



بررسی نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای برای استخراج دگرسانی ها با

شواهد صحرایی در کانسار مس پورفیری سرکوه

شعله ملکشاهی^۱، ایرج رسا^{۲*}، نعمت الله رشیدنژاد عمران^۳، محمد لطفی^۴

۱. دانشجوی دکترای زمین شناسی اقتصادی، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۲. دکترای زمین شناسی اقتصادی، استاد دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی
۳. دکترای پتروژئولوژی، استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه تربیت مدرس
۴. دکترای زمین شناسی اقتصادی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، پژوهشگر علوم زمین

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۵/۲۴

چکیده

تفکیک و به نقشه درآوردن زون‌های دگرسانی در اکتشاف تیپ‌های مس پورفیری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور بارز سازی این زون‌های دگرسان از داده‌های ماهواره ترا سنجنده استر استفاده شده است. محدوده سرکوه در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر و نیز کمربند کانی زایی دهج-ساردوئیه قرار دارد. عمده رخنمون‌های سنگی موجود در این محدوده را رخنمون‌های مربوط به ترشیری تشکیل می‌دهند. این رخنمون‌ها شامل نهشته‌های آتشفشانی مربوط به ائوسن و نیز توده‌های نفوذی بعد از ائوسن به همراه سنگ‌های هورنفلسی شده هستند. نهشته‌های آتشفشانی که عمدتاً ترکیب آندزیتی دارند به صورت نهشته‌های ولکانو کلاستیک و نیز گدازه‌ای دیده می‌شوند. در محدوده سرکوه توده‌های نفوذی متعددی شنا سایی شده است. توده گرانیتی-گرانودیوریتی مزار گسترده‌ترین توده موجود در محدوده سرکوه است. توده‌های گرانودیوریتی - کوارتز دیوریتی سرکوه پورفیری و نیز توده میکرودیوریت پورفیری در محدوده سرکوه رخنمون دارند که میزان کانی زایی مس پورفیری و دگرسانی‌های همراه هستند. در این منطقه، هاله‌های دگرسانی مختلفی وجود دارد که شامل پتاسیک، پروپیلیتیک، فیلیک، آرژیلیک، سیلیسی و آغشتگی‌های ثانویه به اکسید هیدروکسیدهای آهن بوده و با پردازش ماهواره ترا سنجنده استر بارز سازی شدند. برای تفکیک کانی‌های شاخص مرتبط با دگرسانی‌های مس، از روش‌های تصاویر ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، ترکیب رنگی کاذب حاصل از نسبت بانندی و روش‌های آنالیز طیفی (LS-fit, Filtering Matched) کانی‌زایی استفاده شد. در دگرسانی آرژیلیک، اکسیدهای آهن و پروپیلیتیک از روش‌های LS-fit, Matched Filtering و روش نسبت بانندی استفاده شده که از بین این روش‌ها، الگوریتم MF و نسبت بانندی نتایج بهتری داشت. در تفکیک دگرسانی‌های فیلیک، روش نسبت بانندی و دگرسانی سیلیسی در منطقه با روش‌های ذکر شده جواب نداده است. با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی از طریق مطالعات میکروسکوپی، نمونه‌های منطقه سرکوه در دگرسانی پتاسیک حاوی کوارتز + فلدسپار پتاسیک + بیوتیت + مگنتیت + سولفیدها + سریسیت است، کانی‌های موجود در دگرسانی پتاسیک حاوی کوارتز + اپیدوت + اکتینولیت + سریسیت + پیریت در محیط پیرامونی استوک و سنگ‌های آتشفشانی اطراف است و کانی‌های موجود در دگرسانی فیلیک هم شامل سریسیت و کوارتز است. نتایج به دست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای با نتایج حاصل از آنالیز XRD مطابقت دارد. مجموعه هاله‌های دگرسان با بازید صحرایی، منطقه‌بندی نسبتاً منظمی با روند شمال شرق-جنوب غرب با مرکزیت توده نفوذی سرکوه پورفیری را نشان می‌دهند.

کلید واژه‌ها: Aster، دگرسانی، مس پورفیری، سرکوه، کانی شناسی.

آدرس نویسنده عهده دار مکاتبات: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، شماره تماس: ۰۹۱۲۱۰۸۹۴۸۸

Email: Iraj.Rassa17@Gmail.com

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، فناوری سنجش از دور، اطلاعات ارزشمندی را در زمینه اکتشاف مواد معدنی فراهم ساخته است. داده‌های ماهواره‌ای با ثبت نتایج حاصل از تصویربرداری در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس، به‌طور گسترده‌ای در زمین شناسی و اکتشاف معدن بکار گرفته شده‌اند. در این میان ساختارهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، نوع لیتولوژی و انواع دگرسانی را می‌توان به عنوان مهمترین لایه‌های قابل استخراج در تصاویر ماهواره‌ای دانست. استفاده از تصاویر اطلاعات ماهواره‌ای در بهنگام سازی نقشه‌های زمین شناسی، بهبود کیفی نقشه‌ها و تهیه نقشه‌های موضوعی (بابا احمدی، ۱۳۸۸)، مانند زون‌های دگرسانی، واحدهای سنگی، خطواره‌ها و الگوهای شکستگی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی بسیار مثر ثمر بوده و از نظر وقت و هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه است. کانسارهای مس پورفیری به آن دسته از کانسارهای مس گفته می‌شوند که دارای ذخیره زیاد و عیار به نسبت پائین هستند. کانسارهای مس پورفیری همراه سنگهای مونزونیتی، دیوریتی و گرانودیوریتی کالک آلکالن کشف می‌شوند. اصطلاح پورفیری از بافت پورفیری سنگ‌های همراه، بافت استوک ورک و پراکنده ذخیره و ابعاد زیاد اخذ شده است. زیاد بودن ذخیره و آسان بودن استخراج که عموماً به صورت استخراج روباز است باعث شده تا این تیپ از کانسارها در چند دهه اخیر شده بااهمیت جلوه کند(خوئی و همکاران، ۱۳۷۸). دگرسانی در این کانسارها از داخل به طرف خارج شامل: پتاسیک ← فلیک ← رسی ← پروپیلیتیک است. این ترتیب مکانی در مناطق دگرسانی مربوط به نوعی از کانسارهای مس پورفیری، موسوم به مدل لوول و گیلبرت است و در مدل دیگر که به مدل دیوریت موسوم است، مناطق دگرسانی از داخل به خارج شامل: پتاسیک ←

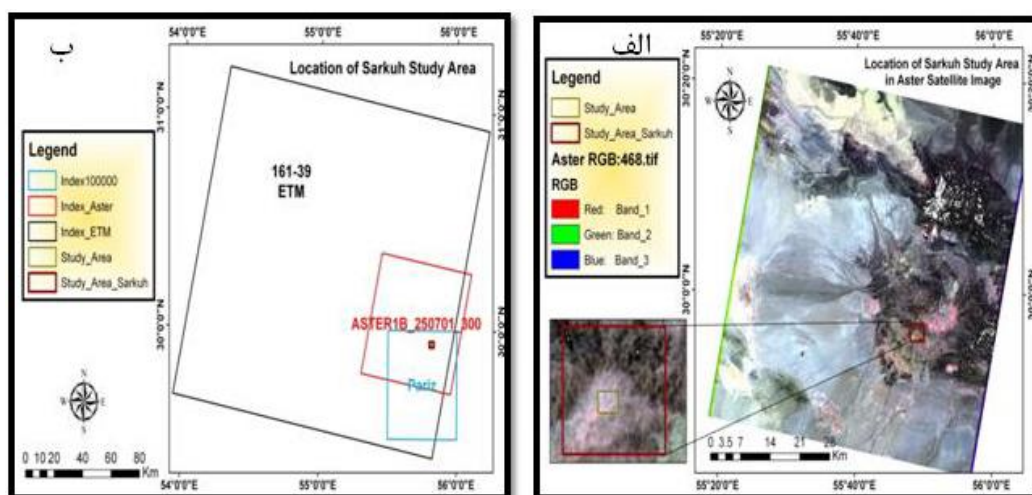
پروپیلیتیک است (شهاب پور، ۱۳۸۰). سیستم‌های میزبان مس پورفیری از گسترده‌ترین توزیع‌کننده گونه‌های کانی‌زایی در مرز ورقه‌های همگرا هستند (Sillitoe, R., H., 2010). از نظر محیط تکتونیکی سیستم‌های مس پورفیری به‌طور عمده در کمان‌های ماگمایی تولید می‌شوند که این محیط‌ها طیف وسیعی از محیط‌های فشارشی را به صورت منطقه‌بندی به‌وجود می‌آورند (Tosdal and Richards, 2001). نهشته‌های مس پورفیری نمایش دهنده مقیاس وسیعی از الگوی منطقه‌بندی دگرسانی-کانی‌سازی هستند که مرکزیت آن از پائین به سمت بالا سدیک-کلسیک، پتاسیک، کلریت-سرسیت، سرسیتی شدن و آرژیلیک پیشرفته است. (Meyer and Hemle, 1967). این مقاله برگرفته از رساله دکترا با عنوان بررسی زمین شناسی اقتصادی، ژئوشیمی و مدل تشکیل کانسار مس پورفیری سرکوه (جنوب غربی معدن مس سرچشمه) است (ملکشاهی و همکاران، ۱۳۹۲). منطقه مورد مطالعه کانسار مس سرکوه برای اولین بار در سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۱، توسط گروه کارشناسان کشور یوگسلاوی معرفی و مورد بررسی‌های اکتشافی شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰، مطالعات ژئوفیزیکی به روش IP، مطالعات ژئوشیمیایی و حفر ۸ حلقه گمانه اکتشافی (جمعاً به متر ۱۵۷۱ متر) قرار گرفت. بر اساس این مطالعات، رخداد یک کانسار کوچک مس پورفیری (۱۶ میلیون تن) با عیار ۰/۴۶ درصد مس در این محدوده گزارش شده است (مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۹). مطالعات انجام شده شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی-دگرسانی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ در محدوده سرکوه در سال ۱۳۸۷ توسط شرکت مهندسان مشاور کان ایران و تهیه نقشه زمین شناسی معدنی را در مقیاس ۱:۱۰۰۰ توسط شرکت مهندسان مشاور زرناب اکتشاف در سال ۱۳۸۹ است. هدف از این مقاله، مطالعات دورسنجی و پردازش تصاویر ماهواره تراسنجده استر برای

۲- مواد و روش ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

کانسار مس پورفیری سرکوه در یک منطقه کوهستانی، در استان کرمان و در ۱۰ کیلومتری شمال غربی روستای پاریز و ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی معدن مس سرچشمه قرار گرفته است. برای دسترسی به محدوده سرکوه از دروازه جنوب غربی شهر مس سرچشمه خارج شده و پس از طی حدود ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر در جاده خاکی لاشکار از مرز شمال شرقی به محدوده وارد می‌شویم (مهندسین مشاوران کان ایران، ۱۳۸۷). پردازش و تفسیر تصاویر مربوط به کانسار مس سرکوه برای استخراج دگرسانی‌ها، در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز به شماره ۷۱۴۹ قرار گرفته است. این محدوده در یک سین ETM^{+7} به شماره 161_39 و تصویر ماهواره ترا سنجنده استر به شماره AST_L1B_250701_300 قرار گرفته است. شکل ۱ (الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه را بر روی تصویر ماهواره‌ای Aster با ترکیب رنگی RGB;468 و شکل ۱ (ب) موقعیت برگه پاریز و محدوده سرکوه را به همراه سین‌های استر و لندست نشان می‌دهد.

