



به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور اکتشاف ذخایر مس پورفیری منطقه انارک (استان اصفهان)

معصومه خواجهوند (نویسنده مسئول)^۱، حسین حسینی^۲، نرگس حبیب‌خواه^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن - اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mkhajevand@aut.ac.ir

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، hhassani@aut.ac.ir

^۳ دکترای مهندسی معدن - اکتشاف، مدیر فنی شرکت نوآوران آرکا صنعت پارسین، n.habibkhah@aut.ac.ir

چکیده

محدوده اکتشافی مورد مطالعه بر گره ۱:۱۰۰۰۰۰ انارک است که در فاصله ۲۲۰ کیلومتری مرکز اصفهان و در بخش ایران مرکزی واقع شده است. امروزه از داده‌های دورسنجی در جهان استفاده‌های فراوانی می‌شود که نمونه‌ای از کاربردهای آن را می‌توان در اکتشاف ذخایر معدنی جستجو کرد. هدف از این تحقیق، تعیین محدوده‌های دگرسانی در ارتباط با کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه انارک با استفاده از روش‌های دورسنجی است. به این منظور تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد و پس از آن به منظور شناسایی بخش‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی مس از روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER از جمله ساخت ترکیبات کاذب رنگی، نسبت بانندی، آنالیز مولفه اصلی انتخابی (Crosta) و روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) استفاده شد و در پایان دگرسانی‌های محتمل‌تر منطقه آشکار شدند. در تصاویر بدست آمده زون‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک در منطقه آشکار شدند و به منظور معرفی روش بهینه، نتایج حاصل از روش‌های مختلف ذکر شده، با یکدیگر و همچنین نقشه زمین‌شناسی مقایسه شدند که روش مولفه اصلی انتخابی، دگرسانی‌ها را با قدرت بیشتری نسبت به روش نسبت بانندی مشخص کرده است. در نهایت روش SAM به عنوان یک روش موفق برای تفکیک دقیق‌تر مناطق دگرسانی تشخیص داده شد. همچنین انطباق نواحی دگرسانی بدست آمده از روش‌های مختلف آشکارسازی با یکدیگر و با اندیس‌های شناخته شده مس در منطقه انارک، نشان‌دهنده میزان دقت و کارایی پردازش‌ها بر روی داده‌های ماهواره‌ای ASTER می‌باشند.

واژه‌های کلیدی

استر، دورسنجی، کروستا، نسبت بانندی، نقشه‌بردار زاویه طیفی.



۱. مقدمه

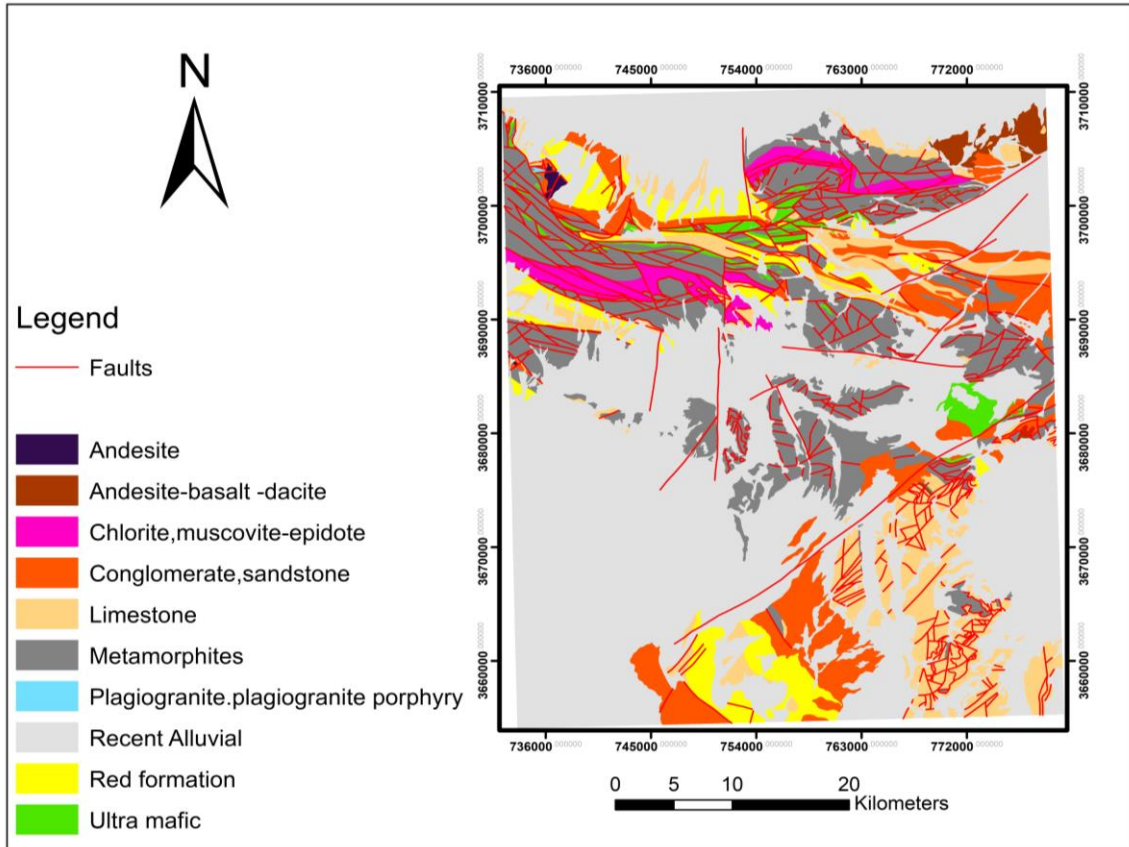
شناسایی و اکتشاف کانسارهای مناطق به روش سنتی از طریق عملیات زمینی و کارهای میدانی نیازمند زمان، هزینه و نیروی انسانی فراوانی است و گاه نیز با خطا همراه است. امروزه علم سنجش از دور با بهره‌گیری از رفتارهای طیفی منحصر به فرد کانی‌ها، به‌عنوان روشی جدید مورد استفاده‌ی علم اکتشاف معدن و زمین‌شناسی قرار گرفته است [۱]. در واقع دورسنجی نقش حیاتی در مراحل اولیه اکتشاف به ویژه در مرحله پی‌جویی و پتانسیل‌یابی ماده معدنی مورد نظر در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. ابزار سنجش از راه دور به طور گسترده و موفقیت آمیز برای اکتشاف طلا اپی ترمال و کانسارهای مس پورفیری استفاده می‌شود [۵].

