

بارسازی زونهای آلتراسیون در ارتفاعات شمال غربی نیشابور، با استفاده از روش نقشه برداری زاویه طیفی بر روی تصاویر سنجنده آستر

ملکزاده شفارودی، آزاده* و کریمپور، محمد حسن

گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

با پردازش داده‌های ماهواره آستر به منظور تهیه نقشه کانیهای معرف زون‌های آلتراسیون و کانی‌سازی می‌توان در کمترین زمان و با صرف کمترین هزینه، محل‌های مناسب برای تشکیل کانی‌سازیه‌ها را مشخص نمود. در این مطالعه از روش نقشه برداری زاویه طیفی که قادر است به تفکیک، کانیهای شاخص زونهای آلتراسیون، گستردگی و موقعیت آنها را شناسایی کند، استفاده شده است. در پردازش به روش SAM سه محدوده مهم آتره شده در منطقه مورد مطالعه و در اطراف معدن فیروزه و دورتر از آن تشخیص داده شده که عبارتند از: ۱) آلتراسیونی با وسعت ۳ کیلومترمربع در واحد آندزیتی در شمال شرقی معدن با آلتراسیون‌های پروپلیتیک و هماتیتی شدید، ۲) آلتراسیونی با وسعت ۴ کیلومترمربع در غرب محدوده و غرب معدن با آلتراسیون‌های آرژیلیک، آلونیتی و کربناتی و ۳) آلتراسیونی به وسعت حدود ۲ کیلومترمربع در شمال شرقی محدوده در جنوب کانی‌سازیه‌های مگنتیت در واحد آندزیتی که شامل زونهای آرژیلیک، آلونیتی و کربناتی می‌باشد. لازم به ذکر است که آلتراسیون سیلیسی نیز به طور پراکنده در اطراف معدن فیروزه بارز شده است.

با توجه به حضور آلتراسیون‌های متنوع و گسترده سیلیسی، آلونیتی، آرژیلیک، پروپلیتیک و کربناتی در محدوده معدن فیروزه و اطراف آن و نیز وجود کانی‌سازیه‌های زون اکسیدان مانند فیروزه، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و ملاکیت و مشاهده آنومالیهای عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، تنگستن، کبالت و نیکل، احتمال وجود کانی‌سازی مثل مس پورفیری وجود دارد. اثبات این مسئله نیاز به بررسی تفصیلی صحرائی دارد.

همچنین در این مطالعه آلتراسیون‌های اطراف معادن آهن شترسنگ و کلاه ابوذر به خوبی بارز شده و اهمیت روش SAM را در اکتشاف کانسارها نشان می‌دهد.

Enhancing of alteration zones in northwestern Nysabour by using Spectral Angle Mapper method in ASTER image processing

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

Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

ASTER Satellite data processing for mineral mapping, alteration and mineralization, is fast and low cost method for detecting areas which has potential for mineral exploration. In the study, spectral angle mapper method has been used which able to separate index minerals of alteration zones, location and extending of them. In processing by SAM method, three altered area can be recognized in study area, surrounding turquoise mine and away that are: 1) altered area, covering 3 km², in andesitic unit of northeaster mine with strong propylitic and hematitic



alterations, 2) altered area, covering 4 km², in western mine and study area with argillic, alunitic and carbonate alterations and 3) altered area, covering approximately 2 km², in andesitic unit of northeastern study area and south of magnetite mineralization associated with argillic, alunitic and carbonate alterations. In addition, silicified alteration has been enhanced surrounding of turquoise mine as sparse.

Based on development of alteration types including silicified, argillic, alunitic, propylitic and carbonate zones in turquoise mine and surrounding of it, oxidized zone minerals consist of turquoise, hematite, goethite, limonite and malachite and anomaly of Cu, Mo, Pb, Zn, W, Co and Ni, porphyry copper type deposit can be occurred in the area. Confirmation of the case need to detailed field study.