شناسایی بخش‌های دگرسان شده مرتبط با کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه است. برای این منظور انواع دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی مس مدنظر قرار گرفته و در کنار پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از داده‌های اکتشافی و پردازش‌های دورسنجی موجود در شرکت مس نیز استفاده شده است. به منظور مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه از تصاویر سنجنده استر، روش‌های ترکیب رنگی کاذب، روش‌های طیفی، Matched Filtering، Ls-fit و روش نسبت بانندی برای جداسازی انواع دگرسانی‌ها (اکسید آهن، آرژیلیک، پروپیلیتیک فیلک، سیلیسی و پتاسیک) استفاده شد. از نسبت بانندی به عنوان یک روش متداول پردازش تصاویر ماهواره‌ای جهت افزایش اثرات طیفی کانی‌های دگرسان استفاده شد که یک ابزار دقیق‌تر جهت به حداقل رساندن اثرات پوشش گیاهی و آشکار سازی نواحی دگرسان شده است که توسط محققان متعدد برای مشخص کردن نواحی دگرسانی، در ایالات فلززایی مورد استفاده قرار گرفته است (Crosta, 1989; Loughlin, 1991; Tangestani and Moore, 2001).



شکل ۱. (الف). موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی سین تصویر ماهواره ای ترا سنجنده Aster با ترکیب رنگی RGB:468 و (ب).

موقعیت کانسار مس پورفیری سرکوه در ایندکس ماهواره ای Aster, ETM

اسیدی دارند. چندین نسل توده نفوذی در محدوده شناسایی شده است.

واحد Ev شامل سنگ‌های ولکانیکی- رسوبی ائوسن با ترکیب آگلومرا، توف و جریانهای آندزیتی با اندکی ماسه‌سنگ و سنگ آهک است. نهشته‌های آتشفشانی موجود در محدوده سرکوه دارای گسترش وسیعی در بخش‌های غربی و شمالی محدوده و میزبان توده‌های نفوذی هستند. فاز اول ماگماتیسم در این محدوده در طی ائوسن با تشکیل توالی سنگ‌های آذرآوری و گدازه‌هایی با ترکیب حدواسط (تا اسیدی) آغاز می‌شود. با توجه به شواهد صحرایی و مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک، انواع سنگ‌های تشکیل شده در این فاز ماگمایی عبارتند از: توف قطعه سنگی، ویتریک توف، ایگنمبریت و گدازه‌های آندزیتی. فاز دوم ماگماتیسم در محدوده در طی الیگومیوسن با جای‌گیری باتولیت گرانودیوریتی ممزار (gd) در بخش‌های جنوبی نقشه آغاز و با جای‌گیری تأخیری استوک و دایک‌هایی با ترکیب آلکالی لوکوگرانیت (gt و gdgt) ادامه می‌یابد. لازم به ذکر است که در اثر دگرگونی حرارت ناشی از جای‌گیری توده نفوذی گرانودیوریت ممزار (gd) بخش جنوبی و شرقی رخنمون سنگ‌های ولکانیکی به هورنفلس تبدیل شده‌اند. نهشته‌های دگرگون شده که پروتولیت آنها در واقع نهشته‌های ائوسن هستند، در بخش‌های جنوبی محدوده رخنمون دارند. فاز سوم ماگماتیسم در محدوده نقشه سرکوه، ماهیتی پلوتونیک داشته و با وقفه ای مشخص و پس از بالآمدگی نسبی منطقه، در طی الیگومیوسن عمل کرده است. سنگ‌های تشکیل شده در این فاز ماگمایی، تماماً نیمه عمیق بوده و بیشترین نقش را در کانی‌سازی و تشکیل هاله‌های دگرسان ایفا نموده‌اند. انواع سنگ‌های تشکیل شده در این فاز ماگماتیسم عبارتند از استوک‌هایی با ترکیب

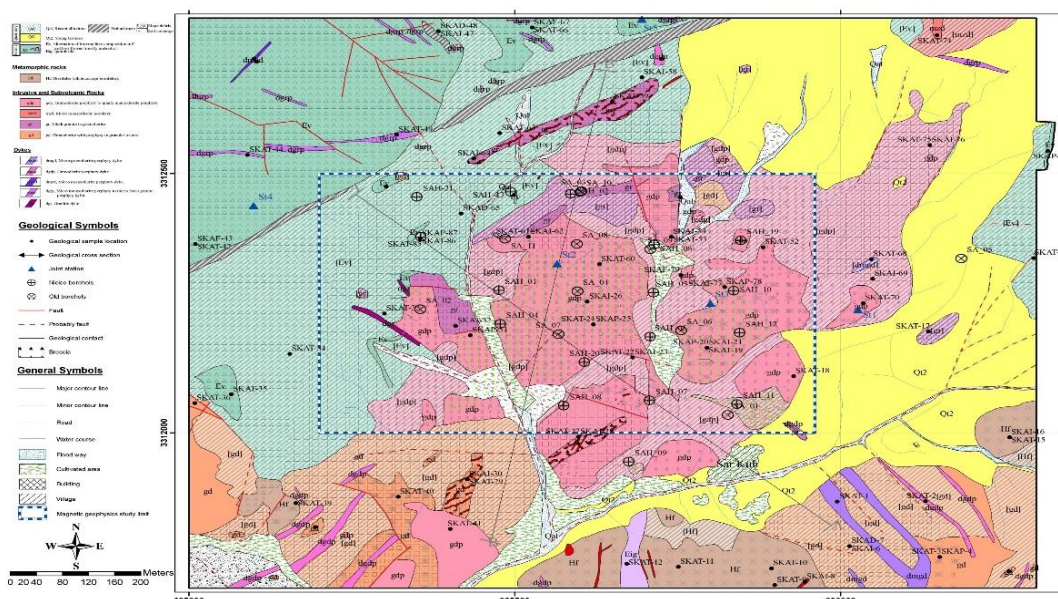
محدوده کانسار از نظر ساختاری در کمان ماگمایی ارومیه-دختر و نیز کمر بند کانی‌زایی دهج- ساردوئیه قرار دارد و شامل ترادف ضخیمی از گدازه‌ها و توف‌های آندزیتی به سن ائوسن است که توسط یک توده بزرگ گرانودیوریتی موسوم به ممزار و به سن الیگومیوسن قطع شده است (مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۷). این توده، متوسط تا درشت بلور است، توده‌های گرانودیوریتی- کوارتز دیوریتی سرکوه پورفیری و نیز توده میکرودیوریت پورفیری در محدوده سرکوه رخنمون دارند که میزبان کانی‌زایی مس پورفیری و آلتراسیون‌های همراه هستند. دایک‌های متنوعی در محدوده سرکوه شناسایی شده است که لیتولوژیهای قدیمی‌تر را قطع می‌کنند. همچنین بخش نسبتاً وسیعی از شرق محدوده نیز توسط رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده‌است (مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۷). با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه سرکوه در قسمت شمال‌شرق نقشه، در یک طاق‌دیس گنبدی شکل بزرگ با امتداد تقریبی شرقی- غربی واقع شده است. در این بخش از نقشه، روند عمومی گسل‌ها به صورت ENE-WSW تا N-S بوده و به طور کلی، منطبق بر روند نفوذ توده‌های نیمه‌عمق، خطواره‌های مزدوج (ENE-WSW) و خطواره‌های عرضی (N-S) است. به هر حال، با مقداری ساده‌انگاری می‌توان این روندهای متنوع را به دو دسته خطواره اصلی، با امتداد کلی NE-SW و NW-SE تقسیم کرد. تنها دو واحد سنگی زیر در محدوده نقشه سرکوه رخنمون یافته‌اند:

واحد gd، شامل توده گرانودیوریتی است که بیش از ۹۰ درصد محدوده را پوشانده است. توده‌های نفوذی، با دامنه سنی متمایز، در بخش‌های مرکزی و جنوبی رخنمون وسیع‌تری داشته و سنگ میزبان کانی‌زایی هستند. این توده‌ها دامنه ترکیبی متوسط تا عمدتاً

شعله ملکشاهی و همکاران

پورفیری (dmgd). لازم به ذکر است که توده نفوذی گرانودیوریت (سرکوه پورفیری) gd، در میان تمامی سنگ های نفوذی فوق الذکر از گسترش بیشتری برخوردار بوده و نقش اصلی را در تشکیل هاله های دگرسان و زون های کانه دار محدودده ایفا نموده است (مهندسین مشاور زرناپ اکتشاف، ۱۳۸۹).

میکرومونزدیوریت پورفیری (mzd)، گرانودیوریت پورفیری (سرکوه پورفیری، gdp) و ۵ گونه دایک نیمه عمیق با ترکیب دایک لوکوالکالی گرانیات (dgr)، میکرومونزدیوریت پورفیری تا میکرولوکوگرانیات پورفیری (dgrp)، میکرو مونزدیوریت پورفیری (dmzd)، گرانودیوریت پورفیری (dgd) و میکروگرانودیوریت



شکل ۲. نقشه زمین شناسی- دگرسانی مس سرکوه در مقیاس ۱:۵۰۰۰ (مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۷)

که احتمال کانسار سازی وجود دارد؛ ۲- شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده های کانسار؛ ۳- تهیه اطلاعات زمین شناسی پایه؛ (بابا احمدی، ۱۳۸۸). برای شناسایی سنگ ها و کانی های مختلف سطح زمین، محدوده طیفی ۱/۵ تا ۲/۵ میکرون بسیار مهم است. این محدوده طیفی شامل محدوده مادون قرمز کوتاه تا متوسط می شود که شش باند سنجنده استر را می پوشاند (علوی پناه، ۱۳۸۸- Yamaguchi et al, 1998) Abrams,2000- با توجه به تغییرات بسیار شدید منحنی بازتاب طیفی کانی ها در محدوده مادون قرمز کوتاه (SWIR) و بالا بودن قدرت تفکیک طیفی

۲-۲- مشخصات سنجنده ASTER

سنجنده استر، یکی از پنج سنجنده ای است که توسط ماهواره ترا در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب و تصویربرداری آن در مارس ۲۰۰۰ شروع شد (Yamaguchi et al, 1998). عرض تصویربرداری توسط این سنجنده ۱۱ کیلومتر است و به صورت فریم های استاندارد ۶۰ در ۶۰ کیلومتر ارائه می شود (علوی پناه، ۱۳۸۸- Abrams,2000). کاربرد داده های استر در زمین شناسی را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:
۱- نقشه برداری واحدهای سنگی، چینه شناسی، خطواره های بزرگ و روندهای ساختاری در طول نواحی

نسبی در مناطقی که اندازه‌گیری‌های زمینی وجود نداشته و اطلاعات از منطقه اندک باشد دارد. این روش برای مناطق خشک و بدون پوشش گیاهی نتایج بهتری دارد. در این روش طیف میانگین برای صحنه ورودی محاسبه شده و این طیف به عنوان طیف مرجع استفاده می‌شود (ENVI, 2003). مقایسه بین نمودار بازتابش طیفی داده‌های ASTER با طیف مرجع کانی‌ها نشان می‌دهد در باند ۵ داده‌های ASTER (محدوده طول موج $2/145 - 2/185 \mu m$) انعکاس طیفی کانی‌ها به‌طور غیرعادی پایین است که با روش‌های مختلف می‌توان آن را تصحیح نمود. اگر انعکاس باند ۵ خیلی پایین باشد طیف‌ها بیشتر شبیه به قالب طیفی کانی‌های آرژیلیک خواهند شد و الگوریتم‌های نقشه برداری، دگرسانی آرژیلیک را بیشتر از دگرسانی فیلیک به نقشه در می‌آورند (Rowan and Mars, 2006- Rowan, 2006)

۲-۳- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

اطلاعات ماهواره‌ای در ابتدا دارای خطاهای مختلف هندسی و رادیومتریک هستند زیرا تصاویری که توسط سنجنده ماهواره‌ای تهیه می‌شود ممکن است هنگامی که امواج از خورشید به سطح زمین تابیده می‌شود، هنگام انعکاس به دلیل گرد و غبار، مه و وضعیت توپوگرافی منطقه، انعکاس مطلوبی صورت نپذیرد و تصاویر ثبت شده وضوح لازم را نداشته باشند، یا اینکه این خطاها متأثر از وضعیت ماهواره، سنجنده، خطاهای هنگام ثبت، انتقال اطلاعات و دیگر موارد ناشی از آن باشد.

به منظور دریافت اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای لازم است پیش از استفاده از آنها پیش پردازش‌های رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر خام صورت گیرد.