اجرای سنجش از دور نیازمند عملکرد عضوهای مهمی چون سنجنده‌ها و ماهواره‌ها است. سنجنده ASTER، یکی از ۵ سنجنده مستقر بر روی ماهواره ترا است که در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند طیفی و سه سامانه مرئی-فروسرخ نزدیک (VNIR) با سه باند طیفی در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر، سامانه فروسرخ موج کوتاه (SWIR) با ۶ باند طیفی در محدوده‌های ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر و سامانه فروسرخ گرمایی (TIR) با ۵ باند طیفی در محدوده‌های ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر پوشش می‌دهد که به ترتیب دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵، ۳۰ و ۹۰ می‌باشد به‌طور کلی از این داده برای تفسیرهای مختلف زمین‌شناسی و محیطی و کاربردهای متنوع دیگر، استفاده می‌شود [۶]. از آنجایی که سنجنده ASTER بر مبنای نیازهای زمین‌شناسی طراحی شده است، بنابراین از تصاویر این سنجنده می‌توان به‌عنوان ابزاری نیرومند در اکتشاف ذخایر معدنی در مراحل ابتدایی به‌منظور کانی‌شناسی مقدماتی و تهیه نقشه‌های دگرسانی، با هزینه کم و دقت بالا استفاده نمود [۷].

گزارش‌های متعددی از کاربرد داده‌های این سنجنده جهت بارزسازی دگرسانی‌ها و جداسازی واحدهای سنگی ارائه شده است. اسدی و طباطبایی ۱۳۸۶ روش‌های پردازش نسبت بانندی و تصاویر رنگی کاذب با روش پردازش تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی (PCA) به‌منظور شناسایی محدوده‌های دگرسانی در مناطق مختلف بر روی تصاویر ASTER، به کار گرفته‌اند [۲]. گومز و همکاران ۲۰۰۵ عمل نقش برداری واحدهای سنگ شناختی نامیبیا را با استفاده از الگوریتم PCA بر روی داده‌ها ASTER انجام دادند [۸]. والفر و همکاران ۲۰۰۵ با استفاده از داده‌های سنجش از دور ASTER الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی را برای نقشه‌برداری زمین ریخت شناختی در سواحل منطقه آمازون به کار برده‌اند [۹]. رنجبر و همکاران ۲۰۰۴ داده‌های استر را در منطقه‌ی سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسانی هیدروترمال از طریق تکنیک کروستا استفاده کردند [۱۰]. هم‌چنین نوحه‌گر و همکاران ۱۳۹۲ با استفاده از تصاویر چند طیفی استر و تکنیک‌های پیکسل مینا و زیر پیکسل مینا به‌منظور شناسایی و استخراج کانی‌های دگرسانی در منطقه سیاه کوه استان کرمان به کار گرفته شده است [۳]. در این مطالعه تصاویر ماهواره ASTER به کار گرفته شده است و به‌منظور شناسایی، بارزسازی و تفکیک پهنه‌های دگرسانی منطقه انارک به کمک نرم‌افزار ENVI5.3، پس از تصحیحات لازم، روش‌های مختلف پردازش تصاویر از جمله ساخت ترکیبات کاذب رنگی، نسبت بانندی، آنالیز مؤلفه اصلی انتخابی (Crosta) و روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) استفاده شد همچنین به‌منظور تعیین روش بهینه پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نتایج روش‌های مذکور با یکدیگر مقایسه گردید.

۲. محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در شرق استان اصفهان، در موقعیت جغرافیایی 33° تا $33^{\circ}30'$ درجه عرض شمالی و $53^{\circ}30'$ تا 54° درجه طول شرقی، در زون ایران مرکزی قرار دارد. شهر انارک تا مرکز استان اصفهان ۲۲۰ کیلومتر فاصله دارد. این ورقه به وسیله یک الگوی ساختاری بلوک‌های چین خورده مشابه حرکات آلی و تکتونیک قبلی مشخص می‌شود. کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته منطقه انارک مربوط به پروتروزوئیک بالایی می‌باشد که شامل شیست، گنیس، مسکویت و گرانیت در جنوب خاوری انارک می‌باشد. نهشته‌های ائوسن میانی _ بالایی که شامل آندزیت، آندزیت بازالت، توف آندزیتی، داسیت، ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن، سنگ آهک‌های نومولیتی (سازند سهل) می‌باشد به صورت ناهمساز در شمال و باختر انارک قرار گرفته است. در واحد سنگی ائوسن پایین سنگ‌های نفوذی با ترکیب گرانیت پورفیری، دیوریت پورفیریت، دیوریت و کوارتز دیوریت و گرانودیوریت می‌باشد. واحد ائوسن پایین _ اولیگوسن شامل بازالت، دولریت و در واحد ائوسن بالایی ترکیبی از ریولیت، آندزیت و در واحد سنگی پالئوسن سنگ آهک‌های دارای فرامینفر و ماسه سنگ آهکی رخنمون دارد و در واحد ائوسن پایین ماسه‌سنگ، سیلتستون، کنگلومرا و مارن‌های سازند آخوره قرار می‌گیرد [۴].



