و کمی سازی جذب و بازتاب های انعکاسی و تابشی از مواد و کانی ها را بر عهده دارند. سنجنده ها که عموماً بر روی سکوهاى متحرک (هواپیما / ماهواره یا هواپرد⁵ / فضاپرد⁶) نصب می‌شوند، بسته به تعداد و فاصله اندازه گیری طیفی سنجنده چندطیفی⁷ یا فراطیفی⁸ نامیده می‌شوند. سنجنده های فراطیفی یا طیف سنج تصویری⁹ قادرند در قالب یک تصویر، تعداد بیشماری طیف انعکاسی یا تابشی (به تعداد پیکسل های موجود در تصویر) مشابه انواع آزمایشگاهی را در اختیار قرار دهند. به این ترتیب حجم انبوهی اطلاعات سطحی که به آسانی از مشاهدات زمینی قابل دستیابی نیستند توسط طیف سنج تصویری در اختیار متخصصان علوم زمین قرار می‌گیرد.

- 1- Spectroscopy
- 2- Spectral Geology
- 3- Reflectance Spectra
- 4- Emittance Spectra
- 5- Airborne
- 6- Spaceborne
- 7- Multispectral Scanner
- 8- Hyperspectral Scanner
- 9- Imaging Spectrometry

**مطالعات ماهواره‌ای**

سنجنده های چندطیفی و فراطیفی در بازه مرئی¹ و مرئی نزدیک، مادون قرمز طول موج کوتاه² و حرارتی³ فعال هستند. سنجنده هایی که انرژی الکترومغناطیسی را در بازه طیفی 0.3-2.5 تا 2.5 میکرومتر اندازه گیری می کنند نوع انعکاسی و آنهایی که در بازه طیفی 3-5 و 8-14 میکرومتر اندازه گیری می کنند نوع حرارتی هستند. پس از تبدیل داده های خام ثبت شده به طیف های انعکاسی، می توان استخراج اطلاعات از تصویر را دنبال کرد. این گام با پردازش رقومی داده ها توسط کامپیوتر و انواع الگوریتم های پردازش تصویر⁴ و پردازش سیگنال⁵ ممکن می شود. امروزه تلاش بر این است که الگوریتم ها و روش های نوینی برای پاسخ گویی و مدل سازی پیچیدگی های زمین شناسی ابداع و معرفی شود.

داده های ماهواره ای علاوه بر برداشت طیفی پیوسته از مناطق وسیع در قالب پیکسل، شکل واقعی از زمین ارائه می کنند. طیف های اندازه گیری شده در هر پیکسل، کانی شناسی و ژئوشیمی سطح را کمی کرده و جایگزین روش های قدیمی توصیفی و کیفی در زمین شناسی کرده است. مجاورت پیکسل ها با هم نیز بافت سطح را منعکس کرده و جایگزین عکس های هوایی شده است. اندازه گیری های دورسنجی بر خلاف روش های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی ماهیت سطحی به جای نقطه ای دارند، یعنی نمودار طیفی ثبت شده برای یک پیکسل ترکیبی خطی (و گاهی غیر خطی) از بازتابش کلیه مواد موجود در سطح، بسته به وسعت هر کدام است.

کاربرد این داده ها در اکتشاف و زمین شناسی عموماً نقشه برداری از تنوع کانی شناسی سطحی بخصوص برای اکتشاف منابع معدنی، شناسایی الگوهای دگرسانی و هوازدگی، شناسایی شرایط فیزیکی- شیمیایی تشکیل کانی ها، کمی سازی محیط های دگرسانی و اکسیداسیون- احیا، مطالعات سنگ شناسی (رسوبی، دگرگونی و آذرین)، تعیین موقعیت کانی های خاص و کمیاب، مطالعات ژئوترمال، آلودگی های زیست محیطی پیرامون معادن و حتی مطالعه مغزه های حفاری بوده است.

به طور خلاصه در یک برنامه اکتشافی مدرن، دور سنجی دارای کاربرد های زیر است:

- 1- Visible-Near Infrared
- 2- Shortwave Infrared
- 3- Thermal
- 4- Image Processing
- 5- Signal Processing

**مطالعات ماهواره‌ای**

1- به نقشه درآوردن خطواره‌های ناحیه‌ای: با توجه به نظریه تکتونیک صفحه‌ای¹، پیدایش و گسترش کانسارها دارای الگوی زمانی و مکانی خاصی است. ایالت‌های متالوژنی و کانی‌سازی‌های همراه آنها با امتداد و روند سیستم‌های شکستگی ناحیه‌ای و ساختارهای خطی² بزرگ مقیاس کنترل می‌شود. این شکستگی‌ها مهمترین عوامل کنترل‌کننده ماگماتیسم، ولکانیسم و کانی‌سازی به حساب می‌آیند. داده‌های دورسنجی به دلیل یکپارچی و وسعت دید، شناسایی شکستگی‌ها، تعیین ارتباط مکانی و ساخت مدل ساختاری در یک ناحیه را تسهیل می‌کنند.

2- به نقشه درآوردن شکستگی‌های منطقه‌ای و کوچک: ثابت شده که پیدایش نهشته‌های شناخته شده در کمربندهای معدنی با ساختارهای محلی، بخصوص با تقاطع³، توزیع و آرایش⁴ و تراکم⁵ شکستگی‌ها انطباق بالایی دارد. چرا که این عوامل حرکت و چرخش سیالات گرمایی در درون سنگ‌ها و در نتیجه تشکیل کانی‌سازی را کنترل می‌کنند. بنابراین می‌توان با نقشه برداری این ساختارها توسط تصاویر ماهواره‌ای، به الگوی‌های جدید تمرکز کانی‌ها دست یافته و یا الگوهای موجود را بهبود بخشید.

3- به نقشه درآوردن واحدهای زمین‌شناسی: اغلب ذخایر از نظر ژنز و موقعیت جایگزینی ارتباط مستقیم یا غیر مستقیمی با فعالیت‌های ماگمایی به صورت پلوتونیسم و یا ولکانیسم (در قالب نظریه تکتونیک صفحه‌ای) دارند. تصاویر متعامد شده⁶ چند بانندی رنگی ماهواره‌ای می‌تواند دید طبیعی، فاقد خطای کارتوگرافی و یا اشتباهات تفسیری از یک ایالت متالوژنیکی و یک منطقه معدنی داشته باشند، لذا می‌توان این نقشه‌ها را به عنوان مبنای گرافیکی بسیار خوبی در نقشه برداری سریع و دقیق واحدهای زمین‌شناختی و تفسیرهای زمین‌شناسی استفاده کرد. این روش همچنین در به روز کردن نقشه‌های قدیمی موجود، یکپارچه‌سازی نقشه‌ها، حذف خطای هندسی و بخصوص اصلاح مرز واحدها و کنتاکت‌های زمین‌شناسی هدف بسیار ارزشمند است.

1- Plate Tectonic Theorem

2- Lineaments

3- Intersection

4- Orientation

5- Density

6- Orthorectified

**مطالعات ماهواره‌ای**

4- به نقشه درآوردن دگرسانی های گرمابی: ذخایر معدنی به جز تعداد اندکی از انواع تفریق ماگمایی، با هاله‌های دگرسانی¹ خاصی همراه هستند که طی فرآیندهای گرمابی² ایجاد شده اند. این هاله‌های دگرسانی با حضور مجموعه ای از کانی های ثانویه مثل سیلیکات ها، انواع کانی های رسی، اکسیدها، هیدروکسیدها، کربنات ها، سولفات ها و سولفیدها تعریف می شوند. در مواردی که فرسایش به حد کافی عمل کرده باشد، این هاله ها در سطح زمین رخنمون پیدا می کنند. از آنجایی که کانی های معرف این هاله ها جذب های منحصر به فردی دارند و گسترش سطحی بیشتری از خود کانسار دارند، می توان با داده های ماهواره‌ای به خوبی آنها را شناسایی و نقشه برداری کرد. این هاله های دگرسانی به عنوان کلیدهای شاخص اکتشافی برای نهشته های ناشناخته و یا محدوده های دارای کانی سازی محسوب می شوند. مدل سازی مکانی³ و تعیین ارتباط زمین شناسی این کانی ها با کانی سازی، موجب کمیت بخشی به هاله های دگرسانی در اطراف کانسار می شود.

مطابق آمار ارائه شده توسط انجمن پی جویان اونتاریو⁴ برای کشف یک نهشته جدید لازم است حداقل 4000 کیلومتر مربع از سطح زمین مورد پی جویی قرار بگیرد. هوابرد یا فضابرد بودن سنجنده های دورسنجی موجب سرعت برداشت بالا و رقومی بودن داده ها موجب سرعت پردازش بالا می شود و به این ترتیب صرفه جویی در زمان و هزینه را به طور همزمان موجب می شود. یعنی زمان و هزینه لازم برای رسیدن به مناطق مطلوب کانی سازی را به شدت (تا یک پنجم) کاهش می دهد. از سوی دیگر وسعت دید⁵ سنجنده، غلبه بر محدودیت دید چشم با تکیه به کل بازه امواج الکترومغناطیسی و امکان برون یابی مشاهدات محدود زمینی در یک گستره وسیع احتمال یافتن نهشته جدید را افزایش می دهد.

سرمایه اکتشافی را آنگاه می توان با صرف زمان و ریسک کمتر در بخش های محدودتر پیشنهادی و با احتمال بالاتر برای عملیات زمینی مثل نمونه برداری ژئوشیمیایی و برداشت های ژئوفیزیکی هزینه کرد. دورسنجی حتی در مرحله اکتشافات نیمه تفضیلی - تفضیلی می تواند نقشه های گسترش کانی های سطحی ارائه کرده (با داده های با

1- Alteration

2- Hydrothermal

3- Spatial Modelling

4- Ontario Prospectors Association

5- Synoptic View



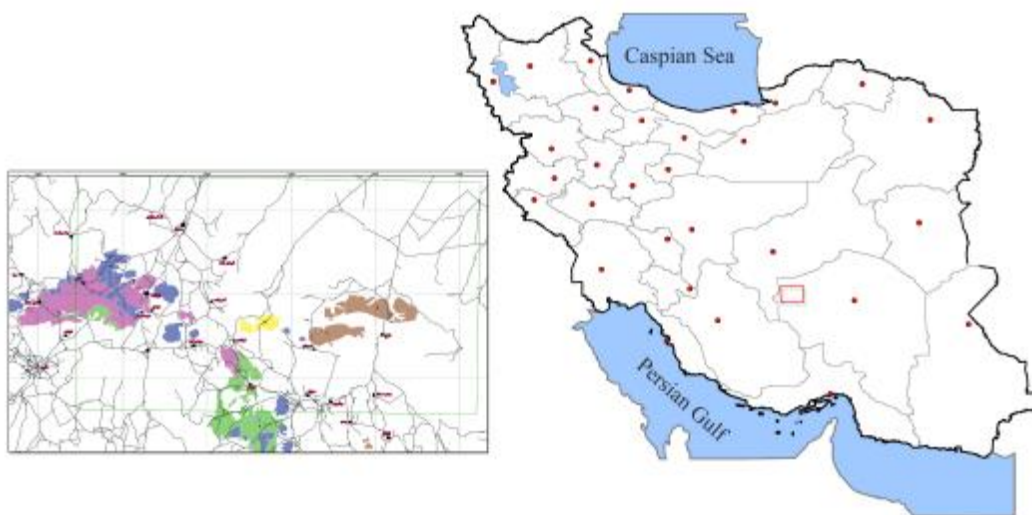
مطالعات ماهواره‌ای

وضوح طیفی بالا مثل های مپ) و لایه مینا برای تهیه نقشه های بزرگ مقیاس زمین شناسی (با داده های مکانی وضوح بالا¹ مثل کوئیک برد) باشد. داده های با ارزش فوق وقتی با داده های زمین شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی در محیط GIS تلفیق شود، انتخاب مناطق هدف² برای حفاری بهینه می شود.

2- موقعیت محدوده اکتشافی، معرفی داده ها

1-2- موقعیت جغرافیایی

محدوده تحت مطالعه به نام محدوده اکتشافی دهج در جنوب شهرستان دهج شمال غرب شهرستان شهربابک، در طول و عرض جغرافیایی "54°،45'،00" تا "55°،25'،00" و "30°،30'،00" تا "30°،45'،00" درجه مطابق شکل 1 در غرب استان کرمان قرار گرفته است و دو برگه 1:50000 توپوگرافی II 6951 و III 7051 را شامل می شود که به ترتیب دهج و جوزم نامیده می شوند (شکل 1).



شکل 1: موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران کشور (راست) و موقعیت راه ها و واحدهای مستعد کانی سازی در چهار گوش مطالعاتی سبز رنگ (چپ) - شمال نقشه در بالای کاغذ قرار دارد.