سنجنده ASTER، این سنجنده در شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف سطح زمین بسیار توانا و موثر است (Whitney and Olmsted, 1998). سنجنده ASTER با ۱۴ باند که دامنه طول موجی $0/52$ تا $11/65$ میکرون را در سه محدوده طیفی مرئی (سه باند مرئی بین $0/86 - 0/52$ میکرون به نام VINR با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر) مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه (۶ باند طول موج کوتاه تا متوسط مادون قرمز بین $2/43 - 1/60$ میکرون به نام SWIR با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) و مادون قرمز حرارتی (پنج باند حرارتی در محدوده بین $11/65 - 8/125$ میکرون به نام TIR با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر) پوشش می‌دهد (Yamaguchi et al, 1998-Abrams, 2000). این سنجنده به‌صورت تخصصی برای کاربردهای اکتشافی و زمین‌شناسی طراحی شده است (Abrams et al, 1983). تشعشعات الکترومغناطیسی که از خورشید ساطع می‌شوند پس از برخورد به سطح زمین و انعکاس، از جو عبور کرده و به سنجنده می‌رسند. در اثر عبور این تشعشعات از جو، کاهشی در میزان امواج الکترومغناطیسی رخ می‌دهد. امواج کوتاه‌تر از $0/3 \mu m$ به‌طور کامل توسط لایه ازن در بالای اتمسفر جذب می‌شوند. ابرها که شامل ذرات ریز و قطرات آب هستند باعث جذب و پخش انرژی الکترومغناطیسی در طول موج‌های کمتر از $0/1 \text{ Cm}$ می‌شوند. فقط امواج میکروویو و طول موج‌های بزرگ‌تر قادرند بدون پخش، انعکاس یا جذب از ابرها عبور کنند (Sabins, 1999). به منظور بارزسازی عوارض طیفی، روش کالیبراسیون بازتابش متوسط نسبی داخلی (IARR) برای نرمالیزه کردن تصاویر با استفاده از یک طیف میانگین صحنه به کار می‌رود. این روش اثرات ویژه‌ای را برای تبدیل داده‌های طیفی به بازتاب‌های

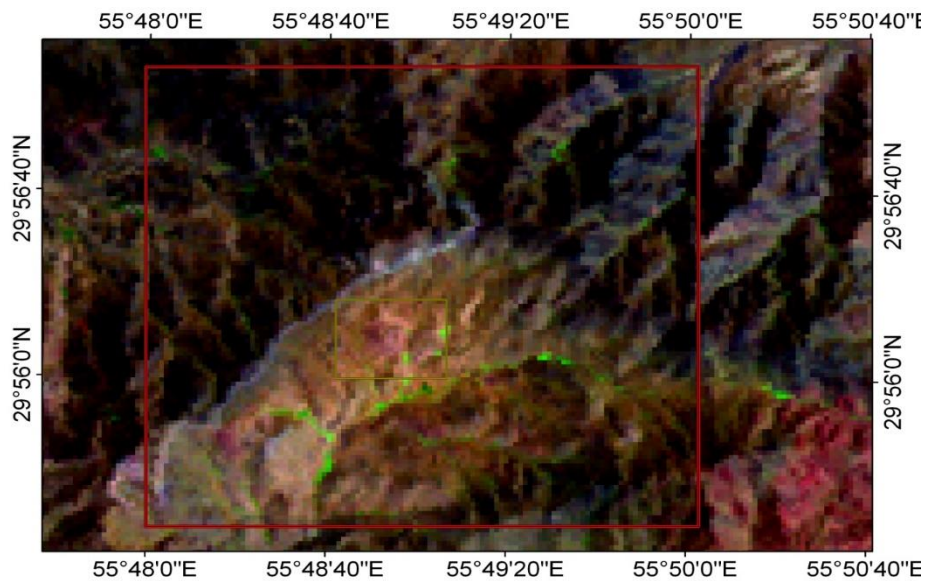
باندی (Ls_Fit)، روش فیلترگذاری انطباقی (Mached Filtering) و روش نسبت بانندی (Band Ratio) استفاده شده است. دگرسانی گرمایی مهمترین عامل در پیشنهاد مناطق برای شناسایی کانی‌سازی های جدید است و داده‌های استر شرایط مناسبی را با توجه به توانایی‌های این سنجنده برای تفکیک دگرسانی‌های گرمایی در محدوده فرورسرخ طول موج‌های کوتاه دارند (Rowan et al, 2003- Ranjbar et al, 2003). در راستای پهنه بندی مناطق دگرسانی به‌ویژه اکسیدهای آهن از تصاویر دارای سه باند مرئی و مادون قرمز نزدیک (Hunt and Ashley, 1979) (VNIR)، و برای دگرسانی‌های آرژلیک و پروپیلتیک از تصاویر مادون قرمز با طول موج کوتاه SWIR که در آن کانی‌های شاخص مناطق آتره بیشترین تمایز را از نظر میزان بازتاب طیفی خواهند داشت، استفاده شد (Azizi et al, 2010). تمام ترکیب رنگی‌های کاذب و روش‌های آنالیز طیفی و نسبت بانندی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند و نهایتاً لایه یکپارچه شده از دگرسانی‌ها معرفی شد. در ابتدا، از روش تفسیر چشمی و ترکیب رنگی کاذب برای جداسازی دگرسانی‌ها استفاده شد. تصاویر رنگی کاذب می‌تواند اطلاعات بیشتری را در مورد برونزدهای موجود در سنگ بستر در منطقه در اختیار ما قرار دهد. با کمک تصاویر ETM ماهواره لندست و با روش تفسیر بصری و با کمک ترکیب رنگی RGB:531 (Guo and Mason, 2009) دگرسانی‌های آهن به رنگ نارنجی تا قهوه ای تیره دیده شدند (شکل ۳) که دقیقاً با روش‌ها و الگوریتم‌های بدست آمده از تصاویر استر برای اکسیدهای آهن مطابقت داشتند. با ترکیب رنگی RGB:468 استر کائولینیت صورتی، اپیدوت-کلریت سبز رنگ، کلریت آبی رنگ و آلونیت قرمز رنگ نشان داده شده است (شکل ۴). در ترکیب رنگی ۴۵۶ ماهواره ترا سنجنده استر دگرسانی کائولینیتی و آلونیتی به رنگ صورتی مشخص شده است.

به منظور استفاده صحیح از داده‌ها، تصاویر هر دو سنجنده با استفاده از تصویری از منطقه که دارای مختصات صحیح بود، با روش تصحیح هندسی تصویر به تصویر، زمین مرجع شدند. در ابتدای کار با در دست داشتن داده‌های خام تصاویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA، این پیش پردازش‌های لازم بر روی این تصاویر صورت گرفت و از آنجایی که تصاویر در سنجش از دور، نقشه نیستند، دارای مقیاس و سیستم تصویر نیستند (علوی‌پناه، ۱۳۸۸)؛ لذا زمانی که نیاز است در قالب نقشه یا در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به کار گرفته شوند، بایستی آنها را به شیوه مناسبی دارای مقیاس و سیستم تصویر نمود. به نحوه تغییر و تبدیل یک تصویر در سنجش از دور به گونه‌ای که دارای مقیاس و سیستم تصویر شود، تصحیحات هندسی گفته می‌شود که تصحیحات هندسی (علوی‌پناه، ۱۳۸۸) در این تصویر (تصویر در سیستم UTM و Zone40 شمالی و سیستم بیضوی WGS1984 مختصات دار شده است) اعمال شد. در تصحیح هندسی دوبعدی (زمین مرجع سازی) بدون شناخت و یا مدل‌سازی منابع خطا، ارتباط بین مختصات جغرافیایی (x,y) زمین و مختصات پیکسل‌های تصویر (I,j) با یک تابع تبدیل (معمولاً چندجمله‌ای) برقرار می‌شود. تعداد و دقت نقاط کنترل زمینی انتخاب شده، ضرایب و درجه چند جمله‌ای را تعیین می‌کند و تصحیحات رادیومتریک (به منظور تصحیح خطاهای ایجاد شده حاصل از اثرات جوی، توپوگرافی و اثر حساسیت سنجنده) موجود در تصویر اعمال شد (علوی‌پناه، ۱۳۸۸).

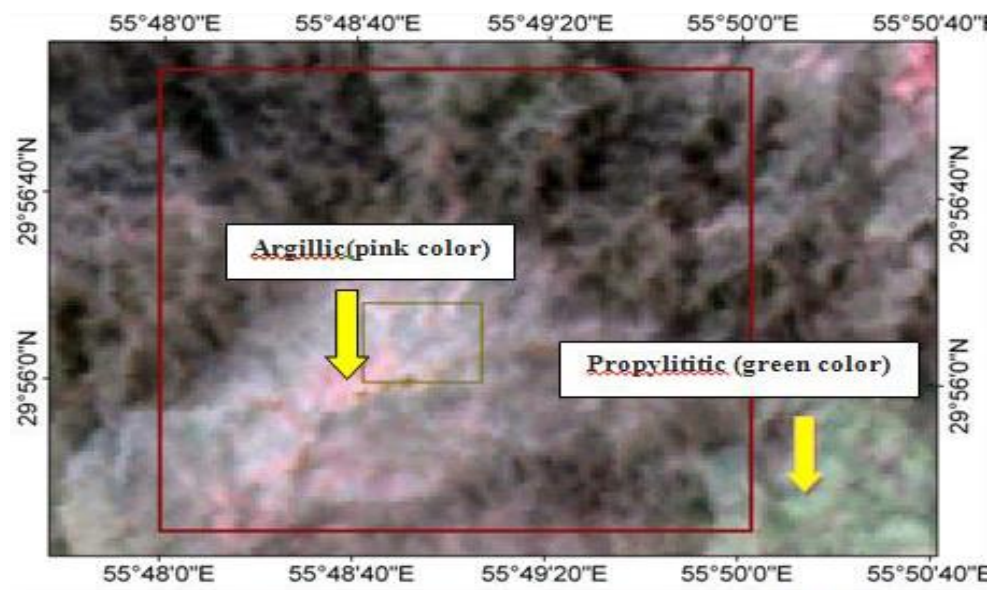
۲-۴- بارزسازی مناطق دگرسانی

برای بارزسازی و استخراج دگرسانی‌ها در محدوده سرکوه از دو روش تفسیر چشمی و آنالیز طیفی (پیش بینی خطی

بررسی نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای برای استخراج دگرسانی ها...



شکل ۳. تصویر ماهواره لندست سنجنده ETM و با روش تفسیر بصری و با کمک ترکیب رنگی RGB:531 دگرسانی های آهن به رنگ نارنجی تا قهوه ای تیره دیده می شوند.



شکل ۴. ترکیب رنگی RGB:468 استر که دگرسانی آرژیلیک صورتی و کربنات زرد تا سفید و دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز در محدوده سرکوه نمایان شده اند.

توپوگرافی و سایه ها، کاهش یک سری از نویزها و اختلاف بین درجات روشنایی شده و مرزها را مشخص تر

روش نسبت باندی (Band Ratio)، یکی از روش های رایج در پردازش تصویر است که باعث از بین بردن اثرات

است که طیف کانی‌های شاخص در هر تصویر با طیف‌های مرجع این کتابخانه مقایسه و سنجیده شد. کتابخانه طیفی نرم افزار ENVI شامل ۴۲۰ باند است که توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و در شرایط آزمایشگاهی تهیه شده است. در راستای معرفی نمودار طیفی مرجع به هریک از روش‌های طبقه‌بندی طیفی که در ادامه مطرح خواهند شد و با در نظر گرفتن وضعیت سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه، نوع کانی‌های شاخص به شرح ذیل تعیین و از کتابخانه USGS انتخاب شد. از سوی دیگر به منظور استفاده از منحنی بازتاب طیفی کانی‌های مزبور در کتابخانه طیفی ENVI USGS، جهت انجام آنالیز طیفی لازم است منحنی‌ها به دامنه طیفی باندهای ASTER، Resample شوند. یکی از روش‌های آنالیز طیفی روش پیش بینی خطی باند LS-Fit (Linear Band Prediction) است. الگوریتم LS-Fit با استفاده از روش پیش بینی خطی باند و بکارگیری حداقل مربعات، به پیش‌بینی یک باند بر اساس سایر باندها می‌پردازد. خروجی این الگوریتم دو باند است که عبارتند از: Residual image و Prediction image. چون بر اساس پیش‌بینی سایر باندها، تصویر Prediction است، بیشترین شباهت را با سایر باندها داراست. اما در مقابل تصویر Residual چون خطای پیش‌بینی است، نشان دهنده اختلاف باند مذکور با سایر باندها است. از تصویر Residual می‌توان جهت بارزسازی و استخراج عوارض مشخص استفاده کرد (Pohl, C., And van Genderen, J.L., 1998).