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده شده محدوده انارک [۴]

۳. مواد و روش‌ها

۱.۳. پیش پردازش داده‌ها

قبل از آنالیز اصلی داده‌ها و استخراج اطلاعات، لازم است عملیات پیش پردازش صورت گیرد. در این مرحله دو فرآیند تصحیح هندسی و تصحیح خطای رادیومتریک بر روی تصاویر اعمال می‌شود. به منظور انجام تصحیح رادیومتریک، ابتدا از الگوریتم IAR و سپس Log Residual که از قابلیت و کارایی خوبی برخوردار است، استفاده شده است. پس از آن، جهت تفکیک بهتر مناطق دگرسانی پردازش‌هایی بر روی تصاویر تصحیح شده انجام شد که عبارتند از: ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، آنالیز مولفه اصلی و روش نقشه‌بردار زاویه طیفی که در ادامه مختصری در مورد عملکرد این روش‌ها توضیح داده می‌شود.

۲.۳. پردازش داده‌های ماهواره‌ای

ترکیب رنگی تصاویر: تحلیل‌های تجربی نشان داده‌اند که برای مشاهده مناطق دگرسان شده، تصویری با ترکیب بانندی ۸ و ۶ و ۴ مناسب‌ترین ترکیب رنگی برای شناسایی مناطق دگرسانی در اغلب کانسارها به ویژه مس پورفیری و طلائی اپی ترمال است [۵].

نسبت‌های بانندی: یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، روش نسبت بانندی است. بانندی که میزان بازتابش از هدف مورد بررسی در آن بیشتر است، در صورت کسر و باند دیگر که پدیده جذب برای همان هدف در آن بالاتر است، در مخرج کسر قرار می‌گیرند. با بکارگیری این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها در تصویر را از بین برد و اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرد و در نهایت از آن برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی و تشخیص سنگ‌ها استفاده کرد [۱۱].



آنالیز مولفه‌های اصلی: روش PCA، احتمالا قدیمی‌ترین و بهترین روش شناخته شده در تجزیه و تحلیل چند متغیره است. هدف اصلی استفاده از PCA، کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها، ضمن حفظ و نگهداری اطلاعات موجود در آن‌ها است. برای هر مؤلفه اصلی، تصویری متناظر از روی بردار ویژه نظیر محاسبه می‌شود [۱۲]. برای محاسبه مولفه‌های اصلی ابتدا ماتریس واریانس، کواریانس و یا ماتریس همبستگی بین باندها را تشکیل داده و مقادیر ویژه و بردارهای ویژه این ماتریس محاسبه می‌شوند. به دلیل اینکه کواریانس وابسته به واحد اندازه‌گیری داده‌ها است و اطلاعات باندهای مختلف هم واحد بازتابی یکسانی ندارند، بهتر است از ماتریس همبستگی استفاده شود [۱۳].

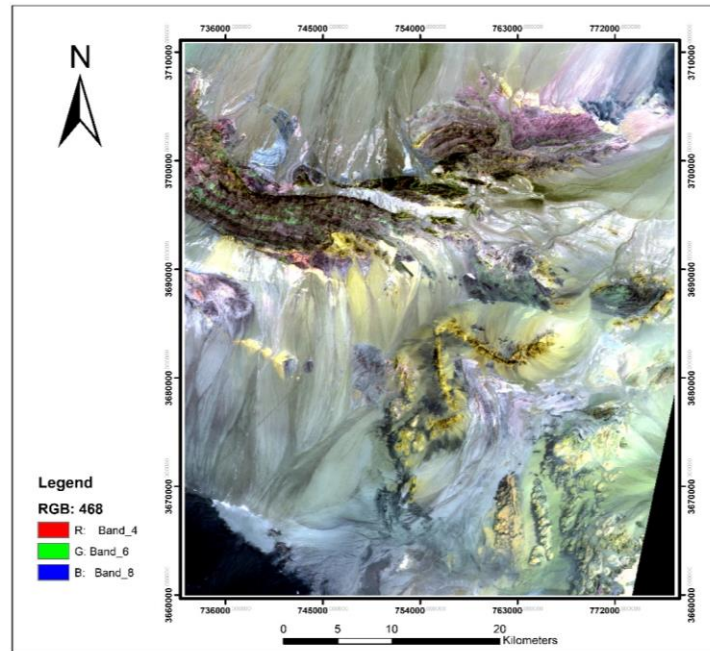
روش کروستا: کروستا و مر در سال ۱۹۸۹ تکنیکی را بر مبنای PCA برای به نقشه در آوردن سنگ‌ها و کانی‌های دارای اکسید آهن و هیدروکسیدهای مرتبط با توده‌های فلزی سولفیدی در کمر بند گرانیت - گرین استون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM به کار گرفتند [۱۴]. از این طریق می‌توان اطمینان حاصل کرد که پدیده‌هایی چون پوشش گیاهی در به نقشه در آوردن کانی‌های هدف ظاهر نخواهند شد و نیز اطلاعات طیفی پدیده هدف را به کمک یک مؤلفه اصلی خاص به نمایش در آورد. این روش امروزه به نام روش کروستا شهرت یافته است [۱۵]. شرط انتخاب PC های مناسب این است که در ماتریس‌های بردار ویژه، باندهای مربوط به جذب و انعکاس کانی‌های هدف به‌طور همزمان دارای بالاترین مقادیر بوده و در ضمن این مقادیر غیر هم علامت نیز باشند [۱۶].

