



شناسایی دگرسانی آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته با استفاده باندهای SWIR

سنجنده استر در منطقه هلاک آباد، خراسان رضوی

ملیحه قورچی روکی*، محمدحسن کریمپور و خسرو ابراهیمی
گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

کاربرد سنجش از دور در سالهای اخیر، در اکتشاف ذخایر معدنی گسترش یافته است. مهم ترین قابلیت ماهواره‌ها در اکتشافات معدنی، شناسایی مناطق دگرسانی است. از آنجا که دگرسانی ارتباط مستقیمی با ذخایر معدنی و کانی‌زایی دارد، شناسایی آنها به کمک تصاویر ماهواره‌ای باعث تسریع امر اکتشاف و پایین آمدن هزینه‌های آن به میزان زیاد خواهد شد. در منطقه هلاک‌آباد زون دگرسانی گسترده و متنوع وجود دارد. زونهای دگرسانی موجود منطقه عبارتند از زون پروپلیتیک، آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی. اعمال روشهای مختلف پردازش داده‌های ماهواره‌ای علاوه بر تفکیک بهتر واحدهای زمین‌شناسی، به بارز سازی دگرسانی‌های مختلف در منطقه منجر گردید. بیشتر کانی‌های Al-OH دار نظیر کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت و آلونیت که در آلتراسیون‌های فیلیک، آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته یافت می‌شوند، با پردازش تصاویر استر شناسایی شدند. دگرسانی گرمابی در منطقه هلاک آباد مشابه سیستم‌های طلا-مس سولفیداسیون بالا است. آلونیت کانی شاخص زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته است.

Identification of argillic and advanced argillic alteration with SWIR

ASTER bands in Halakabad, Khorasan Razavi

Ghoorchi, M. Karimpour, M.H. Ebrahimi, Kh.

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

Abstract

In recent years, application of remote sensing in mineral exploration had been developed and becoming an important tool. Most important capability of satellites in mining exploration is recognizing altered area. Because of close spatial relationship between mineral deposits and alteration, mineral mapping based of satellite data accelerate the exploration and reduce the cost. At Halakabad, the alteration zones are very broad and they are varied. Alteration zones are propylitic, argillic, advanced argillic and silicification. Using different methods highlighted altered area. Most Al-OH minerals like kaolinite, illite, pyrophyllite and alunite which are associated within argillic and advanced argillic zone were recognized by processing aster SWIR bands. Hydrothermal alteration zones in Halakabad are similar to Cu-Au high sulphidation. Alunite is an important mineral in advances argillic zone.

مقدمه

زون‌های دگرسانی به دلیل همراه بودن با ذخایر فلزی و خصوصیات مناسب جهت انجام تحقیقات سنجش از دور، مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند. سنجنده‌های مهم در دور سنجی شامل لندست، اسپات و استر هستند. این سنجنده‌ها دارای قدرت تفکیک مکانی، رادیومتری و طیفی متفاوتی بوده که به کاربران قدرت انتخاب و بهره‌وری متناسب با نوع پدیده مورد مطالعه را می‌دهند. سنجنده استر، محصول مشترک آمریکا و ژاپن، بر روی ماهواره ترا قرار گرفته و در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده است. این سنجنده از سال ۲۰۰۰ برای اهداف زمین‌شناسی مورد استفاده



قرار گرفته است و روزانه حدود ۵۵۵ سین اطلاعات برداشت می‌کند. (Ninomiya, 2002, 2004; Rowan et al., 2003; Rowan et al., 2005). سنجنده آستر، تصویر بردار چند طیفی ۱۴ بانندی است. این سنجنده انعکاس و تشعشعات سطح زمین را در سه باند بین طول موجهای ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر با قدرت تفکیک ۱۵ متر در محدوده طیفی مرئی-فروسرخ نزدیک (VNIR)، شش باند بین طول موجهای ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر با قدرت تفکیک ۳۰ متر در محدوده طیفی فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) و پنج باند بین طول موجهای ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر با قدرت تفکیک ۹۰ متر در محدوده طیفی فرورسرخ گرمایی (TIR) اندازه‌گیری می‌کند (Aster user guid). لذا نسبت به سنجنده‌های چند طیفی قدیمی‌تر، از توان تفکیک طیفی بالاتری برخوردار بوده و دارای توانایی بهتری برای شناسایی دگرسانی‌های گرمایی و تمایز واحدهای سنگی است.

