

بررسی نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای برای استخراج دگرسانی ها با شواهد صحرایی در کانسار مس پورفیری سرکوه

شعله ملکشاهی<sup>۱\*</sup>، ایرج رسا<sup>۲</sup>، نعمت الله رشیدنزاد عمران<sup>۳</sup>، محمد لطفی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای زمین شناسی اقتصادی، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران،

۲- دکترای زمین شناسی اقتصادی، استاد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین

۳- دکترای پترولوژی، استادیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم زمین

۴- دکترای زمین شناسی اقتصادی، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، پژوهشکده علوم زمین

\*نویسنده عهده دار مکاتبات: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران - دانشکده علوم زمین، شماره تماس:

۰۹۱۲۲۷۸۲۴۸۰ پست الکترونیکی: Flame.m@gmail.com

## چکیده

تفکیک و به نقشه در آوردن زونهای دگرسانی در اکتشاف تیپ های مس پورفیری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به منظور بارسازی این زونهای دگرسان از داده های 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 رخنمون های مربوط به ترشیری تشکیل میدهند. این رخنمونها شامل نهشته های آتشفشانی مربوط به ائوسن و نیز توده های نفوذی بعد از ائوسن به همراه سنگهای هورنفلسی شده هستند. نهشته های آتشفشانی که عمدتاً ترکیب آندزیتی دارند به صورت نهشته های ولکانوکلاستیکی و نیز گدازه ای دیده میشوند. در محدوده سرکوه توده های نفوذی متعددی شناسایی شده است. توده گرانیته- گرانودیوریتی ممزار گسترده ترین توده موجود در محدوده سرکوه است. توده های گرانودیوریتی - کوارتز دیوریتی سرکوه پورفیری و نیز توده میکرودیوریت پورفیری در محدوده سرکوه رخنمون دارند که میزان کانی زایی مس پورفیری و دگرسانی های همراه هستند. در این منطقه هاله های دگرسانی مختلفی وجود دارد که شامل پتاسیک، پروپیلیتیک، فلیک، آرژیلیکی، سیلیسی و آغشتگی های ثانویه به اکسید- هیدروکسیدهای آهن هستند که با پردازش ماهواره ترا سنجنده استر بارسازی شدند. برای تفکیک کانی های شاخص مرتبط با دگرسانی های مس، از روش های تصاویر ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، ترکیب رنگی کاذب حاصل از نسبت بانندی و روش های آنالیز طیفی ( Ls-fit ، Matched Filtering ) کانی زایی استفاده شد. در دگرسانی آرژیلیک، اکسیدهای آهن و پروپیلیتیک از روش های 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 دگرسانی های فلیک روش نسبت بانندی و دگرسانی سیلیسی در منطقه با روش های ذکر شده جواب نداده است. با توجه به بررسی های کانی شناسی از طریق مطالعات میکروسکوپی، نمونه های منطقه سرکوه در دگرسانی پتاسیک حاوی کوارتز + فلدسپار پتاسیک + بیوتیت + مگنتیت + سولفیدها + سریسیت میباشد، کانیهای موجود در دگرسانی پروپیلیتیک شامل کلسیت + کلریت + اپیدوت + اکتینولیت + سریسیت + پیریت در محیط پیرامونی استوک و سنگهای آتشفشانی اطراف است و کانیهای موجود در دگرسانی فلیک شامل سریسیت و کوارتز می باشد. نتایج به دست آمده از پردازش تصاویر ماهواره ای با نتایج حاصل از آنالیز XRD مطابقت دارد. مجموعه هاله های دگرسان با بازید صحرایی، منطقه بانندی نسبتاً منظمی با روند شمال شرق- جنوب غرب با مرکزیت توده نفوذی سرکوه پورفیری را نشان می دهند.

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

Sholeh Maleshahi<sup>۱\*</sup>, Iraj Rassa<sup>۲</sup>, Nematollah Rashid Nezhad Omran<sup>۳</sup>, Mohammad Lotfi<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>-Ph.D. student of Economic Geology, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran

<sup>۲</sup>-Ph.D. in Economic Geology, Shahid Beheshti University, Faculty of Geosciences

<sup>۳</sup>-PhD in Petrology, Tarbiat Modares University, Faculty of Geosciences

<sup>۴</sup>- PhD in Economic Geology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Geosciences Research Institute

\*Correspondence Address: Department of Geology, Tehran Science and Research Branch, IAU, Tehran.,Iran,Tell:

۰۹۱۲۲۷۸۲۴۸۰, Email address: Flame.m@gmail.com

### 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, Sarkouh, Mineralogy*

### ۱- مقدمه

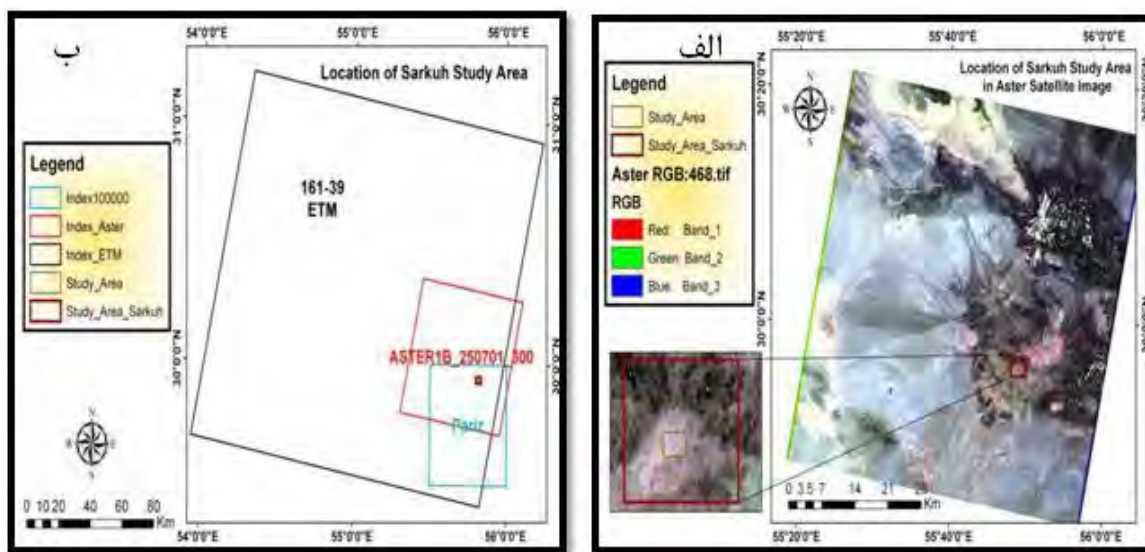
در سال‌های اخیر، فن آوری سنجش از دور، اطلاعات ارزشمندی را در زمینه اکتشاف مواد معدنی فراهم ساخته است. داده‌های ماهواره‌ای با ثبت نتایج حاصل از تصویربرداری در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس، بطور گسترده‌ای در زمین شناسی و اکتشاف معدن بکار گرفته شده‌اند. در این میان ساختارهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، نوع لیتولوژی و انواع دگرسانی را می‌توان به عنوان مهمترین لایه‌های قابل استخراج در تصاویر ماهواره‌ای دانست. استفاده از تصاویر و 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 مثمر ثمر بوده و از نظر وقت و هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. کانسارهای مس پورفیری به آن دسته از کانسارهای مس اطلاق می‌شوند که دارای ذخیره زیاد و عیار به نسبت پائین می‌باشند. 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 آسانی استخراج که عموماً به صورت استخراج روباز است منجر به اهمیت پیدا کردن این تیپ از کانسارها در چند دهه

اخیر گشته است (خوئی و همکاران، ۱۳۷۸). دگرسانی در این کنسارها از داخل به طرف خارج شامل: پتاسیک ← فلیک ← رسی ← پروپیلیتیک می‌باشد. این ترتیب مکانی در مناطق دگرسانی مربوط به نوعی از کنسارهای مس پورفیری، موسوم به مدل لوول و گیلبرت می‌باشد و در مدل دیگر که به مدل دیوریت موسوم است، مناطق دگرسانی از داخل به خارج شامل: پتاسیک ← پروپیلیتیک می‌باشد (شهاب پور، ۱۳۸۰). سیستم‌های میزبان مس پورفیری از گسترده‌ترین توزیع‌کننده، گونه‌های کانی‌زایی در مرز ورقه‌های همگرا هستند (Sillitoe, R.H., ۱۰۱۰). از نظر محیط نکتونیک سیستم‌های مس پورفیری به طور عمده در کمانهای ماگمایی تولید می‌شوند، که این محیطها طیف وسیعی از محیطهای فشارشی را به صورت منطقه بندی بوجود می‌آورند (Tosdal, ۱۰۰۱) and Richards, نهشته‌های مس پورفیری نمایش دهنده مقیاس وسیعی از الگوی منطقه بندی دگرسانی - کانی سازی هستند که مرکزیت آن از پائین به سمت بالا سدیک - کلسیک، پتاسیک، کلریت - سربیت، سربیتی شدن و آرژیلیک پیشرفته می‌باشد (Meyer and Hemle, ۱۹۶۷). این مقاله که برگرفته از رساله دکترا با عنوان بررسی زمین شناسی اقتصادی، ژئوشیمی و مدل تشکیل کنسار مس پورفیری سرکوه (جنوب غربی معدن مس سرچشمه) می‌باشد (ملکشاهی و همکاران، ۱۳۹۲)، و منطقه مورد مطالعه، کنسار 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 کنسار 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 مهندسین مشاور کان ایران و تهیه نقشه زمین‌شناسی معدنی را در مقیاس ۱:۱۰۰۰ توسط شرکت مهندسین مشاور زرناب اکتشاف در سال ۱۳۸۹ است. هدف از این مقاله مطالعات دورسنجی و پردازش تصاویر ماهواره ترا سنجنده استر برای شناسایی بخشهای دگرسان شده مرتبط با کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای این منظور انواع دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی مس مد نظر قرار گرفته است 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 فلیک، 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 میباشد که توسط محققین مختلفی برای مشخص کردن نواحی دگرسانی در ایالات فلز زایی مورد استفاده قرار گرفته است (Crosta, ۱۹۸۹; Loughlin, ۱۹۹۱; Tangestani and Moore, ۲۰۰۱).