Also in the study, alteration zones of Shotorsang and Kolahabouzar iron mines have been clearly enhanced and show importance of SAM method in exploration of deposit.

مقدمه

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی امروزه مورد توجه خاصی قرار گرفته است. تفاوت طیفی سنگهای آلتزه شده با سنگهای غیرآلتزه مهمترین راه تشخیص نواحی آلتراسیون و به تبع آن اکتشاف کانسارها در پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. دقت استفاده از برخی از تکنیکها در پردازش داده‌های ماهواره‌ای مانند نقشه-برداری زاویه طیفی به حدی است که می‌تواند کانیایی 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 مورد مطالعه به وسعت حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع در حدود ۶۰ کیلومتری شمال غربی نیشابور، استان خراسان رضوی، در محدوده بین طولهای جغرافیایی ۹° ۱۶' ۵۸" تا ۳۳' ۲۷" ۵۸° و عرضهای جغرافیایی ۱۶° ۲۷' ۳۶" تا ۱۵° ۳۷' ۳۶" قرار گرفته است. انتخاب این محدوده به علت وجود معدن بزرگ فیروزه نیشابور و حضور انواع آلتراسیونها (با وسعت قابل توجه) در این منطقه و اطراف آن در کمربند آتشفشانی شمال غربی نیشابور بوده که توجه را به سمت تشکیل کانسارهای دیگری غیر از کانی‌سازی فیروزه جلب می‌کند. این محدوده در غرب صحنه اطلاعاتی سنجنده طیف‌سنج بازتابی و گرمایی فضاپرد پیشرفته (آستر) با شماره 1b-071101-364 که در تاریخ ۲۰۰۱/۱۶/۱۸ (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؛ ۳- محدوده امواج TIR شامل باندهای ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ با قدرت تفکیک ۹۰ متر. نقشه‌برداری زونهای آلتراسیون در مناطق اکتشافی- معدنی به کمک پردازش داده‌های آستر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (سابینز، ۱۹۹۹؛ کریم‌پور، ۱۳۸۵؛ تنگستانی و مور، ۲۰۰۲؛ روان و همکاران، ۲۰۰۶؛ و توماسو و روبینستین، ۲۰۰۷ و غیره).

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 شد. سپس با عنایت به نقشه زمین‌شناسی منطقه و بازدیدهای صحرائی از برخی از نقاط مورد مطالعه، تعبیر و تفسیر لازم انجام گرفت.



زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه در واقع قسمتی از پهنه البرز شرقی محسوب می‌شود که به علت شباهت بسیار زیاد رخساره‌های پالئوزوئیک این پهنه با ایران مرکزی، آن را زون بینالود نامگذاری کرده‌اند. این ناحیه در گوشه شمال شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان آباد (اکرمی و عسکری، ۱۳۷۹) و گوشه جنوب شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان (امینی و کان‌ناظر، ۱۳۷۹) واقع شده است. بیرون‌زدگیها در امتداد گسل‌های رانده و رورانده نشان می‌دهد که پی‌سنگ این منطقه شامل سازندهای کهر، سلطانیه، زایگون، میلا و شیرگشت به سن پالئوزوئیک است که عمدتاً در نواحی جنوبی محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۱). آهک‌های فسیل‌دار کرتاسه، ماسه‌سنگ‌های توفی-آهکی و مارن اوایل ائوسن نیز از دیگر رسوبات قدیمی منطقه هستند که در جنوب محدوده مشاهده می‌گردند (شکل ۱). فعالیتهای آتشفشانی منطقه در ائوسن به اوج خود رسیده که شامل آندزیت، تراکیت، تراکی آندزیت و بازالت آندزیتی با رنگ‌های عمدتاً خاکستری و قرمز مایل به قهوه‌ای است. کمر بند آتشفشانی بزرگ منطقه با روند شمال غربی- جنوب شرقی در مرکز محدوده مورد مطالعه گسترش دارد و معدن بزرگ فیروزه نیشابور در آن (شمال روستای معدن) واقع شده است (شکل ۱). آلتراسیون‌های متنوع و زون‌های گوسان در نقاط مختلف سنگ‌های آتشفشانی در اطراف معدن و حتی با فاصله از آن دیده می‌شود که مورد هدف این مقاله بوده است. لازم به ذکر است که بخشی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در گوشه شمال شرقی نقشه دیده می‌شود که میزبان کانی‌سازیهایی آهن در این منطقه است (شکل ۱).