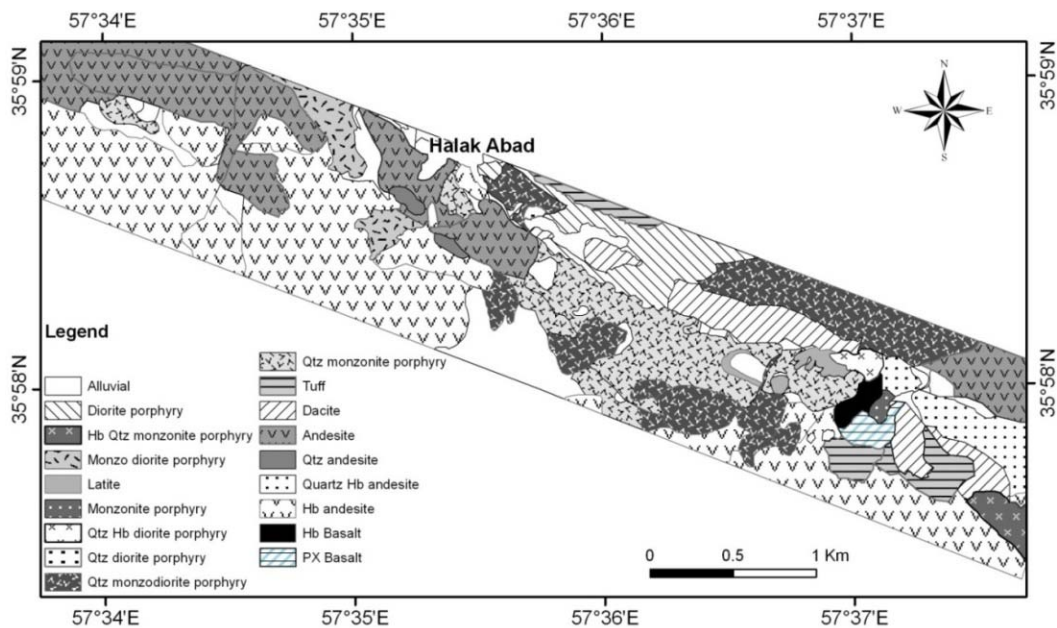
منطقه هلاک آباد، در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب سبزوار (استان خراسان رضوی)، در محدوده شمال غرب ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ششم در موقعیت $57^{\circ}30'58''$ تا $57^{\circ}38'30''$ طول جغرافیایی و $35^{\circ}57'3''$ تا $35^{\circ}59'16''$ عرض جغرافیایی قرار گرفته است. زونهای گسترده دگرسانی در این منطقه رخنمون دارد. گسترش زیاد زون آرژلیک منجر به تشکیل ذخایر غنی از کائولن شده است. هدف اصلی این مقاله بررسی دگرسانی در منطقه هلاک‌آباد و و سنجش توان تصاویر پردازش شده در شناسایی کانیهای دگرسانی و زون‌بندی دگرسانی منطقه است. در این تحقیق کاربرد باندهای نور مرئی و امواج کوتاه سنجنده آستر در شناسایی کانی‌های دگرسانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور روش نقشه بردار زاویه طیفی جهت شناسایی کانی‌های کائولینیت، آلونیت، پیروفیلیت، ایلیت، کلریت، اپیدوت و مسکویت استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه یک برش 1716×784 از سین آستر است که در سال ۲۰۰۲ تصویربرداری شده است. قبل از پردازش، تصحیحات رادیومتریک و هندسی بر روی داده‌های بدون ابر، با استفاده از نرم افزار ENVI انجام گردیده است.