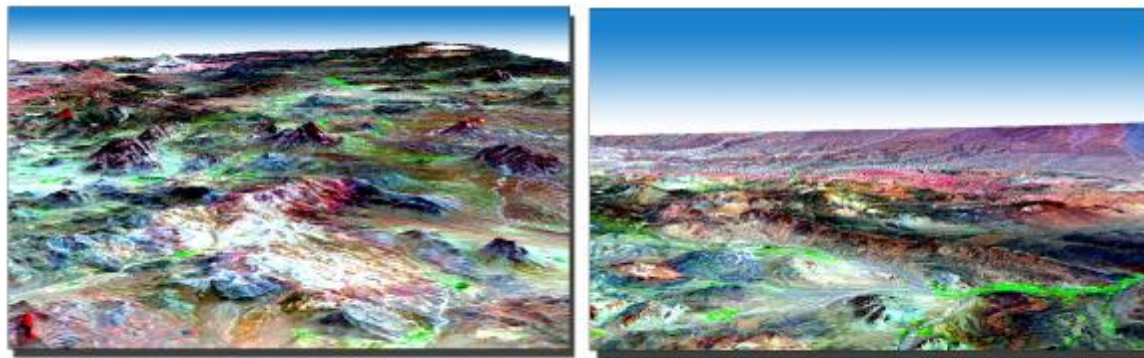
¹- High Resolution

²- Target Area

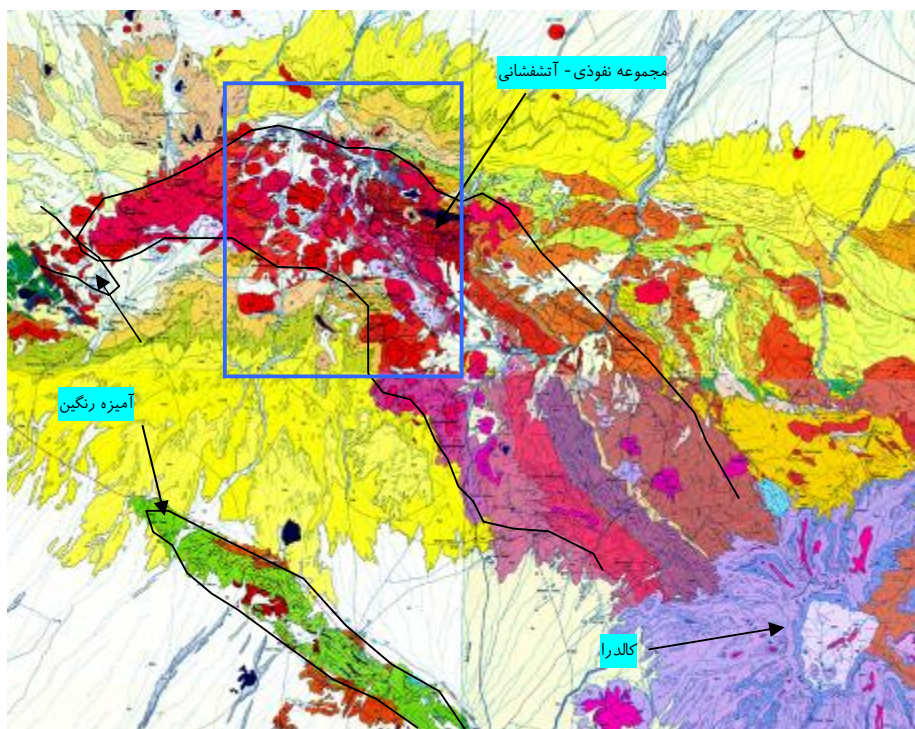


2-2- موقعیت متالورژی و زمین شناسی

محدوده تحت اکتشاف در غرب کرمان و در چهارگوش 1:250000 زمین شناسی انار قرار گرفته است. رگه زمین شناسی 1:100000 دهج - تهیه شده توسط زمین شناسان یوگسلاو - وسعت تحت مطالعه را پوشش می‌دهد. این منطقه دارای تنوع زمین شناسی گوناگونی است، طوری که واحدهای افیولیتی (آمیزه رنگین) در بخشهای جنوب غربی، واحدهای ولکانیکی و توده های نفوذی نیمه عمیق در مرکز محدوده مطالعاتی و چندین آتشفشان کوچک در حاشیه شمال شرقی دیده می‌شود. در کنار ولکانیسم شدید، حضور کانسار مس پرفیری میدوک و دگرسانی های گسترده در منطقه شاهد غنای کانساری در این ناحیه می‌باشند. در شکل 2 سیمای عمومی سه بعدی منطقه و شکل 3 وضعیت زمین شناسی و زون بندی چهار گوش مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل 2: سیمای عمومی منطقه مطالعاتی در یک نمای سه بعدی، دید تقریبی به شمال شرق (راست) و دید تقریبی به جنوب شرق (چپ)



شکل 3: شکل شماتیک نشان دهنده وضعیت زمین شناسی عمومی برکه دهج و زون بندی تکتونوماگمایی بر روی موزائیک نقشه های زمین شناسی یکصد هزار - شمال در بالای کاغذ قرار دارد.

همان طور که در شکل 3 نشان داده شده است، ناحیه مطالعاتی در کمان ماگمایی ارومیه - دختر قرار گرفته است. این کمان با سری گسترده ای از سنگ های آتشفشانی و آذرآواری وابسته به آنها از سهند تا بزمان کشیده شده است. این زون در بر گیرنده عمده ذخایر مس ایران و بویژه انواع پرفیری است.

همان طور که در شکل دیده می شود، ناحیه مطالعاتی بخش انتهایی از کمربند مس کرمان است. توده های نیمه نفوذی و ولکانیکی منطقه که بر روی نواری شمال غربی - جنوب شرقی گسترده شده اند، نشان دهنده کمان ماگمایی ناشی از فرورانش صفحه عربستان به زیر ایران هستند و سنی از ائوسن تا الیگومیوسن و بعضا نئوژن دارند. جنس این سنگ ها از داسیت و آندزیت های دگرسان، گرانودیوریت، کوارتز دیوریت و کوارتز مونزونیت تا اولیوین بازالت و انواع پیروکلاست ها در تغییر است. زون افیولیتی جنوب غربی با سن کرتاسه که باقیمانده های پوسته اقیانوس تتیس است، با روندی مشابه و به صورت گسسته دیده می شود.



2-3- انتخاب داده‌ها

یکی از ملاک‌های اساسی در انتخاب داده‌های ماهواره‌ای، مقیاس اکتشافی و نوع ماده و یا کانی (های) هدف است. مقیاس اکتشافی تعیین‌کننده دقت فضایی¹ داده‌ها بوده و بیانگر رابطه بین یک پیکسل تصویر و سطح معادل آن در زمین است. دقت طیفی²، تعداد و موقعیت باندها از لحاظ محدوده طول موجی تحت پوشش بوده است. با تعداد محدودی باند می‌توان انواع سنگ‌ها و کانی‌ها و مواد سطحی را از هم تفکیک کرد، ولی برای شناسایی منحصر به فرد³ یک کانی، لازم است تعداد باند کافی برای پوشش دادن به موقعیت جذب آن فراهم باشد.

امروزه از بین داده‌های دورسنجی چند طیفی⁴ ماهواره‌ای، داده‌های دو سنجنده ETM و ASTER بیش از همه در اکتشافات ناحیه‌ای و منطقه‌ای مورد توجه و استفاده هستند. زیرا تقریباً کل کره زمین در دوره‌ای طولانی را تصویر برداری کرده و می‌کنند، یک سین ماهواره‌ای آنها وسعت زیاد دارد و برای اکتشاف ناحیه‌ای و منطقه‌ای مناسب است، قادر به تفکیک و شناسایی گروهی و بعضاً منحصر بفرد کانی‌ها و سنگ‌های سطحی، بخصوص انواع مرتبط با دگرسانی‌ها است، دقت فضایی و طیفی مناسب دارد و در نهایت در دسترس بوده و هزینه تهیه و پردازشی اندکی متحمل پروژه‌های اکتشافی می‌کند.

با توجه به مقیاس عملیات اکتشافی در این پروژه (1:50000) و هدف پروژه اکتشافی حاضر یعنی تهیه نقشه دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی احتمالی، داده‌های ASTER و ETM انتخاب شدند.

تفاوت اصلی ASTER با ETM در تعداد بیشتر باندها در محدوده SWIR (معادل ETM 7) و باندهای حرارتی در محدوده TIR و نیز باند بیشتر لندست در محدوده مرئی (4 باند) و همچنین کیفیت بالاتر تصاویر ASTER است.

به این ترتیب 1 سین ETM به شماره‌های ردیف و گذر 39-161 و تاریخ ژوئن 2002 و 4 سین

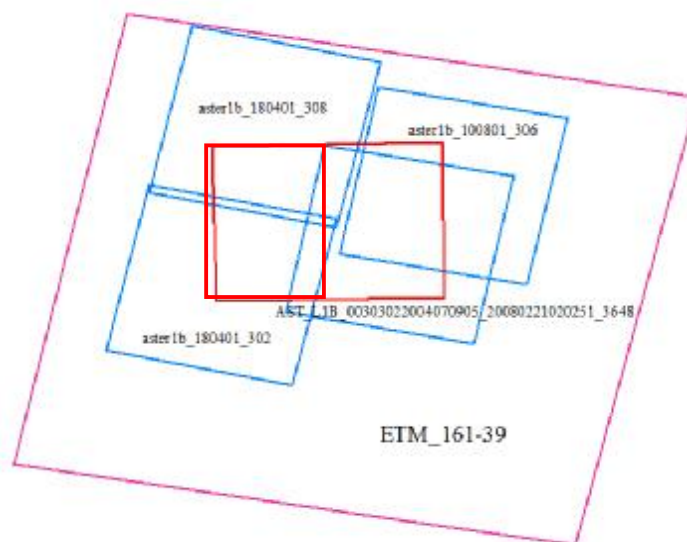
ASTER با شماره‌های AST_L1B_00303022004070905_20080221020251_3648

1- Spatial Resolution
2- Spectral Resolution
3- Unique
4- Multispectral



مطالعات ماهواره‌ای

aster1b_100801_306, aster1b_180401_302 و aster1b_180401_308 و تاریخ 2001 و 2006 که منطقه تحت مطالعاتی را پوشش کامل می‌دادند انتخاب گردید (شکل 4).



شکل 4: موقعیت محدوده مطالعاتی بر گره 1:50000 دهج (قرمز - نیمه غربی) بر روی داده‌های ماهواره‌ای ETM (ارغوانی) و ASTER (آبی)

در انتخاب داده‌ها سعی شد سین‌های انتخاب شده فاقد پوشش ابر بوده و پوشش گیاهی در وضعیت مناسبی باشد. حضور برف در سین ماهواره‌ای موجب ماسک سطح زیرین و تولید نویز در حین پردازش طیفی می‌شود. با این وجود، به دلیل مرتفع بودن منطقه، یکی از سین‌ها در ارتفاعات شمالی دارای برف بود که سعی شد در پردازش از سین دارای همپوشانی با این ناحیه استفاده شود. داده‌های با سطح 1b در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت.

4-2- معرفی سنجنده - ASTER

سنجنده استر که بر روی پلات فرم ترا¹ نصب شده است، تشعشع خورشید را در 14 باند، 3 باند بین 0,52-0,86 (VNIR)، 6 باند بین 1,6-2,43 (SWIR) با رزولوشن به ترتیب 15 و 30 متر ثبت می‌کند. بعلاوه تشعشعات

**مطالعات ماهواره‌ای**

ارسالی از خورشید را با رزولوشن 90 متر در 5 باند در محدوده 8,125 تا 11,65 میکرومتر (TIR) اندازه می‌گیرد. پهنای پوشش¹ آن 60km بوده و دید به پهلویی² تا 232 کیلومتر دارد.

محدوده های VNIR ، SWIR ، TIR مجموعه کاملی از داده ها را برای به نقشه درآوردن واحدهای زمین شناختی فراهم می کنند. سه باند VNIR منبع مهمی برای شناسایی فلزات انتقالی، بخصوص آهن هستند. در 6 باند SWIR کانی های کربناته، هیدرات ها و هیدروکسیدها دارای پدیده جذب مولکولی هستند و لذا برای نقشه برداری ترکیب کانی شناختی سطح زمین مناسب هستند. با وجود اینکه کانی هایی چون کوارتز و فلدسپات که جزو سازنده های اصلی سنگ ها محسوب می شوند، در محدوده SWIR و VNIR پدیده جذب خاصی از خود نشان نمی دهند، ولی بسیاری از آنها جذب مولکولی بارزی در طول موج حرارتی TIR از خود نشان می دهند.

5-2- معرفی سنجنده - ETM

داده های انعکاسی ماهواره لندست TM، دارای دقت فضایی 30×30m هستند و کیفیت رادیومتری و هندسی مناسبی دارند. 6 باند از این 7 باند (باند 5-1 و 7) انعکاسی بوده و در محدوده طول موج 0.45 تا 2.35mm قرار دارند. باندهای متداول در زمین شناسی باندهای TM5 و TM7 هستند. باندهای TM1، TM3 برای نقشه برداری گروه سنگ های مافیک و غنی از آهن ایده آل هستند.

3- مدل کانی سازی³

مدل کانی سازی یک پایه مفهومی برای کلیه برنامه های اکتشافی است و امروزه هدف اصلی مدل سازی کانسارها، کاربرد اکتشافی آنها برای افزایش احتمال کشف و کاهش هزینه هاست. در یک برنامه اکتشافی، کانی سازی مورد مطالعه را به مدل خاصی نسبت می دهند تا بتوانند با تکیه بر مقدار پارامترهای مشابه در مدل انتخاب شده، هر یک از ویژگی های کمی و کیفی کانی سازی را تخمین بزنند. این مدل ها در انتخاب داده ها، روش پردازش و تفسیر داده های دورسنجی و تلفیق اطلاعات استخراج شده در GIS اهمیت بسزایی دارد. انتخاب مدل کانی سازی به هدف اکتشافی بستگی دارد و ممکن است در یک پروژه، چندین مدل به طور همزمان انتخاب گردند.