در روش LS-Fit پس از اعمال تصحیحات اتمسفری بر تصویر خام، هر یک از فریم‌ها را Resample نمودند. منحنی طیفی هریک از کانی‌های شاخص، با اعمال الگوریتم موجود تصویری حاصل می‌شود

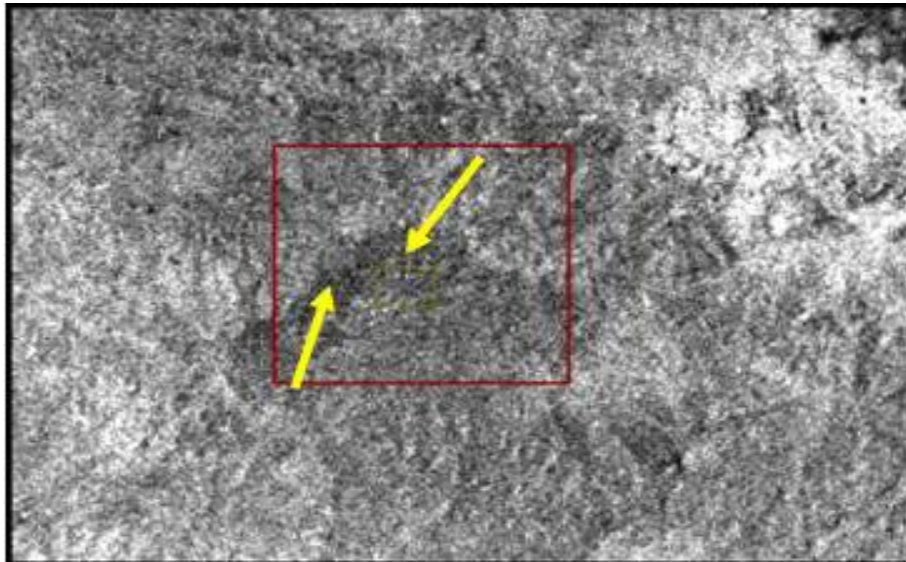
می‌کند. نسبت گیری باندی، یک روش رقومی پردازش تصاویر چند طیفی است که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن در تصویر یا باند دیگر است (Goetz et al, 1983- Sabins, 1987- Rowan et al, 1977- Crowley et al, 1989- Ninomiya, 2003a- Ninomiya, 2003b- Mars and Rowan, 2006- Sabins, 1999). با توجه به حضور کانی‌هایی نظیر لیمونیت، گوتیت هماتیت (Sadeghi, 2013) در منطقه، می‌توان از نسبت‌های باندی برای آشکارسازی آکسیدهای آهن استفاده کرد. از این رو با استفاده از تصاویر استر و بهره‌گیری از نسبت باندی می‌توان آشکارسازی کرد. نسبت باندی ۳/۱ نیز برای آشکارسازی آهن استفاده شد. کانی‌های آهن‌دار بازتاب زیاد در باند ۳ و جذب زیادی در باند ۱ دارند (بابا احمدی، ۱۳۸۸). برای دگرسانی سیلیسی از الگوریتم‌های آنالیز طیفی به دلیل جذب بالای سیلیس نمی‌توان استفاده کرد به همین دلیل از روش نسبت باندی ۱۳/۱۲ استفاده کرده ایم ولی در منطقه مورد مطالعه دگرسانی سیلیسی با این روش هم جواب نداده است.

برای کائولینیتی شدن از نسبت ۷/۵ (Hewson et al, 2005) به دلیل انعکاس نسبتا پایین کانی‌های گروه کائولینیت در باند ۵ و انعکاس بالا در باند ۷ استفاده شد. در دگرسانی پروپیلیتیک که کانی‌های گروه Mg-OH مانند اپیدوت و کلریت را شامل می‌شود، از نسبت باندی ۶+۹/۷+۸ استفاده شده است که مناطق هدف به رنگ سفید مشخص می‌شوند. به دلیل انعکاس کم این گروه از کانی‌ها در باند ۸ و انعکاس نسبتا بالا در باند ۹ و ۶ است (Hewson et al, 2005).

در ابتدا برای پردازش تصاویر با روش‌های آنالیز طیفی، نیاز به یک کتابخانه طیفی مرجع (Spectral Library)

ای باینری با ارزش ۱ برای مناطق هدف تهیه شود. بنابراین یک فیلتر بیشینه- کمینه با پنجره ۳×۳ یا ۵×۵ متناسب با میزان و پراکندگی مناطق تک پیکسل اعمال شده و حاصل کار به برداری تبدیل می شود تا برای عملیات تلفیق و تصمیم گیری مناطق پتانسیل دار به کار رود. این روش برای تشخیص دگرسانی های اکسید آهن و رسی تا حدی نسبت به بقیه دگرسانی های دیگر بهتر جواب داده است (شکل ۵).

که در آن مکان های هدف به رنگ سیاه دیده می شوند. هیستوگرام تصویر حاصل، معیاری در تعیین میزان آستانه، به منظور مشخص نمودن اهداف مورد نظر هستند. آستانه گذاری حاصل، سبب خواهد شد تا مناطقی که منحنی طیفی کانی مختص آنها به عنوان ورودی، به روش داده شده است، به رنگ سفید نمایان شده و مناطق زمینه، سیاه رنگ دیده شود. طبقه بندی نظارت نشده ISODATA با دو کلاس، طبقه بندی شده تا لایه



شکل ۵. اعمال الگوریتم LS-Fit در محدوده مس سرکوه برای دگرسانی های اکسید آهن که در این روش مناطق سیاه رنگ نشان دهنده دگرسانی مورد نظر است.

است. این الگوریتم با هدف یافتن میزان فراوانی هر عضو تعریف شده در تصویر از تجزیه اختلاط طیفی - بصورت ناقص با حفظ اصول و بکارگیری معادلات تجزیه اختلاط طیفی - استفاده می کند (Bedini, Boardman et al, 1994- Harsanyi et al, 2011- 1995). ویژگی اصلی این الگوریتم، طبقه بندی بهتر عوارضی است که در تصویر پراکنده بوده و در روش های معمول طبقه بندی در کلاس های دیگر

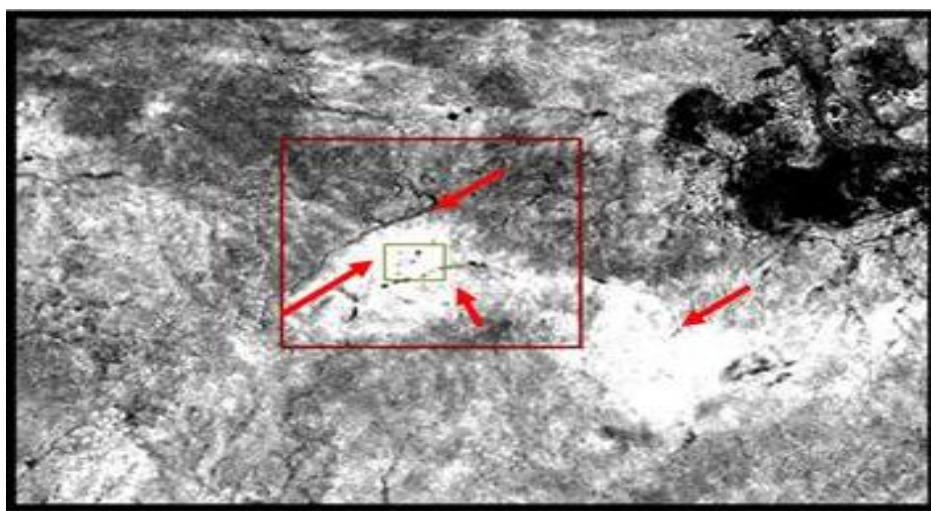
روش دیگر آنالیز طیفی، روش فیلتر گذاری انطباقی (Matched Filtering = MF) است (RSI, 2003). روش فیلترگذاری انطباقی Matched Filtering با استفاده از Endmember های تعریف شده توسط کاربر، پاسخ Endmember های معلوم را افزایش داده و مانع پاسخ زمینه می شود. این روش، وسیله ای سریع برای شناسایی مواد خاص بر اساس تطبیق Endmember های منحنی بازتاب طیفی با تصویر

شود تا برای عملیات تلفیق و تصمیم گیری مناطق پتانسیل دار به کار رود (Harsanyi et al, 1994- Boardman et al, 1995).

نتایج حاصل از این روش به این صورت بوده است که این روش برای دگرسانی پروپلیتیک (اپیدوت و کلریت)، آرژلیک و کانی‌های آن کاملاً موفق بوده است. در روش ترکیب باندی ۴۶۸ با تفسیر بصری از تصاویر استر، دگرسانی‌های آرژلیک با روش Matched Filtering (MF) مطابقت دارد که در این ترکیب دگرسانی آرژلیکی به رنگ صورتی تا بنفش دیده می‌شوند.

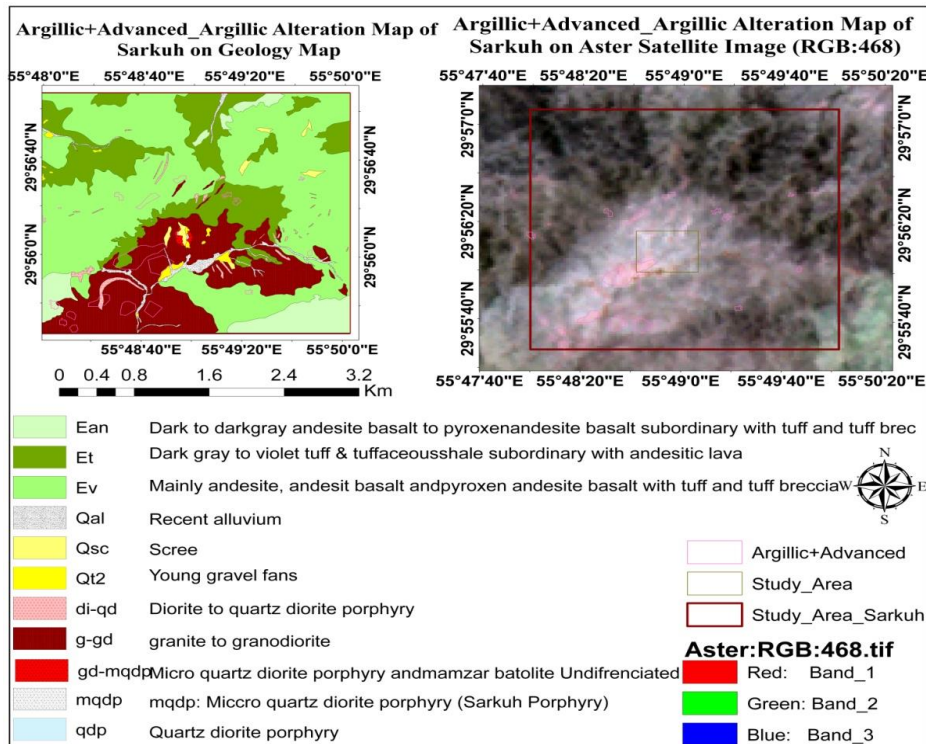
اشکال ۷ تا ۱۳ به ترتیب نمایش دگرسانی‌های آرژلیک - آرژلیک پیشرفته، اکسید آهن (جاروسیت-گوتیت)، اکسید آهن (گوسان)، اکسید آهن (جاروسیت)، پروپلیتیک، فیلیک و پتاسیک استخراج شده را بصورت جداگانه بر روی تصویر ماهواره ترا سنجنده استر با ترکیب رنگی RGB:468 نشان می‌دهد و شکل ۱۴ نمایش کلی از دگرسانی‌ها را کانسار مس سرکوه نشان می‌دهد.