زمین‌شناسی عمومی

محدوده مورد مطالعه جزئی از کمربند ولکانوپلوتونیک جنوب سبزوار است و از نظر ساختاری جزء پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود (نبوی، ۱۳۵۵: آقناباتی، ۱۳۷۶). قدیمی‌ترین مجموعه رخنمون یافته شامل آندزیت و داسیت (کرتاسه) است که در بخشهای جنوبی قابل مشاهده است. عمده فعالیت‌های ماگمایی در منطقه مورد مطالعه در ائوسن رخ داده است. گستره ترکیبی واحدهای نفوذی در قسمت شرق محدوده رخنمون بیشتری دارد و شامل توده‌های ساب ولکانیک مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری، کوارتز مونزودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری و هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری است (شکل ۱).

واحد دیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری گسترش محدودی دارد. با توجه به اینکه واحدهای دیوریتی نسبت به سایر سنگ‌های منطقه دگرسانی کمتری را نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد نسبت به واحدهای دیگر منطقه جوان‌تر باشند. طیف ترکیبی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شامل بازالت، آندزیت، هورنبلند آندزیت، کوارتز آندزیت، هورنبلند داسیت و هورنبلند کوارتزلاتیت است (شکل ۱). بررسی کانی‌شناسی و پتروگرافی نشان می‌دهد که غالب سنگ‌های منطقه بافت پورفیری و گلومروپورفیری دارند. فنوکریست‌ها بطور عمده شامل پلاژیوکلاز و کوارتز هستند. کانی‌های مهم مافیک آمفیبول و پیروکسن است که بطور عمده به اپیدوت، کلریت و کربنات تبدیل شده‌اند.

فراوان‌ترین واحد ولکانیک، آندزیت است که بطور مشخص دگرسانی پروپیلیتیک نشان می‌دهد. مجموعه واحدهای آندزیتی بر اساس فراوانی کانی یا کانی‌های خاص به واحدهای کوارتز آندزیت، هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت تقسیم شده‌اند. رخنمون واحدهای داسیتی، به صورت یک نوار کشیده در شمال منطقه و واحدهای بازالتی بیشتر در جنوب است. حفرات فراوان در سنگ‌های آتشفشانی توسط کانیهای ثانویه مانند کربنات، کلریت و زئولیت پر شده است. روند توده‌های ساب‌ولکانیک با جهت کلی زون دگرسانی انطباق دارد. مرز اکثر این واحدها با واحدهای همجوار از نوع گسلی است.



شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه هلاک آباد.

دگرسانی

منطقه مورد بررسی بر اثر هجوم محلول‌های هیدروترمال دگرسانی شدیدی نشان می‌دهد. زون دگرسان شده گسترش زیادی با روند تقریبی شمال غرب - جنوب شرق داشته و سیمای مشخصی در منطقه ایجاد کرده است. این روند بطرف شمال غرب ادامه یافته است. پدیده کائولینیت زایی باعث تشکیل معادن کائولینیت (هلاک‌آباد، موسوی، دربند و بهارستان) شده است. در مناطق مختلف، انواع متنوعی از محصولات دگرسانی رخنمون دارند. مطالعات انجام شده دگرسانی‌های آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، پروپلیتیک، سیلیسی و کربناته را مشخص کرده که در مواردی زون‌های مذکور تداخل نشان می‌دهند.

زون آرژیلیک به رنگ سفید تا کرم شامل ترکیبی از کانیهای رسی است که مهمترین آن کائولینیت است. زون آرژیلیک پیشرفته (دگرسانی اسید- سولفات) به رنگهای سفید، کرمی و صورتی از مهمترین بخش‌های دگرسانی منطقه است که از مجموعه آلونیت، پیروفیلیت و گاهی ژاروسیت تشکیل شده است. در زون آرژیلیک پیشرفته بیشتر فلدسپاتها بطور کامل تبدیل به کانیهای رسی (کائولینیت) شده‌اند. کانی مهم سولفات آبدار در این منطقه آلونیت می‌باشد. بطور کلی محلول‌های ماگمایی و گرمابی غنی از سولفات در شرایط اکسیدان و در دمای کمتر از 300°C موجب هیدرولیز سنگهای غنی از Al و K شده و در نتیجه آلونیت تشکیل می‌گردد. آلونیت با فرمول کلی $\text{AB}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ ، شرایط بسیار اسیدی و اکتیویته بالای سولفات را نشان می‌دهد.