1- Swath width

2- Cross Track (Pointing)

3- Mineral Deposit Model



مطالعات ماهواره‌ای

با توجه به شناخت موجود از زون ارومیه - دختر و ناحیه مطالعاتی، کانی سازی مس در اولویت اول و طلا در اولویت دوم برای برکه جوزم و دهج مطابق جدول مد نظر قرار گرفت. این مدل ها چارچوب پردازشی داده های ماهواره ای و تحلیل آنها را تعیین خواهند کرد.

جدول 1: ویژگی های مدل های کانی سازی مورد انتظار در منطقه دهج

تیپ	محیط کانسار			راهنمای اکتشافی		
	سنگ درونگیر	محیط تشکیل	خاستگاه تکتونیکی	دگرسانی	هوازدگی	راهنمای ژئوشیمیایی
مس پرفیری	مونزوگرانیت، سینیت پرفیری یا گدازه های آندزیتی و داسیتی	بخش فوقانی توده های نفوذی و باتولیتی ها	مناطق ریفتی، جزایر قوسی و امتداد مرز صفحات همگرا	سدیک، کلسیک، پتاسیک، فیلیتی، آرژیلیتی و پروپیلیتی	کربنات مس، لیمونیت، هماتیت و ژاروسیت	Cu, Mo در بخش مرکزی و Zn, Mn, Pb, Cd, Bi در بخش خارجی هاله
مس اسکارنی	تونالیت - مونزونیت نفوذی در کربنات ها	همبری توده های نفوذی با آهک	فعالیت ماگمایی بعد از کوهزایی در حاشیه قاره	کلریت و کانی های رسی	کربنات مس، کالکوسیلیکات، گوسن	Ag, Cu, Au در مرکز آنومالی
طلای اپی ترمال	ریولیت، ریوداسیت، نفوذی های نیمه عمیق	ساختمان های بزرگ ولکانیکی و شکستگی های حلقوی	مناطق با شکستگی های متقاطع، ساختمان های گرابنی، گسل های نرمال	کوارتز، آلونیت، کائولینیت، موتتموریلونیت، کلریت، کلسیت	لیمونیت های زرد رنگ، ژاروسیت، گوتیت	Au, As, Sb, Cu

4- پیش پردازش داده ها

هنگامی که یک تصویر توسط سنجنده ماهواره ای ثبت می شود، پیکسل ها در آن دارای خطا در موقعیت هندسی و مقدار روشنایی¹ اندازه گیری شده هستند که به ترتیب به نام خطای هندسی و رادیومتری نامیده می شوند

**مطالعات ماهواره‌ای**

و نیازمند مجموعه پردازش‌های اولیه زیر هستند تا آماده پردازش اصلی شوند. این مرحله از تصحیحات در اصطلاح پیش پردازش¹ داده‌ها نامیده می‌شود.

- تصحیح هندسی که از طریق نسبت دادن مختصات جغرافیایی به نقاط معین و مشخص از داده‌های رقومی ماهواره‌ای یعنی پیکسل‌ها انجام می‌گیرد.
- تصحیح رادیومتری که با کالیبره کردن باندها به واحد اندازه‌گیری انرژی الکترومغناطیسی یعنی رادیانس، تصحیح اثر توپوگرافی، تصحیحات اتمسفری و حذف نویز از داده‌ها انجام می‌گیرد.

واضح است که کاربرد موفق داده‌های ماهواره‌ای در زمین‌شناسی و اکتشاف نیازمند تصحیح داده‌ها برای منابع خطای دوگانه فوق است.

4-1- تصحیح هندسی

تصحیح هندسی از آنجا ضرورت می‌یابد که پیکسل‌ها باید به موقعیت دقیق شان در سطح زمین نسبت داده شوند تا نتایج قابل استفاده در سرزمین باشد.

تصحیح هندسی به دو حالت دو بعدی و سه بعدی انجام می‌شود. تصحیح دو بعدی که به آن زمین مرجع کردن² می‌گویند، بر مبنای نسبت دادن پیکسل‌های تصویر (z, i) به سیستم مختصات جغرافیایی خاص (x, y) بدون لحاظ کردن بعد سوم یعنی ارتفاع نقاط است که با استخراج و انتخاب نقاط کنترل زمینی³ دوبعدی از تصاویر تصحیح شده قبلی و یا نقشه‌های مرجع انجام می‌شود.

تصحیح سه بعدی که به آن متعامد سازی⁴ می‌گویند، شامل فرآیندی است که در آن هندسه یک تصویر با مدل کردن ویژگی و اندازه اعوجاج هندسی در آن مسطحاتی⁵ می‌شود. تصویر خروجی از این روش دارای مقیاس یکسان در کل تصویر بوده و در آن خمیدگی و اعوجاج ناشی از تغییر پستی بلندی⁶ دیده نمی‌شود.

مدل‌های ماهواره‌ای در کنار نقاط محدود کنترل زمینی و داده‌های رقومی ارتفاعی¹ از منطقه متناسب با مقیاس کاری، امکان ساخت فرمول تصحیح هندسی را فراهم می‌کند که محصول نهایی آن عکس - نقشه دقیق و

1- Preprocessing

2- Georeferencing

3- Ground Control Points (GCPs)

4- Orthorectification

5- Planimetric

6- Reliefs

**مطالعات ماهواره‌ای**

تصحیح شده است. برای این کار علاوه بر مدل ماهواره مورد نظر، تعدادی نقطه کنترل زمینی دقیق نیز مورد نیاز است تا مدل با داده‌های توپوگرافی آماده تصحیح سه بعدی گردد.

در منطقه تحت مطالعه هر دو داده ASTER و ETM متعامد شدند. جهت این تصحیح نقاط کنترل زمینی با خطای $RMS < 0.3$ از داده‌های پایه نقشه‌های پایه توپوگرافی با دقت 10 متر (داده‌های 1:25000) انتخاب شدند. در انتخاب نقاط، از عوارض شاخص تصویر و نقشه استفاده شد و سعی شد که نقاط توزیع یکنواختی در محدوده مورد مطالعه داشته باشند. مدل رقومی ارتفاع مورد نیاز نیز با استفاده از داده‌های کنتوری و نقاط ارتفاعی و با اندازه پیکسلی 10 متر تهیه شد و به کمک آن هر دو سین ماهواره ای متعامد شدند. این کار برای تک تک سین‌های ماهواره ای (1 سین ETM و 4 سین ASTER) تکرار گردید.

در نهایت نیز محدوده مورد نظر از کل سین‌های ASTER و ETM بریده شده و عملیات موزائیک بر روی داده‌ها صورت گرفت و 2 مجموعه فایل داده‌های استر و لندست به صورت جداگانه ذخیره گردید تا مورد تصحیحات و پردازش‌های بعدی قرار گیرد.

2-4- تصحیح رادیومتری

تصحیح رادیومتری تبدیل DN ثبت شده توسط سنسور² به داده انعکاسی واقعی در سطح سرزمین³ است. طی تصحیح رادیومتری، اثر زمینه اتمسفر از داده‌های تابشی⁴ خام حذف می‌شود، طوری که تنها پدیده باقی مانده در تصویر جذب و بازتاب ناشی از براکنش انرژی الکترومغناطیسی با مواد سطح زمین باشد. خطای رادیومتری در تصویر دارای دو گروه زیر است:

- توزیع نسبی روشنایی در یک باند تصویر با داده واقع در سطح زمین متفاوت است.
- روشنایی نسبی یک پیکسل خاص از یک باند به باند دیگر در مقایسه با انعکاس طیفی منطقه متناظر در زمین دارای آشفتگی است.

1- Digital Elevation Model

2- at Sensor

3- at Surface

4- Radiance



مطالعات ماهواره‌ای

در تصحیح اتمسفری اثر جمعی انتشار اتمسفر¹ و اثر جذبی² گازها و بخار آب موجود در اتمسفر از تک تک باندها حذف می‌شود. طیف تابش بدست آمده از این مرحله در واقع حاصلضرب طیف انعکاسی در طیف نور خورشید است که با تقسیم کردن آن به طیف نور خورشید، داده‌ها به انعکاسی³ تبدیل می‌شوند. برای انجام تصحیحات فوق دو روش وجود دارد که به نام‌های تصحیح⁴ و تعدیل⁵ اتمسفری نامیده می‌شوند. در تصحیح اتمسفری با مدل سازی اتمسفر و استفاده از باندهای موجود در محدوده‌های اثر اتمسفر، اثر آن از داده‌ها حذف می‌شود، ولی در روش تعدیل، به دلیل عدم امکان مدل سازی اثر اتمسفر، با روش‌های آماری اثر آن تقریب زده شده و از داده‌ها حذف می‌شود. خروجی روش اول داده‌های انعکاسی مطلق⁶ و روش دوم داده‌های انعکاسی نسبی⁷ است.

داده‌های استر و لندست را به دلیل نداشتن باند در محدوده‌های جذب آب، تنها می‌توان به روش دوم تصحیح کرد. با انجام این تصحیح در این پروژه، داده‌های انعکاسی نسبی بدست آمد. نشت باند 4 استر به دیگر باندها نیز تصحیح شده و برای کاهش نویز داده‌ها، از فیلترهای انحراف معیار⁸ استفاده شد. در نهایت با انجام کلیه این مراحل داده‌های زیر بدست آمد:

- 6 باند انعکاسی با دقت 30 متر برای داده‌های ETM
- 6 باند انعکاسی با دقت 30 متر برای داده‌های SWIR
- 3 باند انعکاسی با دقت 15 متر برای داده‌های VNIR
- 5 باند تایشی با دقت 90 متر برای داده‌های TIR

1- Scattering
2- Absorption
3- Reflectance
4- Atmospheric Correction
5- Atmospheric Adjustment
6- Absolute Reflectance
7- Relative Reflectance
8- Standard Deviation Filters



5- پردازش داده‌ها

در مدل دگرسانی پیشنهاد شده توسط لاول و گیلبرت، دگرسانی تنها چهارچوبی است که می‌تواند تمام ویژگی‌های کانی‌سازی را تبیین کند. در این مدل 4 زون دگرسانی در اطراف نهشته تشکیل می‌شود. این دگرسانی (و هوازدگی ثانویه) جزو پارامترهای با اهمیت زیاد در بین معیارهای شناسایی و اکتشاف کانسارها بوده و به خوبی با داده‌های ماهواره‌ای استر و لندست قابل شناسایی و تفکیک هستند.

دگرسانی با مجموعه‌ای از کانی‌ها تعریف می‌شود که حضور آنها نشانگر گرا دیان مکانی در ترکیب شیمیایی محیط تشکیل کانسار است. شناسایی واحدهای دگرسانی گرمابی همان‌طور که در مقدمه نیز آمد، با استفاده از ویژگی‌های طیفی خاص یک کانی یعنی تغییرات جذبی و انعکاسی وابسته به طول موج طیف انعکاسی ممکن می‌شود. تغییرات زمین‌شناسی - طیفی به وجود آمده که مرتبط با تحولات فیزیکی و شیمیایی سنگ و حتی تغییر ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی کانی است با روش‌های دورسنجی قابل اندازه‌گیری است.

امروزه ثابت شده که کانسارهای مس پرفیری با توده‌های پلوتونیک اسیدی از گرانودیوریت تا تونالیت، کوارتز مونزونیت و دیوریت تغییر می‌کند. در این میان دیوریت و مونزونیت (کوارتز مونزونیت) سنگ میزبان‌های مهمتری هستند. سنگ‌های ماگمایی میزبان در این کانسارها معمولاً پس از چرخه‌های آتشفشانی ایجاد شده و کانی‌سازی از یک یا چند مرحله نفوذ ماگما پیروی می‌کند.

بررسی‌های انجام شده بر روی کانی‌سازی (به‌خصوص مس پرفیری) در زون ماگمایی ارومیه - دختر نشان داده که گسل‌های امتداد لغز NE-NW با زاویه کمتر از 20 درجه با شمال در صورتی که امتداد آنها قطع شود، محتمل‌ترین نقاط برای کانی‌سازی محسوب می‌شوند. لذا مطالعه ساختارهای بزرگ مقیاس در این زون برای شناسایی محل‌های با بیشترین احتمال از اهمیت زیادی برخوردار است.