تلفیق می‌شوند. در روش فیلترگذاری انطباقی پس از اعمال تصحیحات اتمسفری بر تصویر خام هریک از فریم‌ها و Resample کردن منحنی طیفی هر یک از کانی‌های شاخص با اعمال الگوریتم موجود تصویری حاصل می‌شود که در آن مکان‌های هدف به رنگ سفید دیده می‌شوند (شکل ۶). هیستوگرام تصویر حاصل، معیاری در تعیین میزان آستانه جهت مشخص نمودن اهداف مورد نظر است. آستانه‌گذاری حاصل سبب خواهد شد تا مناطقی که منحنی طیفی کانی مختص آنها به عنوان ورودی به روش داده شده است به رنگ سفید نمایان شده و مناطق زمینه، سیاه رنگ دیده شود. با طبقه بندی نظارت نشده (ISODATA) با دو کلاس طبقه بندی شده تا لایه ای باینری با ارزش ۱ برای مناطق هدف تهیه شود. تصویر طبقه بندی شده دارای مناطقی با تک پیکسل می‌باشد که در عمل ارزش تفسیر زمین شناسی نداشته و لازم است حذف شود. بنابراین یک فیلتر بیشینه- کمینه با پنجره ۳×۳ یا ۵×۵ متناسب با میزان و پراکندگی مناطق تک پیکسل اعمال شده و حاصل کار به بردار تبدیل می

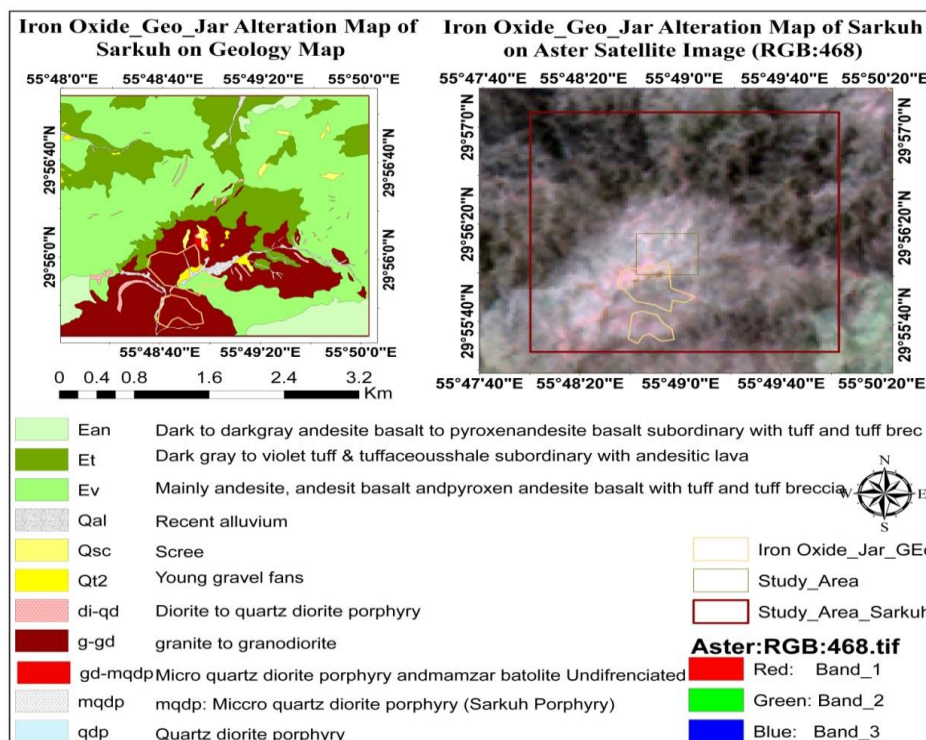


شکل ۶. نتایج حاصل از اعمال الگوریتم MF در مورد دگرسانی آرژلیک (اختصاصاً کائولینیتی شدن) که تارگت‌ها به رنگ سفید در محدوده مورد مطالعه باز شده اند.

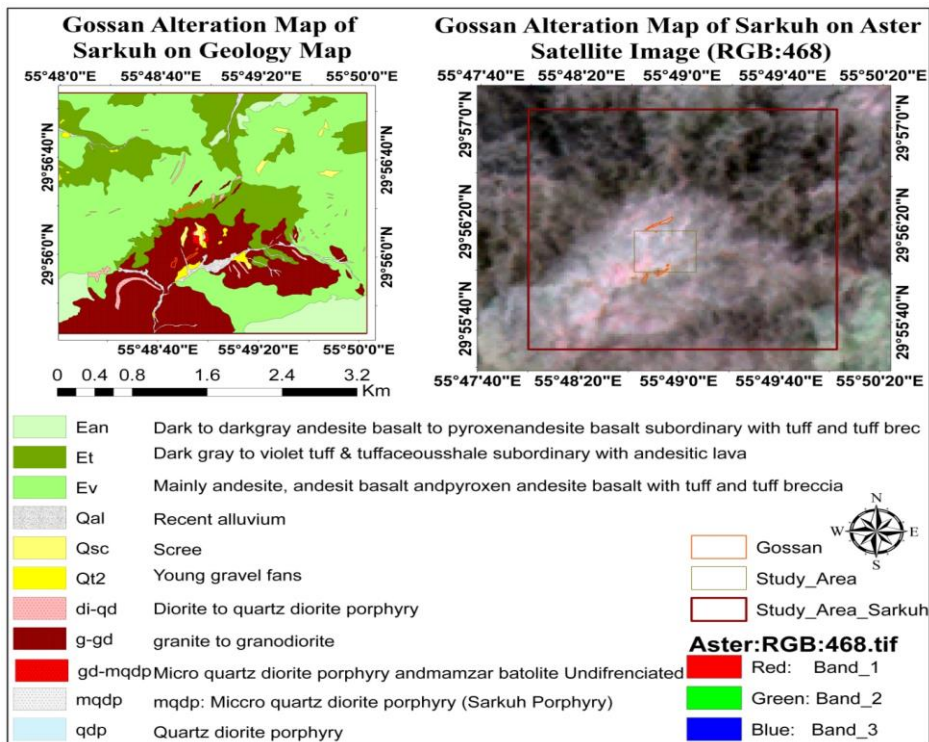
بررسی نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای برای استخراج دگرسانی ها...



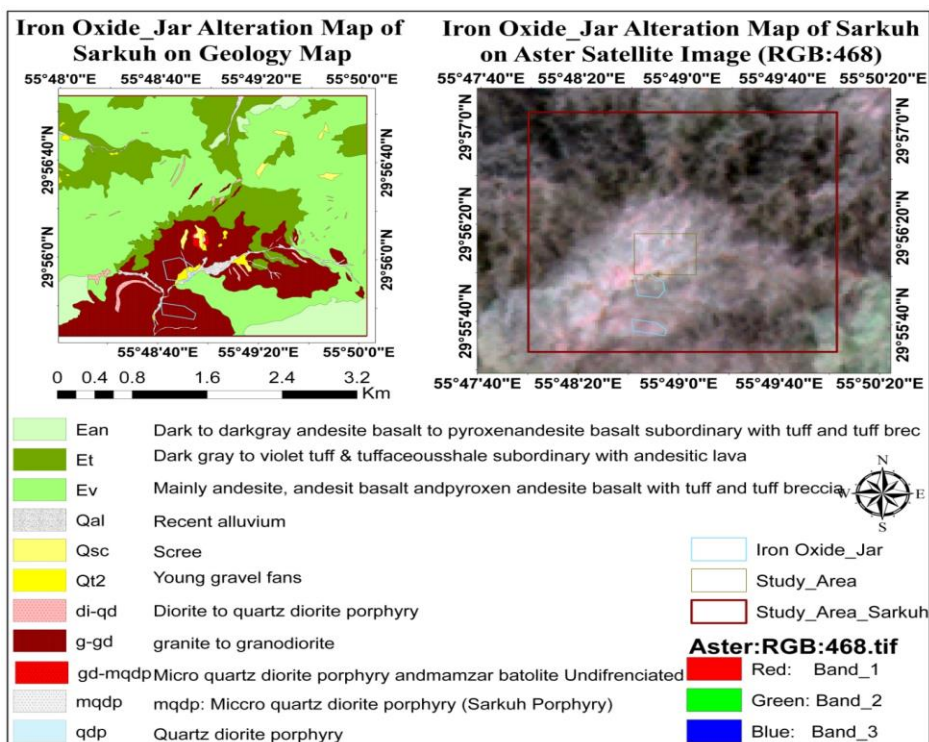
شکل ۷. پراکندگی مناطق با دگرسانی آرژیلیک-آرژیلیک پیشرفته در گرانیت های کانسار مس سرکوه



شکل ۸. پراکندگی مناطق با دگرسانی اکسید آهن (جاروسیت و گوتیت) در کانسار مس سرکوه

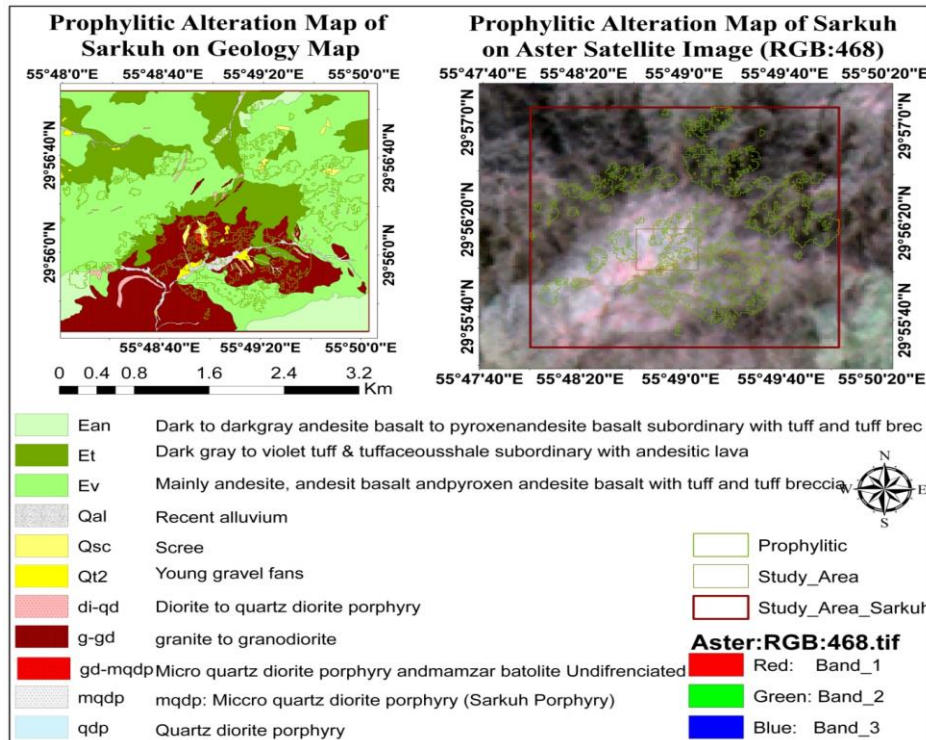


شکل ۹. پراکندگی مناطق با دگرسانی اکسید آهن (گوسان)

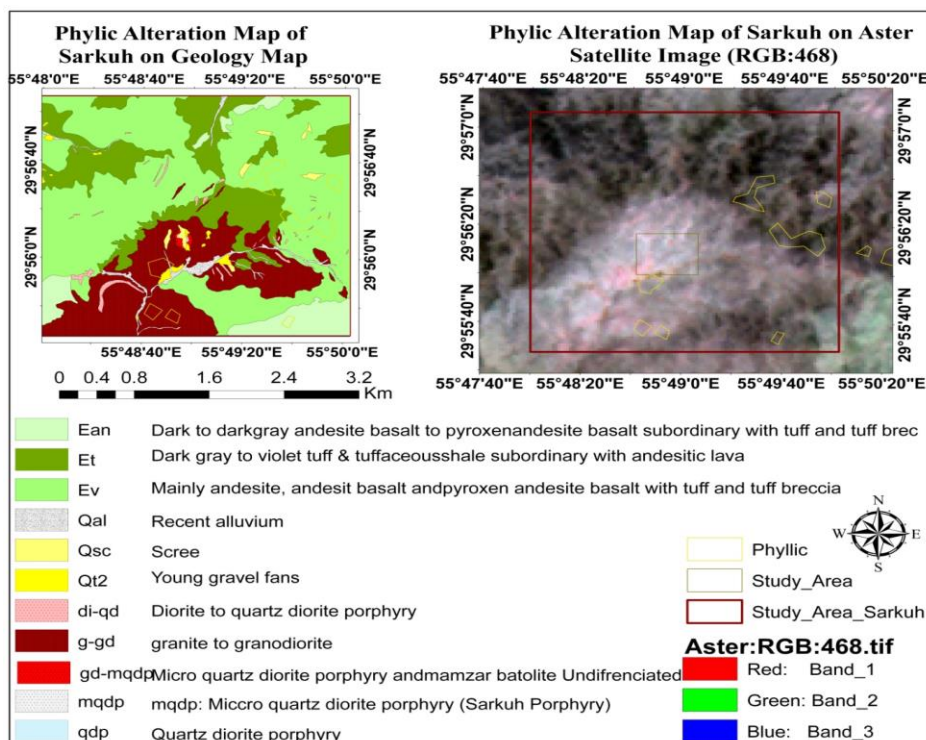


شکل ۱۰. پراکندگی مناطق با دگرسانی اکسید آهن (جاروسیت)

بررسی نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای برای استخراج دگرسانی ها...