ائوسن میانی و فوقانی عمدتاً رسوبی بوده و به صورت رگه‌های شیب‌دار بر روی سنگ‌های آذرین قرار گرفته است. این رسوبات شامل کنگلومرا و آهک‌های نومولیتی می‌باشد که بیشترین گسترش مربوط به کنگلومرای خاکستری در نیمه شمالی محدوده مورد مطالعه است (شکل ۱). تراکی آندزیت خاکستری تیره شرق محدوده سن الیگوسن دارد (شکل ۱). مارن‌های ژیبس‌دار و ژیبس به سن میوسن در گوشه جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود. دو معدن فعال ژیبس نیز در این منطقه قرار دارد (شکل ۱). واحد تراکی آندزیت و آندزیت داسیتی به سن پلیوسن- پلیوستوسن در گوشه شمال شرقی منطقه آخرین فعالیت آتشفشانی محدوده مورد مطالعه است (شکل ۱).

آلتراسیون و کانی‌سازی

بزرگترین معدنی که در محدوده مورد مطالعه قرار دارد، معدن فیروزه نیشابور است که قدمت آن به ۴۰۰۰ سال قبل می‌رسد. به علت توجه به کانی فیروزه به عنوان جواهر، تاکنون کلیه بهره‌برداریها معطوف به آن بوده و توجه دیگری به وجود آلتراسیون‌های متنوع این منطقه، حضور دیگر کانیهای فلزی و ناهنجاری عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، تنگستن، کبالت و نیکل نشده است. در صورتیکه شواهد نشان می‌دهد که احتمال کانی‌سازیهایی دیگری از جمله مس پورفیری در منطقه وجود دارد. آلتراسیون‌های مشاهده شده در منطقه معدن و اطراف آن در مطالعات صحرایی- آزمایشگاهی عبارتند از: سیلیسی، آلونیتی، آرژیلیک، کربناتی، پروپلیتیک، سرسیتیک و کمی زئولیتی.

کانی‌سازی منطقه در دو بخش هیپوزن و سوپرژن قابل تقسیم است. پیریت، کالکوپیریت و کمی بورنیت از کانیهای هیپوزن و فیروزه، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، مالاکیت و کلسیت از کانیهای سوپرژن غالب منطقه هستند. ضخامت زون اکسیدان منطقه بسیار زیاد است، بطوریکه فیروزه تا عمق ۸۰ متری در تونلها دیده شده است. اکسیداسیون بسیار شدیدی در سطح منطقه اتفاق افتاده و زون گوسان با درصد بالای اکسید آهن که باعث رنگ تیره سنگ‌های آتشفشانی شده است، در محدوده وسیعی مشاهده می‌شود.



علاوه بر معدن فیروزه، در گوشه شمال شرقی محدوده مورد مطالعه و در سنگهای آتشفشانی ائوسن دو کانی سازی مگنتیت اسکارنی شترسنگ و کلاه ابوذر وجود دارد که مگنتیت و پیریت از کانیهای اصلی هستند. اسکارنی شدن مهمترین آلتراسیون این محدوده است.

پردازش داده‌های سنجنده آستر

پردازش داده‌های سنجنده 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). روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) (کروز و همکاران، ۱۹۹۳) از جمله روشهای مرسوم طبقه‌بندی نظارت شده است که 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 کانیهای رسی، براساس تفاوت طیفی در تصویر بارزسازی می‌شوند.