در بخش‌های شمالی، دگرسانی سیلیسی همراه کانی‌های رسی وجود دارد ولی بطور کلی زون سیلیسی گسترش محدودی دارد. گاهی سیلیسی شدن در زمینه سنگ دیده می‌شود. زون دگرسانی سیلیسی حاکی از آخرین فازهای گرمابی حاصل از توده‌های نفوذی مجاور است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی سیلیسی شدن به صورت‌های مختلفی در سنگ‌های منطقه دیده می‌شود. بطور عمده سیلیسی شدن به صورت انتشاری دیده شده است که به صورت بسیار دانه ریز فضای بین کانیها را پر کرده است. گاهی همراه با سیلیسی شدن، آلونیتی شدن نیز بصورت دانه ریز در زمینه قابل مشاهده است. زون دگرسانی سیلیسی به صورت رگه‌ها و رگچه‌های فراوان در متن سنگ‌های میزبان نیز دیده می‌شود. در طول دگرسانی با تبدیل کانی‌هایی مثل پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها به کانی‌های رسی، مقادیر زیادی

سیلیس در متن سنگ آزاد شده است. این زون در بیشتر قسمت‌ها همراه اکسیدهای آهن می‌باشد. بافت‌های شاخص در این دگرسانی شامل پرشدگی فضاها، باز، کوکاد و موزائیکی است.

دگرسانی پروپلیتیک در بخش جنوبی دگرسانی آرژیلیک بیشتر توسعه یافته است. این زون بصورت پراکنده شامل مجموعه کانیهای کلریت، اپیدوت، پلاژیوکلاز و کلسیت می‌باشد. بیشترین گسترش این زون در بخش جنوبی منطقه دیده می‌شود. مرز این زون دگرسانی در بعضی قسمت‌ها تدریجی و نامشخص است. پلاژیوکلازها به کلریت و بطور بخشی به کلسیت و اپیدوت تبدیل شده‌اند. آمفیبول نیز به طور کامل به کلریت، سریسیت، اپیدوت دگرسان شده‌اند. به نظر می‌رسد که دگرسانی پروپلیتیک که در گستره وسیعی سنگها را تحت تاثیر قرار داده است، مربوط به کانی‌سازی پورفیری مرتبط با یک استوک در عمق در ارتباط باشد.

زون سرسیت رخنمون محدودی دارد. کانی سرسیت از تبدیل فلدسپارها ایجاد شده است. هماتیت، گوتیت، لیمونیت، ژاروسیت و ژپس در اثر شسته شدن کانیهای سولفیدی ایجاد شده‌اند. مدل دگرسانی این منطقه شباهت‌هایی با سیستم‌های مس-طلا پورفیری سولفیداسیون بالا دارد. ژئولیتی شدن از دیگر فرایندهای دگرسانی در منطقه است. کلسیت در فضای بین دانه‌های کوارتز، اطراف مراکز کلریتی شده و به صورت رگچه‌ای وجود دارد. کربناتی شدن بعد از تمام فازهای دگرسانی و در آخرین مرحله به وقوع پیوسته است.

کانی‌سازی

توده‌های نفوذی در منطقه به عنوان منشأ سیالات گرمایی، سبب دگرسانی شده است، هم‌زمان با آن، کانی‌سازی فلزی اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، کالکوزین، اسفالریت به وجود آمده است. پیریت فراوان‌ترین کانی فلزی موجود در منطقه است و فراوانی آن گاهی به حدود ۲۰ درصد در متن سنگ می‌رسد. در اکثر موارد به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود. کانی‌سازی از نوع رگه‌ای نیز دیده می‌شود. ضخامت رگه‌ها از یک میلی‌متر تا بیش از ده سانتی‌متر متغیر است. رگه‌ها حاوی پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت هستند. کوارتز همراه این مجموعه کانی دیده می‌شود. کانی‌های ثانویه لیمونیت و ژاروسیت در اثر تبدیل کانی‌های سولفیدی به اکسیدها ایجاد شده‌اند.

