



مقایسه پردازش داده‌های ماهواره‌ای به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی و مطالعات صحرایی در کانی‌شناسی زونهای آلتراسیون در منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری خوپیک، جنوب غربی بیرجند

ملکزاده شفارودی، آزاده* و کریمپور، محمد حسن

aza_malek@yahoo.com

مرکز تحقیقات نخبیر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

پردازش تصاویر ماهواره‌ای به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی یکی از روشهای مفید، آسان و کم هزینه در بارزسازی زونهای آلتراسیون در مرحله پی‌جویی به خصوص در کانسارهای مس پورفیری است. این روش می‌تواند محل‌های محتمل برای کانی‌سازی را مشخص کند و یک ایده اولیه از کانیهای آلتراسیونی موجود در منطقه و نحوه توزیع آنها ارائه دهد. اگرچه که ممکن است نقشه آلتراسیون بدست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای هماهنگی کامل با نقشه آلتراسیون تهیه شده برپایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی بعدی را نداشته باشد. این مسئله با مقایسه نقشه‌های آلتراسیونی بدست آمده از پردازش ماهواره‌ای آستر و مطالعات صحرایی- آزمایشگاهی در منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری خوپیک در جنوب غربی بیرجند تایید شد. بسیاری از کانیهای هیدروکسیددار شاخص زونهای آلتراسیون، طیفهای جذبی و انعکاسی بسیار نزدیک به هم دارند که این مسئله باعث همپوشانی موقعیت این کانیها در تصویر می‌شود و گاه ایجاد اختلاف می‌کند. ترکیب شیمیایی و ساختار داخلی برخی کانیها متغیر است و بر روی طیف جذبی- انعکاسی کانی تاثیر می‌گذارد. ممکن است طیف کانی انتخاب شده از کتابخانه طیفی دیجیتالی نرم افزار با طیف آن در منطقه مورد نظر به دلیل اختلافات ترکیبی- ساختاری، تفاوتی داشته باشد. این مسئله باعث می‌شود تا همه موقعیتهای آن کانی بدرستی بارزسازی نشود و بسیاری نقاط ناشناخته باقی بماند. همچنین برخی کانیها که گسترش محدودی در ناحیه دارند، ممکن است اصلاً در پردازش مشخص نشوند. تشخیص کانیهای رسی هیپوزن از سوپرژن نیز تنها در مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مشخص می‌گردد. همچنین بسیاری از نقاط دیگر مثل مزرعه‌های روستایی و یا مصنوعات بشری مثل بندهای خاکی به دلیل حضور کانیهای رسی، خود را در این پردازش نشان می‌دهد که ممکن است با آلتراسیون آرژیلیک حاصل از یک کانی‌سازی اشتباه شود.

Comparison of remote sensing processing by Spectral angle mapper method and field study for mineralogy of alteration zones in Khopik porphyry Cu-Au prospect area, SW Birjand

Malekzadeh Shafaroudi, A.* and Karimpour, M.H.

Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract

Spectral angle mapper method is one of the well, easiest and cheapest techniques for enhancing of alteration zones in reconnaissance stage spatially in porphyry copper deposits. The method can be distinguished suitable place for mineralization, mineralogy of alteration zones and their distributions. However, mineral mapping by remote sensing processing can don't be correlation with alteration map generated by field-laboratory studies. This case has been confirmed by comparison of alteration maps prepared by remote sensing processing and field-laboratory studies in Khopik porphyry Cu-Au prospect area. Some OH-bearing minerals from alteration zones have similar absorption-reflectance spectral that the case can be cause overlapping in images. Chemical composition and structural of some minerals are vary, which influenced on its absorption-reflectance spectral. The spectral of selected mineral from spectral library of software can be differ with spectral of same mineral in area duo to different chemical



composition – structural nature. Therefore, all location of alteration minerals can don't be enhanced and some places remained unknown. Also, some minerals can don't be recognized in processing duo to low development. Reorganization of hypogene and supergene clay minerals do only in field-laboratory studies. Some places such as farms and human products (dirt dam) can be enhanced in remote sensing processing duo to presence of clay minerals. This makes a mistake with hydrothermal argillic alteration formed by mineralization.