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

کنسار 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 جهت 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 مشاور کان ایران، ۱۳۸۷). پردازش و تفسیر تصاویر مربوط به کنسار مس سرکوه برای استخراج دگرسانی‌ها، در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز به شماره ۷۱۴۹ قرار گرفته است. این محدوده در یک سین  $ETM^{+V}$  به شماره ۳۹\_۱۶۱ و تصویر ماهواره ترا سنجنده استر به شماره ۳۰۰\_۲۵۰۷۰۱\_AST\_L1B قرار گرفته است. شکل ۱ (الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه را بر روی تصویر ماهواره‌ای Aster با ترکیب رنگی RGB;۴۶۸ و شکل ۱ (ب) موقعیت برگه پاریز و محدوده سرکوه را به همراه سین‌های استر و لندست نشان می‌دهد.

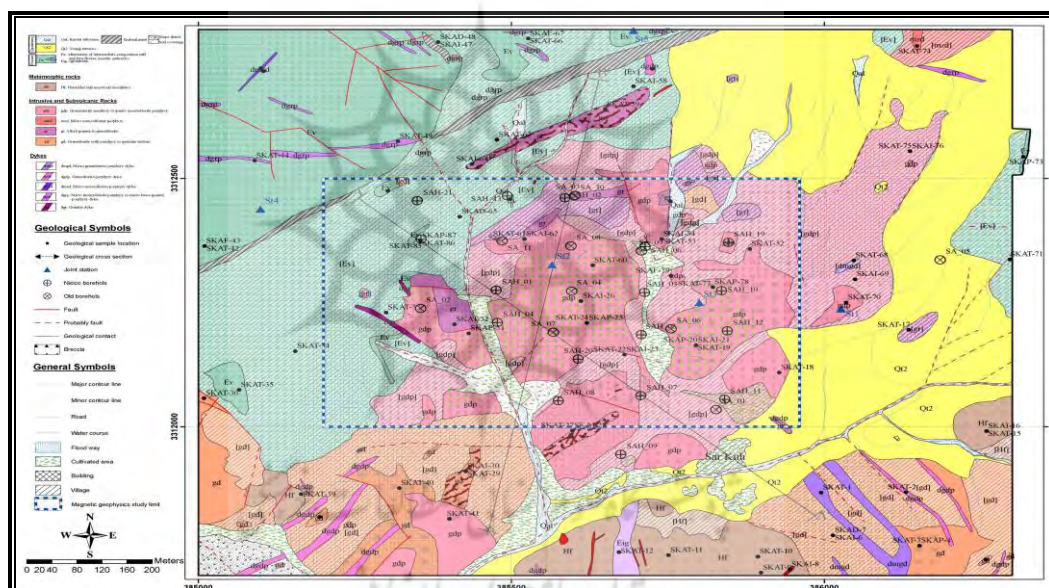


شکل ۱. (الف): موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره ای ترا سنجنده Aster با ترکیب رنگی RGB:۴۶۸ و (ب): موقعیت کانسار مس پورفیری سرکوه در ایندکس ماهواره ای Aster , ETM

محدوده کانسار از نظر ساختاری در کمان ماگمایی ارومیه-دختر و نیز کمر بند کانی زایی دهج-ساردوئیه قرار دارد و شامل ترادف ضخیمی از گدازه ها و توف های آندزیتی به سن ائوسن است که توسط یک توده بزرگ گرانودیوریتی موسوم به مزار و به سن الیگومیوسن قطع شده است (مهندسین مشاوران کان ایران، ۱۳۸۷). این توده متوسط تا درشت بلور است، توده های گرانودیوریتی - کوارتز دیوریتی سرکوه پورفیری و نیز توده میکرودیوریت پورفیری در محدوده سرکوه رخنمون دارند که میزبان کانی زایی مس پورفیری و آلتراسیون های همراه هستند. دایکهای متنوعی در محدوده سرکوه شناسایی شده است که لیتولوژیهای قدیمی تر را قطع میکنند. همچنین بخش نسبتاً وسیعی از شرق محدوده نیز توسط رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده است (مهندسین مشاوران کان ایران، ۱۳۸۷). با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه سرکوه در قسمت شمال شرق نقشه، در یک طاق دیس 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 توده های نیمه عمق می باشد خطواره های مزدوج (ENE-WSW) و خطواره های عرضی (N-S) است. به هر حال، با مقداری ساده انگاری می توان 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 یافته اند:

- واحد gd، شامل توده گرانودیوریتی که بیش از ۹۰ درصد محدوده را پوشانده است، توده های نفوذی، با دامنه سنی متمایز، در بخشهای مرکزی و جنوبی رخنمون وسیع تری داشته و سنگ میزبان کانی زایی هستند. این توده ها دامنه ترکیبی متوسط تا عمدتاً 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 ماسه سنگ و سنگ آهک. نهشته های آتشفشانی موجود در محدوده سرکوه دارای گسترش وسیعی در بخشهای غربی و شمالی محدوده و میزبان توده های نفوذی هستند. فاز اول ماگماتیسیم در این محدوده در طی ائوسن با تشکیل توالی سنگهای آذرآواری و گدازه هایی با ترکیب حدواسط (تا اسیدی) آغاز می شود. با توجه به شواهد صحرائی و مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک، انواع سنگهای تشکیل شده در این فاز ماگمایی عبارتند از: توف قطعه سنگی، ویتریک توف،

ایگنمبریت و گدازه های آندزیتی. فاز دوم ماگماتیسزم در محدوده در طی الیگومیوسن با جایگیری باتولیت گرانودیوریتی ممزار (gd) در بخش های جنوبی نقشه آغاز و با جایگیری تأخیری استوک و دایکهایی با ترکیب آلکالی لوکو گرانیات (gr) ادامه می یابد. 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 شده اند. نهشته های دگرگون شده، که پروتولیت آنها در واقع نهشته های ائوسن هستند، در بخشهای جنوبی محدود رخنمون دارند. فاز سوم ماگماتیسزم در محدوده نقشه سرکوه ماهیتی پلوتونیک داشته و با وقفه ای مشخص و پس از بالاآمدگی نسبی منطقه، در طی الیگومیوسن عمل کرده است. سنگهای تشکیل شده در این فاز ماگمایی تماماً نیمه عمیق بوده و بیشترین نقش را در کانی سازی و تشکیل هاله های دگرسان ایفا نموده اند. انواع سنگهای تشکیل شده در این فاز ماگماتیسزم عبارتند از استوک هایی با ترکیب میکرومونزودیوریت پورفیری (mzd)، گرانودیوریت پورفیری (سرکوه پورفیری، gdp) و ۵ گونه دایک نیمه عمیق با ترکیب دایک لوکوآلکالی گرانیات (dgr)، میکرومونزودیوریت پورفیری تا میکرولوکوگرانیات پورفیری (dgrp)، میکرو مونزودیوریت پورفیری (dmzd)، گرانودیوریت پورفیری (dgd) و میکروگرانودیوریت 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 محدوده ایفا نموده است (مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۹).



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

## 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 گردید (Yamaguchi et al, ۱۹۹۸). عرض تصویر برداری توسط این سنجنده ۱۱ کیلومتر است و به صورت فریم های استاندارد ۶۰ در ۶۰ کیلومتر ارائه می گردد (علوی پناه، ۱۳۸۸، Abrams, ۲۰۰۰). 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 که احتمال کانسازسازی وجود دارد؛ ۲- شناسایی مناطق دگرسان شده مرتبط با توده های کانساز؛ ۳- تهیه اطلاعات زمین شناسی پایه؛ نام برد (بابا