5-1- نقشه‌های دگرسانی

مراحل زیر برای پردازش طیفی داده‌ها و تولید نقشه‌های گسترش و فراوانی کانی‌ها در منطقه انجام شد:

- تعیین دقیق محدوده و تعداد باندهای مورد پردازش

**مطالعات ماهواره‌ای**

- کاهش ابعاد طیفی و مکانی داده‌ها با یافتن پیکسل‌های خالص¹ در تعدادی باند محدود
 - انتخاب سرگروه‌ها، بررسی معرف بودن سرگروه‌ها و شناسایی ماهیت آنها. سرگروه‌ها پیکسل‌های خالصی² هستند که در آنها تنها یک کانی حضور دارد.
 - نقشه برداری سرگروه‌ها با الگوریتم‌های مناسب در کل تصویر. الگوریتم‌های موجود امکان استخراج موادی کوچکتر از ابعاد یک پیکسل از درون پیکسل را ممکن می‌سازد. این مهم بر اساس تئوری پیکسل‌های مرکب³ استوار است.
- در انتخاب سرگروه‌ها⁴ برای هر مجموعه طیفی، دو روش نظارت شده و نظارت نشده وجود دارد. در روش نظارت شده، کاربر ضمن آگاهی از موقعیت تعدادی پیکسل‌های شناخته شده و معرف از یک منطقه یا تبدیل طیف‌های مرجع از کتابخانه طیفی و یا از نتایج اندازه‌گیری‌های زمینی استفاده می‌کند. در روش نظارت نشده کار یافتن پیکسل‌های خالص به عنوان سرگروه به الگوریتم‌های طراحی شده برای این کار سپرده می‌شود. در پروژه حاضر از ترکیبی از این دو روش استفاده شد. پردازش طیفی داده‌های لندست در ابتدا صورت گرفت تا ضمن آگاهی از محل‌های احتمالی دگرسانی، تمرکز بیشتری بر روی آنها در مرحله دوم، یعنی پردازش داده‌های استر صورت بگیرد.
- تعداد بیشتر باندهای مادون قرمز نزدیک در داده‌های Aster موجب شده تا بتوان انواع کانی‌های رسی و کربنات‌های مرتبط با فرآیندهای گرمایی/رسوبی و کانی‌سازی را از هم تفکیک کرد و با استفاده از داده‌های حرارتی (TIR) آن، کانی‌های سیلیکاته از جمله سیلیس و دگرسانی سیلیسی را نقشه برداری کرد. این داده‌ها در نقشه برداری هاله‌های نسبتاً وسیع دگرسانی تعریف کننده کانسارهای مس پرفیری ایده آل هستند.
- هاله‌های دگرسانی که با داده‌های Aster در پروژه حاضر برای برگه دهج نقشه برداری شدند شامل: دگرسانی آرژیلیکی، دگرسانی سریسیتی، دگرسانی پروپلیتیک و محتوی سیلیس یا دگرسانی سیلیسی است.

1- Pure Pixel

2- Pure Pixels

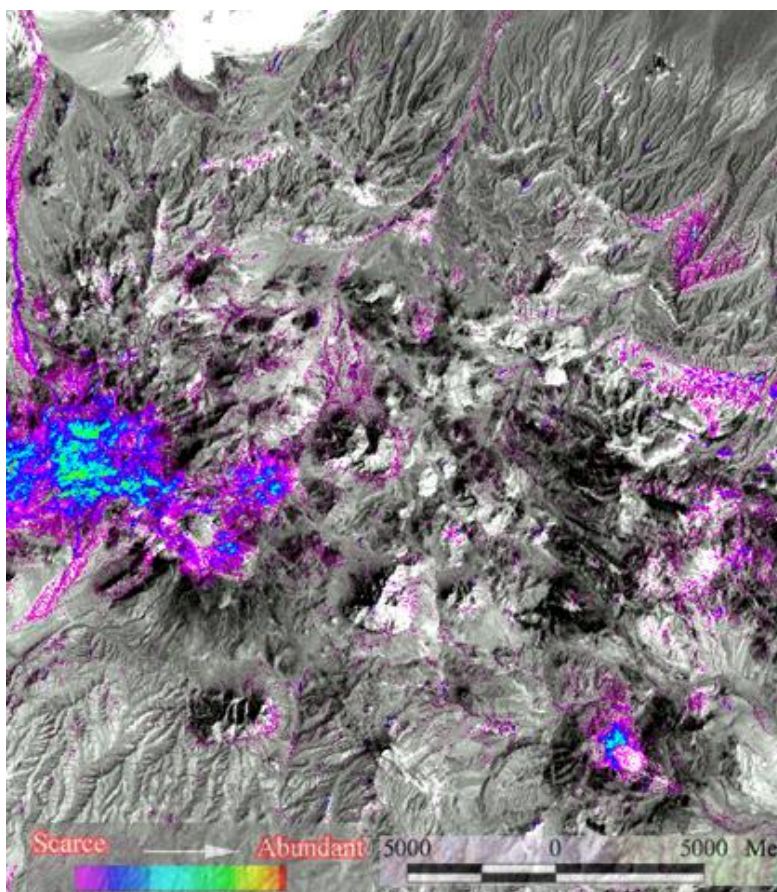
3- Mixed Pixels

4- Endmember



5-1-1- نقشه برداری کلی کانی‌های رسی

کانی‌های دارای OH شامل کانی‌های کائولینیت، مونت‌موریلونیت، ایلیت، آلونیت، و ... هستند ولی به دلیل ویژگی‌های یکسان طیفی این کانی‌ها در باند ETM5, ETM7 نمی‌توان آنها را از هم تفکیک کرد و تنها می‌توان حضور احتمالی همه یا برخی از آنها را در سطح مشخص کرد. برای نقشه برداری کانی‌های رسی دارای هیدروکسیل از روش نسبت باندهای¹، روش کروستا² مبتنی بر تحلیل مولفه اصلی و جدایش خطی طیف‌ها³ و دیگر تکنیک‌ها می‌توان استفاده کرد که روش اخیر بیشتر مد نظر قرار گرفت و در نتیجه بخش‌های دگرسان وسیعی مطابق شکل 5 نقشه برداری شد.



شکل 5: توزیع و فراوانی نسبی کانی‌های حاوی هیدروکسیل در برگه دهج بر روی تصویر آلبدو

- 1- Band Ratio
- 2- Crosta Method
- 3- Linear Spectral Unmixing



5-1-2- کانی‌های اکسیده آهن

شناسایی اکسیدهای آهن شامل گوتیت، هماتیت و ژاروسیت از این رو اهمیت دارد که محصول مستقیم هوازدگی کانی‌های اولیه‌ای چون کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت و منتیت هستند. محلول‌های گرمابی موجب فروپاشی مگنتیت و تبدیل آن به هماتیت می‌شوند و کلاهای آهنی را شکل می‌دهند. همچنین پیریت‌های همراه کانی‌سازی در اثر تاثیر آب‌های جوی و فرآیند شستشوی اسیدی و در دمای پایین به گوتیت و لیمونیت، ژاروسیت و هماتیت تبدیل می‌شوند. حضور این کانی‌ها می‌تواند تفاسیر زیر را در پی داشته باشد:

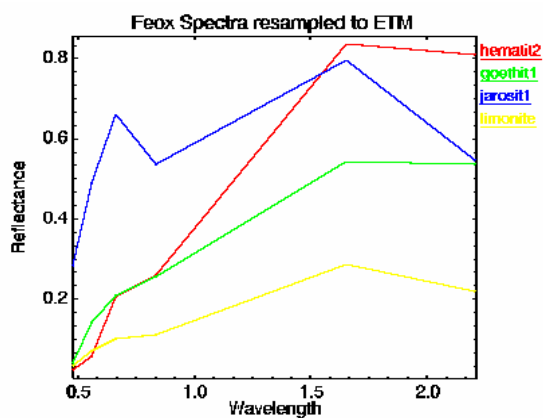
- حضور کلاهای ژاروسیتی نشانه محتوی سولفید بالا و فراوانی پیریت در سطح است.
- حضور کلاهای گوتیتی نشانه محتوی سولفید کم و میزان کالکوپیریت بیشتر از پیریت
- حضور کلاهای هماتیتی نشانه حضور بیشتر کالکوسیت از پیریت و یا اکسید شدن ثانویه زون غنی شده است.

این کانی‌ها می‌توانند به آسانی در شرایط سطحی شکل گرفته و مساحت زیادی را پوشش دهند و بنابراین کلید اکتشافی مناسبی برای یافتن محدوده‌های کانه دار مس و مناطق متاثر از محلول‌های گرمابی هستند. جذب این کانی‌ها در محدوده مرئی و نزدیک مرئی است (شکل 6) و بسیاری از سنجنده‌ها می‌توانند آنها را ثبت و شناسایی کنند.

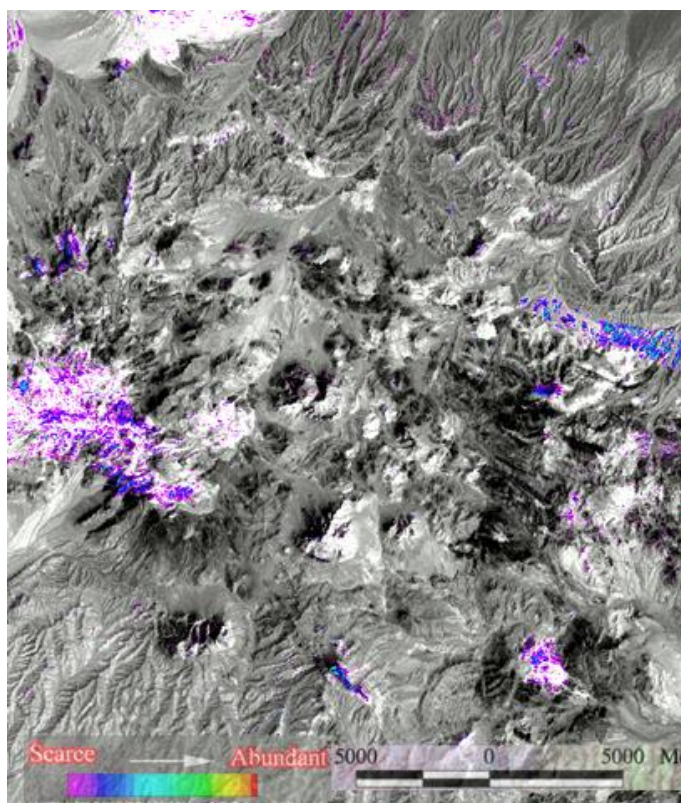
داده‌های لندست به دلیل تعدد باند در محدوده مرئی به خوبی می‌توانند اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن را شناسایی و از هم تفکیک کنند (شکل 6). با بررسی تصویر، پیکسل‌های معرف هماتیت، گوتیت، لیمونیت و ژاروسیت در تصویر انتخاب شد، ولی چون این داده‌ها قادر به تمایز گوتیت از لیمونیت نیستند، در یک گروه بنام هیدروکسیدهای آهن نقشه برداری شدند. فراوانی و توزیع نسبی هماتیت در شکل 7 و سایر کانی‌های آهن دار به همراه آنومالی کانی‌های رسی در شکل 8 آمده است.



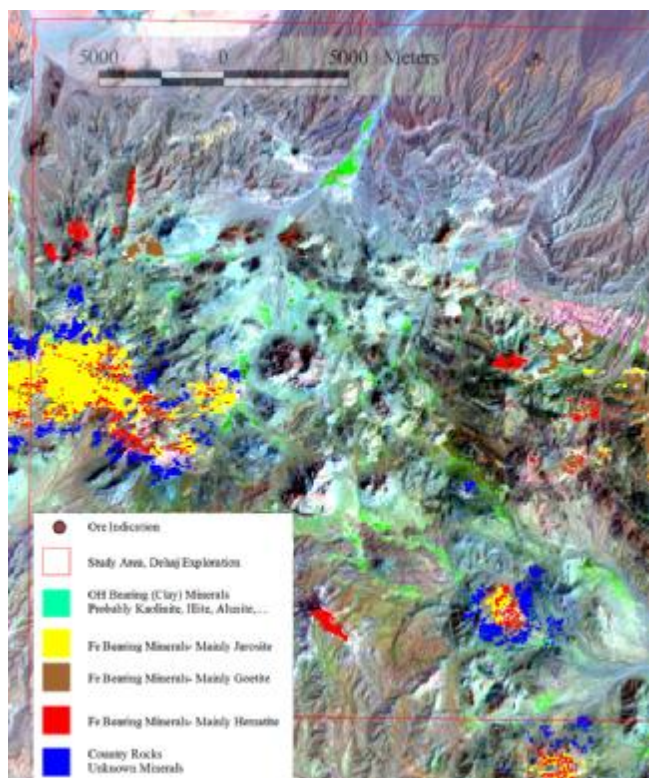
مطالعات ماهواره‌ای



شکل 6: نمودار انعکاسی کانی‌های اکسید آهن در محدوده مرئی تا مادون قرمز کوتاه، تبدیل شده به پاسخ سنجنده ETM

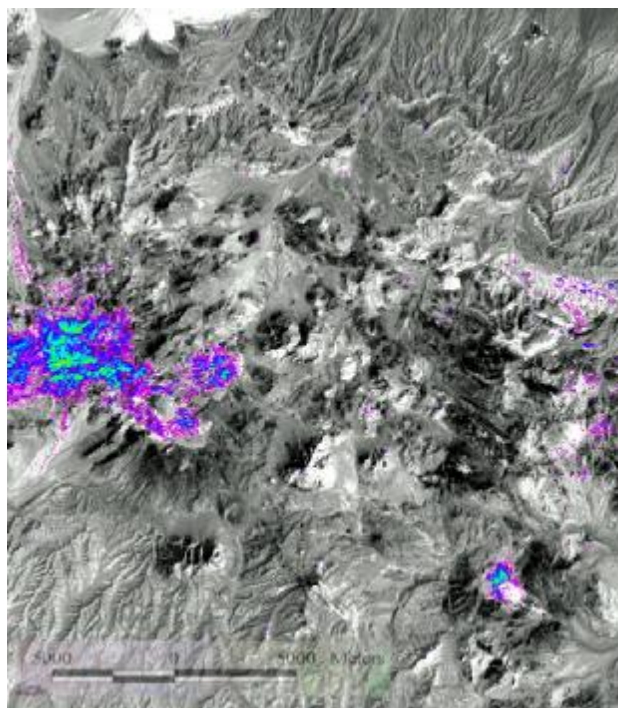


شکل 7: توزیع و فراوانی نسبی کانی هماتیت و/یا گوتیت (اکسیدهای آهن) در برکه دهج



شکل 8: کانی‌های استخراج شده در برگه دهج با پردازش طیفی داده‌های ETM

همان‌طور که در شکل 7 دیده می‌شود، محدوده‌های با فراوانی حداکثر هماتیت و/یا گوتیت با مخروط‌های آتشفشانی و سنگ‌های ولکانیکی غنی از آهن مثل بازالت در انطباق بالا است. در نواحی کانی‌سازی مثل میدوک، زون‌های آهن‌دار بر روی زون پروپلیتی در حاشیه کانی‌سازی شناسایی شده‌اند. به نظر می‌رسد که در واقع کانی‌نقشه برداری شده ترکیبات کلریتی آهن‌دار و یا کانی‌های آهن‌دار زون پروپلیتی باشند و بنابراین نمی‌توان آن را مرتبط با پدیده‌های سوپرژن دانست.