مقدمه

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی امروز مورد توجه خاصی قرار گرفته است. این روش خصوصاً برای کشف ذخایر پورفیری که با زونهای آلتراسیونی وسیع همراه هستند کاربرد بیشتری دارد. دقت پردازش داده‌های ماهواره‌ای به حدی است که می‌تواند کانیهای را که در مقاطع میکروسکوپی از یکدیگر قابل تشخیص نیستند و تنها با دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) می‌توان آنها را شناسایی کرد (مانند کانیهای رسی)، تفکیک کند. این مسئله به تفاوت‌های جزئی در دامنه طیف جذبی و انعکاسی امواج الکترومغناطیس کانیها برمی‌گردد.

منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری خویبک در ۸۰ کیلومتری جنوب غربی بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی، در محدوده بین طولهای جغرافیایی $54^{\circ} 17'$ تا $58^{\circ} 57'$ و عرضهای جغرافیایی $29^{\circ} 50'$ تا $32^{\circ} 22'$ قرار گرفته است. این محدوده در شمال صحنه اطلاعاتی سنجنده طیف‌سنج بازتابی و گرمایی فضاپردازش پیشرفته (آستر) با شماره 1b-090601-322 که در تاریخ ۲۰۰۱/۶/۱۸ (خرداد ماه) تصویربرداری شده است، قرار دارد.

سنجنده آستر شامل ۱۴ باند است که با توجه به محدوده طول موج به سه دسته تقسیم می‌شوند (فوجیسادا، ۱۹۹۵؛ و فوجیسادا و همکاران، ۲۰۰۱): ۱- محدوده امواج VNIR شامل باندهای ۱، ۲ و ۳ با قدرت تفکیک ۱۵ متر؛ ۲- محدوده امواج SWIR شامل باندهای ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ با قدرت تفکیک ۳۰ متر؛ و ۳- محدوده امواج TIR شامل باندهای ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ با قدرت تفکیک ۹۰ متر. نقشه‌برداری زونهای آلتراسیون ذخایر مس پورفیری به کمک پردازش داده‌های آستر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (سایبیز، ۱۹۹۹؛ هاشمی تنگستانی و مظهری، ۱۳۸۴؛ کریچپور، ۱۳۸۵؛ تنگستانی و مور، ۲۰۰۲؛ روان و همکاران، ۲۰۰۳؛ روان و همکاران، ۲۰۰۶؛ و توماسو و روبینستین، ۲۰۰۷).

در این مطالعه داده‌های سنجنده آستر پس از تصحیح هندسی و توپوگرافی و ادغام باندهای VNIR با SWIR، به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) برای شناسایی کانی‌های مختلف شاخص زونهای آلتراسیون پردازش و سپس با نقشه آلتراسیون تهیه شده برپایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مقایسه شد تا شباهتها و اختلافات آنها مشخص گردد.

زمین‌شناسی و کانی‌سازی

منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری خویبک از لحاظ تقسیمات ساختاری در حاشیه شرقی بلوک لوت قرار گرفته است. بلوک لوت بواسطه وقوع پدیده فرورانش در گذشته و تشکیل ماگماتیسیم گسترده کالک آلکان و آلکان، محل مناسبی برای تشکیل ذخایر مس پورفیری بوده که شواهد بسیار زیادی از آنها در بخشهای مختلف دیده می‌شود و در صورت کارهای تفصیلی می‌تواند دومین کمر بند مهم مس پورفیری ایران بعد از زون سندانج- سیرجان باشد.

زمین‌شناسی منطقه شامل یکسری سنگهای رسوبی و آتشفشانی می‌باشد که مورد نفوذ توده‌های نیمه عمیق حدواسط با بافت پورفیری قرار گرفته‌اند. قدیمیترین واحد سنگی، ماسه سنگ سیلیسی شده در حد کوارتز آرنایت تقریباً در غرب خویبک است. سنگهای آتشفشانی بخش اعظم منطقه را در شرق، مرکز و شمال تحت پوشش قرار داده‌اند. ترکیب این واحدها در حد توف داسیتی تا ریوداسیتی و آندزیت است. توده‌های نفوذی نیمه عمیق کالک آلکان پورفیری که منشاء اصلی کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه هستند، به صورت استوک و دایک در سنگهای آتشفشانی و رسوبی نفوذ نموده و باعث یک آلتراسیون وسیع شده‌اند. توده‌های نفوذی نیمه عمیق را براساس مطالعات آزمایشگاهی می‌توان به پنج واحد هورنبلند کوارتز مونزونیت، بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری، مونزونیت پورفیری و هورنبلند دیوریت پورفیری تقسیم نمود. بخش عمده این واحدها بجز واحد آخر در نیمه شرقی محدوده دیده می‌شوند و نیمه شرقی از لحاظ کانی‌سازی و آنومالیهای ژئوشیمیایی از اهمیت خاصی برخوردار است.