نقشه بردار زاویه طیفی: یک روش طبقه بندی نظارت شده تصویر می‌باشد که تشابه بین طیف تصویر را با طیف مرجع اندازه‌گیری می‌کند. اندازه‌گیری تشابه طیفی بر اساس محاسبه زاویه بین دو طیف است که در فضای n بعدی به صورت برداری رفتار کرده که در آن n تعداد باندها می‌باشد. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه طیفی بین دو بردار محاسبه می‌شود. مقدار زاویه که عددی مابین صفر و یک است هر چه به صفر نزدیکتر باشد طیف هدف به طیف مرجع نزدیکتر و تشابه آن‌ها بیشتر است [۱۷]. در این پژوهش از نمودارهای طیفی برای مجموعه‌ای از کانی‌ها که متعلق به مجموعه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) است، و در نرم‌افزارهای پردازش تصویر مانند ENVI تحت عنوان کتابخانه طیفی (library Spectral) قابل دسترس می‌باشند، به‌عنوان داده مرجع استفاده شد.

۴. بحث و نتایج

۱.۴. تصاویر حاصل از روش ترکیب رنگی کاذب (RGB)

تصویر به دست آمده براساس ترکیب رنگی RGB=468 برای منطقه انارک در شکل ۲ نشان داده شده است. در این تصویر، نواحی با دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی فیلیک به رنگ صورتی و نواحی با دگرسانی آرژیلیک به رنگ زرد دیده می‌شوند. این مسئله به علت بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و مسکویت در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸ است.



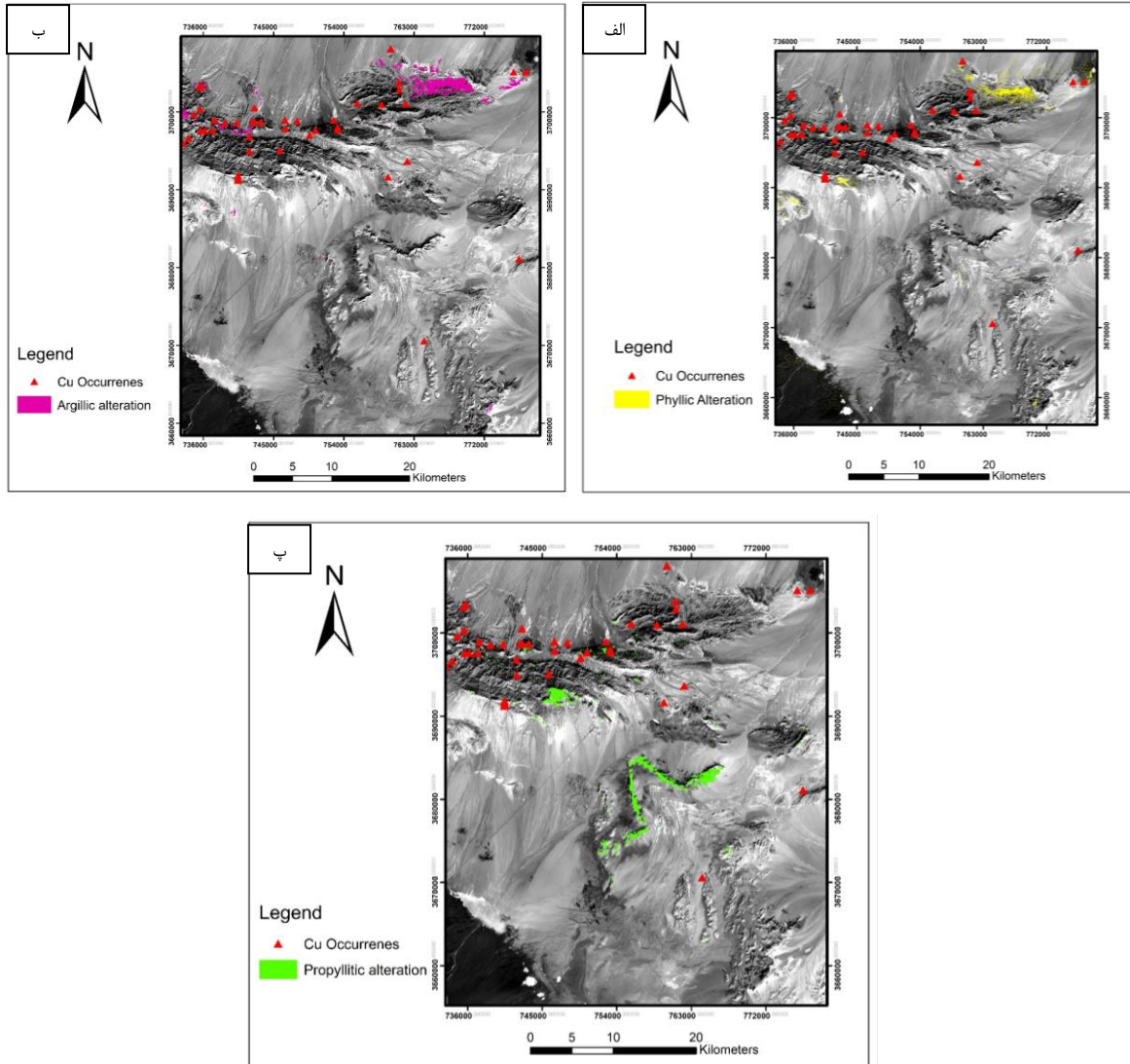
شکل ۲. تصویر ترکیب رنگی کاذب RGB= ۴۶۸ محدوده اکتشافی انارک

