

## به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی و تفکیک بخش‌های دگرسانی منطقه خونی و کالکافی (استان اصفهان)

ندا ماهوش محمدی<sup>۱</sup>، اردشیر هزارخانی<sup>۲\*</sup>، عباس مقصودی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکترا مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱/۲۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷

### چکیده

منطقه خونی در فاصله ۲۷۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان و در بخش ایران مرکزی واقع شده است. اصلی‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه، سنگ‌های دگرگونی با سن پروتروزوئیک و آتشفشانی با سن ائوسن می‌باشد. 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 طلا در منطقه خونی 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 کانسارهای طلا از روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER از جمله ساخت ترکیبات کاذب رنگی، نسبت بانندی، آنالیز مؤلفه اصلی انتخابی (Crosta)، روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit) و روش نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) استفاده شد و در پایان دگرسانی‌های عمده‌ی منطقه آشکار شدند. در تصاویر به دست آمده، زون پروپلیتیک در منطقه خونی و زون‌های فیلیک و آرژیلیک در منطقه کالکافی آشکار شدند و به منظور معرفی روش بهینه، نتایج حاصل از روش‌های مختلف ذکر شده، با همدیگر و با نقشه‌ی زمین‌شناسی مقایسه شدند که روش نسبت بانندی، دگرسانی پروپلیتیک را و روش مؤلفه اصلی انتخابی دگرسانی‌های آرژیلیک و فیلیک را با قدرت بیشتری مشخص کرده‌اند. و در نهایت روش SAM به عنوان یک روش موفق برای تفکیک دقیق‌تر مناطق دگرسانی تشخیص داده شد. هم‌چنین انطباق نواحی دگرسانی به دست آمده از روش‌های مختلف آشکار سازی با یکدیگر نشان دهنده میزان دقت و کارایی پردازش‌ها بر روی داده‌های ماهواره‌ای ASTER می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** استر، دورسنجی، کروستا، نسبت بانندی، نقشه بردار زاویه طیفی.

## 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 (ارغوانیان و همکاران، ۱۳۹۰). فناوری سنجش از دور به‌عنوان روشی مؤثر در اکتشافات معدنی و نقشه برداری طیفی واحدهای سنگی مطرح می‌باشد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴). در چند دهه اخیر، سنجش از دور به موازات علومی همچون ژئوفیزیک و ژئوشیمی، به‌عنوان نوعی معیار یا استاندارد در بسیاری از برنامه‌های اکتشاف معدن به ویژه از مسافت دور و در نواحی نقشه‌برداری با دقت کم در جهان به‌طور عمومی و گسترده پذیرفته شده است (علوی‌پناه، ۲۰۰۵؛ فرد و کورس، ۲۰۰۳). داده‌های دورسنجی به دلیل پوشش دادن یک منطقه گسترده و پوشش‌های چندطیفی و چندزمانی، می‌توانند در شناسایی ایالت‌ها، کمربندها و مکان‌های کانه‌زایی استفاده شوند (گوپتا، ۲۰۰۳). در واقع دورسنجی نقش حیاتی در مراحل اولیه اکتشاف به‌ویژه 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 (بدینی، ۲۰۰۹؛ عزیزی و همکاران، ۲۰۱۰) از دیگر ویژگی‌های عمده و مهمی که باعث به کارگیری فنون سنجش از دور در اکتشاف مواد معدنی می‌شود این است که با کمک آن می‌توان کانی‌ها و عناصر ویژه‌ای را که با مواد معدنی مخصوصی همراه‌اند شناسایی کرد و این امر کمک بزرگی در