شکل 9: توزیع و فراوانی نسبی کانی ژاروسیت در برگه دهج بر روی تصویر آلبو

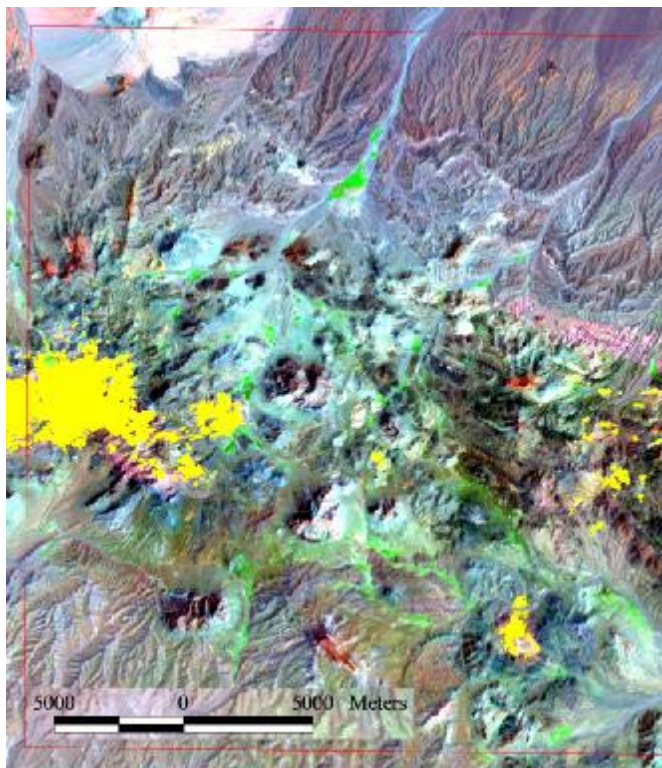
از سوی دیگر، پیکسل‌هایی که در تصاویر لندست، دارای جذب شدید در باند 4 بودند، معرف کانی ژاروسیت قلمداد شدند. نقشه برداری این پیکسل‌ها، باعث بارز شدن مجدد زون‌های هیدروکسیل شد (شکل 9). علت این امر می‌تواند ژاروسیتی شدن پیریت‌ها در زون سرسیتی اولیه باشد. بخش‌های ژاروسیتی شده اثر جذب کانی‌های رسی را در طیف خود نشان می‌دهند، بنابراین ژاروسیتی شدن در متن زون‌های سرسیتی و بعضاً آرژیلیتی گسترده شده و پیکسل‌های مرکب ژاروسیت-هیدروکسیل را ساخته است.

3-1-5- دگرسانی آرژیلیک

دگرسانی آرژیلیکی با حضور کانی‌های گروه کائولینیت (کائولینیت، هالوسیت و دیکیت) و در بخش‌هایی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با کانی‌های آلونیت و پیروفیلیت مشخص می‌شود. این دگرسانی وسیع‌ترین و گسترده‌ترین نوع دگرسانی است، طوری که حتی بخش‌های پروپیلیتی را نیز تحت تاثیر قرار داده است. گسترش این دگرسانی در شکل 10 نشان داده شده است. لازم به ذکر است که مرز مشخصی بین این دگرسانی و نوع کوارتز-



سریسیت نمی توان قائل شد. همچنین بخش هایی در شمال غرب دچار دگرسانی آرژیلیکی پیشرفته شده که در بخش های بعدی بدان اشاره خواهد شد.



شکل 10: توزیع دگرسانی آرژیلیک در برکه دهج بر روی تصویر رنگی منطقه

4-1-5- دگرسانی سریسیتی

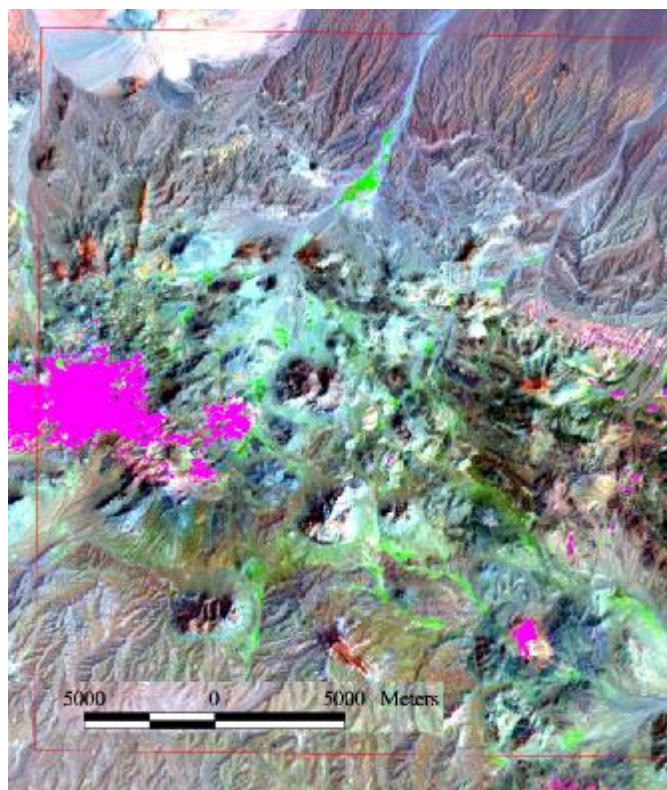
دگرسانی کوارتز - سریسیتی یا فیلیک با کانی های ایلیت، موسکویت، مقادیر کمتر اسمکتیت، کلریت و کائولینیت +/- کوارتز مشخص می شود.

سریسیتی شدن معمولاً در فاز آخر کانی زایی تشکیل می شود و با تولید مقادیر زیادی کوارتز همراه است. با اسیدی تر شدن محلول، سریسیت های تولیدی جای خود را به کائولن می دهند و در صورتی که این فرآیند ادامه یابد، شستشوی شدید سنگ منجر به تولید کانی هایی چون آلونیت و پیروفیلیت می شود. حضور آهن در محلول اولیه موجب واکنش گوگرد با آن و تشکیل پیریت می شود. پیریت های این زون در صورتی که در اثر آب های سطحی و



فرآیندهای سوپرژن اکسید شوند، یک لایه ژاروسیتی بر روی کانسار تشکیل می‌دهند. بررسی‌ها نشان داد که بر روی عمده استوک‌های پرفیری منطقه این اتفاق افتاده است.

دگرسانی سریسیتی در منطقه با دگرسانی آرژیلیتی برهم‌نوشت¹ شده است (شکل 11) و به صورت توامان با هم یافت می‌شوند. کانی کوارتز به وفور در این زون یافت می‌شود و لذا واژه کوارتز - سریسیت مفهوم دقیق‌تری از این زون می‌دهد. در کنار کانی ایلیت و موسکویت (سریسیت) و کوارتز، دو کانی آلونیت و ژاروسیت نیز فراوان یافت می‌شود.



شکل 11: توزیع و فراوانی دگرسانی سریسیتی در برکه دهج بر روی تصویر رنگی منطقه

5-1-5- دگرسانی پروپلیتیک

دگرسانی پروپلیتیک با کانی‌های کلریت و اپیدوت + / - کلسیت به همراه مقادیر کمتری مونت‌موریلونیت، ایلیت و اکسیدهای آهن مشخص می‌شود.

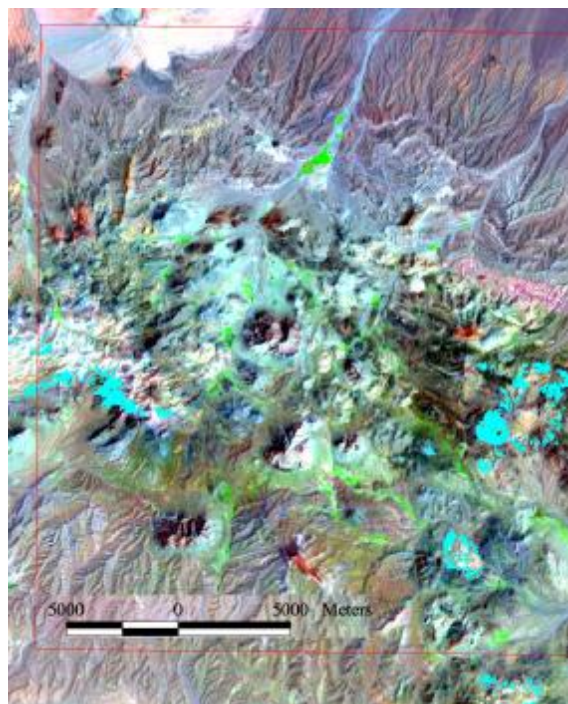
¹ - Overprint



مطالعات ماهواره‌ای

دگرسانی پروپلیتی اولین دگرسانی تشکیل شده پیرامون کانسار در وسعت زیاد است و حضور آن شرط اصلی برای پرفیری بودن یک سیستم محسوب می شود. زون دگرسان اولیه در ادامه با دگرسانی های کوارتز - پتاسیک، آرژلیک و سربیسیت جایگزین می شود، لذا تنها بخش های حاشیه ای آن باقی می ماند و به صورت غلاف بزرگی که نشانگر محدوده فعالیت محلول های گرمابی بوده، کانی سازی را فرا می گیرد. گاهی فرآیندهای ثانویه ناشی از عملکرد آب های جوی، کانی های زون پروپیلیتی را به کاتولینیت تبدیل می کنند و لذا از پیوستگی و وسعت زون پروپیلیتی یا کانی های کلریت و اپیدوت می کاهند.

مطابق شکل 12، بیش از شش غلاف پریپیلیتی بر اساس شواهد طیفی شناسایی و بر روی نقشه نشان داده شده است. وجود سیستم پرفیری برای 4 مورد از این غلاف ها محرض به نظر می رسد و برای 2 مورد دیگر ابهاماتی وجود دارد که باید با بررسی بیشتر رفع شود.



شکل 12: توزیع دگرسانی پروپیلیتی در برگه دهج بر روی تصویر رنگی منطقه

**مطالعات ماهواره‌ای****5-1-6- دگرسانی سیلیسی**

دگرسانی سیلیسی یا محتوی سیلیس سنگ با کانی‌های کوارتز، کلسدونی و اپال مشخص می‌شود. این کانی‌ها دارای جذب‌های شاخص در محدوده حرارتی هستند.

اثبات حضور و نقشه برداری دگرسانی سیلیسی در بسیاری از سیستم‌های گرمایی اهمیت دارد. در سیستم‌های مس‌پرفیری سیلیسی شدن به سه شکل با کانی‌سازی و دگرسانی‌های دیگر ارتباط پیدا می‌کند:

- سیلیس‌های همراه دگرسانی پتاسیک
 - سیلیس‌های همراه دگرسانی سربیسیت
 - سیلیس‌های معرف کلاهدک سیلیسی به همراه منیتیت و اکسیدهای آهن (کوارتز - استوک ورک¹)
- در بسیاری موارد کانی‌سازی ارتباط نزدیکی با سیلیسی شدن دارد، لذا شناسایی آن بر روی سیستم‌های پرفیری اهمیت زیادی دارد. خوشبختانه به دلیل وجود 5 باند حرارتی در داده‌های استر، این سیلیس‌ها را می‌توان با وضوح مکانی 90 متر نقشه برداری کرد. با این وضوح هرچند رگچه‌های با ابعاد کم را نمی‌توان شناسایی کرد، ولی به طور کلی از تمرکز سیلیس در یک حجم بزرگ می‌توان خبر داد، به همین دلیل گاهی به آن محتوی سیلیس سنگ نیز می‌گویند.

در ناحیه دهج طبق نقشه تولید شده (شکل 13) سیلیس به وفور یافت می‌شود. این سیلیس‌ها به دو گروه سیلیس‌های مرتبط با دگرسانی و کانی‌سازی و سیلیس‌های موجود در متن سنگ قابل تقسیم هستند. مبنای تقسیم بندی نیز همراهی / عدم همراهی با سایر انواع دگرسانی است.