احمدی، ۱۳۸۸). برای شناسایی سنگها و کانی های مختلف سطح زمین، محدوده طیفی ۱/۵ تا ۲/۵ میکرون بسیار مهم می باشد. این محدوده طیفی شامل محدوده مادون قرمز کوتاه تا متوسط می شود که شش باند سنجنده استر را می پوشاند (علوی پناه، ۱۳۸۸، ۲۰۰۰- Abrams, Yamaguchi et al, ۱۹۹۸). با توجه به تغییرات بسیار شدید منحنی بازتاب طیفی کانیها در محدوده مادون قرمز کوتاه (SWIR) و بالا بودن قدرت تفکیک طیفی سنجنده ASTER، این سنجنده در شناسایی سنگها و کانی های مختلف سطح زمین بسیار توانا و موثر می باشد (Whitney and Olmsted, ۱۹۹۸). سنجنده ASTER با ۱۴ باند که دامنه طول موجی ۰/۵۲ تا ۱۱/۶۵ میکرون را در سه محدوده ی طیفی مرئی (سه باند مرئی بین ۰/۸۶ - ۰/۵۲ 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 ۲/۴۳ - ۱/۶۰ میکرون به نام SWIR با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) و مادون قرمز حرارتی (پنج باند حرارتی در محدوده بین ۱۱/۶۵ - ۸/۱۲۵ میکرون به نام TIR با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر) پوشش می دهد (Yamaguchi et al, ۱۹۹۸- Abrams, ۲۰۰۰). این سنجنده بصورت تخصصی برای کاربردهای اکتشافی و زمین شناسی طراحی گردیده است (Abrams et al, ۱۹۸۳). تشعشعات الکترومغناطیسی که از خورشید ساطع می شوند پس از برخورد به سطح زمین و انعکاس، از جو عبور می نمایند و به سنجنده می رسند. در اثر عبور این تشعشعات از جو، کاهشی در میزان امواج الکترومغناطیسی رخ می دهد. امواج کوتاهتر از  $0.3 \mu\text{m}$  به طور کامل توسط لایه ازون در بالای اتمسفر جذب می شوند. ابرها که شامل ذرات ریز و قطرات آب هستند باعث جذب و پخش انرژی الکترومغناطیس در طول موجهای کمتر از  $0.1 \text{ Cm}$  می شوند. فقط امواج میکروویو و طول موجهای بزرگتر قادر هستند بدون پخش، انعکاس یا جذب از ابرها عبور کنند (Sabins, ۱۹۹۹). 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 می رود. این روش اثرات ویژه ای را برای تبدیل داده های طیفی به بازتاب های نسبی در مناطقی که اندازه گیری های 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 می گردد (ENVI, ۲۰۰۳). مقایسه بین نمودار بازتابش طیفی داده های ASTER با طیف مرجع کانی ها نشان میدهد در باند ۵ داده های ASTER (محدوده طول موج  $2.145 - 2.185 \mu\text{m}$ ) انعکاس طیفی کانی ها بطور غیرعادی پایین می باشد که با روش های مختلف می توان آن را تصحیح نمود. اگر انعکاس باند ۵ خیلی پایین باشد طیفها بیشتر شبیه به قالب طیفی کانی های آرژلیک خواهند شد و الگوریتم های نقشه برداری دگرسانی آرژلیک را بیشتر از دگرسانی فیلیک به نقشه در می آورند (Rowan, ۲۰۰۶ - Rowan and Mars, ۲۰۰۶).

## ۲-۳- پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

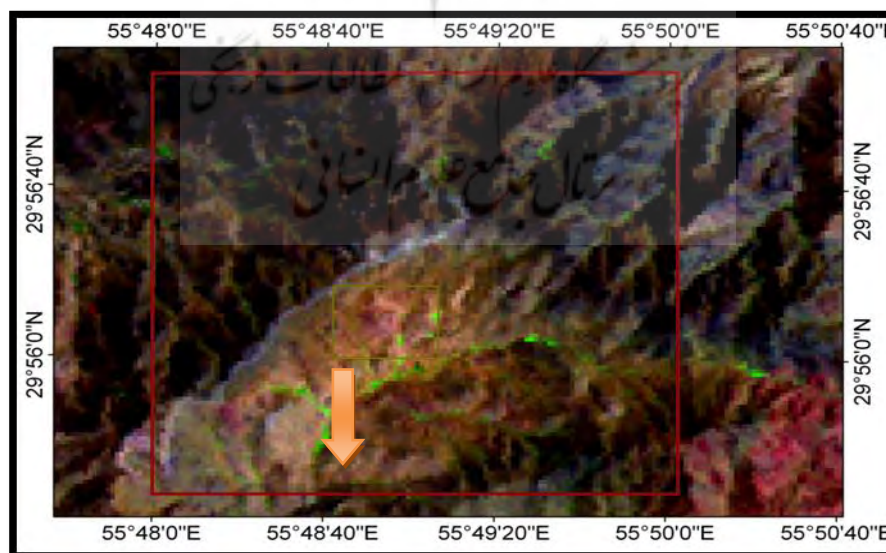
اطلاعات ماهواره ای در ابتدا دارای خطاهای مختلف هندسی و رادیومتریکی می باشند زیرا تصاویری که توسط سنجنده ماهواره ای تهیه می گردد ممکن است هنگامی که امواج از خورشید به سطح زمین تابیده می شود، هنگام انعکاس به دلیل گرد و غبار، مه و وضعیت توپوگرافی منطقه، انعکاس مطلوبی صورت نپذیرد و تصاویر ثبت شده وضوح لازم 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 ماهواره ای لازم است پیش از استفاده از آنها پیش پردازش های رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر خام صورت گیرد. به منظور استفاده صحیح از داده ها، 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 داده های خام تصاویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA، این پیش پردازش های لازم بر روی این تصاویر صورت گرفت و از آنجایی که تصاویر در سنجش از دور نقشه نیستند، دارای مقیاس و سیستم تصویر نمی باشند (علوی پناه، ۱۳۸۸)؛ لذا زمانی که نیاز است در قالب نقشه یا در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به کار گرفته شوند، بایستی آنها را به شیوه ی مناسبی دارای مقیاس و سیستم تصویر نمود. به نحوه ی تغییر و تبدیل یک تصویر در سنجش از دور به گونه ای که دارای مقیاس و سیستم تصویر بشود، تصحیحات هندسی گفته میشود که تصحیحات هندسی (علوی پناه، ۱۳۸۸)، در این تصویر (تصویر در سیستم

UTM و Zone ۴۰ شمالی و سیستم بیضوی WGS ۱۹۸۴ مختصات دار شد) اعمال شد. در تصحیح هندسی دوبعدی (زمین مرجع سازی) بدون شناخت و یا مدل سازی منابع خطا، ارتباط بین مختصات جغرافیایی (x,y) زمین و مختصات پیکسل های تصویر (I,j) با یک تابع تبدیل (معمولا چندجمله ای) برقرار می شود. تعداد و دقت نقاط کنترل زمینی انتخاب شده، ضرایب و درجه چندجمله ای را تعیین می کند تصحیحات رادیومتریک (به منظور تصحیح خطاهای ایجاد شده حاصل از اثرات جوی، توپوگرافی و اثر حساسیت سنجنده) موجود در تصویر اعمال شد (علوی پناه، ۱۳۸۸).

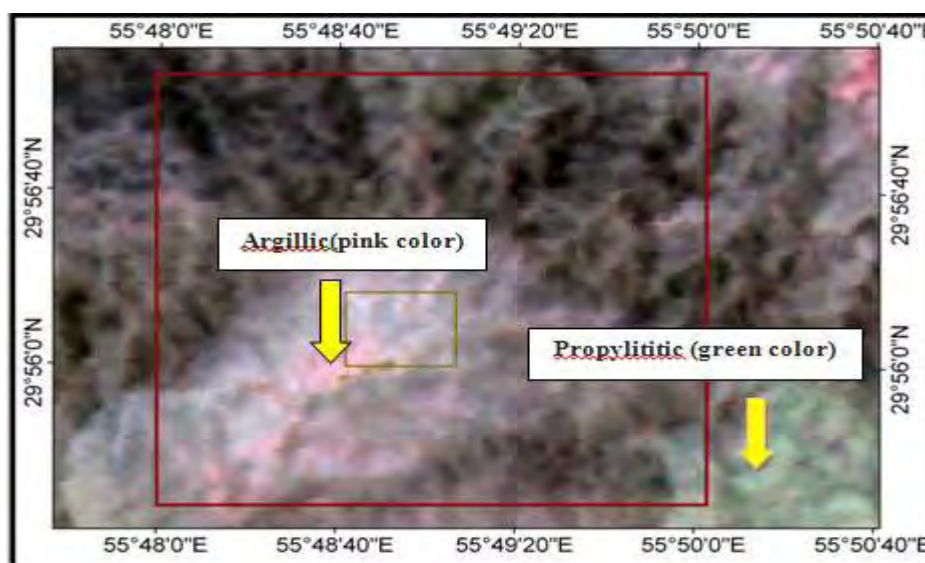
## ۲-۴- بارزسازی مناطق دگرسانی

برای بارزسازی و استخراج دگرسانی ها در محدوده سرکوه از دو روش تفسیر چشمی و آنالیز طیفی (بیش بینی خطی بانندی (Ls\_Fit)، روش فیلترگذاری انطباقی (Mached Filtering) و روش نسبت بانندی (Band Ratio) استفاده شده است. دگرسانی گرمابی مهمترین عامل در پیشنهاد مناطق برای شناسایی کانی سازی های جدید است و داده های استر شرایط مناسبی را با توجه به توانایی های این سنجنده برای تفکیک دگرسانی های گرمابی در محدوده فروسرخ طول موج های کوتاه دارند (Ranjbar et al, ۲۳۳۳- Rowan et al, ۲۳۳۳). در راستای پهنه بندی مناطق دگرسانی بخصوص اکسیدهای آهن از تصاویر دارای سه باند مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) (Hunt and Ashley, ۱۹۷۹)، و برای دگرسانیهای آرژلیک و پروپیلتیک از تصاویر مادون قرمز با طول موج کوتاه SWIR که در آن کانی های شاخص مناطق آلتزه بیشترین تمایز را از نظر میزان بازتاب طیفی خواهند داشت، استفاده شد (Azizi et al, ۱۰۱۰). تمام ترکیب رنگی های کاذب و روش های آنالیز طیفی و نسبت بانندی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند و نهایتا لایه یکپارچه شده از دگرسانی ها معرفی شد.