اکتشاف کانی‌هاست (وینسنت، ۱۹۹۷). اجرای سنجش از دور نیازمند عملکرد عضوهای مهمی چون سنجنده‌ها و ماهواره‌ها است. سنجنده ASTER، یکی از ۵ سنجنده مستقر بر روی ماهواره تراست 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 فرسرخ موج کوتاه (SWIR) با ۶ باند طیفی در محدوده‌های ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر و سامانه فرسرخ 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 (آبرامز و هوک، ۲۰۰۱). 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 (توماس و روبینستین، ۲۰۰۷). گزارش‌های متعددی از کاربرد داده‌های این سنجنده جهت بارزسازی دگرسانی‌ها و جداسازی واحدهای سنگی ارائه شده است (فوجیسدا، ۱۹۹۵). 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. گومز و همکاران (۲۰۰۵) عمل نقش برداری واحدهای سنگ شناختی نامیبیا را با استفاده از الگوریتم PCA بر روی داده‌های ASTER انجام

شده، نتایج حاصل از این پردازش‌ها با عملیات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی (سنگ‌نگاری و کان‌نگاری) مقایسه شد و صحت آن مورد تأیید قرار گرفت.

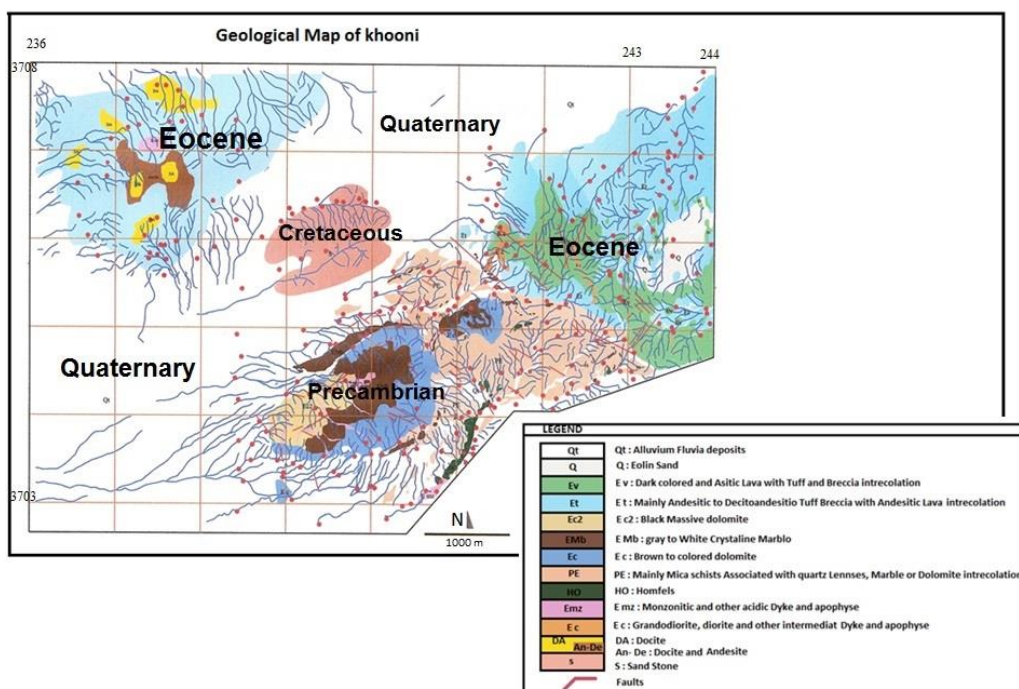
#### محدوده مورد مطالعه

منطقه خونی در فاصله ۲۷۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان، ۶۰ کیلومتری شمال شرق انارک و در فاصله ۴۰ کیلومتری شرق معدن سرب و روی نخلک قرار گرفته است. این منطقه در حاشیه جنوبی دشت کویر مرکزی، بین طول‌های جغرافیایی  $55^{\circ}$ - $54^{\circ}$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $34^{\circ}$ - $33^{\circ}$  شمالی واقع شده است. این منطقه از نظر ساختاری بخشی از زون ایران مرکزی، زیر زون انارک-خور و بلوک یزد در نظر گرفته می‌شود (آقا-نباتی، ۱۳۸۵). دسترسی به منطقه مورد مطالعه در شمال کوه خونی، از طریق جاده آسفالت‌ناپین-انارک-خور امکان‌پذیر است. منطقه خونی بخشی از ورقه ۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی کبودان است (پرفیلیو و همکاران). چینه‌شناسی محدوده مورد بررسی، از پرکامبرین تا کواترنری را دربرمی‌گیرد. رخنمون‌های سنگی بخش باختری نقشه زمین-شناسی منطقه، عمدتاً متشکل از واحدهای دگرگونی پرکامبرین و در بخش خاوری، متشکل از واحدهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن با ترکیب غالب حدواسط آندزیت-تراکی آندزیت هستند که توسط نفوذی‌ها و دایک‌هایی با ترکیب غالب مونزونیتی قطع شده‌اند. هم‌چنین در انتهای شمال باختری، سنگ آهک کرتاسه که به‌طور دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند، رخنمون دارند. قسمت‌های کم ارتفاع و پست نیز توسط پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، رسوبات پهنه دشت‌ها و آبرفت‌های جوان و رودخانه‌ای پوشیده شده است (شکل ۱). در ناحیه انارک، از شمال‌نابین تا حوالی