در منطقه مورد مطالعه طیفهای موجود در پیکسلهای تصویر آستر با کتابخانه طیفی دیجیتالی سازمان زمین‌شناسی امریکا (USGS) موجود در نرم‌افزار ENVI 4.2 (کلارک و همکاران، ۱۹۹۳) مورد مقایسه قرار گرفت. در این روش دو کانی کلریت و اپیدوت به عنوان شاخص زون پروپلیتیک، کانیهای کائولینیت و مونت‌موریونیت به عنوان شاخص زون آرژیلیک، کانیهای آلونیت و ژپس به عنوان شاخص زون آلونیتی، کوارتز به عنوان شاخص زون سیلیسی و کلسیت به عنوان شاخص آلتراسیون کربناتی انتخاب شدند. همچنین از هماتیت، گوتیت و لیمونیت به عنوان کانیهای ثانویه نماینده زون گوسان استفاده شد.

نتایج حاصل از پردازش برای کانیهای زون پروپلیتیک نشان می‌دهد کلریت و اپیدوت گسترش نسبتاً کمی در منطقه دارند. بین کلریت و اپیدوت تطابق دیده می‌شود. بیشترین گسترش این کانیها در شمال شرقی محدوده معدن در واحد آندزیتی است. بخشی نیز در واحد تراکی آندزیت شمال شرقی محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود که منطبق با کانی‌سازیهای مگنتیت اسکارنی شترسنگ و کلاه ابوذر در آن قسمت است.

کانیهای کائولینیت، مونت‌موریونیت، کلسیت، ژپس و آلونیت (شکل ۲) با یکدیگر انطباق داشته و در دو بخش از منطقه بارز شدند که عبارتست از: (۱) در غرب محدوده مورد مطالعه و غرب معدن فیروزه، شمال روستای اردلان، منطقه‌ای به وسعت حدود ۴ کیلومترمربع در واحد بازالت آندزیتی و (۲) منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲ کیلومترمربع در شمال شرقی منطقه در واحد آندزیتی و جنوب کانی‌سازیهای آهن. لازم به ذکر است که مقداری از این کانیها بویژه کانیهای رسی در دشت و آبراهه‌ها دیده می‌شود که مربوط به آلتراسیون نیستند.

آلتراسیون سیلیسی در شرق و غرب محدوده معدن فیروزه و در واحد آندزیتی بارز شد (شکل ۲). اما وسعت این زون در مطالعات صحرائی بیش از آنچه که در پردازش آشکار شده، می‌باشد. این کانی در آبراهه‌های نیمه شمالی منطقه و در دشت نیز بارز شده که مربوط به رسوبات رودخانه‌ای است.

هماتیت، گوتیت و لیمونیت به طور وسیعی در ناحیه‌ای به وسعت نزدیک به ۳ کیلومترمربع در شمال شرقی معدن فیروزه در واحد آندزیتی دیده می‌شود که با موقعیت کانیهای کلریت و اپیدوت هماهنگی دارد (شکل ۲). چند موقعیت دیگر از هماتیت نیز در شرق و غرب معدن مشاهده می‌گردد. وسعت اکسیدهای آهن زون گوسان در مطالعات صحرائی نیز بیش از موقعیتهای آشکار شده در پردازش است.