در ابتدا از روش تفسیر چشمی و ترکیب رنگی کاذب برای جداسازی دگرسانی ها استفاده گردید. 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:۵۳۱ (Guo and Mason, ۲۰۰۹) دگرسانیهای های آهن به رنگ نارنجی تا قهوه ای تیره دیده شدند (شکل ۳) که دقیقا با روش ها و الگوریتم های بدست آمده از تصاویر استر برای اکسیدهای آهن مطابقت داشتند. با ترکیب رنگی RGB:۴۶۸ 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.



شکل ۳- تصویر ماهواره لندست سنجنده ETM و با روش تفسیر بصری و با کمک ترکیب رنگی RGB:۵۳۱ دگرسانیهای های آهن به رنگ نارنجی تا قهوه ای تیره دیده می شوند.



شکل ۴- ترکیب رنگی RGB:۴۶۸ استر که دگرسانی آرژلیک صورتی و کربنات زرد تا سفید و دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز در محدوده سرکوه نمایان شده اند.

روش نسبت باندی (Band Ratio) یکی از روش‌های رایج در پردازش تصویر می‌باشد که شامل مزیت‌های از بین بردن اثرات توپوگرافی و سایه‌ها، کاهش یک سری از نویزها و اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرده و مرزها را مشخص‌تر می‌سازد. نسبت گیری باندی یک روش رقومی پردازش تصاویر چند طیفی می‌باشد که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متنظر آن در تصویر یا باند دیگر می‌باشد (Goetz et al, ۱۹۸۳- Sabins, ۱۹۸۷- Rowan et al, ۱۹۸۳- Sabins, ۱۹۹۹) (Crowley et al, ۱۹۷۷- al, ۱۹۸۹- Ninomiya, ۲۳۳۳a- Ninomiya, ۲۳۳۳b- Mars and Rowan, ۲۰۰۶- Sabins, ۱۹۹۹) با توجه به حضور کانی‌هایی نظیر لیمونیت، گوتیت هماتیت (Sadeghi, ۱۳۱۳) در منطقه میتوان از نسبت‌های باندی برای آشکارسازی آکسیدهای آهن استفاده کرد. از این رو با استفاده از تصاویر استرو بهره گیری از نسبت باندی میتوان آشکار سازی 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 که از الگوریتم‌های آنالیز طیفی به دلیل جذب بالای سیلیس نمیتوان استفاده کرد از روش نسبت باندی ۱۳/۱۲ استفاده کرده ایم ولی در منطقه مورد مطالعه دگرسانی سیلیسی با این روش هم جواب نداده است.

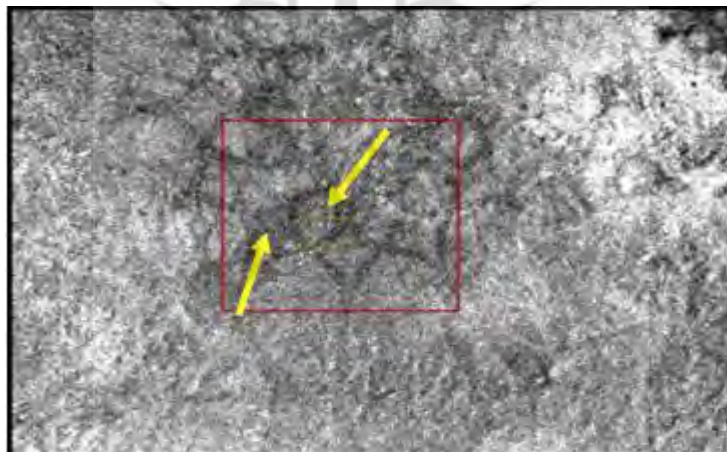
برای کائولینیتی شدن از نسبت ۷/۵ (Hewson et al, ۲۰۰۵) بدلیل انعکاس نسبتاً پایین کانیهای گروه کائولینیت در باند ۵ و انعکاس بالا در باند ۷ استفاده شد. در دگرسانی پروپیلیتیک که کانیهای گروه Mg-OH مانند اپیدوت و کلریت را شامل می‌شود، که از نسبت باندی ۶+۹/۷+۸ استفاده، که مناطق هدف به رنگ سفید مشخص می‌شوند، بدلیل انعکاس کم این گروه از کانیها در باند ۸ و انعکاس نسبتاً بالا در باند ۹ و ۶ می‌باشد (Hewson et al, ۲۰۰۵).

در ابتدا برای پردازش تصاویر با روش‌های آنالیز طیفی نیاز به یک کتابخانه طیفی مرجع (Spectral Library) میباشد که طیف کانی‌های شاخص در هر تصویر با طیفهای مرجع این کتابخانه مقایسه و سنجیده شود کتابخانه طیفی نرم افزار ENVI شامل ۴۲۰ باند می‌باشد که توسط سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) و در شرایط آزمایشگاهی تهیه شده است. در راستای معرفی نمودار طیفی مرجع به هریک از روش‌های طبقه بندی 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 گردید از سوی دیگر جهت استفاده از منحنی بازتاب طیفی کانی‌های مزبور در کتابخانه طیفی USGS ENVI جهت انجام آنالیز طیفی لازم است منحنی‌ها به دامنه طیفی باندهای ASTER، Resample گردند. 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 پیش بینی یک باند بر اساس سایر باندها می پردازد. خروجی این الگوریتم دو باند می باشد که عبارتند از : Residual image و Prediction image. تصویر Prediction چون بر اساس پیش بینی سایر باندها است، بیشترین شباهت را با سایر باندها دارا می باشد. اما در مقابل تصویر Residual چون خطای پیش بینی است، نشان دهنده اختلاف باند مذکور با سایر باندها می باشد. از تصویر Residual می توان جهت بارزسازی و استخراج عوارض مشخص استفاده نمود (Pohl, C., And van Genderen, J.L., ۱۹۹۸).

در روش LS-Fit پس از اعمال تصحیحات اتمسفری بر تصویر خام هریک از فریم ها و Resample نمودند. منحنی طیفی هریک از کانی های شاخص با اعمال الگوریتم موجود تصویری حاصل می گردد که در آن مکان های هدف به رنگ سیاه دیده می شوند. هیستوگرام تصویر حاصل، معیاری در تعیین میزان آستانه جهت مشخص نمودن اهداف مورد نظر می باشند. 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 بارز شده و مناطق زمینه سیاه رنگ دیده شود. طبقه بندی نظارت نشده ISODATA با دو کلاس، طبقه بندی شده تا لایه 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 وپراکندگی 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).

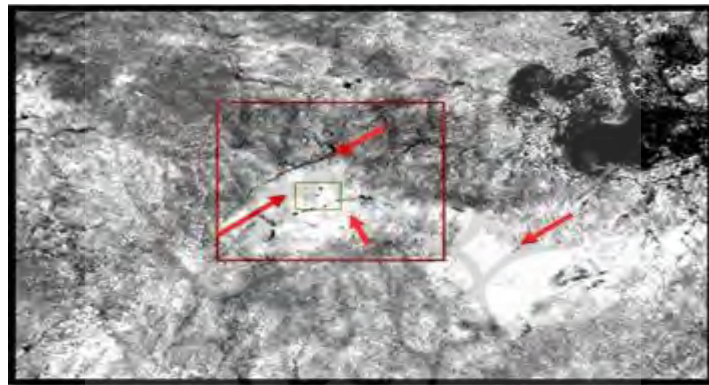


شکل ۵- اعمال الگوریتم LS-Fit در محدوده مس سرکوه برای دگرسانی های اکسید آهن که در این روش تارگت های سیاه رنگ نشان دهنده دگرسانی مورد نظر می باشد.

روش دیگر آنالیز طیفی روش فیلتر گذاری انطباقی Matched Filtering (MF) است (RSI, ۲۳۳۳). روش فیلتر گذاری 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 می باشد 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 نماید (Harsanyi - Bedini, ۱۰۱۱) (Boardman et al, ۱۹۹۴- et al, ۱۹۹۵). ویژگی اصلی این الگوریتم، طبقه بندی بهتر عوارضی است که در تصویر پراکنده بوده

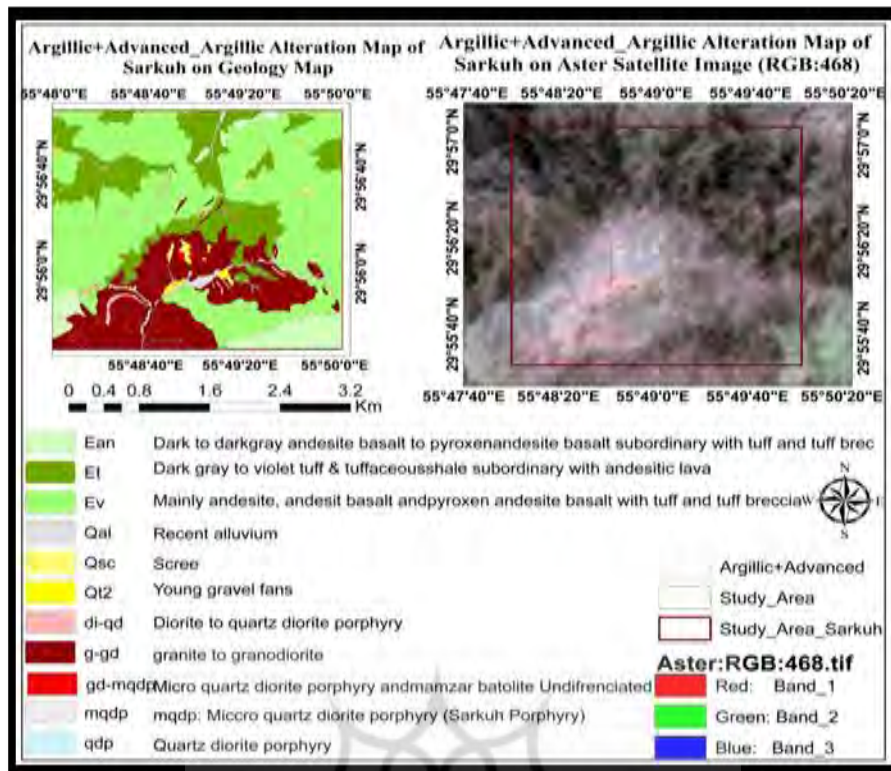
و در روشهای معمول طبقه بندی در کلاسهای دیگر تلفیق می شوند. در روش فیلترگذاری انطباقی پس از اعمال تصحیحات اتمسفری بر تصویر خام هریک از فریمها و Resample نمودن منحنی طیفی هریک از کانیهای شاخص با اعمال الگوریتم موجود تصویری حاصل می گردد که در آن مکانهای هدف به رنگ سفید دیده می شوند (شکل ۶). هیستوگرام تصویر حاصل، معیاری در تعیین میزان آستانه جهت مشخص نمودن اهداف موردنظر می باشند. 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 بارز 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 می باشد که در عمل ارزش تفسیر زمین شناسی نداشته و لازم است حذف گردد. بنابراین یک فیلتر بیشینه- کمینه با پنجره  $3 \times 3$  یا  $5 \times 5$  متناسب با میزان وپراکندگی 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 (Boardman et al, ۱۹۹۵- Harsanyi et al, ۱۹۹۴).