دادند. والفیر و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های سنجش از دور ASTER الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی را برای نقشه‌برداری زمین ریخت‌شناختی در سواحل منطقه آمازون به کار برده‌اند. رنجبر و همکاران (۲۰۰۴) داده‌های استر را در منطقه‌ی سرچشمه برای تعیین مناطق دگرسانی هیدروترمال از طریق تکنیک کروستا استفاده کردند. خلج معصومی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ترا و لندست، کانی‌های دگرسانی گرمایی مناسب را برای به‌دست آوردن مناطق مستعد برای کانه‌زایی عناصر پرتوزا و ارتباط آنها با ساختارها را مشخص نمودند. معصومی و رنجبر (۱۳۹۰) با استفاده از تصاویر چند طیفی سنجنده‌های استر و ETM+ با به‌کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصویر، به‌منظور تعیین مناطق دگرسان شده استفاده کردند و به این طریق زون‌های فیلیک و پروپیلیتیک شناسایی شدند. 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. در این مطالعه تصاویر ماهواره ASTER که در سال ۲۰۰۳ برداشت شده، به کار گرفته شده است و به‌منظور شناسایی، بارزسازی و تفکیک پهنه‌های دگرسانی منطقه خونی به کمک نرم‌افزار ENVI 4.7؛ پس از تصحیحات لازم، روش‌های مختلف پردازش تصاویر از جمله ساخت ترکیبات کاذب رنگی، نسبت بانندی، آنالیز مؤلفه اصلی انتخابی (Crosta)، روش کمترین مربعات رگرسیون شده (Ls-Fit) و روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) استفاده شد هم‌چنین به‌منظور تعیین روش بهینه پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نتایج روش‌های مذکور با یکدیگر مقایسه گردید و در پایان به‌منظور صحت‌سنجی روش‌های به کار گرفته

پشت‌بادام سازندگان دگرگونی‌های انارک است. این منطقه یک ساختار گنبدی حاصل از نفوذ توده بزرگ بیضی شکل کالکافی است و در پی سنگ قدیمی پرکامبرین با نام کمپلکس دگرگونی چاه گربه نفوذ کرده است. روند عمومی لایه‌های سنگی به پیروی از نفوذ این توده، دارای امتداد شمال خاوری - جنوب باختری و شیبی به سوی جنوب خاور است (حیدریان دهکردی و رسا، ۱۳۹۰).

ساغند-پشت‌بادام، یک مجموعه شیستی تیره رنگ برونزد دارد که همراهی از فیلیت‌های گرافیتی، کوارتزیت، سنگ آهک‌های متبلور، کلریت اپیدوت شیست، میکا شیست و اپی‌گنیس دارد. براساس کار زمین‌شناسان شرکت تکنواسپورت، در ناحیه انارک این مجموعه شامل ۵ کمپلکس چاه‌گربه، مرغاب، پتیار، محمدآباد و دوشاخ است. ولی در ناحیه خور، ۵ کمپلکس چاه‌گربه، پتیار، کبودان، دوشاخ و



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه (پورجبار، ۱۳۸۵).