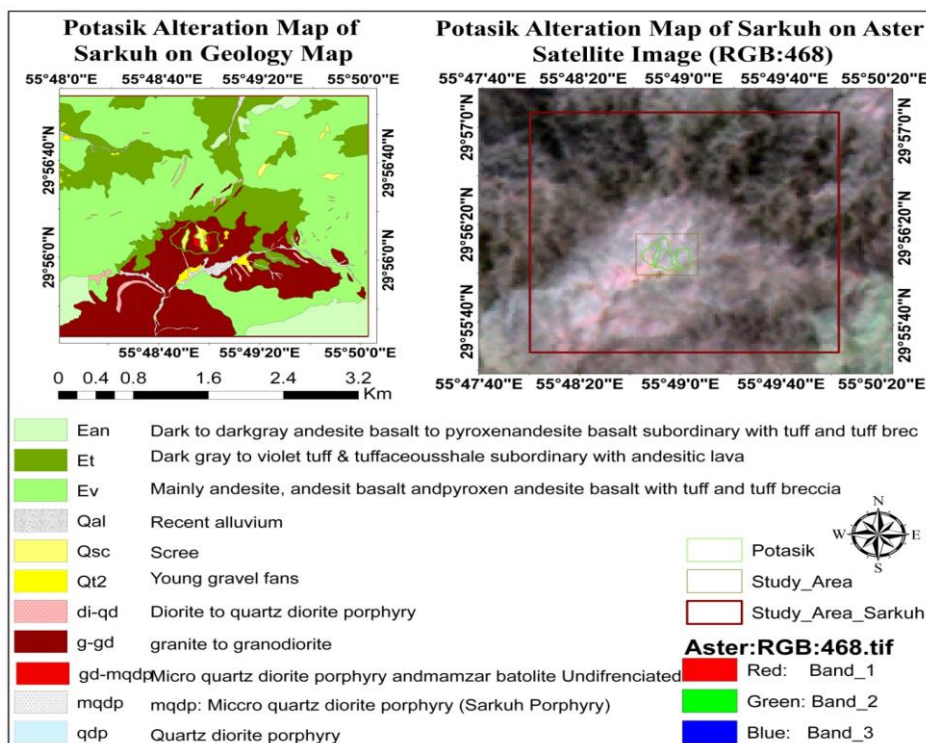
شکل ۱۱. پراکندگی مناطق با دگرسانی پروپلیتیک در محدوده مورد مطالعه



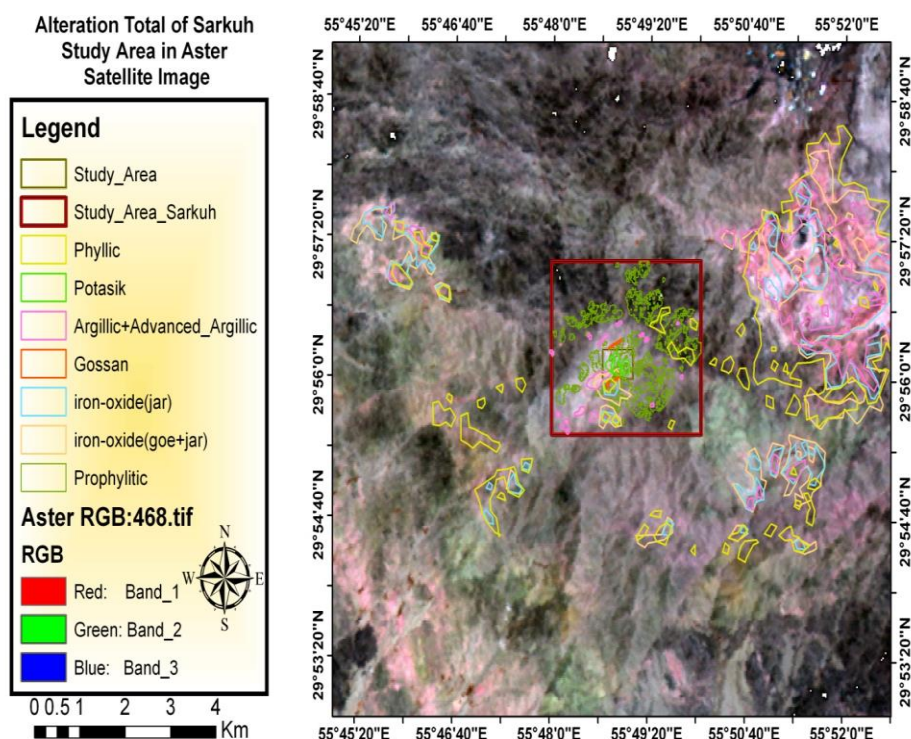
شکل ۱۲. پراکندگی مناطق با دگرسانی فیلیک در محدوده مورد مطالعه

سنجش از دور و GIS ایران

سال دهم = شماره چهارم = زمستان ۱۳۹۷



شکل ۱۳. پراکندگی مناطق با دگرسانی پتاسیک در محدوده مورد مطالعه مس سرکوه



شکل ۱۴. تصویر ماهواره TERRA سنجنده ASTER و نمایش کل دگرسانی‌ها در محدوده مورد مطالعه

۳- بحث و نتیجه گیری

در بررسی های انجام شده توسط نگارنده برای شناسایی دگرسانی های منطقه مورد مطالعه و دگرسانی های بدست آمده توسط شرکت مس در کانسار سرکوه، در ارتباط با کانی زایی مس به این نتیجه رسیدیم که دگرسانی های پتاسیک، آرژلیک و آرژلیک پیشرفته، پروپلیتیک، سیلیسی، اکسید آهن و فیلیک در ارتباط با این کانسار زایی جزء مهمترین دگرسانی ها هستند. از الگوریتم های مختلف، نسبت های باندی و تفسیر بصری با ترکیب باندی مختلف استفاده شد تا جداسازی و تفکیک آنها صورت گیرد. مقایسه الگوریتم های مختلف نشان داد که در دگرسانی آرژلیک از روش های Matched Filtering، Ls-fit استفاده شده که از بین این روش ها، الگوریتم Matched Filtering به خوبی جواب داد و روش Ls-fit در بعضی مناطق تاحدی جواب داده است. همچنین در شناسایی دگرسانی آرژلیک از روش تفسیر بصری استفاده شد که در این ترکیب، دگرسانی آرژلیکی به رنگ صورتی رنگ دیده می شوند. دگرسانی آرژلیک، بیشتر در ارتباط با واحدهای گرانیتی و گرانودیوریتی موجود در منطقه که رخنمون این واحدهای سنگی عمدتاً در بخش مرکزی محدوده قرار داشته و با روند عمومی شمال شرقی- جنوب غربی گسترش یافته است هستند. در دگرسانی پروپلیتیک از تمام روش های فوق استفاده شد و روش Matched Filtering و روش باندی $6+9/7+8$ در تفکیک این دگرسانی مناسب بوده است و در روش تفسیر بصری با ترکیب رنگی RGB:468 به رنگ سبز نمایان شده اند. در تفکیک دگرسانی های فیلیک هیچ کدام از روش های فوق جواب قابل قبولی ندادند و از روش نسبت باندی برای استخراج این دگرسانی استفاده شد که بهترین نسبت $7+5/6$ بود. دگرسانی های اکسید آهن نیز با روش

نسبت باندی $3/1$ بهترین نتیجه را داد. در کانسارهای مس پورفیری، کلاک های آهنی (گوسان) بر روی زون های پتاسیک و فیلیک تشکیل می شوند و بنابراین نشانه خوبی برای شناسایی نهشته های پورفیری هستند. با توجه به این که کلاک های آهنی (گوسان) دارای مقادیر زیادی از اکسیدهای آهن هستند، بنابراین در تصاویر دورسنجی با استفاده از بازسازی کانی های اکسیدهای آهن می توان به دنبال این پدیده ها بود. با توجه به این نکته که سنجنده ETM^+ دارای یک باند در محدوده جذب (باند ۱) و یک باند در محدوده بازتاب بالای اکسیدهای آهن است (باند ۳)، انتظار می رود که مناطق با اکسید آهن را بهتر از سنجنده استر مشخص سازد، البته تمام مناطق دگرسان شده استخراج شده نیاز به بررسی صحرائی دارد. هاله های دگرسانی در سطح محدوده سرکوه از گسترش بسیار وسیعی برخوردارند به طوریکه، تقریباً تمامی رخنمون های سنگی را با شدت های مختلف تحت تأثیر قرار داده اند. به طور کلی انواع هاله های دگرسان مشاهده شده در این محدوده عبارتند از: پروپلیتیک، فیلیک، پتاسیک، آرژلیک، سیلیسی شدن و آغشتگی های ثانویه به اکسید- هیدروکسیدهای آهن. مجموعه هاله های دگرسان فوق الذکر، منطقه بندی نسبتاً منظمی با روند شمال شرق- جنوب غرب با مرکزیت توده نفوذی سرکوه پورفیری را نشان می دهند به طوریکه، دگرسانی پتاسیک به طور تدریجی، با فیلیک رونقشی شده در بخش های مرکزی محدوده و با دور شدن از توده نیمه عمیق سرکوه پورفیری به دگرسانی آرژلیک (شدید، متوسط تا ضعیف) تبدیل شده و در نهایت کل مجموعه توسط دگرسانی پروپلیتیک محصور می شود. تغییرات این هاله های دگرسانی بعضاً به صورت همپوشانی شدن دگرسانی های دما پایین (فیلیک) بر روی دگرسانی های

در محدوده سرکوه با حضور آمفیبول و نیز رگه‌های کوارتز - مگنتیت فراوان در توده میکرودیوریت پورفیری و در توده گرانودیوریتی با تشکیل بیوتیت ثانویه و فلدسپارپتاسیم ثانویه مشخص می‌شود. کانه‌های کالکوپیریت و پیریت و مولیبدنیت از عمده کانه‌های مشاهده شده در مقاطع صیقلی و در مطالعات SEM هستند. طبق مطالعات XRD، کانیهای اصلی بیشتر کوارتز، آلپیت، ایلیت، کانی‌های فرعی، بیشتر گوتیت، میکا ایلیت، کلریت، کلسیت و کانی جزئی مگنتیت است. کانه‌های مشاهده شده در منطقه نیز ایلمنیت، مگنتیت، هماتیت، پیریت، مولیبدنیت (فرو مولیبدنیت)، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و کوپریت است.