نقشه بردار زاویه طیفی

کیفیت و نوع اطلاعات تولید شده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای تحت تاثیر عواملی همچون ۱- روش پردازش ۲- داشتن اطلاعات تخصصی در خصوص ژئوشیمی محلول‌های ماگمایی و گرمایی در خصوص علت و نحوه تشکیل زونهای دگرسانی ۳- دانش زون‌بندی دگرسانی در کانسارهای مختلف ۴- دانش ژئوشیمی کمپلکس‌ها و نحوه زون‌بندی‌های دگرسانی و ژئوشیمی عناصر در کانسارهای مختلف ماگمایی است (کریم‌پور، ۱۳۸۶). در این پژوهش با توجه به اطلاعات موجود، از روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (Spectral Angel Mapper) جهت شناسایی گستره کانیهای دگرسانی استفاده گردید. این روش شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل را بوسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد. هر چه این زاویه کوچکتر باشد (فواصل بین طول موج‌های دو باند مجاور کمتر شود)، تفاوت‌هایی که در شکل طیفی کانی با کانی دیگر وجود دارد، مشخص‌تر شده و مقایسه بین طیف ورودی به عنوان طیف مرجع و طیف پیکسل‌های تصویر با دقت بالاتر انجام می‌گیرد.

کانی‌های هیدروکسیل‌دار به دلیل اینکه در زون‌های آلتزه فراوان هستند دارای اهمیت می‌باشند. از سویی شناخت زون‌بندی دگرسانی در کانسارهای مختلف، می‌تواند در ارزیابی استعداد اقتصادی یک ناحیه معدنی مهم باشد. کائولینیت و پیروفیلیت به خاطر اینکه در شناسایی زون‌های آلتراسیونی آرژیلیک پیشرفته نقش دارند و گروه کائولینیت به خاطر اهمیت‌شان در شناسایی زون آرژیلیک در اکتشاف دارای اهمیت هستند. ایلیت-مسکویت-اسمکتیت کانی‌های معمول در دگرسانی فیلیک و بعضاً آرژیلیک هستند (جدول ۱).

یکی از ویژگی‌های پردازش به روش نقشه بردار زاویه طیفی مشخص کردن نوع کانی غالب در دگرسانی آرژیلیکی است. تحقیقات انجام شده نشان داده است تفاوت‌هایی در بازتاب‌های طیفی رسهای مختلف وجود دارد که



می توان برای شناسایی آنها بهره جست. ناحیه طول موج کوتاه برای شناسایی رس‌ها بویژه زون‌های آلتیره اسید- سولفات (آلونیت‌دار) مهم است. لذا در این تحقیق طیف کانی‌های کائولینیت، آلونیت، پیروفیلیت، ایلیت، اسمکتیت و مسکویت مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: کانیهای رسی جهت شناسایی دگرسانیهای آرژلیک پیشرفته، آرژلیک و فلیک در سیستمهای پورفیری و ذخایر سولفیداسیون بالا و پایین. برگرفته از (Thompson et al., 1999; Spatz, 1995; Guilbert and Park, 1986)

کاربرد اکتشافی	نوع دگرسانی	محدوده جذب (میکرومتر)	کانی مورد شناسایی
محیطهای سولفیداسیون بالا	آرژلیک پیشرفته	~.95 ~1.8 (OH) ~1.4 doublet ~2.2	Alunite (Na,K) AlO ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆
محیطهای سولفیداسیون بالا و پایین، زون دار (به سمت داخل به دگرسانی فلیک)، ممکن است همپوشانی ضعیفی با دگرسانی پتاسیک داشته باشد	آرژلیک	~2.2 (Al OH)	Illite-Smectite (KH ₂ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ H ₂ O [(OH) ₂ , X ₀₋₃ Y ₂ , Z ₄ O ₁₀ (OH) ₂ n H ₂ O X X=Ca/2, Li, Na, Y= Al, Cr ³⁺ , Cu ²⁺ , Li, Mg, Ni, Zn; Z=Al, Si Fe ²⁺ , Fe ³⁺ ,
اطراف زون پتاسیک و عمدتاً با کانه سولفیدی همراه است	فلیک	~1.4 (OH) ~1.9 (H ₂ O)	Illite (high-T) - Sericite XY ₂₋₃ Z ₄ O ₁₀ (OH, F) or (XY ₃ Si ₄ O ₁₂) X=Ba, Ca, Cs, H ₂ O, K, Na, (NH ₄); Y= Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Li, Mg, Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , A, Cr, V ³⁺ , Zn; Z=Al, Be, Fe ²⁺ , Si