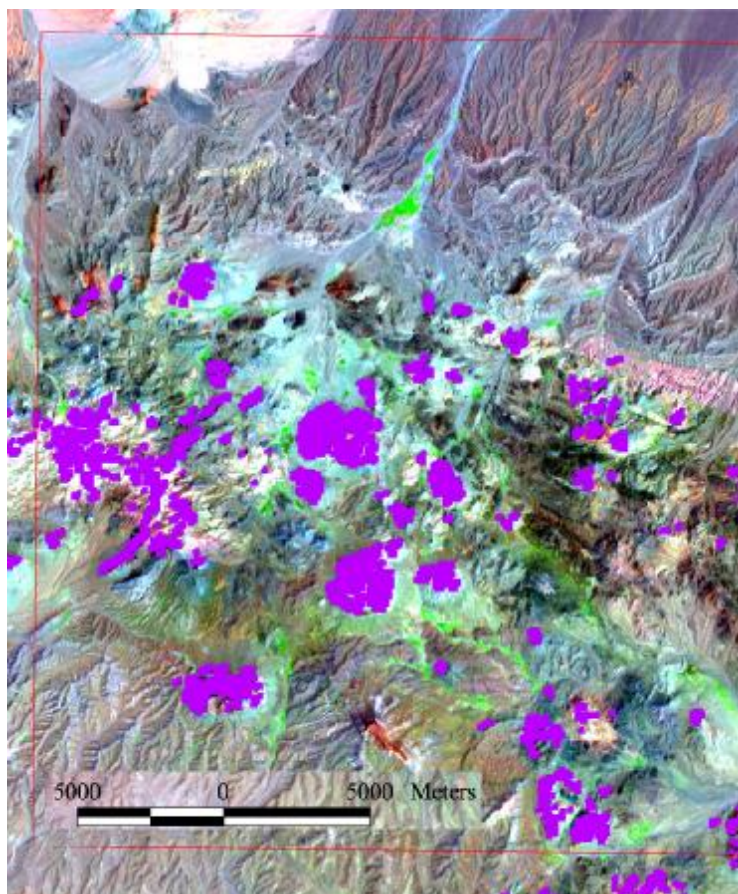
5-1-7- نواحی مهم دگرسانی

با توجه به پردازش‌های انجام شده چند آنومالی طیفی مهم بر روی تصاویر استر و لندست در منطقه شناسایی شد که در شکل 20 به ترتیب اهمیت شماره گذاری شده‌اند. در شکل‌های 14 تا 16 برخی از مهمترین آنها با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

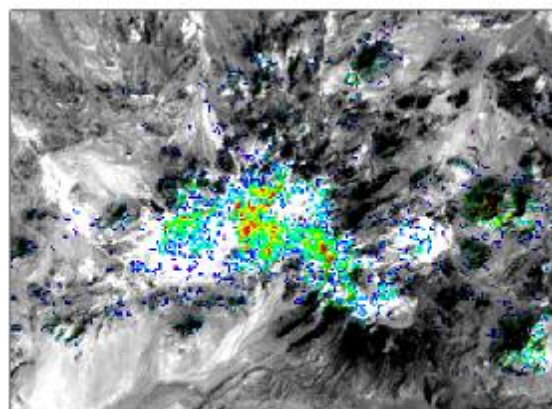
¹ - Quartz- Stock working



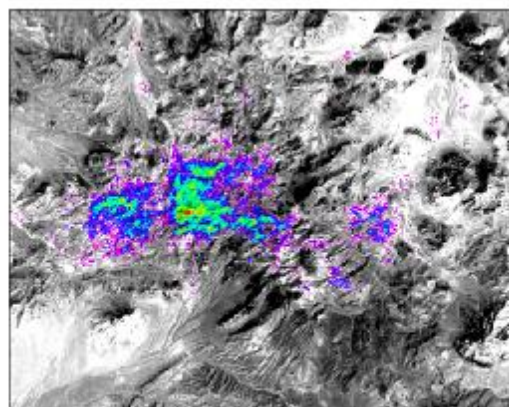
مطالعات ماهواره‌ای



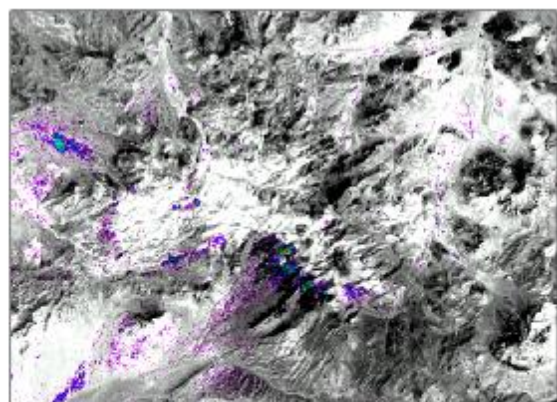
شکل 13: توزیع و فراوانی دگرسانی سیلیسی در برکه دهج بر روی تصویر رنگی منطقه



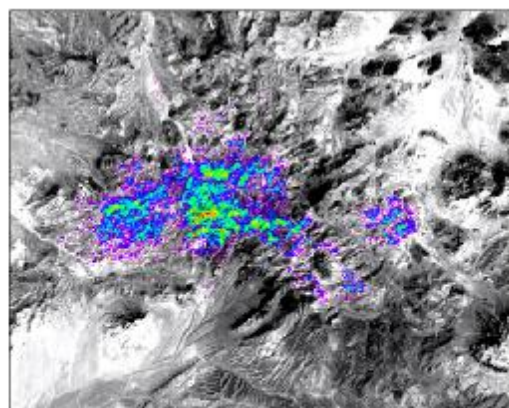
Silica



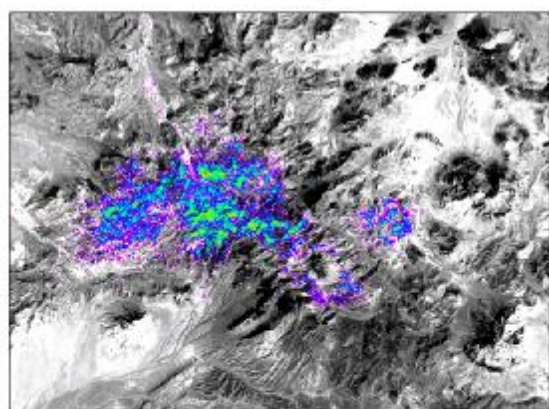
Alunite



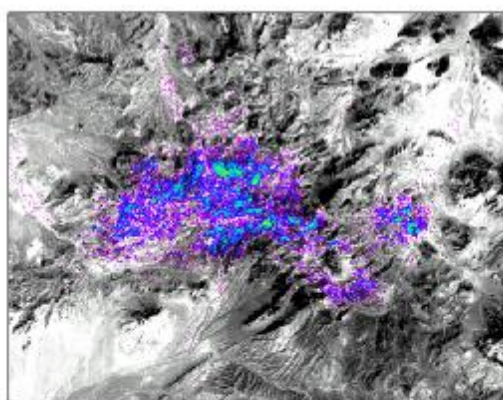
Chlorite- Epidote



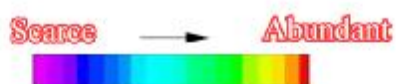
Kaolinite



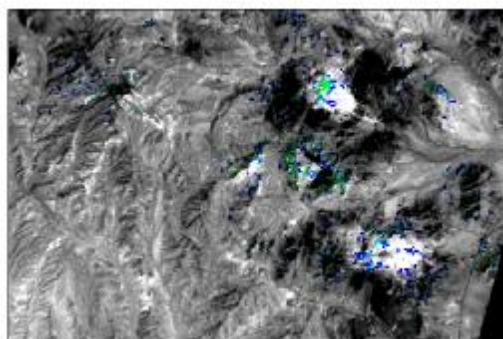
Sericite



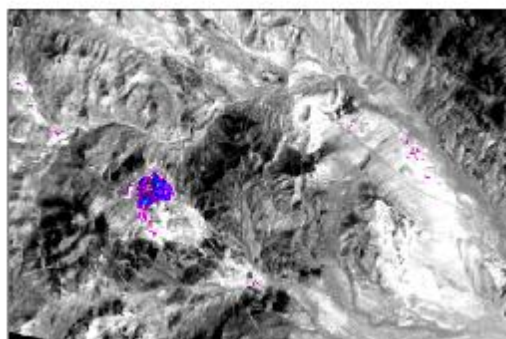
Jarosite



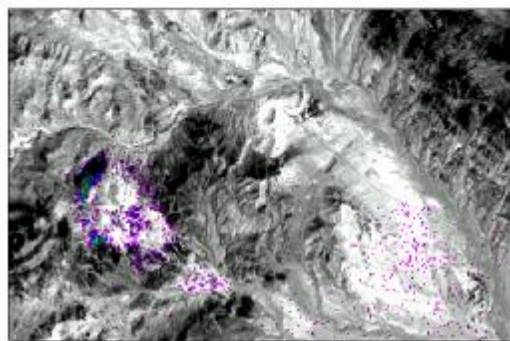
شکل 14: توزیع و فراوانی نسبی سیلیس، آلونیت، کلریت و اپیدوت، کائولینیت، سریسیت (ایلیت) و ژاروسیت در آنومالی شماره 1 (A1) معرف یک استوک بزرگ پرفیری در بخش غربی منطقه بر روی تصویر آلبو



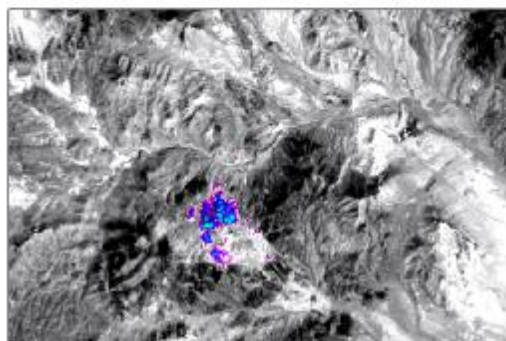
Silica



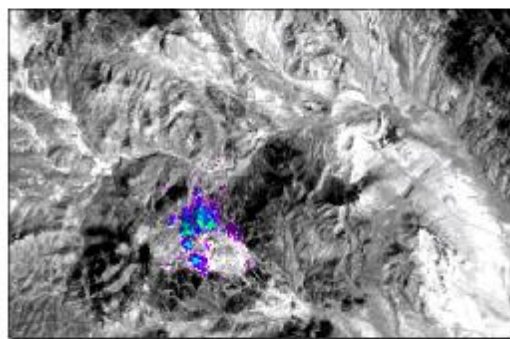
Alunite



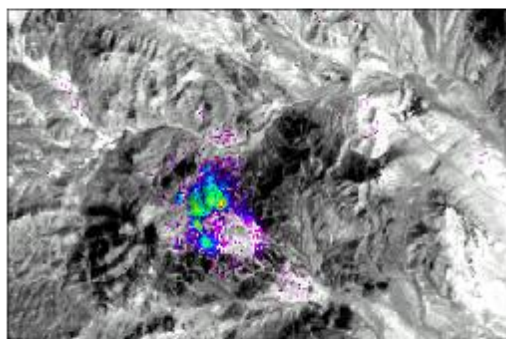
Chlorite- Epidote



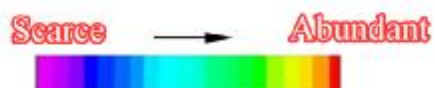
Kaolinite



Sericite



Jarosite



شکل 15: توزیع و فراوانی نسبی سیلیس، آلونیت، کلریت و اپیدوت، کائولینیت، سریسیت (ایلیت) و ژاروسیت در آنومالی شماره 2 (A2) معرف یک استوک پرفیری کوچکتر در بخش مرکزی منطقه بر روی تصویر آلبو



2-5- شناسایی ساختارها

1-2-5- شناسایی خطواره ها

خطواره هر نوع به خط شدگی تن، رنگ، بافت، شبکه آبراهه ها و غیره در تصاویر ماهواره ای می باشد. اهمیت خطواره ها و شکستگی ها در بخش اول به اختصار بحث شد. به دلیل تنوع واحدها و نیز گسترش واحدهای آذرآواری دارای لایه بندی در بخش های شمال و شرقی به خوبی می توان اثر خطواره ها و در بسیاری مواقع گسل ها را دنبال کرد. بررسی ها نشان داد ولکانیسم و دگرسانی توسط خطواره ها شدیداً کنترل می شود، به طوری که مرز گسترش بسیاری از دگرسانی ها توسط گسل ها و خطواره ها تعریف می شود. توده های نفوذی و ولکانیسم ها نیز عموماً در امتداد این خطواره ها و محل تقاطع ساختارهای بزرگ ایجاد شده اند. از میان ساختارهای موجود دو گروه N40E و N20W بیشتر از همه در کنترل کانی سازی موثر بوده اند (شکل 16). برخی از خطواره های نقشه برداری شده با توجه به داده های مغناطیس هوایی ناحیه تفسیر شده اند (خط چین در شکل 16). روند عمومی این خطواره ها N50W است و آثار آنها در سطح به سختی قابل پی گیری است که شاید علت قدیمی بودن آنها نسبت به ولکانیسم منطقه است. به عبارت دیگر پس از جایگیری توده های ماگمایی فعالیت آنها متوقف شده است. تحلیل این گسل ها در سیستم برشی ریدل، جهت تنش های اصلی در منطقه را شمال شرق - جنوب غرب یعنی در امتداد فرورانش صفحه عربستان به زیر صفحه ایران مرکزی (لوت) نشان می دهد (شکل 17).