۲.۴. تصاویر حاصل از روش نسبت بانندی (Band Ratio)

با توجه به مشخصات طیفی کانی‌های شاخص در هر نوع دگرسانی برای مشخص کردن مناطق دگرسانی، می‌توان نسبت‌های بانندی را تعریف کرد. جهت آشکارسازی دگرسانی‌های پروپیلیتیک، آرژیلیک و فیلیک می‌توان از کانی‌های شاخص این دگرسانی‌ها با استفاده از نمودارهای استاندارد آن‌ها استفاده کرد. برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی از نسبت‌های بانندی جدول ۱ استفاده شده است. نسبت‌های بانندی مناسب برای آشکارسازی مناطق دارای این دگرسانی‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. نسبت‌های بانندی انتخابی منطقه انارک

نسبت بانندی انتخابی	نوع دگرسانی
$b7/b6$	فیلیک
$(b4+b7)/(b5+b6)$	آرژیلیک
$(b6+b9)/(b7+ b8)$	پروپیلیتیک



۳،۴. تصاویر حاصل از تحلیل مولفه اصلی انتخابی (Crosta)

شرط انتخاب PCهای مناسب این است که در ماتریس های بردار ویژه، باندهای مربوط به جذب و انعکاس کانی‌های هدف به طور هم‌زمان دارای بالاترین مقادیر بوده و در ضمن این مقادیر غیر هم علامت نیز باشند. با بکارگیری این روش ماتریس بردار ویژه انواع دگرسانی در منطقه محاسبه شده است. ماتریس بردار ویژه برای دگرسانی فیلیک در جدول ۲ و دگرسانی آرژیلیک و پروپیلیتیک در جدول ۳ و ۴ و نتایج حاصل از آن‌ها در شکل ۴ آورده شده است.



جدول ۲. ضرایب مربوط به بارگذاری آنالیز مولفه های اصلی انتخابی برای دگرسانی فیلیک

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 5	Band 6
PC1	-0.434317	-0.464608	-0.542500	-0.548819
PC2	-0.588107	-0.502640	0.448369	0.447716
PC3	-0.680723	0.727047	-0.088864	0.011053
PC4	0.045997	-0.053811	-0.704814	0.705851

باتوجه به باند جذب و انعکاس فیلیک به ترتیب باند ۶ و ۵ هستند، با مقایسه این ۲ باند و بر اساس بیشترین اختلاف، PC4- انتخاب می-گردد.

جدول ۳. ضرایب مربوط به بارگذاری آنالیز مولفه های اصلی انتخابی برای دگرسانی آرزیلیک

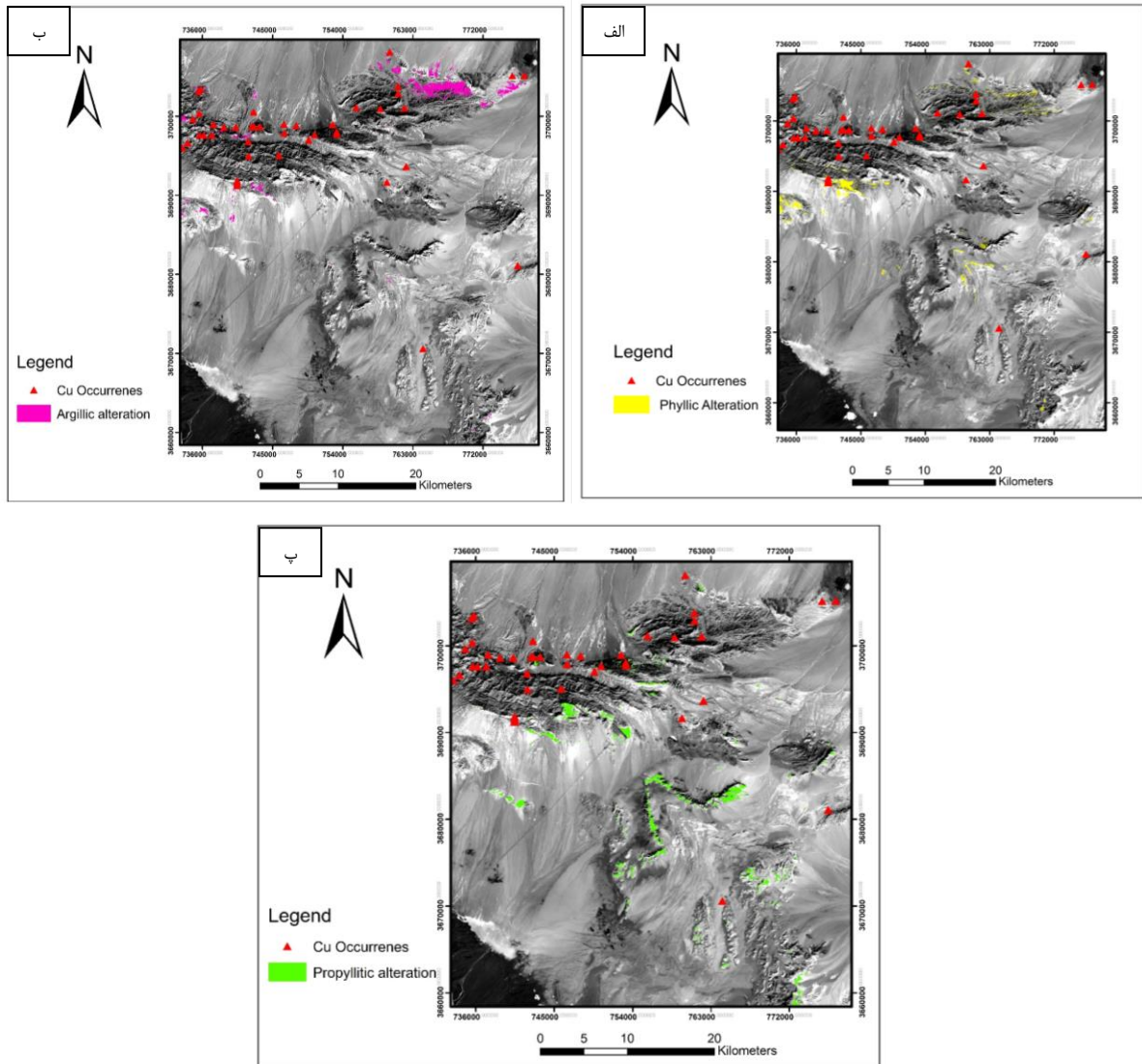
Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	-0.386567	-0.540418	-0.531236	-0.525645
PC2	-0.921957	0.243111	0.224869	0.200816
PC3	0.023457	0.706094	-0.035992	-0.706814
PC4	-0.003438	0.387656	-0.816044	0.428701