دما بالا (پتاسیک و پروپلیتیک)، ایجاد زون‌های تغییرات تدریجی در صحرا و مقاطع نازک مشاهده شد که در نقشه دگرسانی نمایش داده شده است (شکل ۲). توده نفوذی سرکوه پورفیری که مهمترین سنگ میزبان کانی‌سازی در محدوده سرکوه و مهمترین دگرسانی نیز دگرسانی پتاسیک است، به صورت نسبتا گسترده‌ای در بخش‌های مرکزی گستره نقشه ۱:۱۰۰۰ محدوده سرکوه با روند نسبی شمال غرب-جنوب شرق، در واحد سنگی سرکوه پورفیری (gdp) مشاهده می‌شود. به طور کلی، تمامی گستره این هاله دگرسان محدود به توده نفوذی سرکوه پورفیری (gdp) و تعدادی از دایک‌های وابسته به آن (dgdp) است (شکل ۱۵ الف و ب) و (شکل ۱۶)). دگرسانی پتاسیک



شکل ۱۵. الف و ب) : نمایی از رخداد دگرسانی پتاسیک در تعدادی از رخنمون‌های مجزای واحد سرکوه پورفیری (بیوتیت اولیه P-Bi و بیوتیت ثانویه S-Bi)



شکل ۱۶. نمایی از بافت استوک ورکی در دگرسانی پتاسیک

تشکیل شده در این هاله دگرسان عمدتاً عبارتند از سربیسیت، پیریت، کلریت و اکسی-هیدروکسیدهای آهن که به همراه برخی کانی‌های برجای مانده از دگرسانی پروپیلیتیک اولیه (کانیهای کلریت، اکتینولیت و ترمولیت). وجه مشخصه تشخیص صحرائی این هاله دگرسان، آثار به جای مانده از رگچه‌های استوکورکی، حاوی کوارتز، سربیسیت و پیریت (اکسید شده) و سربیسیتی شدن دانه‌های فلدسپار و کانی‌های فرومنیزین سنگ اولیه است (شکل ۱۷ الف و ب)). (زرنا ب اکتشاف، ۱۳۸۹).

دگرسانی فیلیک، گسترده‌ترین هاله دگرسانی در محدوده سرکوه است که عمدتاً در واحدهای سنگی سرکوه پورفیری، گرانودیوریت (gd) و توالی سنگهای ولکانیکی ائوسن (Ev) و به مقدار کمتر در واحدهای سنگی گرانیت gr، داپک‌هایی با ترکیب گرانیت dgr و میکروگرانودیوریت پورفیری dgrp مشاهده می‌شود. بخش وسیعی از مرکز (بخشهای پیرامونی توده نفوذی سرکوه پورفیری)، جنوب، شرق، جنوب‌شرق و جنوب‌غرب محدوده با شدت‌های مختلف، تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته است. مجموعه کانی‌های



شکل ۱۷. الف و ب): قسمتی از رخنمون و نمونه دستی دگرسانی فیلیک (به تراکم رگچه‌های استوکورکی کوارتز-پیریت-سربیسیت)

مشاهده می‌شوند (شکل ۱۸ الف و ب)). اگرچه در اغلب رخنمون‌های این هاله دگرسان جانشینی و پرشدگی رگه و رگچه‌ها توسط مجموعه کانی‌های فوق‌الذکر به صورت متوسط تا شدید رخ داده است، تنها در دو رخنمون نسبتاً محدود (در شمال محدوده) این رخداد از شدت کمتری برخوردار است (زرنا ب اکتشاف، ۱۳۸۹). از ویژگی‌های کانی‌شناسی آن می‌توان به حضور کانی-های سبز رنگ همچون اکتینولیت، اپیدوت، کلریت و همینطور کانی‌های همراه این نوع دگرسانی یعنی کلسیت و کوارتز اشاره کرد. به طور کلی در مطالعه اغلب

دگرسانی پروپیلیتیک یکی از گسترده‌ترین هاله‌های دگرسانی (به همراه دگرسانی فیلیک شدید) در سطح محدوده سرکوه است که عمدتاً در واحدهای سنگی Hf، Ev، و به مقدار کمتر در واحدهای سنگی gd، dmzd، dgd، dgrp و dgdgp مشاهده می‌شود. مجموعه کانی‌های تشکیل دهنده این هاله دگرسان عبارتند از کلریت، اپیدوت، کلسیت، اکتینولیت، ترمولیت و سربیسیت که به صورت ثانویه و عمدتاً با جانشینی فلدسپار و کانی‌های فرومنیزین و به مقدار کمتر پرشدگی رگه و رگچه‌ها در متن سنگهای میزبان

کانی‌های ثانویه سنگ نام برده شده است. کانه‌های آن شامل: مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت هستند.

این نمونه‌ها از کانی‌های اپیدوت، کلریت، ترمولیت، اکتینولیت، سریسیت و کلسیت به عنوان مهمترین



شکل ۱۸. (الف و ب): نمونه دستی رخداد دگرسانی پروپیلیتیک در سنگهای منطقه سرکوه

(الف و ب). به نظر می‌رسد هوازدگی و تشدید جریان سیالات جریان یافته در زون‌های گسلی نقش به‌سزایی در تشکیل و تشدید این هاله دگرسان ایفا کرده باشند. این نوع نمونه‌ها دارای رخداد ثانویه کانی‌های رسی مونت‌موریلونیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت و تعدادی از کانی‌های به جا مانده از سنگ اولیه، مانند کلسیت، کوارتز، ارتوکلاز و هورنبلند است، همانطور که در جدول ۱، نتایج آنالیز XRD منطقه سرکوه نیز ذکر شد.

دگرسانی رسی در محدوده سرکوه از گسترش کمی برخوردار بوده و تنها به صورت ۳ رخنمون مجزا در شمال (تا شمال‌غربی) محدوده، در گستره واحد سنگی Ev مشاهده می‌شود. این هاله دگرسان عموماً از انواع کانی‌های ثانویه رسی به همراه برخی از کانی‌های اولیه تشکیل شده است و عموماً در مجاورت زون‌های خردشده گسلی قرار داشته و با فرسایشی بسیار نرم به رنگ هوازده سفید تا کرم مشاهده می‌شوند (شکل ۱۹)



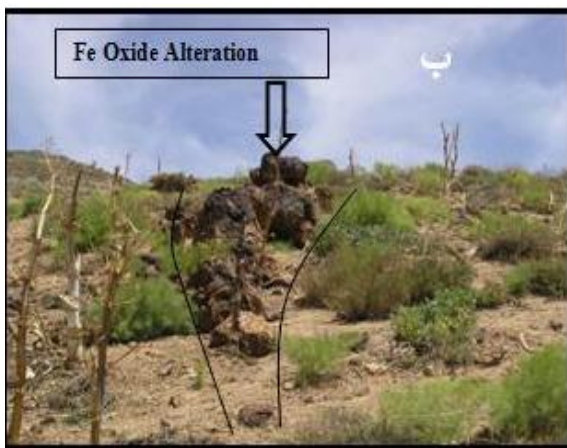
شکل ۱۹. (الف): رخنمون دگرسانی آرژیلی (دید به سمت شمال) و (ب): نمونه دستی آرژیلی شده

یکی از سیماهای رایج سیستم‌های مس پورفیری بوده و معمولاً به عنوان کلید اکتشافی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آغشتگی ثانویه سنگها به اکسی-

آغشتگی ثانویه به اکسی- هیدروکسیدهای آهن و کلاک‌های آهنی که رخداد کلاک‌های آهنی تشکیل شده از اکسیداسیون و فرسایش هاله دگرسانی فیلیک،

پتاسیک اورپرینت شده با فیلیک توسعه یافته است. این رخنمون ها عموماً از روند شمال شرق-جنوب غرب تبعیت می کنند، و در این میان شمالی ترین رخنمون، به صورت نواری طویل با روند شمال شرق-جنوب غرب در اثر اکسیداسیون کانی های سولفیدی فراوان موجود در هاله دگرسانی فیلیک شدید، واحد سنگی gr، و رخنمون جنوبی نیز به شکل نواری نسبتاً طویل، با روندی مشابه در هاله دگرسانی فیلیک شدید، واحد سنگی gdp، توسعه یافته است. لازم به ذکر است زون گوسان واقع در جنوب غرب محدوده بیشتر به سمت شمال گسترش گرایش دارد. این زون نیز در هاله دگرسانی فیلیک شدید، در واحد سنگی gd، توسعه یافته است. در طی برداشت های صحرائی و نتایج بدست آمده از تجزیه نمونه های این زون، رخداد کانی سازی در این رخنمون ها مشاهده نشده است (شکل ۲۰ الف و ب)).

هیدروکسیدهای آهن در بخش وسیعی از گستره نقشه زمین شناسی- دگرسانی سرکوه مشاهده می شود. به طوری که رنگ سرخ به جای مانده از اکسیداسیون پیریت به اکسی- هیدروکسیدهای آهن را می توان در تمامی رخنمون های دگرسانی های فیلیک و به مقدار کمتر، پتاسیک مشاهده کرد. این زون ها به طور کلی عبارتند از: پنج رخنمون کوچک سرشار از انواع اکسیدهای آهن که در بخش هایی از شمال، جنوب شرق و مرکز محدوده در واحدهای سنگی Ev، gd، gr و gdp مشاهده می شوند و سرشار از انواع گونه های اکسی هیدروکسیدهای آهن (مانند گوتیت، هماتیت، ژاروسیت و ...) هستند (شکل ۲۰ الف و ب)). در اغلب موارد این کلاهک های آهنی بر روی هاله دگرسانی فیلیک شدید، در اثر اکسیداسیون کانی های سولفیدی فراوان این دگرسانی، توسعه یافته و تنها در یک مورد بسیار کوچک، در مرکز محدوده، بر روی هاله دگرسانی



شکل ۲۰. الف): رگه های حاوی اکسیدهای آهن در دگرسانی آرژیلیک مشاهده می شود (دید به سمت شمال)، ب): نمایی از زون های غنی از اکسی- هیدروکسیدهای آهن (گوسان) حاوی گوتیت و هماتیت.

آنها نظر هر بیننده ای را به خود جلب می کند، با فاصله از دگرسانی پتاسیک دیده می شوند. به نظر می رسد بتوان آن را به نوعی به سیالات تأخیری مربوط به

بطور عمده، در شمال محدوده دگرسانی هیدروترمالی و گاهی در شرق و جنوب منطقه با واحدهای کشیده و کم ضخامت حاوی ترکیبات آهن دار که سیمای تیره

اطراف است. دگرسانی پروپیلیتیک بوسیله کلریتیزاسیون بیوتیت اولیه و ثانویه نشان داده می‌شود. دگرسانی آرژیلیک شامل کانی‌های رسی همچون کائولینیت، مونتموریلونیت، ایلیت و پیروفیلیت و همچنین بخش‌هایی از گوتیت، جاروسیت، همتایت و کوارتز است. این دگرسانی در گرانیته و گرانودیوریت کم و بیش در همه جا (به صورت رونقشی) و همچنین سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاستیک وجود دارد. آلتراسیون فیلیک (سریسیت) ذاتاً شامل سریسیت و کوارتز است. عبور از دگرسانی پتاسیک به دگرسانی فیلیک تدریجی است و توسط افزایش در مقدار موسکویت (سریسیت) صورت می‌گیرد، نتایج به دست آمده در این بخش نیز با نتایج حاصله از آنالیز XRD مطابقت دارد. آنالیز XRD در پتروگرافی (سنگ شناسی) و شناخت دگرسانی کمک می‌کند. برای انجام این آنالیز، تعداد ۱۰ عدد نمونه، بعد از مطالعات میکروسکوپی مقاطع آنها به شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما فرستاده شد که در جدول ۱ نتایج این آنالیز مشاهده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود نتایج مطالعات سنگ شناسی با نتایج آنالیز XRD مطابقت دارد.