2-2-5- شناسایی گسل ها

شناسایی گسل ها با روش های چندی ممکن است. یکی از روش های ساده و موثر استفاده از یک ترکیب رنگی مناسب است. واحد های دارای جابجایی افقی و ناشی از گسل های امتداد لغز، اثر برخی گسل های عمودی در حذف ناگهانی یک لایه و برخی راندگی های بسیار بارز را می توان از روی این تصویر شناسایی و نقشه برداری کرد. می توان از فیلترهای تیز¹ کننده لبه، نقشه سایه زده شده توپوگرافی² با آزمون های مختلف، تصویر خاکستری بدست آمده از آنالیز مولفه اصلی و ترکیبات رنگی بارز کننده خطواره ها استفاده کرد. در این حالت احتمال شناسایی یک شکستگی به عنوان گسل کمتر است و خطواره فرض کردن این عوارض صحیح تر است. یکی دیگر از

1- Sharp

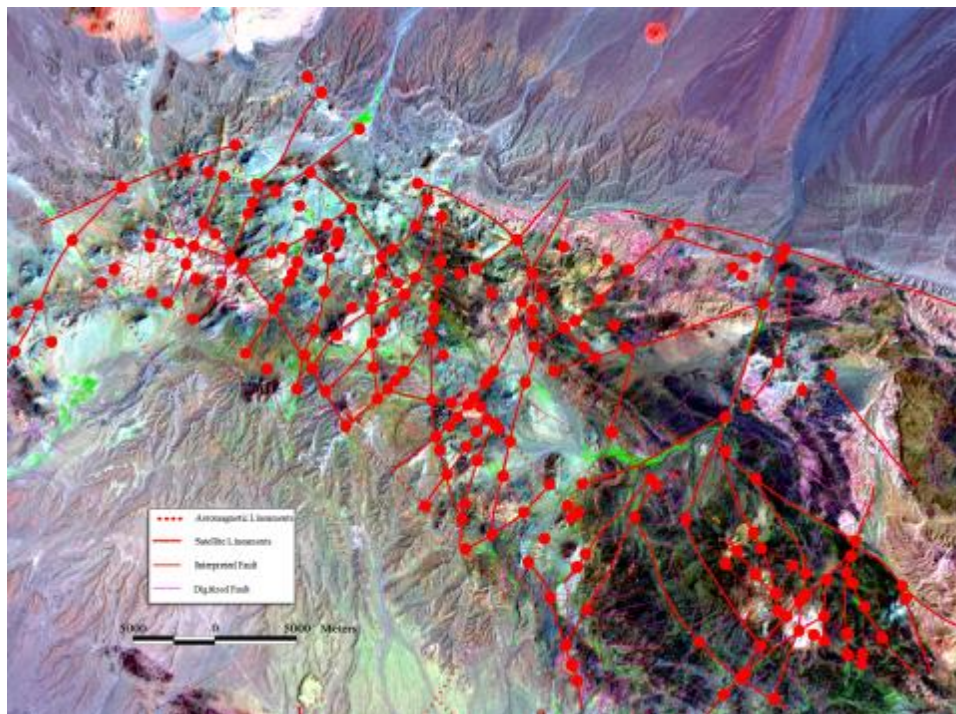
2- Shaded Relief



مطالعات ماهواره‌ای

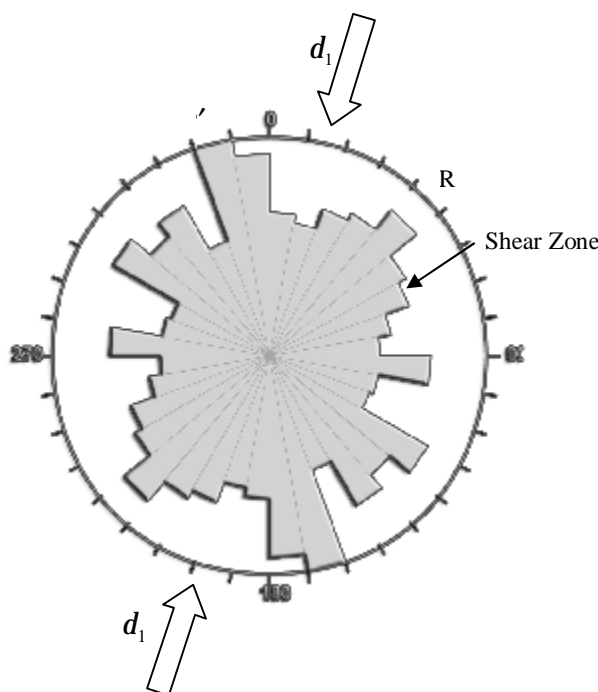
تکنیک‌هایی که به خوبی قادر است بین گسل و به خط شدگی آبراهه‌ها، تفاوت تن و بافت تصویر، پوشش گیاهی و بخصوص اثرات توپوگرافی تمایز قائل شود، سه بعدی سازی تصویر مورد بررسی با داده‌های رقومی ارتفاعی است. این حالت دیدی مشابه حالت استریویی در عکس‌های هوایی به مفسر می‌دهد و امکان اصلاح نقشه‌های تهیه شده دوبعدی را فراهم می‌کند.

به دلیل نیاز به دید ناحیه‌ای و وسیع‌تر برای این کار هر دو برگه به صورت توامان مورد تحلیل قرار گرفته و گسل‌های موجود در نقشه‌های 1:100000 زمین‌شناسی جوزم و دهج رقومی شده و موقعیت آنها که عموماً با جابجایی همراه بودند، اصلاح شد. آنگاه با توجه به روش‌های مورد بحث، گسل‌های جامانده در نقشه‌های زمین‌شناسی شناسایی شده و به نقشه درآمدند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، گسل‌ها و شکستگی‌های زیادی در عکس - نقشه منطقه قابل ردگیری هستند که به سادگی در نقشه‌های بر پایه عکس‌های هوایی قابل تشخیص نیستند.



شکل 16: موقعیت خطواره‌ها و شکستگی‌های تفسیر شده با داده‌های ماهواره‌ای - ژئوفیزیک هوایی در منطقه دهج، نقاط قرمز محل ناپیوستگی‌های گسل‌های امتداد لغز را نشان می‌دهد.

مجموعه این روش ها موجب شناسایی مجموعه ای از شکستگی ها و گسل ها در منطقه مورد مطالعه شد (شکل 16). گسل ها و ساختارهای شناسایی شده آنگاه در محیط GIS رقومی شده و به صورت لایه ای برداری ذخیره شدند. آزیموت و طول گسل ها نیز محاسبه و در فیله‌های جداگانه ای ذخیره شد. از این داده ها جهت تهیه رزیدیاگرام توزیع گسل های منطقه مطابق شکل 17 استفاده شد.



شکل 17: رزیدیاگرام مربوط به گسل ها و خطواره های تفسیر شده در منطقه به همراه جهت تنش های اصلی

در یک محیط فشاری، مهمترین انواع گسل های تشکیلی، گسل های امتداد لغز است. اثبات شده که در صورتی که یک گسل امتداد لغز با ناپیوستگی¹ همراه باشد، محل این ناپیوستگی ها، محتمل ترین نقاط برای صعود توده های ماگمایی کم عمق و تشکیل کانی سازی مس پرفیری است.

با توجه به رژیم تکتونیکی حاکم بر این منطقه و زون ارومیه - دختر (شکل 18) نقاط تقاطع دو سیستم اصلی R و R' در صورتی که با یک ناپیوستگی همراه باشند، احتمال حضور کانی سازی بیشتر می شود. البته لازم به ذکر است که نسبت دادن کانی سازی به یک روند گسله، همان قدر مشکل است که نسبت دادن کانی سازی به یک

¹ - Discontinuity

**مطالعات ماهواره‌ای**

تیپ سنگ شناسی خاص. ولی چیزی که محرز است در یک سیستم فشاری کانی سازی و ماگماتیسم به طور کلی با گسل‌ها کنترل می‌شوند. در ناحیه مطالعاتی مجموعه گسل‌های زیر دیده می‌شوند:

- گسل‌های موازی با روند عمومی زون ارومیه - دختر: این گسل‌ها عمدتاً عمقی بوده و در سطح به راحتی قابل شناسایی نیستند. برای شناسایی آنها از داده‌های مغناطیس‌هوایی استفاده شد و مشاهده شد که روند عمومی آنها N50W است.
- گسل‌های شمالی - جنوبی: مرتبط با پی سنگ قدیمی ایران هستند و معمولاً از شمال و شمال شرق امتداد یافته و به این زون ختم می‌شوند. طول آنها چندصد کیلومتر است. نقش احتمالی این گسل‌ها در کانی‌سازی، بر اثر فعال شدن مجدد ناشی از تنش‌های وارده بر آنها است.
- گسل‌های مزدوج N10-20W و N40E: این گسل‌ها به نظر می‌رسد نقش اصلی را در کانی‌سازی داشته‌اند، بخصوص در حالتی که با گسل‌های سری اول یعنی N50W هم‌دیگر را قطع کرده‌اند، به دلیل ایجاد زون کششی، موجبات صعود ماگما را فراهم کرده‌اند و در شرایط مساعد زمین‌شناسی، کانی‌سازی از خود به جا گذاشته‌اند.
- سایر گسل‌ها (شکل 18)، گسل‌های فرعی ناشی از سیستم‌های اصلی R، P و R' هستند.

زاویه بین R و R' در حالت تئوریک 60 درجه است، ولی در صورتی که تنش بر محیط گسل خورده همچنان وارد شود، گسل‌های R' ممکن است چرخیده و زاویه بیشتری نسبت به امتداد گسلش اصلی پیدا کند که در منطقه دهج با توجه به رزدپاگرام تهیه شده، این اختلاف زاویه به 10 درجه می‌رسد.

3-5- تفکیک لیتولوژی

با توجه به محیط تکتونیکی فرورانش حاکم بر تشکیل کانی‌سازی‌های مس‌پرفیری و همراهی با توده‌های پلوتونیک اسیدی و نیز ملاحظات محلی راجع به کانی‌سازی در زون ارومیه - دختر، واحدهای زیر به عنوان سنگ‌های مهم و موثر در کانی‌سازی، چه از نظر سنگ‌میزبان و چه از نظر توده‌های نفوذی تامین‌کننده حرارت، سیال و یا فلز برای کانی‌سازی با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی انتخاب شدند:

- دیوریت - دیوریت پرفیری

**مطالعات ماهواره‌ای**

- گرانودیوریت
- آندزیت و داسیت
- گدازه‌های آندزیتی
- تراکی آندزیت
- چند واحد آذرآواری، توف و ..

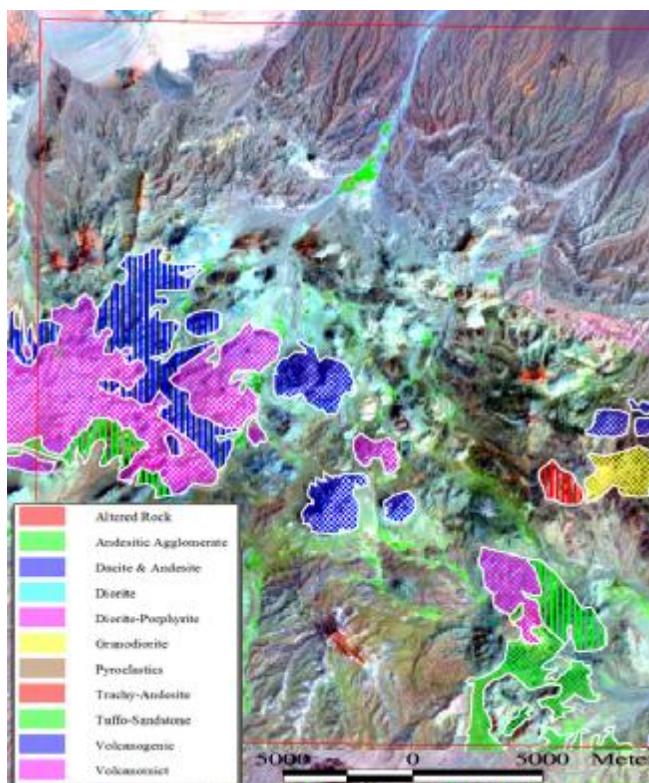
واحدهای انتخاب شده مربوط به اواخر ائوسن به بعد هستند و عمدتاً ولکانیک‌ها و توده‌هایی را شامل می‌شود که در اثر فرورانش بر روی کمان ماگمایی ایجاد شده‌اند. برای تعیین مرز این واحدها، نقشه زمین‌شناسی 1:100000 دهج مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های تهیه شده در این منطقه توسط زمین‌شناسان یوگسلاو از دقت زمین‌شناختی مثال‌زدنی و بالایی برخوردارند و می‌توان آنها را مبنای قضاوت درباره لیتولوژی‌های مناسب و مرتبط با کانی‌سازی قرار داد. هرچند این نقشه‌ها دارای جابجایی تا حد 400 متر هستند که ناشی از ذات پرخطای عکس‌های هوایی و توپوگرافی نسبتاً شدید در منطقه است.