کانی‌سازی به سه صورت پراکنده، استوک ورک و کمتر برش هیدروترمالی دیده می‌شود. فراوانترین کانی فلزی موجود در ناحیه پیریت است که عمدتاً به صورت پراکنده تقریباً در همه واحدهای سنگی نامبرده از کمتر



از ۵/۰ درصد تا حدود ۱۰ درصد دیده می‌شود. کالکوپیریت دومین کانی سولفیدی مهم است که چه به صورت پراکنده و چه در غالب رگچه‌های کوارتز- سولفیدی از کمتر از ۱/۰ درصد تا بیش از ۷ درصد مشاهده می‌گردد. بورنیت و گاه اسفالریت دیگر کانیهای فلزی هستند. بخش بزرگی از کانیهای سولفیدی در سطح اکسیده شده‌اند. هماتیت، گوتیت و مالاکیت مهمترین کانیهای زون اکسیدان در منطقه هستند. شدت کانی‌سازی از شرق به طرف غرب کاسته شده است، بطوریکه در نیمه غربی خویبک به طور محدود پیریت پراکنده دیده می‌شود. استوک و رکها عمدتاً در واحدهای نیمه عمیق نیمه شرقی و با تراکم حداکثر ۱۵ عدد در مترمربع حضور دارند. بررسیهای ژئوشیمیایی منطقه نیز نشان می‌دهد بالاترین آنومالیهای مس و طلا در نیمه شرقی خویبک مشاهده می‌شود. مقدار مس حداکثر به بیش از ۸/۰ درصد و میزان طلا حداکثر به بیش از ۲ گرم در تن می‌رسد.

بحث و بررسی

نقشه آلتراسیون منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری خویبک با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ که برپایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی تهیه شده در شکل (۱) ارائه شده است. آلتراسیونهای موجود در محدوده را می‌توان به ۷ دسته تقسیم نمود (شکل ۱): ۱- پتاسیک، ۲- سرسیتیک- پتاسیک، ۳- کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت تا کوارتز- کربنات- پیریت، ۴- سیلیسی- پروپلینتیک، ۵- پروپلینتیک، ۶- سیلیسی، و ۷- سیلیسی- کربنات. آلتراسیون پتاسیک با کانیهای بیوتیت ثانویه، فلدسپات پتاسیم ثانویه، کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود. این زون در توده هورنبلند کوارتز مونزونیت و بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری با رخنمون تا حداکثر ۱ کیلومتر مربع در سطح زمین دیده می‌شود. زون سرسیتیک- پتاسیک با کانیهای شاخص سرسیت و بیوتیت ثانویه تنها در بخش کوچکی از واحد آتشفشانی در شرق دیده می‌شود. زون کوارتز- سرسیت- کربنات- پیریت با ۲۵ تا ۴۰ درصد کوارتز هم در متن و هم در غالب رگچه‌های کوارتز- سولفیدی- سرسیتی، تا ۲۵ درصد سرسیت حاصل آلتزه شدن فلدسپاتها در متن سنگ و در رگچه‌ها، تا ۲ درصد پیریت، تا ۱۰ درصد کلسیت و کمتر از ۱/۰ درصد تورمالین مشخص می‌شود. کانیهای زون سیلیسی- پروپلینتیک شامل کوارتز (گاه تا ۳۰ درصد)، کلریت حاصل آلتراسیون هورنبلند و بیوتیت (گاه تا ۲۰ درصد)، اپیدوت حاصل آلتراسیون هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز (گاه تا ۱۵ درصد) و کلسیت (گاه تا ۱۵ درصد) و کانیهای فرعی سرسیت و مگنتیت می‌باشد. رگچه‌های کوارتز- سولفیدی و کوارتز- کلریت در این زون دیده می‌شود. این آلتراسیون علاوه بر توده‌های نفوذی در سنگهای آتشفشانی نیز دیده می‌شود. آلتراسیون پروپلینتیک عمدتاً در توده‌های نفوذی نیمه غربی خویبک دیده می‌شود. این زون با کلریت، اپیدوت، مگنتیت، کلسیت و کمی کوارتز، سرسیت و تورمالین به همراه مقادیر ناچیزی پیریت (کمتر از ۱/۰ درصد) مشخص می‌شود. کلریت، اپیدوت و مگنتیت عمدتاً حاصل آلتزه شدن کانیهای آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازها هستند. گاهی رگچه‌های باریکی از مگنتیت و یا کلسیت- اپیدوت- کلریت مشاهده می‌گردد. زون سیلیسی عمدتاً در واحدهای آتشفشانی و ماسه سنگی در غرب خویبک و نیز در زونهای گسلی منطقه دیده می‌شود. این زون با مورفولوژی صخره‌ساز خود در ناحیه مشخص است. کوارتز تا بیش از ۷۰ درصد سنگ کانی اصلی است. کلسیت، سرسیت، تورمالین و کانیهای سولفیدی دیگر کانیهای این زون هستند. زون سیلیسی- کربنات رخنمون کمی در غرب خویبک دارد. کلسیت گاه تا بیش از ۶۰ درصد کانی اصلی این زون است. کوارتز، و کمی سرسیت همراه با پیریت از دیگر کانیهای این آلتراسیون می‌باشد.