مراحل انتهایی تحول ماگمای موجود در منطقه نسبت داد که با آزادسازی آنها در مناطق فعال تکتونیزه جای‌گیر شده باشند. بنابراین به طور کلی، در منطقه سرکوه دگرسانی‌های: پتاسیک، فیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی و آغشتگی ثانویه به اکسی-هیدروکسیدهای آهن مشاهده شد که در این میان بیشترین کانی سازی مربوط به دگرسانی پتاسیک (ارتوماگمایی و هیپوژن) است و نسبت به دگرسانی سیلیسی (رگه- رگچه‌های کوارتزی مینرالیزه) و آغشتگی ثانویه به اکسی-هیدروکسیدهای آهن بیشتر است. زون پتاسیک در ناحیه کانسار مس پورفیری سرکوه حاوی کوارتز +فلدسپار پتاسیک +بیوتیت +مگنتیت+ سولفیدها + سریسیت است. دگرسانی پتاسیک، ارتباطی نزدیک با کانی سازی دارد و به نظر می‌رسد مس به طور عمده در طول این دگرسانی قرار گرفته باشد. دگرسانی پروپیلیتیک با دگرسانی پتاسیک انطباق داشته و در عمق استوک پورفیری گسترش نیافته است. این دگرسانی شامل کلسیت + کلریت + اپیدوت + اکتینولیت + سریسیت + پیریت در محیط پیرامونی استوک و همین‌طور سنگ‌های آتشفشانی

جدول ۱. نتایج آنالیز XRD نمونه‌های منطقه سرکوه

| ردیف | شماره نمونه | کانیهای اصلی | کانیهای فرعی | کانیهای جزئی |
|------|-----------------|--|--|--------------|
| ۱ | Sah ۹۱۰۷۶ | ایلیت، کوارتز | کائولینیت، گوتیت | - |
| ۲ | Sah ۳۶(۲۹۶m) | آلبیت، کوارتز | میکا- ایلیت، کلریت، ارتوکلاز، کلسیت | - |
| ۳ | Sah ۹۱۰۰۵ | کوارتز، آلبیت، ارتوکلاز | میکا- ایلیت، کلریت | مگنتیت |
| ۴ | Sah ۹۱۰۶۳ | کوارتز، آلبیت، مگنتیت | ایلیت، کلریت، همتایت | - |
| ۵ | Sah ۳۶(۲۹۸m) | مونتموریلونیت، کوارتز، کائولینیت | ارتوکلاز، همتایت، کلسیت | - |
| ۶ | Sah ۳۰(۱)(۲۷۹m) | کوارتز | ارتوکلاز، آلبیت، ایلیت، کلریت، همتایت، کلسیت | - |
| ۷ | Sah ۱۰ (۳۶۰m) | کوارتز، آلبیت | کلسیت، مگنتیت، موسکویت، کلریت | - |
| ۸ | Sah ۲۹ (۴۹۸m) | کوارتز، ارتوکلاز، کائولینیت | آنکرت | - |
| ۹ | Sah ۲۳ (۲۹۲m) | کوارتز، مونتموریلونیت | آنکرت، کائولینیت، ژپس | - |
| ۱۰ | Sah ۲۲ (۸۱m) | کوارتز، آنورتیت، کلریت، موسکویت- ایلیت | کلسیت | مگنتیت |

۴- سپاسگزاری

مقاله حاضر برگرفته از پایان نامه مقطع دکترای زمین شناسی اقتصادی با عنوان بررسی زمین شناسی اقتصادی، ژئوشیمی و مدل تشکیل کانسار مس پورفیری سرکوه (جنوب غربی معدن مس سرچشمه)، رساله دکترای دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. است. محققان بر خود لازم می دانند از همکاری شرکت ملی صنایع مس ایران، جناب آقای مهندس رضا اصفهانی پور مدیر محترم امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران، جناب آقای مهندس تقی زاده مسئول محترم اکتشاف در سرچشمه، جناب آقای مهندس شهاب کاشیها، سرکار خانم دکتر شکوه ورعی، جناب آقای مهندس اسماعیل حیدری و جناب آقای مهندس مجید خسروجرودی، دانشگاه تربیت مدرس، مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران، مراتب تشکر و سپاس خود را اعلام نمایند.

۵- منابع

بابااحمدی، ع.، ۱۳۸۸، کاربرد سنجش از دور در زمین شناسی، انتشارات آوای قلم.
خوئی، ن.، قربانی، م.، تاجبخش، پ.، ۱۳۷۸، کانسار مس در ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
شهاب پور، ج.، ۱۳۸۰، زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان.
علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۸، اصول سنجش از دور نوین و تفسیر ماهواره‌ای و عکس هوایی، انتشارات دانشگاه تهران.
ملکشاهی، ش.، رساء، ا.، رشیدنژاد عمران، ن.، لطفی، م.، ۱۳۹۲، بررسی زمین شناسی اقتصادی، ژئوشیمی

و مدل تشکیل کانسار مس پورفیری سرکوه (جنوب غربی معدن مس سرچشمه)، رساله دکترای دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۷، گزارش نهایی مطالعات زمین شناسی و دگرسانی محدوده سرکوه در مقیاس ۱:۵۰۰۰.

مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۹، گزارش مطالعات زمین شناسی و دگرسانی محدوده سرکوه در مقیاس ۱:۱۰۰۰.

Abrams, M.J., Brown, L., Lepley, R. & Sadowski, P., 1983, **Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona**, Economic Geology, 78:604-591.

Abrams, M., 2000, **The Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA TERRA Platform**, Int. J. Remote Sens, 21:859-847.

Azizi, H., Tarverdi, M.A. & Akbarpour, A., 2010, **Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran**, Adv. Space Res, 46:99-109.

Bedini, E., 2011, **Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data**. Adv. Space Res, 47:60-73.

Boardman, J.W., Kruse, F.A. & Green, R.O., 1995, **Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data, summaries**, Proceedings of the Fifth JPL Airborne Earth

- Hunt, G.R. & Ashley, R.P., 1979, **Spectra of altered rocks in the visible and near infrared**, *Econ. Geol.*, 74:1613-1629.
- Mars, J.C. & Rowan, L.C., 2006, **Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms**, *Geosphere* 2, 12:161-186.
- Meyer, C. & Hemley, J.J., 1967, **Wall rock alteration**, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*: New York, Holt, Rinehart and Winston, 31:166-235
- Ninomiya, Y., 2003, **A stabilized vegetation index and several mineralogic indices defined for ASTER VNIR and SWIR data**, *Proc. IEEE 2003 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03)* Vol. 3, Toulouse, France, 21–25 July 2003, 33:1552-1554
- Ninomiya, Y., 2003, **Advanced remote lithologic mapping in ophiolite zone with ASTER multispectral thermal infrared data**, *Proc. IEEE 2003 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03)* Vol. 3, Toulouse, France, 3:21-25.
- Pohl, C. & van Genderen, J.L., 1998, **Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications**, *International Journal of Remote Sensing*, 5:823-854.
- Science Workshop, 23–26 January, Pasadena, California, JPL Publication 95:23-26.
- Crosta, A. P., De souza Filho, C.R., Azevedo, F. & Brodie, C., 2003, **Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis**, *Int. J. Remote Sensing*, 24:4233-4240.
- Crowley, J.K., Brickey, D.W. & Rowan, L.C., 1989, **Airborne imaging spectrometer data of the Ruby Mountains, Montana: mineral discrimination using relative absorption band-depth images**. *Remote Sens, Environ*, 29:121-134.
- Goetz, A.F.H., Rock, B.N. & Rowan, L.C., 1983, **Remote sensing for exploration: an overview**, *Econ, Geol*, 78:573-590.
- Guo Liu, J. & Mason, P.J., 2009, **Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing**, Wiley and Sons Inc., New York, 40:420-433.
- Harsanyi, J.C., Farrand, W.H., Chang, C.I., 1994, **Detection of subpixel signatures in hyperspectral image sequences. Proceedings of 1994 ASPRS Annual Conference**, Reno, Nevada, 20:236-247.
- Hewson, R.D, Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K. & Mauger, A.J., 2005, **Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia**, *Remote Sensing of Environment*, 99:159-172.

- Sabins, F.F., 1999, **Remote sensing for mineral exploration**, Ore geology review, 14:157-183
- Sadeghi, B., 2013, **Using ETM+ and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi:100,000 mapping sheet of Central Iran**, Journal of African Earth Sciences, 85:103-114
- Sillitoe, R.H., 2010, **Porphyry copper system**, Society of Economic Geologist, inc. Economic geology, 105:3-41.
- Tangestani, M. H. & Moore, F., 2001**, Porphyry copper potential mapping using the weights-of-evidence model in a GIS, northern Shahr-e-Babak, Iran, Porphyry copper potential mapping using the weights-of-evidence model in a GIS, northern Shahr-e-Babak, Iran, **Volume 48, Issue 5, 40:621-776**
- Tosdal, R.M. & Richards, J.P., 2001, **Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu ± Mo ± Au deposits: Reviews in Economic Geology**, 14:157-181.
- Whitney, Philip R., Olmsted, James F., 1998, **Rare earth element metasomatism in hydrothermal systems: the Willsboro-Lewis wollastonite ores**, New York, USA, 7:25-41.
- Loughlin, W.P., 1991, **Principal component analysis for alteration mapping**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57:1163-1169.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Kawakami, T. & Ranjbar, H., Shahriari, H. & Honarmand, M., 2003, **Comparison of ASTER and ETM+ data for exploration of porphyry copper mineralization: A case study of Sar Cheshmeh areas, Kerman, Iran**, 8:673-596.
- Rowan, L.C., Goetz, A.F.H. & Ashley, R.P., 1977, **Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images**, Geophysics, 42:522-535.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J. & Mars, J.C., 2003, **Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)**, a new satellite-imaging system, Econ, Geol, 98:1019-1072.
- Rowan, L.C. & Mars, J.C., 2006, **Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms**, Geosphere, 2:161-186.
- Rowan, L.C., Schmidt, R.G. & Mars, J.C., 2006, **Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. Remote Sensing of Environment**, 104:74-87.
- Sabins, F.F., 1987, **Remote Sensing Principles and Interpretation**, 2nd edition, Journal of Cartography, Freeman, New York, 11:251-252.

Paniel, M., 1998, **Overview of the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER)**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 36:1062-1071.

بررسی نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای برای استخراج دگرسانی ها..



سنجش از دور , GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷
Iranian Remote Sensing & GIS
Vol.10, No.4, Winter 2019

1-26

Comparison of the results of satellite image processing for extraction of alterations with mineralogy and field studies in Sarkuh Porphyry Copper Deposit

Maleshahi S.¹, Rassa I.^{*2}, Rashid Nezhad Omran N.³, Lotfi M.⁴

1. Ph.D. student of Economic Geology, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran
2. Ph.D. in Economic Geology, Shahid Beheshti University, Faculty of Geosciences
3. PhD in Petrology, Tarbiat Modares University, Faculty of Geosciences
4. PhD in Economic Geology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Geosciences Research Institute

Abstract

Separation and mapping of alteration zones in the exploration of porphyry copper types is of particular importance. Aster sensor of Terra satellite image is used to show these alteration zones. There are different alteration in the Sarkuh area, include potassic, propylitic, phyllic, argillic, siliceous veins, and secondary effects to iron oxide-hydroxides that are reflected in the development of Aster images. Using methods such as color composition, band ratio, false color composition from band bonding and spectral analysis methods (Matched Filtering, Ls-fit), was used. In argillic alteration, iron oxides and propylitic processes, Matched Filtering, Ls-fit And the bandwidth ratio method is used among these methods, the MF algorithm and bandy's ratio is well answered. Potassic alteration has a close connection with mineralization. propylitic alteration includes calcite + chlorite + epidote + actinolite + sericite + pyrite in the surroundings of Stock and also volcanic rocks around it.. Phyllic alteration contains sericite and quartz. The results obtained in this section are also consistent with the results of the XRD analysis. In survey field, the set of alteration zones shows a relatively regular zoning with the north-east-southwest process with the center of the porphyry-type Sarkuh porphyry mass.

Keywords: Aster, Alteration, Porphyry copper, Sarkuh, Mineralogy

*Correspondence Address: Shahid Beheshti University The Faculty of Earth Sciences, Tehran, Iran, , Tell: 09121089488
Email address: Iraj.Rassa17@Gmail.com