براساس مندرجات جدول و با توجه به این که می-دانیم جذب این کانی در باند ۶ و انعکاس آن در باندهای ۴ و ۷ اتفاق می-افتد با مقایسه این باندها و بر اساس بیشترین اختلاف، PC4 انتخاب می-گردد.

جدول ۴. ضرایب مربوط به بارگذاری آنالیز مولفه های اصلی انتخابی برای دگرسانی پروپیلیتیک

Eigenvector	Band 3	Band 5	Band 8	Band 9
PC1	-0.417771	-0.525085	-0.528727	-0.519808
PC2	-0.907176	0.219003	0.287491	0.215449
PC3	-0.047833	0.602599	-0.768143	0.211051
PC4	-0.014532	-0.559641	-0.218522	0.799274

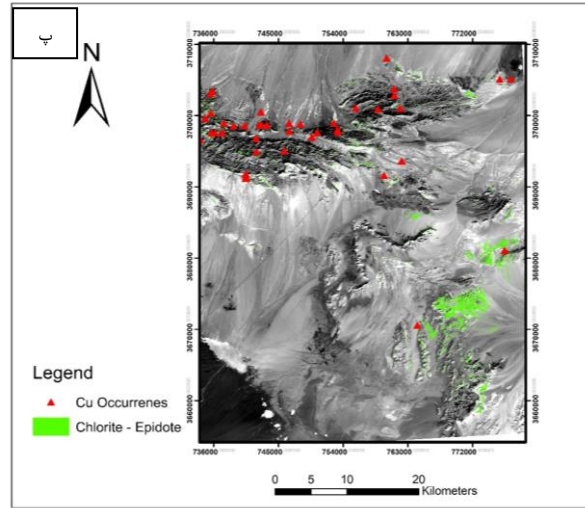
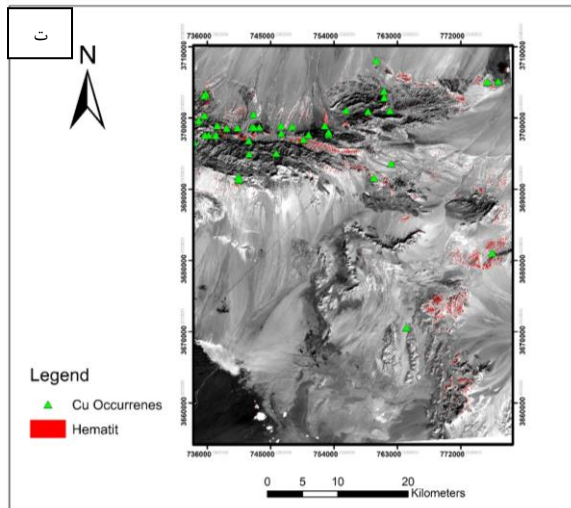
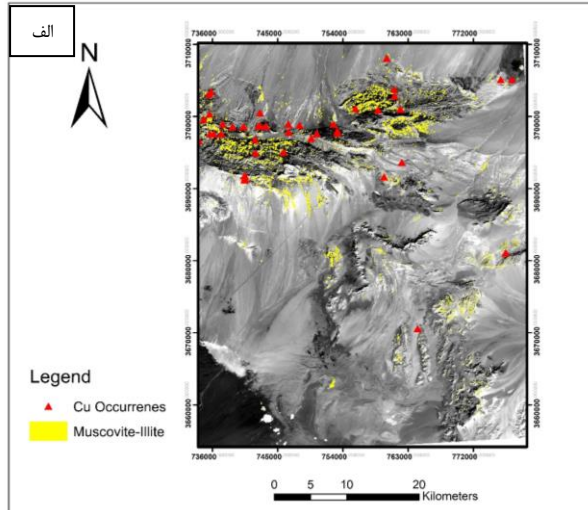
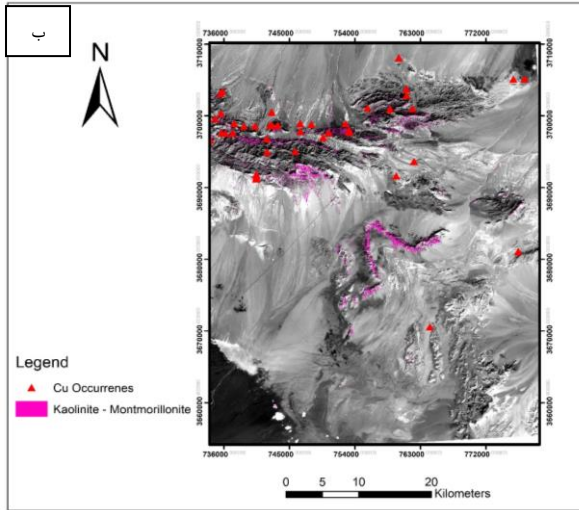
با توجه به باند جذب پروپیلیتیک که باند ۸ و انعکاس آن که باند ۵ و ۹ هستند، با مقایسه این باندها و بر اساس بیشترین اختلاف، PC3 انتخاب می-گردد.