از طرف دیگر پردازش داده‌های سنجده آستر به روش طبقه‌بندی نظارت شده در منطقه انجام شد. طبقه‌بندی نظارت شده یک روش چندطیفی برای دسته‌بندی پیکسلها براساس خصوصیات طیفی مشابه آنهاست. در این روش اپراتور ویژگی کلاسه‌بندی را شخصاً انتخاب می‌کند (سابینز، ۱۹۹۹). در این روش به دو طریق عمل می‌شود. نخست آنکه مفسر می‌تواند نواحی کوچکی را در تصویر ماهواره‌ای که از حیث مقادیر انعکاسی ارقام آنها حالت یکنواختی داشته باشند، انتخاب کند. نواحی مزبور به عنوان نواحی آموزشی یا نواحی تعلیمی هستند و به هر یک از آنها یک کلاس یا طبقه گفته می‌شود. این نواحی براساس بازدید صحرایی و بهره‌گیری از نقشه‌های مختلف بدست آمده است. سپس پیکسلهای باقیمانده تصویر مطابق ارقام پیکسلهای طبقات نظارت‌شده، طبقه‌بندی می‌شوند. در روش دوم مفسر می‌تواند از بانک اطلاعات طیفی نرم‌افزار استفاده کند و مقادیر هر پیکسل با اطلاعات موجود از طیف کانیهای مختلف سنجیده شده و پیکسلهای مشابه به عنوان آن کلاس یا طبقه انتخاب می‌شوند. روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) (کروز و همکاران، ۱۹۹۳) از جمله روشهای مرسوم طبقه‌بندی نظارت‌شده است که به طریق دوم عمل کرده و با حداقل اختلاف زاویه طیفی پیکسلها، موقعیت کانیهای زونهای آلتراسیون را در تصویر مشخص می‌کند. از مزیت‌های این روش شناسایی دقیق نوع و محل کانیها و گسترش و شدت آلتراسیون به تفکیک زونهای مختلف است. در این روش حتی کانیهای که در زیر



میکروسکوپ از هم قابل تفکیک نیستند، مانند کانیه‌های رسی، براساس تفاوت طیفی در تصویر بارزسازی می‌شوند.

در منطقه مورد مطالعه طیفهای موجود در پیکسل‌های تصویر آستر با کتابخانه طیفی دیجیتالی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) موجود در نرم‌افزار ENVI 4.0 (کلارک و همکاران، ۱۹۹۳) مورد مقایسه قرار گرفت. در این روش سه کانی کلریت، اپیدوت و زونزیت به عنوان شاخص زون پروپلیتیک و پنج کانی کوارتز، سرسیت، کائولینیت، پروفیلیت و مونت‌موریونیت به عنوان شاخص زونهای سرسینتیک، سیلیسی و آرژیلیک انتخاب شدند (شکل ۲). همچنین کانی آلونیت شاخص زون آلونیتی و کانیه‌های ژاروسیت، ژیبس، همتایت، گوتیت و لیمونیت به عنوان کانیه‌های ثانویه نماینده زون گوسان استفاده شد.