نتیجه گیری

بکارگیری روش پردازش داده‌های ماهواره‌ای به روش SAM بویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک که فاقد پوشش گیاهی هستند، می‌تواند محل، گسترش و نوع آلتراسیون‌ها را در منطقه بدون بازدید صحرائی مشخص کند و همین امر باعث شده است تا این تکنولوژی به یک روش کم‌هزینه با صرف کمترین زمان ممکن برای اکتشاف تبدیل شود. در پردازش تصاویر سنجنده آستر به روش SAM سه محدوده مهم آتره شده در منطقه مورد مطالعه و در اطراف معدن فیروزه و دورتر از آن تشخیص داده شده که عبارتند از: (۱) آلتراسیونی با وسعت ۳ کیلومترمربع در واحد آندزیتی در شمال شرقی معدن با آلتراسیونهای پروپلیتیک و هماتیتی شدید، (۲) آلتراسیونی با وسعت ۴ کیلومترمربع در غرب محدوده و غرب معدن با آلتراسیونهای آرژیلیک، آلونیتی و کربناتی و (۳) آلتراسیونی به وسعت حدود ۲ کیلومترمربع در شمال شرقی محدوده در جنوب کانی‌سازیهایی مگنتیت در واحد آندزیتی که شامل زونهای آرژیلیک، آلونیتی و کربناتی می‌باشد. همچنین کانیهای کلریت و اپیدوت با کانی‌سازیهایی مگنتیت و اطراف آن دیده می‌شود که به علت وجود کلریت و اپیدوت اسکارن در منطقه است. لازم به ذکر است که آلتراسیون سیلیسی نیز به طور پراکنده در اطراف معدن فیروزه بارز شده است ولی مطالعات صحرائی نشان می‌دهد که این مهمترین آلتراسیون در بخش معدن، تونلها و اطراف آن است.

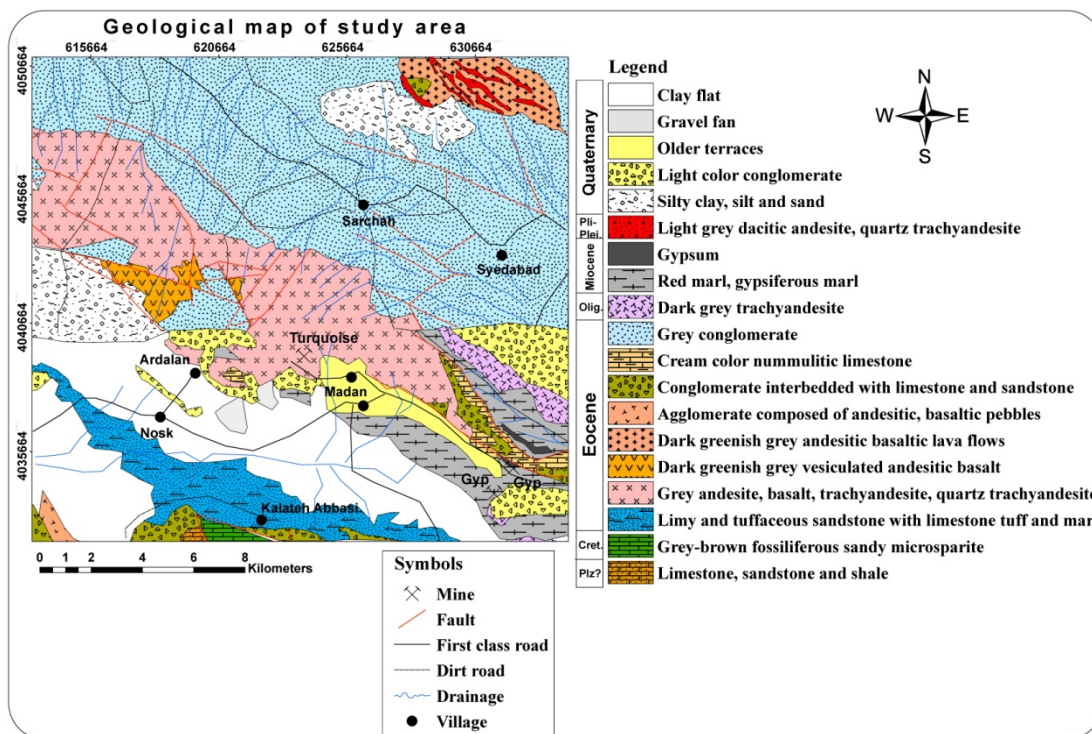
با توجه به حضور آلتراسیونهای متنوع و گسترده سیلیسی، آلونیتی، آرژیلیک، پروپلیتیک و کربناتی که هم در پردازش تصاویر ماهواره‌ای در کمر بند آندزیتی بارز شده و هم در بازدیدهای صحرائی دیده شده است و نیز وجود کانی‌سازیهایی زون اکسیدان مانند فیروزه، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و مالاکیت با درصد بالا و مشاهده آنومالیهای عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، تنگستن، کبالت و نیکل در منطقه، احتمال وجود کانی‌سازی مثل مس پورفیری وجود دارد. اثبات این مسئله نیاز به بررسی گسترده در ناحیه دارد. همچنین در این مطالعه آلتراسیونهای اطراف معادن آهن شترسنگ و کلاه ابوذر شامل کلریت، اپیدوت، سیلیسی، آرژیلیک و کربناتی در گوشه شمال شرقی ناحیه به خوبی بارز شده و اهمیت روش SAM را در اکتشاف کانسارها نشان می‌دهد.