بر اساس منحنی‌های استاندارد USGS کانی‌های مونت موریونیت، کائولینیت، موسکویت و ایلیت (شاخص زونهای دگرسانی فلیک و آرژلیک) در باند ۴ SWIR دارای حداکثر انعکاس و در باند ۶ به دلیل جذب به دلیل وجود پیوند Al-OH دارای جذب بالا و کانیهای کلریت و اپیدوت (شاخص زون پروپلیتیک) در باندهای ۵ و ۶ انعکاس بالا و در باند ۸ به دلیل پیوند Mg-OH جذب بالا نشان می‌دهند. توجه به این نکته ضروری است که طیف کانیهای کائولینیت، مونت موریونیت و موسکویت و همچنین کانیهای آلونیت و پیروفیلیت مشابهت دارند.

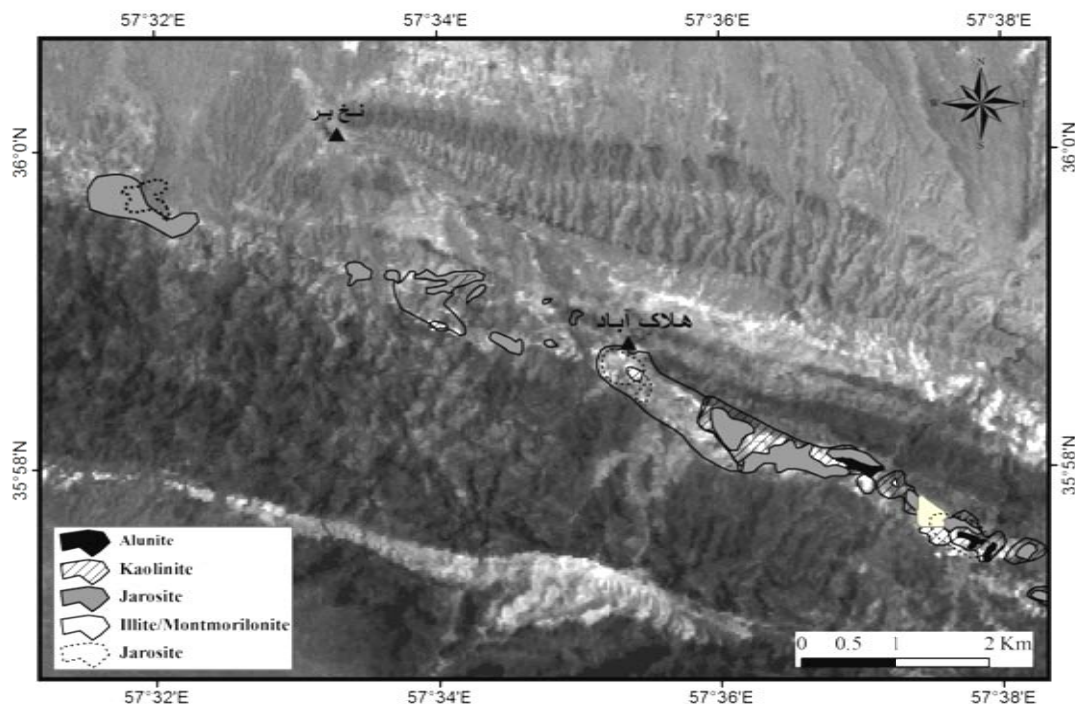
پردازش داده‌ها

به منظور بررسی توانایی پردازش به روش فوق، طیف کانی‌های آلونیت، کائولینیت، پیروفیلیت، مونت موریونیت، اسمکتیت، کلریت، اپیدوت و مسکویت جهت بررسی دگرسانی‌های آرژلیک پیشرفته، آرژلیک، پروپلیتیک و فلیک از کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) استخراج و بر اساس ۹ باند استر بازنویسی شده و به عنوان طیف‌های مرجع در پردازش نقشه بردار زاویه طیفی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج پردازش‌های انجام شده در شکل ۲ ارائه شده است. مناطقی که در شکل با رنگ تیره دیده می‌شوند، مناطق بارز شده با استفاده از طیف کانی آلونیت می‌باشند. مناطق هاشور زده، کانی کائولینیت و مناطق روشن، کانی ایلیت و مونت موریونیت است.