نتایج حاصل از پردازش برای کانیه‌های زون پروپلیتیک نشان می‌دهد که کلریت در این میان از همه فراوانتر است و اپیدوت عمدتاً در حاشیه شمالی محدوده قرار گرفته است. بخش عمده این آلتراسیون در نیمه شرقی خویبک مشخص شده است. مقایسه موقعیت زون پروپلیتیک بدست آمده از این روش با نقشه آلتراسیون تهیه شده از منطقه و موقعیت زونهای سیلیسی-پروپلیتیک و پروپلیتیک نشان می‌دهد که در برخی قسمت‌ها در مرکز محدوده انطباق صد در صدی دیده می‌شود، اما بخش غربی خویبک که دارای آلتراسیون پروپلیتیک وسیعی هست آشکار نشده است. همچنین در بعضی از قسمت‌ها در نیمه شرقی که کلریت و اپیدوت بطور وسیع نشان داده شده است، گسترش آنها بسیار کمتر است یا اصلاً وجود ندارد. فراوانی کلریت، اپیدوت و زونزیت در آبراهه‌های جنوبی منطقه حکایت از فرسایش شدید واحدهای سنگی آلتره خویبک را دارد. وجود این کانیه‌ها در آبراهه‌های نیمه شرقی در مطالعات صحرایی تایید شده است.

مقایسه موقعیت کانیه‌های کوارتز، سرسیت، کائولینیت، پروفیلیت و مونت‌موریونیت بدست آمده از پردازش تصاویر آستر (شکل ۲) با نقشه آلتراسیون منطقه نشان می‌دهد که آلتراسیون سرسینتیک بیشترین گسترش در منطقه را دارد، که این موضوع در برداشتهای صحرایی نیز به تایید رسیده است. در بخشهایی از شمال محدوده خویبک نیز کوارتز و سرسیت دیده می‌شود که خارج از محدوده مطالعاتی بوده است. آلتراسیون سیلیسی در بخش غربی خویبک به خوبی بارزسازی نشده است. همچنین در برخی نقاط به دلایلی شباهتهای طیفی کوارتز و سرسیت همپوشانی رنگی دیده می‌شود. مثلاً در قسمت‌های مرکزی که آلتراسیون سیلیسی در مطالعات شناسایی شده است، در پردازش کانی سرسیت مشخص شده است. کانیه‌های رسی منطقه غالباً سوپرژن هستند و آلتراسیون آرژیلیک اولیه در بازدید صحرایی دیده نشد. تفاوت آرژیلیک اولیه از ثانویه در تصاویر پردازش شده مشخص نمی‌شود.

موقعیتهای پردازش شده برای کانیه‌های آلونیت، ژاروسیت، ژیبس، همتایت، گوتیت و لیمونیت و مقایسه آنها با مطالعات صحرایی نیز نشان می‌دهد که آلونیت در محدوده خویبک وجود ندارد و به تبع آن در تصویر پردازش شده نیز دیده نمی‌شود. مقدار ژیبس بطور محدود به صورت ثانویه در زونهای گسلی تشکیل شده که به سبب کمی مقدار در تصویر ماهواره‌ای هم مشاهده نمی‌گردد. همتایت فراوانترین کانی اکسیدی است که در برخی نقاط بدرستی بارز شده و در برخی نقاط اختلافاتی دارد. همچنین در بعضی نقاط از شرق محدوده که با مقادیر کمتر اکسیدهای آهن دیده شده است، در تصاویر پردازش شده معلوم نیست. مقدار زیادی همتایت در آبراهه‌های جنوبی محدوده دیده می‌شود که نتیجه فرسایش زیاد می‌باشد. ژاروسیت و گوتیت در برخی نقاط در شرق دیده می‌شوند.