منابع

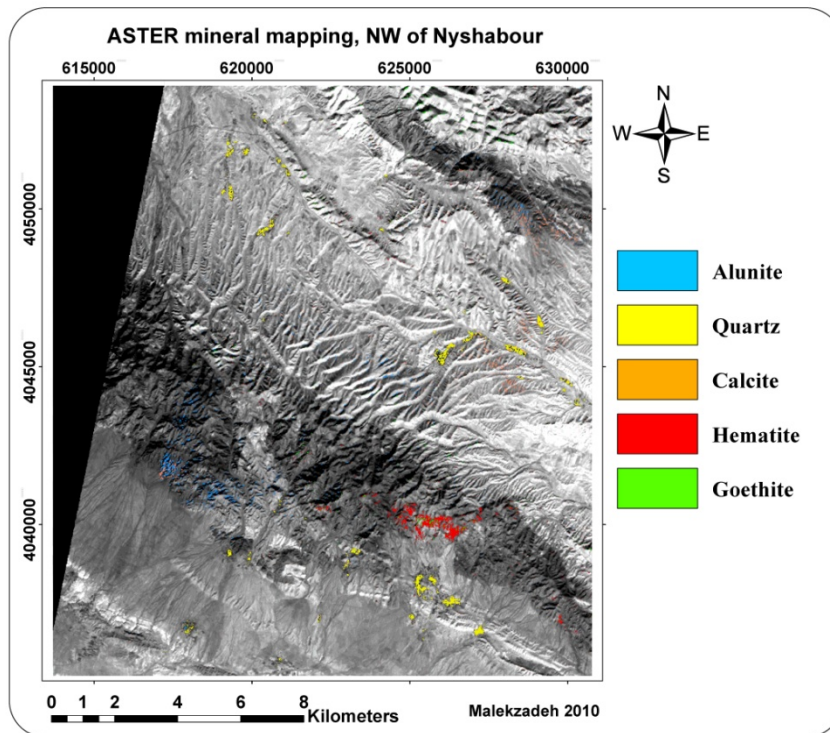
اکرمی، م.ع؛ عسکری، ع؛ ۱۳۷۹، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان آباد، سازمان زمین‌شناسی کشور.
امینی، ب؛ کان ناظر، ن.ه؛ ۱۳۷۹، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
کریم‌پور، م.ح؛ ۱۳۸۵، شناسایی اولین کانی‌سازیهایی مس پورفیری با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره ASTER در خراسان جنوبی، چهاردهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند، صص ۲۸۵-۲۹۲.

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.
- 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 زمین شناسی محدوده مورد مطالعه برگرفته از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان آباد (اکرمی و عسکری، ۱۳۷۹) و مشکان (امینی و کان ناظر، ۱۳۷۹).



شکل ۲- پردازش تصاویر سنجنده آستر به روش نقشه برداری زاویه طیفی در شمال غربی نیشابور برای کانیهای هماتیت، گوتیت، کوارتز، آلونیت و کلسیت