بررسی نتایج تصاویر پردازشی بدست آمده گستره وسیع حضور کانی کائولینیت را در مقایسه با کانی آلونیت نشان می‌دهد. منطقه سرسیت در بخش‌هایی با آلونیت همپوشانی دارند (شکل ۲). در بخش شرقی منطقه احتمال زون سرسیت افزایش می‌دهد. مناطق مشخص شده در این تصویر با خط چین معرف ژاروسیت است که در اثر فرایندهای اکسیداسیون تشکیل شده‌اند.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد زون‌های دگرسانی منطقه به همراه توده‌های نفوذی نیمه عمیق و خروجی شکل گرفته‌اند. حضور دگرسانی‌های فراگیر سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته همراه با آلونیت، آرژیلیک و پروپلیتیک حاکی از آن است که بخشی از رخداد کانه‌زایی منطقه، اپی‌ترمالی و از نوع سولفیداسیون بالا در این است. آنالیز طیفی محدوده امواج کوتاه برای تفکیک سنگ‌شناسی و دگرسانی منطقه هلاک‌آباد کاربرد مناسبی داشته است. شواهد سنجش از دور نیز زون‌های دگرسانی‌های آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک و پروپلیتیک را تایید می‌کند که می‌تواند به عنوان نشانه‌ای برای پی‌جویی کانسارهای نوع مس - طلا مفید باشد. نتایج پردازش داده‌های سنجنده استر با داده‌های زمینی تطابق نزدیکی دارد و در منطقه هلاک‌آباد که زون دگرسانی وسیعی دارد، نتایج بدست آمده در کاهش هزینه‌های اکتشاف و زمان نقش مهمی دارد.



شکل ۲. قسمتی از نتایج پردازش داده‌های ماهواره استر بر روی باند ۳ نمایش داده شده است.

منابع

- آقائباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۶۴۰ صفحه.
 کریم پور، محمد حسن، ۱۳۸۶، ماهواره استر و اکتشاف ذخایر طلا و مس پورفیری، شناسایی نوع و برآورد عمق، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور.
 نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.

ASTER user's guid(2001),part 1 ,ver 3.1

Guilbert, J. M. and Park, C. F. J. ,1986, The Geology of Ore Deposits, W.H. Freeman, New York, 985p.

Ninomiya, N., 2004. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. Proc. SPIE. Int. Soc. Optical Eng., 5234: 180-190.

Ninomiya, Y., 2002. Mapping quartz, carbonate minerals and mafic- ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. Int. Soc. Opt. Eng., 4710: 191-202.



- Rowan, C. Lawrence, Mars, C. John, 2003, Lithologic mapping in the mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data, Remote Sensing of Environment 84: 350–366.
- Rowan.L, Mars.J, Simpson.C 2005, lithological mapping of the Mordor , NT, Australia ultramafic complex by using the Advance Spaceborn Thermal Emissin and Reflection Radiometer(ASTER), Remote sensing of environment, 99: 105-126.
- Rowan.L.C, Schmidt .R, Mars.J. 2006 , Distribution of hydrothermal altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area base on spectral analysis of ASTER data, Remote sensing of Environment , 104, Issue 1,:74-87
- Spatz, D. M. ,1995, Remote sensing in mineral exploration, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, INC, 25p.
- Thompson, A. J. B., Phoebe L. H., and Audrey, J. R. ,1999, Alteration mapping in exploration: application of short-wave infrared (SWIR) spectroscopy, Society of Economic Geologists' Newsletter, 39:1-27.