نتیجه‌گیری

روشهای مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از روشهای مفید، آسان و کم هزینه در بارزسازی زونهای آلتراسیون به خصوص در کانسارهای مس پورفیری است. این روش می‌تواند در کوتاهترین زمان ممکن، محلهای محتمل برای کانی‌سازی را در نقاط دور افتاده و خشک و کویری مشخص کند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی می‌تواند یک ایده اولیه از کانیه‌های آلتراسیونی موجود در منطقه و نحوه توزیع آنها ارائه دهد. اما لزوماً نقشه آلتراسیون بدست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای هماهنگی کامل با نقشه آلتراسیون تهیه شده برپایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی را ندارد. این امر می‌تواند به دلایل مختلف اتفاق بیفتد. بسیاری از کانیه‌های هیدروکسیددار شاخص زونهای آلتراسیون، طیفهای جذبی و انعکاسی بسیار نزدیک به هم دارند که این مسئله باعث همپوشانی موقعیت این کانیه‌ها در تصویر می‌شود و گاه ایجاد اختلاف می‌کند. ترکیب شیمیایی و ساختار داخلی برخی کانیه‌ها متغیر است که این موضوع بر روی طیف جذبی-انعکاسی کانی تاثیر می‌گذارد. ممکن است طیف کانی انتخاب شده از کتابخانه طیفی دیجیتالی نرم افزار با طیف آن در منطقه مورد نظر به دلیل اختلافات ترکیبی-ساختاری، تفاوت‌هایی داشته باشد. این مسئله باعث می‌شود تا همه موقعیتهای آن کانی بدرستی بارزسازی نشود و بسیاری نقاط ناشناخته باقی بماند. همچنین برخی کانیه‌های

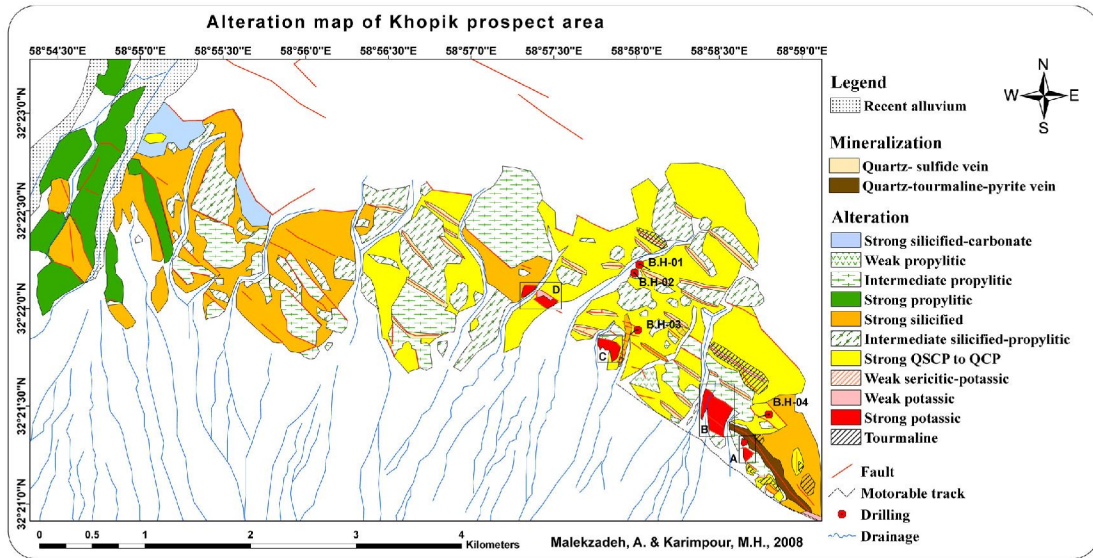


آلتراسیونی که گسترش محدودی در ناحیه دارند، ممکن است اصلاً در پردازش مشخص نشوند. کانیهای رسی در روش نقشبرداری زاویه طیفی به تفکیک مشخص می‌شوند، اما تشخیص کانیهای رسی هیپوزن از سوپرژن تنها در مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مشخص می‌گردد. همچنین بسیاری از نقاط دیگر مثل مزرعه‌های روستایی و یا مصنوعات بشری مثل بندهای خاکی به دلیل حضور کانیهای رسی، خود را در این پردازش نشان می‌دهد که ممکن است با آلتراسیون آرژیلیک حاصل از یک کانی‌سازی اشتباه شود.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مرحله پی‌جویی بهترین وسیله برای شناسایی محل و گسترش آلتراسیونها و به تبع آن موقعیت و گسترش کانی‌سازی است. همچنین ایده‌ای از کانیهای آلتراسیونی مختلف می‌توان در منطقه بدست آورد. اما در مراحل بعدی اکتشاف می‌بایست یک نقشه دقیق آلتراسیونی براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی تهیه شود.