شکل ۴. الف) دگرسانی فیلیک استخراج شده از روش کروستا به رنگ زرد (ب) دگرسانی آرژیلیک استخراج شده از روش کروستا به رنگ بنفش (پ) دگرسانی پروپیلیتیک استخراج شده از روش کروستا به رنگ سبز

۴.۴. تصاویر حاصل از نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM)

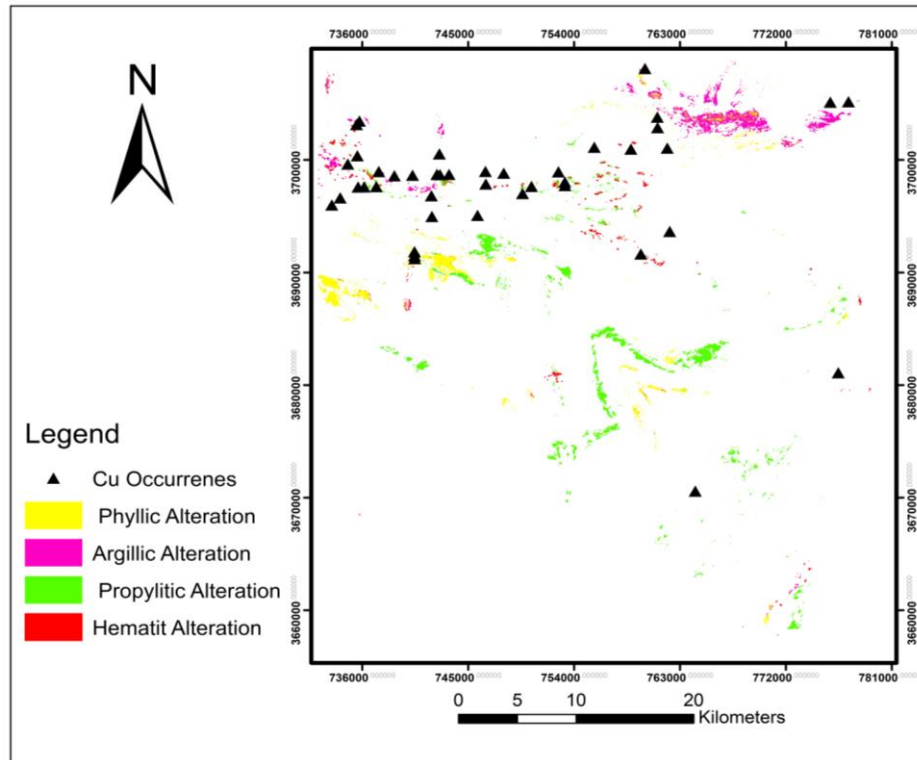
به منظور شناسایی مناطق دگرسانی گرمایی، روش SAM بر روی تصویر تصحیح شده ASTER با انتخاب زوایای طیفی مناسب، به کار گرفته شد، که تصویر به دست آمده در شکل ۵ نشان داده شده است. در این تصاویر، نواحی با دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز، نواحی با دگرسانی آرژیلیک (کائولینیت و مونتموریونیت) به رنگ بنفش و دگرسانی فیلیک (موسکویت و ایلیت) به رنگ زرد دیده می‌شوند. همچنین از نمودارهای طیفی مربوطه به عنوان داده مرجع به منظور بارسازی دگرسانی‌های اکسید آهن (هماتیت) استفاده شد که نتیجه آن در شکل ۵ (ت) با رنگ قرمز نشان داده شده است.



شکل ۵. الف) بازسازی دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت و اپیدوت) از روش SAM به رنگ سبز ب) بازسازی دگرسانی آرژلیک (کانولینیت و مونتوریلونیت) با روش SAM به رنگ بنفش پ) بازسازی دگرسانی فیلیک (موسکویت و ایلیت) استخراج شده از روش SAM به رنگ زرد ت) بازسازی دگرسانی اکسید آهن (هماتیت) با روش SAM به رنگ قرمز

۵.۴. تلفیق لایه‌های دگرسانی

در این تحقیق به منظور تلفیق آلتراسیون‌های فیلیک، آرژلیک، پروپیلیتیک و هماتیت از عملگر فازی OR استفاده شد. نقشه حاصل از تلفیق لایه‌های دگرسانی منطقه مطالعاتی در شکل ۶ آورده شده است. در این تصویر دگرسانی فیلیک به رنگ زرد، دگرسانی آرژلیک به رنگ بنفش و دگرسانی پروپیلیتیک و هماتیت به ترتیب با رنگ‌های سبز و قرمز نشان داده شده‌است.