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

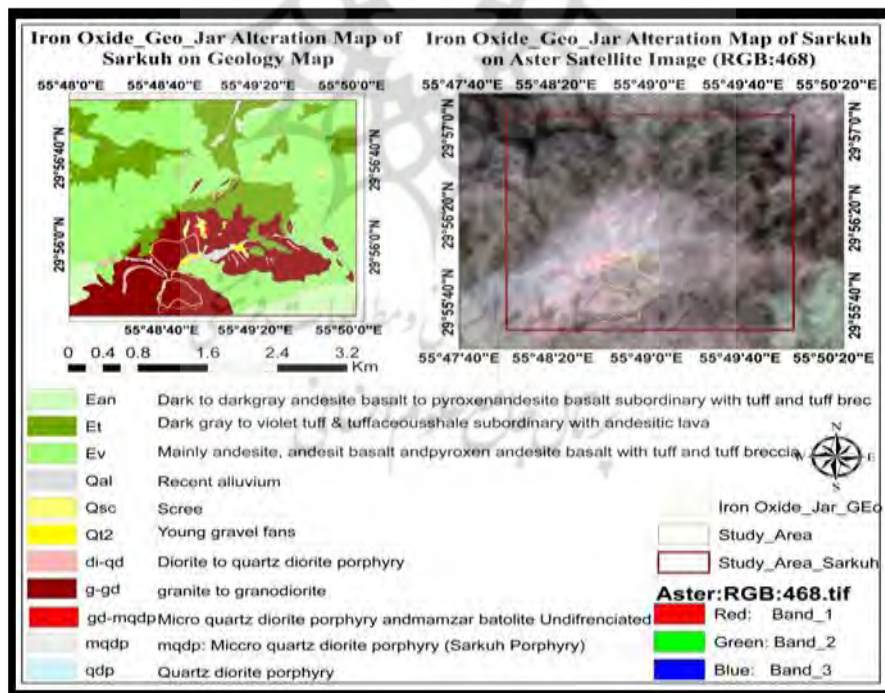


شکل ۶- نتایج حاصل از اعمال الگوریتم MF در مورد دگرسانی آرژلیک (اختصاصا کائولینیتی شدن) که تارگت ها به رنگ سفید در محدوده مورد مطالعه بارز شده اند.

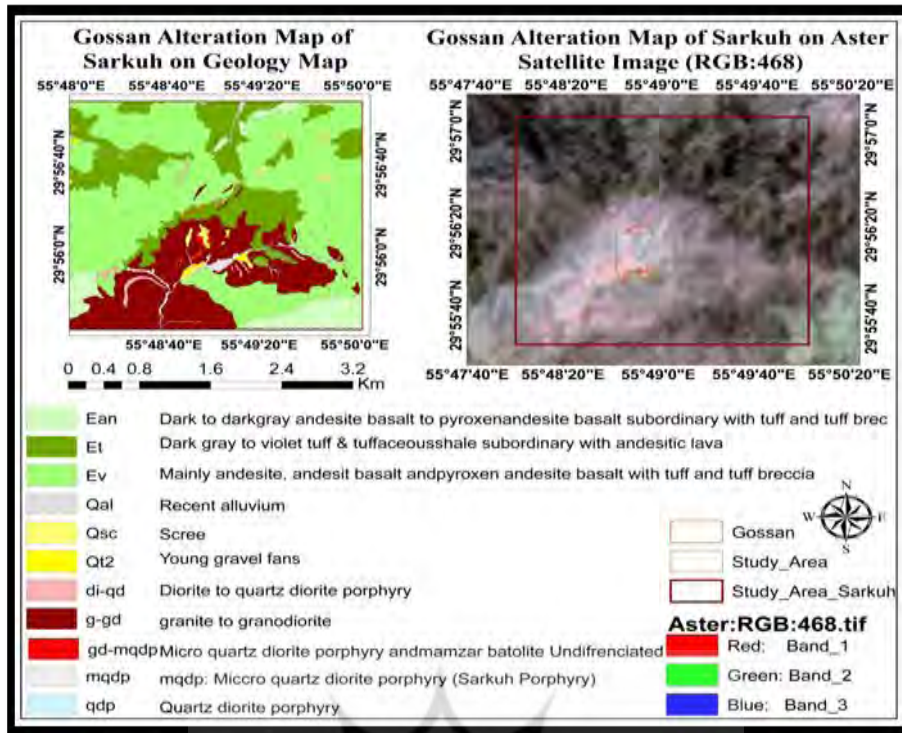
اشکال ۷ تا ۱۳ به ترتیب نمایش دگرسانی های آرژلیک - آرژلیک پیشرفته، اکسید آهن (جاروسیت-گوتیت)، اکسید آهن (گوسان)، اکسید آهن (جاروسیت)، پروپلیتیک، فیلیک و پتاسیک استخراج شده را بصورت جداگانه بر روی تصویر ماهواره ترا سنجنده استر با ترکیب رنگی RGB:۴۶۸ نشان می دهد و شکل ۱۴ نمایش کلی از دگرسانی ها را کانسار مس سرکوه نشان می دهد.



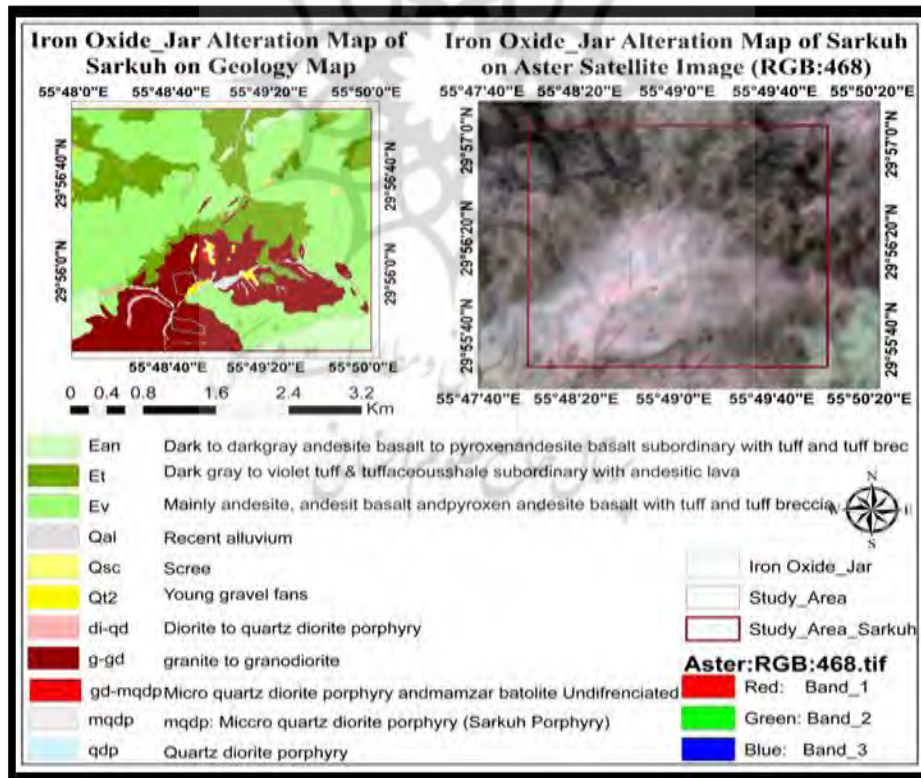
شکل ۷- پراکندگی مناطق با دگرسانی آرژیلیک-آرژیلیک پیشرفته در گرانیت های در کانسار مس سرکوه