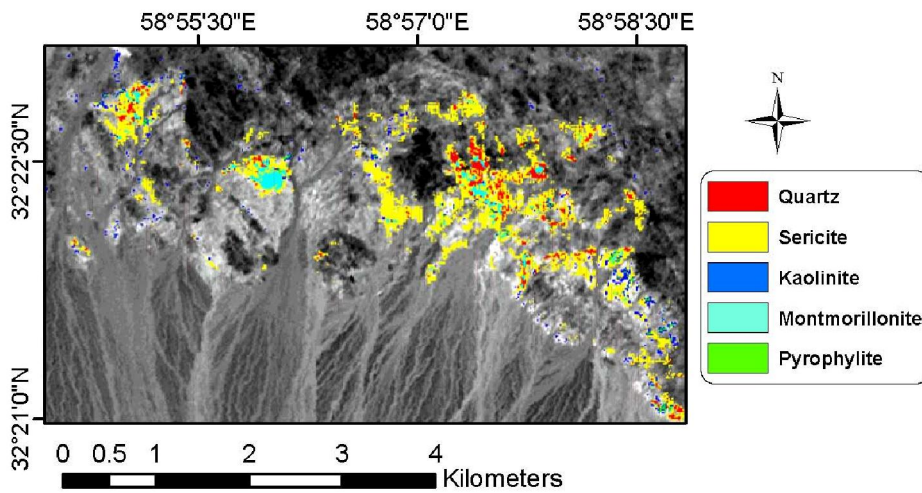
مراجع

- کریمپور، م، ح؛ ۱۳۸۵، شناسایی اولین کانی‌سازیهای مس پورفیری با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره ASTER در خراسان جنوبی، چهاردهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند، صص ۲۸۵-۲۹۲.
- هاشمی تنگستانی، م؛ و مظهری، ن؛ ۱۳۸۴، پردازش طیفی پیشرفته داده‌های VNIR و SWIR سنجنده آستر در نقشه-برداری زونهای دگرسانی ذخایر مس پورفیری، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، صص. ۴۰۴-۴۱۳.
- Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A., King, T.V.V., and Calvin, W.N., 1993, The U.S. Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1:0.2 to 3 μ m. United States Geological Survey, Open File Report 93-592. 1326 pp.
- Fujisada, H., 1995, Design and performance of ASTER instrument, in Fujisada, H., and Sweeting, M.N., eds., Proceedings SPIE (International Society for Optical Engineering), v. 2583, pp.16-25.
- Fujisada, H., Iwasaki, A., and Hara, S., 2001, ASTER stereo system performance. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering 4540, Toulouse, 39-49.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebreicht, H.K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz, A.F.H., 1993, The Spectral Image Processing System (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data, Remote Sensing of Environment 44, pp. 145-163.
- Rowan, L.C., Schmidt, R.G., and 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, pp. 74-87, DOI: 10.1016/j.rse.2006.05.014.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J., and Mars, J.C., 2003, Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emmission and Reflection Radiometer (ASTER), A new satellite- imaging system, ECONOMIC GEOLOGY 98 (5), pp. 1019-1027.
- Sabins, F. F; 1999, Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews 14: 157-183, 1999. PII: S0169- 1368 99 00007-4.
- Tommaso, I.D., and Rubinstein, N., 2007, Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, Ore Geology Reviews 32, pp. 275- 290, DOI: 10.1016/j.oregeorev.2006.05.004.
- Tangestani, M.H., Moore, F., 2002, Porphyry copper alteration mapping in the Meiduk area, Iran, International Journal of Remote Sensing 23, pp. 4815-4825, DOI: 10.1080/01431160110115564.



شکل ۱- نقشه آلتراسیون منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری خوپیک

Khopik ASTER Mineral Mapping



شکل ۲- پردازش تصویر سنجنده آستر به روش نقشه برداری زاویه طیفی در منطقه خوپیک برای کانیهای کوارتز، سرسیت، کانولینیت، مونت موریلونیت و پیروفیلیت