شکل ۶. نقشه نهایی دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌زایی مس در منطقه انارک

۵. نتیجه‌گیری

تهیه تصاویر مناطق دگرسان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای روشی سریع و مطمئن است. داده‌های ماهواره‌ای ASTER محدوده اکتشافی انارک با استفاده از روش‌های پردازشی از قبیل ترکیب رنگی کاذب، کروستا، نسبت باندی و نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) مورد پردازش قرار گرفتند. در این تحقیق، با استفاده از به‌کارگیری روش‌های پردازشی ذکر شده، کانی‌های کلریت و اپیدوت (دگرسانی پروپیلیتیک)، مسکویت و ایلیت (دگرسانی فیلیک)، کائولینیت و مونتموریونیت (دگرسانی آرژیلیک) و هماتیت (دگرسانی اکسید آهن) در محدوده اکتشافی انارک شناسایی شدند. نتایج و تصاویر به‌دست آمده بیانگر این مسئله است که این روش‌ها در تعیین و تفکیک نواحی دگرسان شده در محدوده اکتشافی انارک دارای نتایج قابل قبولی است. روش مولفه اصلی انتخابی، دگرسانی‌ها را با قدرت بیشتری نسبت به روش نسبت باندی مشخص کرده‌است و همچنین روش بهینه و مؤثر در تعیین دگرسانی‌های منطقه، نسبت به سایر روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق، روش SAM معرفی می‌شود. نقشه نهایی بدست آمده از تلفیق نشان می‌دهد که آلتراسیون‌های جدا شده انطباق خوبی با اندیس‌های شناخته شده مس در منطقه انارک دارد. همچنین همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود کانی‌زایی‌ها عمدتاً در آلتراسیون‌های فیلیک و آرژیلیک قرار دارد.

منابع

- [1] ارغوانیان، ا.، درویش زاده، ر.، رسا، ا. و حسینی اصل، ا.، ۱۳۹۰. استخراج نواحی دارای پتانسیل طلا در منطقه غرب مشکین‌شهر با استفاده از تصاویر HYPERION، سنجش از دور و GIS ایران، سال سوم، شماره ۱، ۹۱-۱۰۶.
- [2] اسدی‌هارونی، ه. و طباطبایی، ح.، ۱۳۸۶. شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های در ارتباط با کانی‌زایی طلا به کمک پردازش داده‌های ماهواره‌ای استر در منطقه موته، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، ۳۲-۳۹.
- [3] نوحه گر، ا.، بدافی، م.، کاظمی، م. و کمالی، ع.، ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های پیکسل مبنا و زیر پیکسل مبنا در شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی با استفاده از داده‌های ASTER، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۱۶، ۱-۱۳.



[4] نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی انارک، سازمان زمین‌شناسی کل کشور.

- [5] Azizi, H., Tarverdi, M.A. and Akbarpour, A., 2010. Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanzan, northern Iran, *Advances in Space Research*, v. 46, p. 99-109.
- [6] Abrams, M. and Hook, S., 2001. *ASTER User Handbook (Version 2)*: Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA-91109, USA, 135 p.
- [7] Tommaso, D.I. and Rubinstein, N., 2007 Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, *Ore Geology Reviews*, v. 32, p. 275-290.
- [8] Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P. and Wackerle, R., 2004. Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia, *Remote Sensing*, v. 15, p. 125-142.
- [9] Walfir, P.M., Filho, S. and Paradella, W.R., 2005, Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. *Can. J. Remote Sensing*, v. 31, p. 214-224.
- [10] Ranjbar, H., Shahriari, H. and Honarmand, M., 2004. Integration of ASTER and airborne geophysical data for exploration of copper mineralization, A case study of Sarcheshme area, *Proceedings of 20th congress, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul Turkey*, v. 4, p. 701-706.
- [11] Rouskov, Kalin, et al., 2005 Some applications of the remote sensing in geology by using of ASTER images. *Scientific. Conf. SPACE, ECOLOGY, SAFETY* with Int. Participation.
- [12] Soe, M., Aung Kyaw, T. and Takashima, I., 2005. Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from aster and landsat images of Tanintharyi Coastal Area Myanmar, *Akita University*, v. 26, p. 21-28.
- [13] Soe, Myint, Toe Aung Kyaw, and Isao Takashima., (2005) Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi coastal area, Myanmar.
- [14] Azizi, H., Rsaouli, A.A. and Babaei, K., 2007. Using swir bands from aster for discrimination of hydrothermal altered minerals in the northwest of Iran (SeSanandaj city), *Research journal of applied sciences*, v. 2(96), p. 763-768.
- [15] Crosta, A.P. and Moore MCM, J., 1989. Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain, *proceedings of the 9th thematic conference on remote sensing for exploration geology, Calgary*, p. 1173-1187.
- [16] Crosta, A. and De Souza Fliho, C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis, *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, p. 4233-4240.
- [17] Malekzadeh, A., Karimpour, M.H., Stern, C. R. and Mazaheri, S.A., 2009. Hydrothermal Alteration Mapping in SW Bir-jand, Iran, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Image Processing, *Journal of Applied Sciences*, v. 9, p. 829-842.