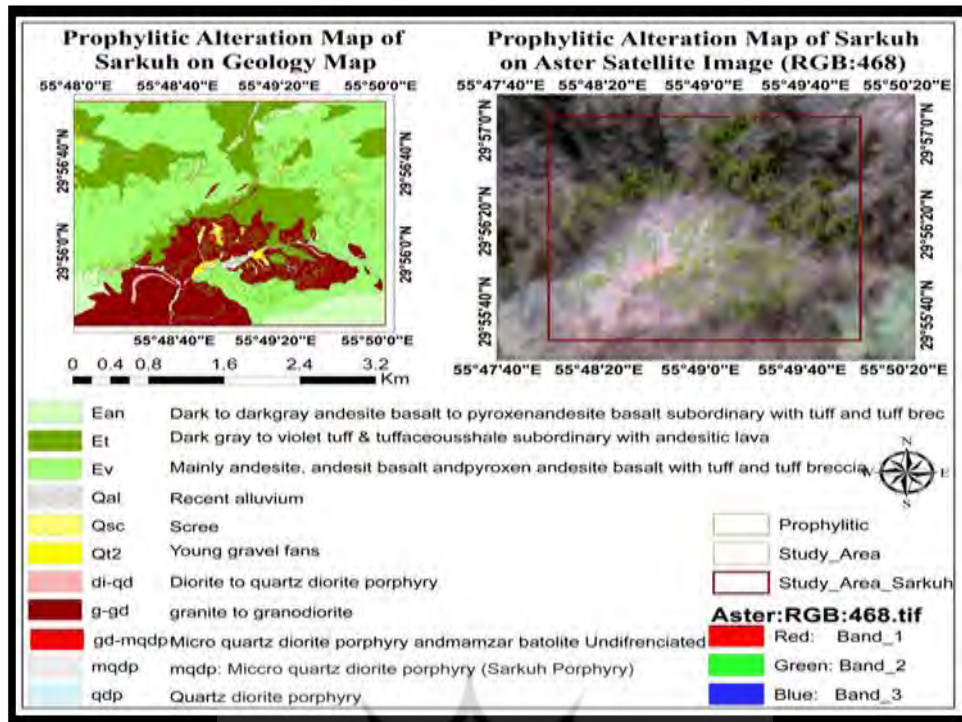
شکل ۸- پراکندگی مناطق با دگرسانی اکسید آهن (جاروسیت و گوتیت) در کانسار مس سرکوه



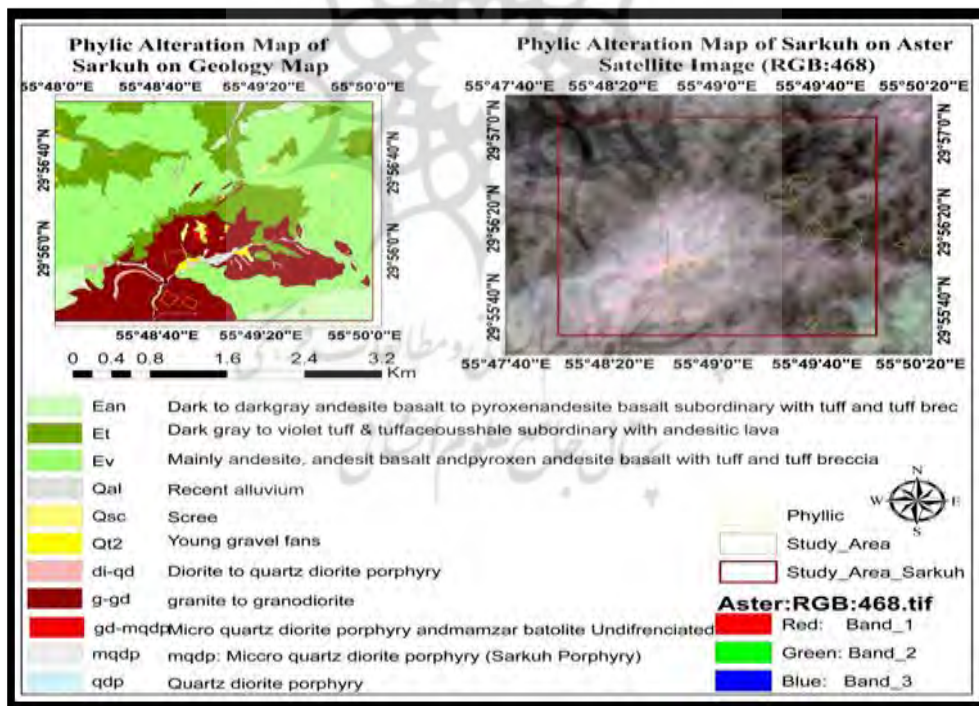
شکل ۹- پراکندگی مناطق با دگرسانی اکسید آهن (گوسان)



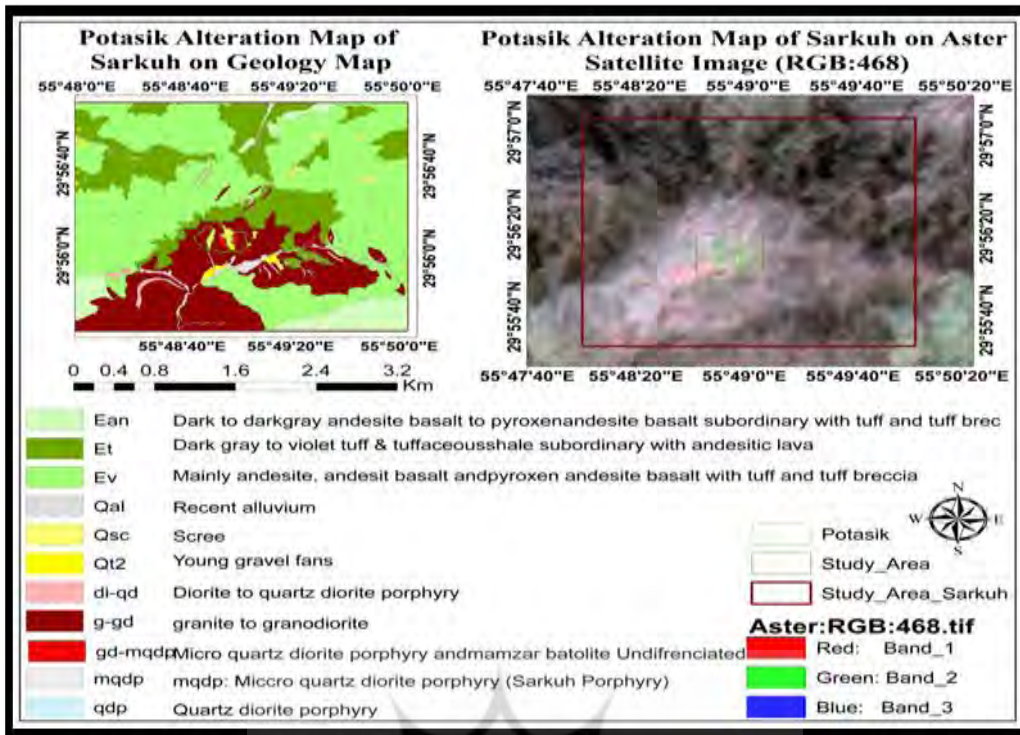
شکل ۱۰- پراکندگی مناطق با دگرسانی اکسید آهن (جاروسیت)



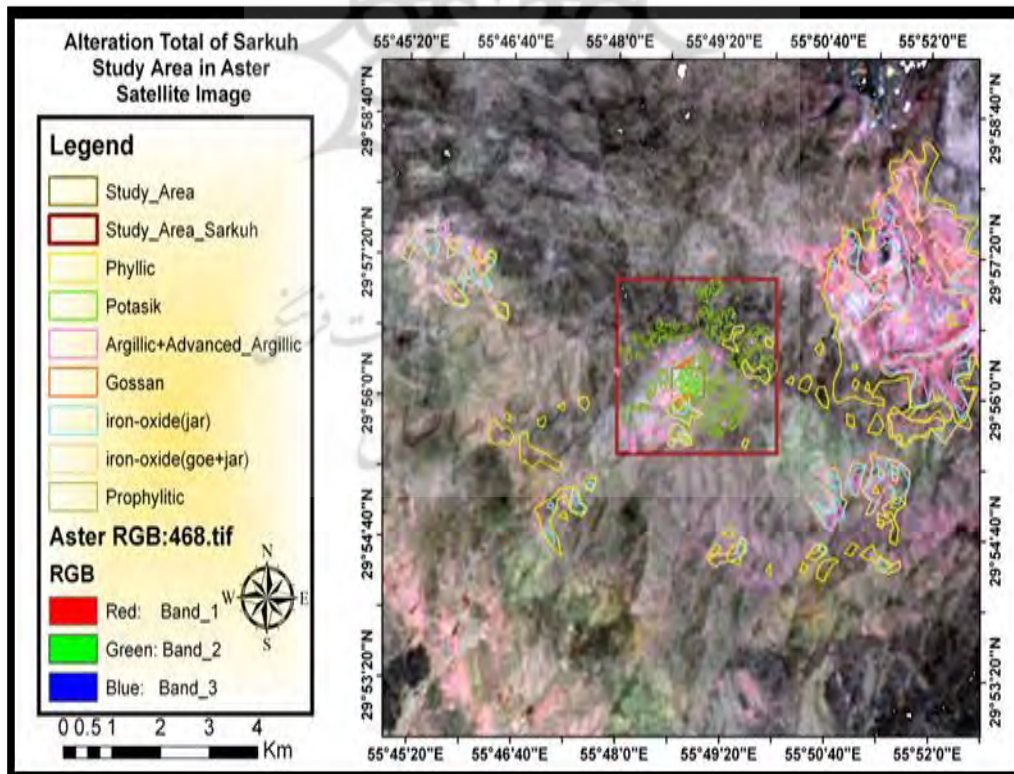
شکل ۱۱- پراکندگی مناطق با دگرسانی پروپلیتیک در محدوده مورد مطالعه