برای رقومی کردن مرز واحدهای انتخاب شده از تصاویر ماهواره‌ای متعامد (اورتو) شده استفاده شد. از آنجایی که هر دو داده استر و لندست در این ناحیه مهیا بوده و هر دو نیز به دقت تصحیحی شده بودند، این امکان فراهم شد تا داده‌های با کیفیت طیفی بالای لندست با داده‌های با کیفیت بالای مکانی استر با هم ترکیب شده و تصویری با ویژگی هر دو بدست آید. مقایسه تصویر بدست آمده با دیگر داده‌ها نشان از کیفیت بهتر طیفی و مکانی تصویر مرکب دارد. به این ترتیب داده ترکیبی تولید شده مبنای شناسایی و تدقیق واحدهای مستعد در کانی‌سازی قرار گرفت.

مرز واحدهای مورد نظر در کانی‌سازی پس از رقومی‌سازی به پلی‌گون تبدیل شده و برای هر کدام از آنها یک فیلد تعریف شد تا اطلاعات مربوط به آن واحد در آن ذخیره شود (شکل 18). لازم به یادآوری است که کلیه نقشه‌های آمده در این گزارش به صورت تفصیلی و کارتوگرافی شده در لوح فشرده پیوست گزارش آورده شده است. مقایسه نقشه واحدهای انتخابی با الگوهای گسترش دگرسانی و ساختاری در منطقه نشان می‌دهد که بسیاری از واحدهای انتخابی شدیداً گسل‌خورده بوده و بعضاً دچار دگرسانی شدید شده‌اند.



مطالعات ماهواره‌ای

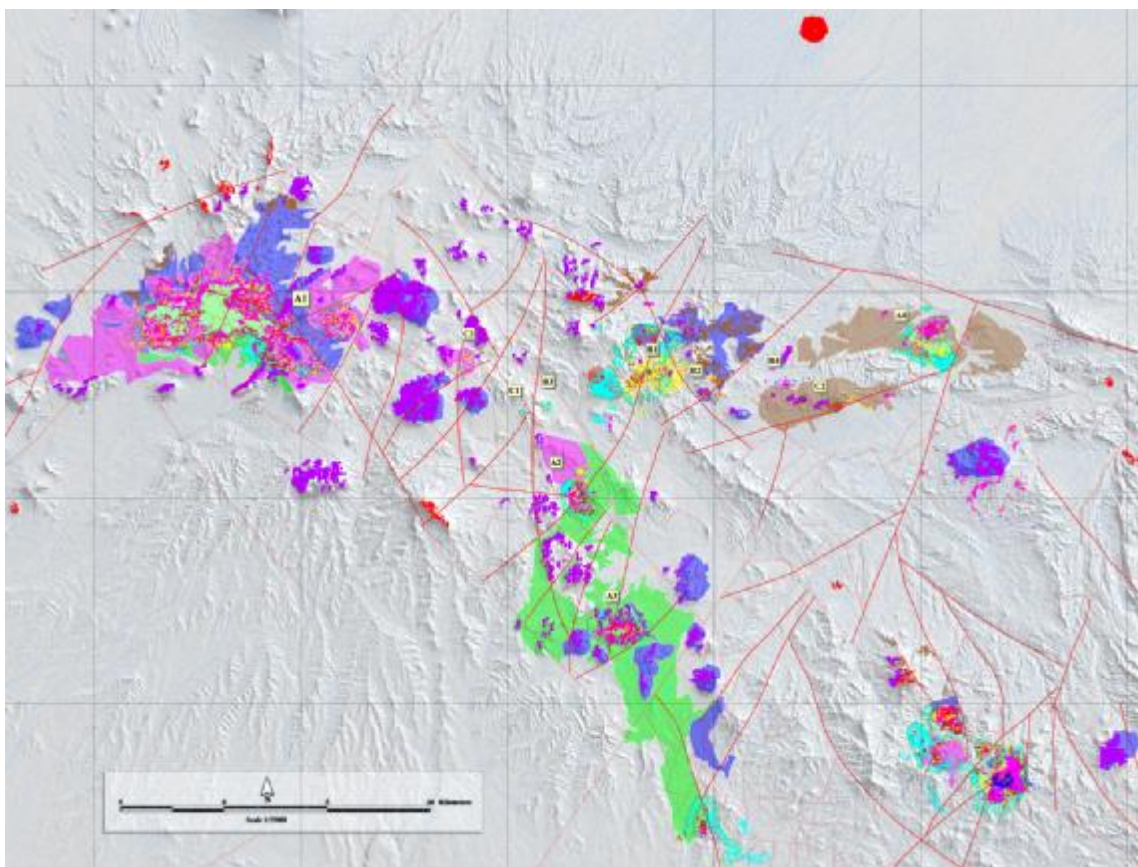


شکل 18: پلی‌گون‌های تلفیق شده واحدهای موثر در کانی‌سازی به تفکیک نوع بر روی تصویر ترکیب رنگی RGB= 732 برگه دهج



6- جمع بندی و نتیجه گیری

بر اساس مطالعات مبسوط انجام شده که شرح آن در بالا آمد و نیز با توجه به مدل های کانی سازی که پیشتر راجع به آنها بحث شد، سه تیپ کانی سازی مس پرفیری، مس رگه ای / اسکارنی و احتمالاً طلای اپی ترمال در این منطقه قابل انتظار است. با این دیدگاه و مطابق نقشه های تفصیلی کانی شناسی - دگرسانی، ساختاری و لیتولوژیکی تولید شده، مناطق دارای دگرسانی، اولویت بندی شدند. سه سری اولویت A، B و C در منطقه تعریف شد و در هر سری آنومالی ها بر اساس وسعت و شدت شماره 1 تا 4 گرفتند. آنومالی های سری A دارای کلیه دگرسانی های ذکر شده بوده و با سنگ میزبان مناسب همراهی می شوند. از لحاظ ساختاری نیز با گسل های عمدتاً R همراهی می شوند. سری B دارای دگرسانی نسبتاً وسیع بوده، ولی با همه زون های دگرسان یا سنگ میزبان مناسب همراهی نمی شوند. سری C آنومالی های کوچک دارای دگرسانی آرژیلیک و یا سربیسیت هستند که بر روی سنگ میزبان های مناسب قرار نداشته و یا ساختارها در شکل گیری آنها نقش زیادی نداشته اند. نقشه مناطق امید بخش مورد بحث در شکل 19 آمده است. لازم به ذکر است که چون دو برگه جوزم و دهج به طور همزمان مورد بازدید و کنترل زمینی قرار گرفتند، لذا کلیه آنومالی های هر دو برگه در کنار هم شماره بندی و اولویت بندی شده اند. لذا نتایج کسب شده برای هر دو برگه به صورت مشترک آورده شده است.



شکل 19: مناطق امیدبخش پیشنهادی در منطقه دهج بر روی نقشه توپوگرافی و آبراهه‌ها، به همراه دگرسانی‌ها، شکستگی‌ها و واحدهای سنگی اولویت بندی مناطق مهم

با بررسی نقشه‌های تولید شده و آنومالی‌های بدست آمده که در شکل 19 خلاصه آن آمده است، نتایج

زیر قابل دستیابی است:

- دگرسانی‌های اولیه و ثانویه ایجاد شده بر روی کانسارهای مس پرفیری بهترین ابزار شناسایی آنها محسوب می‌شود، طوری که واحدهای میزبان مناسب و کنترل کننده‌های ساختاری را به درجه دوم و سوم اهمیت سوق می‌دهد.
- داده‌های استر اید آ ال شناسایی و نقشه برداری زون‌های دگرسان سیستم‌های پرفیری و شناسایی مناطق پرتانسیل برای کانی‌سازی مس پرفیری در مناطق خشک و نیمه خشک مثل کرمان است.



مطالعات ماهواره‌ای

- با وجود کارهای اکتشافی انجام شده در این منطقه طی سالیان گذشته و اطلاع از حضور زون های دگرسان، هیچ نقشه مستدلی برای نمایش گسترش و موقعیت زون های دگرسان ارائه نشده و/یا در دسترس نیست.
- به طور کلی 10 محدوده آنومال در این مطالعه شناسایی شد و بر اساس اهمیت (تعدد زون های دگرسانی، وسعت و گسترش آنها و سنگ میزبان مناسب) به 3 سری آنومالی A، B و C تقسیم بندی شدند. بزرگترین آنها آنومالی A1 بوده و البته آنومالی A3 در خارج از چهارگوش مطالعاتی واقع شده است.
- دگرسانی پروپلیتیک که شرط اصلی برای پرفیری خواندن یک سیستم دگرسانی/ کانی سازی است حداقل در 5 منطقه با دگرسانی های اکسیدهای آهن، آرژیلیتی و سریسیتی همراه می شود، لذا وجود 5 استوک پرفیری در منطقه با شماره های A1، A2، A3، A4 و B1 محرز است.
- اولویت های با شماره و درجه پایین تر، به دلیل قرار گیری بر روی واحدهای آذرآواری و رسوبی و حضور دگرسانی های گرمابی نه چندان وسیع، مستعد کانی سازی تیپ رگه ای و اسکارن هستند.
- دگرسانی پروپلیتیک بر روی آنومالی A4 به زحمت و بر اساس گزارش های بازدید زمینی شناسایی شد. حضور کم رنگ این دگرسانی در کنار نبود نظم کافی برای سایر زون های دگرسان، حاکی از ضعیف بودن سیستم گرمابی و در نتیجه ضعیف بودن کانی سازی احتمالی است.
- با توجه به اینکه زون سریسیتی و آرژیلیکی به صورت برهم نوشت حضور دارند، می توان نتیجه گرفت که چند فاز تزریق - دگرسانی و احتمالاً کانی سازی صورت گرفته است.
- دو فاز دگرسانی اولیه و ثانویه در این منطقه، بخصوص بر روی آنومالی های A1، A2 و A3 اثر کرده و در نتیجه دگرسانی اولیه با کانی های هوازدگی سوپرژن برهم نوشت¹ شده است.
- فرآیند سوپرژن باعث تبدیل دگرسانی سریسیتی به مجموعه ای از کانی های آلونیت، ژاروسیت در کنار کوارتز شده است.

**مطالعات ماهواره‌ای**

- کامل نبودن هاله پروپیلیتی حول استوک های پرفیری می تواند دال بر اکسید شدن و اثر فرآیندهای سوپرژن و تبدیل بخشی آن به کانی کائولینیت و اسمکتیت باشد.
- حضور ژاروسیت بر روی بخش های سریسیتی / آرژیلیکی نشان می‌دهد که دو کانی پیریت و کالکوپیریت حضور بیشتری داشته و پیریت فراوان تر از کالکوپیریت بوده است و باعث اسیدی شدن محیط ثانویه شده است.
- سیلیس در بخش های مرکزی آنومالی A1 (و حتی در کانسار میدوک) به فراوانی حضور دارد و دلیلی بر اسیدی بودن محلول دارد.
- هماتیت ثبت شده بر روی آنومالی A1 و A3 بیشتر با بخش های دگرسانی پروپیلیتی همراه است و بر روی بخش های مرکزی دگرسانی این کانی کمتر مشاهده می شود.
- بر روی بسیاری از توده های نیمه نفوذی و اسیدی (ریولیتی) نیز میزان بالایی سیلیس ثبت شده که چون با کانی های دگرسانی دیگر مثل سریسیتی و اکسیدهای آهن همراهی نمی شوند، مرتبط با فرآیندهای گرمایی نبوده و معرف سیلیس خود سنگ هستند.
- دگرسانی پروپلیتیک در بسیاری موارد با سریسیتی و آرژیلیک و گاهی با سنگ دربرگیرنده و دگرسان نشده به صورت درآمیخته و نزدیک به هم دیده می شوند، یعنی به صورت پیکسل های مرکب خود را نشان می دهند و گاهی تفکیک آنها از هم در اندازه پیکسلی 30 متر مشکل می نماید.
- جستجو برای یافتن بخش های کوارتز - پتاسیک با داده های استر - بجز معدن میدوک در مرز جنوب شرقی محدوده که عملیات باطله برداری بر روی آن انجام شده - بی نتیجه ماند. علت این امر فرسایش نیافتن کافی بخش های بالایی کانسارهای احتمالی برای برونزد این دگرسانی است که البته از لحاظ اقتصادی با اهمیت تلقی می شود.
- مناطق دگرسان انطباق بالایی با توده های نیمه نفوذی در منطقه داشته و موقعیت قرارگیری آنها توسط خطواره های بزرگ ناحیه ای و گسترش محلی آنها توسط گسل های منطقه ای به شدت کنترل شده اند.



مطالعات ماهواره‌ای

- بررسی‌ها نشان داد که در جایی که گسل‌های R و R' تقاطع دارند و لیتولوژی مستعد کانی‌سازی مس پرفیری نفوذ کرده، بعضاً دچار دگرسانی و احتمالاً کانی‌سازی شده‌اند. در جایی که یکی از این دو شرط وجود نداشته، دگرسانی و/یا کانی‌سازی خاصی ایجاد نشده است.
- ساختارهای شناسایی شده بیشتر کنترل‌کننده دگرسانی هستند و اثر جابجایی پس از دگرسانی بر روی آنها کمتر دیده می‌شود. شاید بتوان نتیجه گرفت که مجموعه‌های دگرسانی/کانی‌سازی احتمالی پس از تشکیل از محیط تکتونیکی آرام تری برخوردار بوده‌اند.