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



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، فیلیک در ارتباط با این کانسارزایی جزء مهمترین دگرسانی ها می باشند. 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 می دهد 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 می باشند. در دگرسانی پروپلیتیک از تمام روش های فوق استفاده شد و روش Matched Filtering و روش باندی  $8+9/7+6$  در تفکیک این دگرسانی مناسب بوده است و در روش تفسیر بصری با ترکیب رنگی RGB: ۴۶۸ 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  $6+5/7$  بود. دگرسانی های اکسید آهن نیز با روش نسبت باندی  $3/1$  بهترین نتیجه را داد. در کانسارهای مس پورفیری، کلاهدک های آهنی (گوسان) بر روی زون های پتاسیک و فیلیک تشکیل میشوند و بنابراین نشانه خوبی برای شناسایی نهشته های پورفیری هستند. با توجه به این که کلاهدکهای 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 گشت. 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 میرود که مناطق با اکسید آهن را بهتر از سنجنده استر مشخص سازد البته تمام مناطق دگرسان شده استخراج شده نیاز به چک صحرائی دارد. هاله های دگرسانی در سطح محدوده سرکوه از گسترش بسیار وسیعی برخوردارند. به طوریکه، تقریباً تمامی رخنمونهای 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 به طور کلی منطقه بندی نسبتاً منظمی با روند شمال شرق- جنوب غرب با مرکزیت توده نفوذی سرکوه پورفیری را نشان می دهند. به طوری که، دگرسانی پتاسیک که با فیلیک رونقشی شده در بخش های مرکزی محدوده به طور تدریجی و با دور شدن از توده نیمه عمیق سرکوه پورفیری به دگرسانی آرژلیک (شدید، متوسط تا ضعیف) تبدیل میشوند و نهایتاً 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 دما بالا (پتاسیک و پروپلیتیک)، ایجاد زون های تغییرات تدریجی در صحرا و مقاطع نازک مشاهده شد که در نقشه دگرسانی نمایش داده شده است (شکل ۲). توده نفوذی سرکوه پورفیری مهمترین سنگ میزبان کانی سازی در محدوده سرکوه می باشد و مهمترین دگرسانی نیز دگرسانی پتاسیک می باشد، به صورت نسبتاً گسترده ای در بخشهای مرکزی گستره نقشه ۱:۱۰۰۰ محدوده سرکوه با روند نسبی شمال غرب- جنوب شرق، در واحد سنگی سرکوه پورفیری (gdp) مشاهده می شود. به طور کلی تمامی گستره این هاله دگرسان محدود به توده نفوذی سرکوه پورفیری (gdp) و تعدادی از دایکهای وابسته به آن (dgdp) می باشد (شکل ۱۵ الف و ب) و (شکل ۱۶). دگرسانی پتاسیک در محدوده سرکوه با حضور آمفیبول و نیز رگه های کوارتز - مگنتیت فراوان در توده میکرودیوریت پورفیری و در توده گرانودیوریتی با تشکیل بیوتیت ثانویه و فلدسپارپتاسیم ثانویه مشخص میشود. کانه های کالکوپیریت و پیریت و مولیبدنیت از عمده کانه های مشاهده شده در مقاطع صیقلی و در مطالعات SEM هستند. طبق مطالعات XRD، کانیهای اصلی، بیشتر کوارتز، آلبیت، اپلیت، کانیهای فرعی، بیشتر گوتیت، میکا- اپلیت، کلریت، کلسیت و کانی جزئی مگنتیت می باشد. کانه های

مشاهده شده در منطقه، ایلمنیت، مگنتیت، هماتیت، پیریت، مولیبدنیت (فرو مولیبدنیت)، کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت و کوپریت می‌باشد.



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

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، دایک‌هایی با ترکیب گرانیت dgr و میکروگرانودیوریت پورفیری dgtp مشاهده می‌شود. بخش وسیعی از مرکز (بخشهای پیرامونی توده نفوذی سرکوه پورفیری)، جنوب، شرق، جنوب شرق، و جنوب غرب محدوده با شدت‌های مختلف، تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته است. مجموعه کانی‌های تشکیل شده در این هاله دگرسان عمدتاً عبارتند از: سریسیت، پیریت، کلریت و اکسی-هیدروکسیدهای آهن، که به همراه برخی کانیهای برجای مانده از دگرسانی پروپلیتیک اولیه (کانیهای کلریت، اکتینولیت و ترمولیت)، وجه مشخصه تشخیص صحرائی این هاله دگرسان، آثار به جای مانده از رگچه‌های استوک ورکی، حاوی کوارتز، سریسیت و پیریت (اکسید شده) و سریسیتی شدن دانه‌های فلدسپار و کانی‌های فرومنیزین سنگ اولیه است (شکل ۱۷ (الف و ب)) (زرناب اکتشاف، ۱۳۸۹).





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

دگرسانی پروپیلیتیک یکی از گسترده‌ترین هاله های 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  $gd, dgrp, dgdp, dmzd$  و  $dgdp$  مشاهده می‌شود. مجموعه کانی‌های تشکیل دهنده این هاله دگرسان عبارتند از کلریت، اپیدوت، کلسیت، اکتینولیت، ترمولیت و سریسیت که به صورت ثانویه و عمدتاً با جانشینی فلدسپار و کانیهای فرومنیزین و به مقدار کمتر پرشدگی رگه و رگچه‌ها در متن سنگهای میزبان 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 (زرناب اکتشاف، ۱۳۸۹). از ویژگی‌های کانی‌شناسی آن می‌توان به حضور کانی‌های 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 این نمونه‌ها از کانی‌های اپیدوت، کلریت، ترمولیت، اکتینولیت، سریسیت و کلسیت به عنوان مهمترین کانی‌های ثانویه سنگ نام برده شده است. کانه‌های آن شامل: مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت هستند.



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

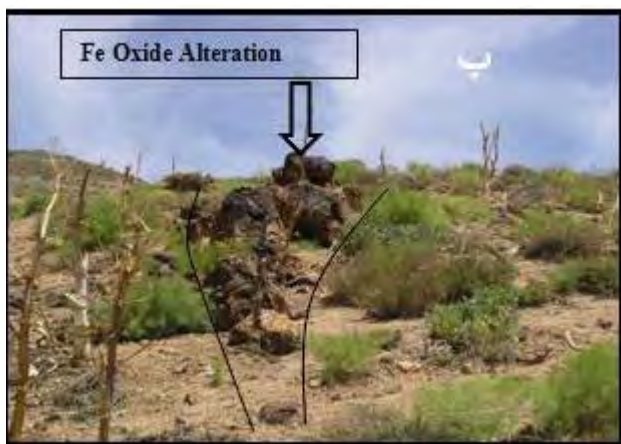
دگرسانی رسی در محدوده سرکوه از گسترش کمی برخوردار بوده و تنها به صورت ۳ رخنمون مجزا در شمال (تا شمال غربی) محدوده، در گستره واحد سنگی  $Ev$  مشاهده می‌شود. این هاله دگرسان عموماً از انواع کانی‌های ثانویه رسی به همراه برخی از کانی‌های اولیه تشکیل شده است و عموماً در مجاورت زونهای خردشده گسلی قرار داشته و با فرسایشی بسیار نرم به رنگ هوازده سفید تا کرم مشاهده می‌شوند (شکل ۱۹ الف و ب). به نظر می‌رسد که هوازده‌گی و تشدید جریان سیالات جریان یافته در زونهای گسله نقش به‌سزایی در تشکیل و تشدید این هاله دگرسان ایفا کرده باشند. این نوع نمونه‌ها دارای رخداد

ثانویه کانی های رسی مونت موریلونیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت و تعدادی از کانی های 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 گردید.



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

آغشتگی ثانویه به اکسی- هیدروکسیدهای آهن و کلاک های آهنی که رخداد کلاک های آهنی تشکیل شده از اکسیداسیون و فروشست هاله دگرسانی فیلیک، یکی از سیماهای رایج سیستم های مس پورفیری می باشند و معمولاً به عنوان کلید اکتشافی مورد استفاده قرار می گیرند. آغشتگی ثانویه سنگها به اکسی- 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 زونها به طور کلی عبارتند از: پنج رخنمون کوچک سرشار از انواع اکسیدهای آهن که در بخش های 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، همتیت، ژاروسیت و ...) می باشند (شکل ۲۰ الف و ب)). در اغلب موارد این کلاک های آهنی بر روی هاله دگرسانی فیلیک شدید، در اثر اکسیداسیون کانی های سولفیدی فراوان این دگرسانی، توسعه یافته است و تنها در یک مورد بسیار کوچک، در مرکز محدوده، بر روی هاله دگرسانی پتاسیک اورپرینت شده با فیلیک توسعه یافته است. این رخنمونها عموماً از روند شمال شرق- جنوب غرب تبعیت می کنند، و در این میان شمالی ترین رخنمون، به صورت نواری طویل باروند 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 برداشتهای صحرائی و نتایج بدست آمده از تجزیه نمونه های این زون، رخداد کانی سازی در این رخنمونها مشاهده نشده است (شکل ۲۰ الف و ب)).



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

بطور عمده در شمال محدوده دگرسانی هیدروترمالی و گاهاً در شرق و جنوب منطقه با واحدهای کشیده و کم ضخامت حاوی ترکیبات آهن دار که سیمای تیره آنها نظر هر بیننده ای را به خود جلب می نماید با فاصله از دگرسانی پتاسیک دیده می شوند. بنظر می آید که بتوان آن را به نوعی به سیالات تأخیری مربوط به 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 دگرسانی های: پتاسیک، فیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی و آغشتگی ثانویه به اکسی- هیدروکسیدهای آهن مشاهده گردید، که در این میان بیشترین کانی سازی مربوط به دگرسانی پتاسیک (ارتوماگمایی و هیپوژن) می باشد و نسبت به دگرسانی سیلیسی (رگه- رگچه های 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 + سولفید ها + سریسیت میباشد. دگرسانی پتاسیک ارتباطی نزدیک با کانی سازی دارد و به نظر می رسد 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 اطراف است. دگرسانی پروپیلیتیک بوسیله کلریتیزاسیون بیوتیت اولیه و ثانویه نشان داده می شود. دگرسانی آرژیلیک شامل کانیهای رسی همچون کائولینیت، مونتموریلونیت، ایلیت ، و پیروفیلیت و همچنین بخش هایی از گوتیت ، جاروسیت، هماتیت و کوارتز است. این دگرسانی در گرانودیوریت کم و بیش در همه جا (به صورت رونقشی) و همچنین سنگ های آتشفشانی و پیروکلاستیک وجود دارد. آلتراسیون فیلیک (سریسیت) ذاتاً شامل سریسیت و کوارتز می باشد. عبور از دگرسانی پتاسیک به دگرسانی فیلیک تدریجی است و توسط افزایش در مقدار موسکویت (سریسیت) صورت می گیرد، 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 می کند. به منظور این آنالیز تعداد ۱۰ عدد نمونه بعد مطالعات میکروسکوپی مقاطع آنها به شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما فرستاده شد، که در جدول ۱ نتایج این آنالیز مشاهده می شود. همانطور که ملاحظه میگردد نتایج مطالعات سنگ شناسی با نتایج آنالیز XRD مطابقت دارد.

جدول ۱- نتایج آنالیز XRD نمونه های 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، هماتیت	-
۵	Sah ۳۶(۲۹۸m)	مونتموریلونیت، کوارتز، کائولینیت	ارتوکلاز، هماتیت، کلسیت	-
۶	Sah ۳۰(۱)(۲۷۹m)	کوارتز	ارتوکلاز، آلبیت، ایلیت، کلریت، هماتیت، کلسیت	-
۷	Sah ۱۰(۳۶۰m)	کوارتز، آلبیت	کلسیت، مگنتیت، موسکویت، کلریت	-
۸	Sah ۲۹(۴۹۸m)	کوارتز، ارتوکلاز، کائولینیت	آنکریت	-
۹	Sah ۲۳(۲۹۲m)	کوارتز، مونتموریلونیت	آنکریت، کائولینیت، ژپس	-
۱۰	Sah ۲۲(۸۱m)	کوارتز، آنورتیت، کلریت، موسکویت- ایلیت	کلسیت	مگنتیت

#### ۴- سپاسگزاری

مقاله حاضر برگرفته شده 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)، در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می باشد، محققین 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. م. قربانی، پ. تاجبخش، ۱۳۷۸، کانسار مس در ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شهاب پور ج.، ۱۳۸۰، زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان، تهران.

علوی پناه س. ک.، ۱۳۸۸، اصول سنجش از دور نوین و تفسیر ماهواره‌ای و عکس هوایی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

ملکشاهی ش، رساء ا، رشید نژاد 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 زرنا ب اکتشاف، ۱۳۸۹، گزارش مطالعات زمین شناسی و دگرسانی محدوده سرکوه در مقیاس ۱:۱۰۰۰.

Abrams, M.J., Brown, L., Lepley, R., Sadowski, P., ۱۹۸۳, **Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona**. *Economic Geology*, ۷۸:۶۰۴-۵۹۱ .

Abrams, M., ۲۰۰۰, **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*, ۱۱: ۸۵۹-۸۷۷.

Azizi, H., Tarverdi, M.A., Akbarpour, A., ۱۰۱۰, **Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran**. *Adv. Space Res*, ۴۶:۹۹-۱۰۹ .

Bedini, E., ۱۰۱۱. **Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data**. *Adv. Space Res*. ۴۷:۶۰-۷۳ .

Boardman, J.W., Kruse, F.A., Green, R.O., ۱۹۹۵. **Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data, summaries. Proceedings of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop**, ۲۳-۲۶ January, Pasadena, California, JPL Publication ۹۵:۲۳-۲۶ .

Crosta, A. P., De souza Filho, C. R., Azevedo, F., Brodie, C., ۲۳۳۳. **Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis**. *Int. J. Remote Sensing*. ۲۴:۴۲۳۳-۴۲۴۰ .

Crowley, J.K., Brickey, D.W., Rowan, L.C., ۱۹۸۹. **Airborne imaging spectrometer data of the Ruby Mountains, Montana: mineral discrimination using relative absorption band-depth images**. *Remote Sens. Environ*. ۲۹:۱۲۱-۱۳۴.

Goetz, A.F.H., Rock, B.N., Rowan, L.C., ۱۹۸۳. **Remote sensing for exploration: an overview**. *Econ. Geol.* ۷۸:۵۷۳-۵۹۰.

Guo Liu, J., Mason, P.J., ۲۰۰۹. **Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing**, Wiley and Sons Inc., New York. ۴۰:۴۲۰-۴۳۳ .

Harsanyi, J.C., Farrand, W.H., Chang, C.I., ۱۹۹۴. **Detection of subpixel signatures in hyperspectral image sequences. Proceedings of ۱۹۹۴ ASPRS Annual Conference**, Reno, Nevada, ۲۰:۲۳۶-۲۴۷.

- Hewson, R.D, Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A.J., ۲۰۰۰. **Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia**, *Remote Sensing of Environment*, ۹۹:۱۵۹-۱۷۲.
- Hunt, G.R., Ashley, R.P., ۱۹۷۹. **Spectra of altered rocks in the visible and near infrared**. *Econ. Geol.* ۷۴:۱۶۱۳-۱۶۲۹.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., ۲۰۰۶. **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* ۲:۱۶۱-۱۸۶.
- Meyer, C., and Hemley, J.J., ۱۹۶۷, Wall rock alteration, in Barnes, H.L., ed., **Geochemistry of hydrothermal ore deposits**: New York, Holt, Rinehart and Winston. ۳۱:۱۶۶-۲۳۵.
- Ninomiya, Y., ۲۳۳۳a. **A stabilized vegetation index and several mineralogic indices defined for ASTER VNIR and SWIR data**. Proc. IEEE ۲۳۳۳ International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'۳۳) Vol. ۳, Toulouse, France, ۱۱-۲۰ July ۲۳۳۳. ۳۳:۱۵۵۲-۱۵۵۴.
- Ninomiya, Y., ۲۳۳۳b. **Advanced remote lithologic mapping in ophiolite zone with ASTER multispectral thermal infrared data**. Proc. IEEE ۲۳۳۳ International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'۳۳) Vol. ۳, Toulouse, France. ۳:۲۱-۲۵.
- Pohl, C., and van Genderen, J.L., ۱۹۹۸, **Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications**. *International Journal of Remote Sensing*. ۵:۸۲۳-۸۵۴.
- Ranjbar, H., Shahriari, H., Honarmand, M., ۲۳۳۳, **Comparison of ASTER and ETM+ data for exploration of porphyry copper mineralization: A case study of Sar Cheshmeh areas, Kerman, Iran**. ۸:۶۷۳-۵۹۶.
- Rowan, L.C., Goetz, A.F.H., Ashley, R.P., ۱۹۷۷. **Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images**. *Geophysics*. ۴۲:۵۲۲-۵۳۵.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J., Mars, J.C., ۲۳۳۳. **Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system**. *Econ. Geol.* ۹۸:۱۰۱۹-۱۰۷۲.
- Rowan, L.C., Mars, J.C., ۲۰۰۶. **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* . ۲:۱۶۱-۱۸۶.
- Rowan, L.C., Schmidt, R. G., Mars, J.C., ۲۰۰۶. **Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data**. *Remote Sensing of Environment*. ۱۰۴:۷۴-۸۷.

Sabins, F.F., ۱۹۸۷. **Remote Sensing Principles and Interpretation**, ۲<sup>nd</sup> edition, **Journal of Cartography**, Freeman, New York. ۱۱:۲۵۱-۲۵۲.

Sabins, F.F., ۱۹۹۹, **Remote sensing for mineral exploration**. *Ore geology review* . ۱۴:۱۵۷-۱۸۳ .

Sadeghi, B, ۱۳۱۳. **Using ETM+ and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi**: ۱۰۰۰۰۰ mapping sheet of Central Iran, *Journal of African Earth Sciences* . ۸۵:۱۰۳-۱۱۴ .

Sillitoe, R.H., ۱۰۱۰, **Porphyry copper system** , **Society of Economic Geologist, inc.** *Economic geology*. ۱۰۵:۳-۴۱.

Tangestani, M. H., Moore, F., ۲۰۰۱, **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 ۴۸, Issue ۰. ۴۰:۶۲۱-۷۷۶.

Tosdal, R.M., and Richards, J.P., ۱۰۰۱, **Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu ± Mo ± Au deposits: Reviews in Economic Geology** . ۱۴:۱۵۷-۱۸۱ .

Whitney, Philip R., and Olmsted, James F., ۱۹۹۸, **Rare earth element metasomatism in hydrothermal systems: the Willsboro-Lewis wollastonite ores**, New York, USA. ۷:۲۵-۴۱.

W.P. Loughlin , ۱۹۹۱, **Principal component analysis for alteration mapping, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. ۵۷:۱۱۶۳-۱۱۶۹ .

Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Kawakami, T., Paniel, M., ۱۹۹۸, **Overview of the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER)**. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* ۳۶:۱۰۶۲-۱۰۷۱ .