محیطی و جوی زیادی است. لذا برای انجام تصحیح رادیومتریکی، از روش Log residual که از قابلیت و کارایی خوبی برخوردار است، استفاده شده است (لگ، ۱۳۸۰). 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 مؤلفه اصلی، کمترین مربعات رگرسیون شده و روش نقشه‌بردار زاویه طیفی که

## مواد و روش‌ها

### 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 رادیومتریکی بر روی تصاویر اعمال می‌شود. از آنجایی که حذف کامل خطای رادیومتریکی و اتمسفریک مستلزم در اختیار داشتن پارامترهای

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. الگوریتم نقشه بردار زاویه طیفی با استفاده از رابطه ۱ میزان تشابه را بین طیف تصویر (t) و طیف مرجع (r) محاسبه می‌کند. رابطه (۱)

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^{nb} r_i^2)^{1/2}} \right]$$

که در آن، nb تعداد باندها،  $t_i$  طیف اندازه‌گیری شده و  $r_i$  طیف مرجع می‌باشد (ملک زاده، ۲۰۰۹؛ یوهاس و همکاران، ۱۹۹۲). 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 (Spectral library) قابل دسترس می‌باشند، به-عنوان داده مرجع استفاده شد.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA): روش PCA، احتمالاً 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. (سو و همکاران، ۲۰۰۵). برای هر مؤلفه اصلی، تصویری متناظر از روی بردار ویژه نظیر محاسبه می‌شود. ارزش‌های عددی تصویر مؤلفه اصلی با استفاده از مقادیر ارزش‌های عددی در تصاویر اولیه و مؤلفه‌های بردارهای ویژه به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شوند:

رابطه (۲)

$$P_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} DN(i)$$

در ادامه مختصری در مورد عملکرد این روش‌ها توضیح داده می‌شود.

### پردازش داده‌های ماهواره‌ای

ترکیب رنگی تصاویر: تحلیل‌های تجربی نشان داده‌اند که برای مشاهده مناطق دگرسان شده، تصویری با ترکیب باندی ۸، ۶ و ۴ مناسب‌ترین ترکیب رنگی برای شناسایی مناطق دگرسانی در اغلب کانسارها به ویژه مس پورفیری و طلائی اپی ترمال است (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۰؛ بلوکی و پورمیرزایی، ۲۰۰۹).

نسبت‌های باندی: نسبت‌گیری باندی در واقع یکی از روش‌های پردازش تصاویر چندطیفی است که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن تصویر یا باند دیگر است. برتری اصلی این روش آن است که ویژگی‌های رنگی یا طیفی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منظره که بر اثر تغییرات توپوگرافی ایجاد می‌شود، منتقل و بر محتوای رنگ داده تأکید می‌کند (سایینز، ۱۹۹۹). روش کم‌ترین مربعات رگرسیون‌شده: روش LS-Fit یک روش پیش‌بینی خطی با استفاده از روش حداقل مربعات است، که به پیش‌بینی یک باند براساس سایر باندها می‌پردازد در واقع، کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و اختلاف خوبی از نظر شاخص جذب و یا انعکاس در آن باند خاص نشان می‌دهند. با اختلاف مشاهده شده بین باندهای پیش‌بینی کننده و باند مدل شده، به‌عنوان یک تصویر خروجی محاسبه می‌گردد (آلیانی و همکاران، ۱۳۹۳).

نقشه بردار زاویه طیفی: نقشه برداری زاویه طیفی (SAM) روشی کارا برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیفی مشخص یا طیفی استاندارد (کتابخانه‌ای) است. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه طیفی

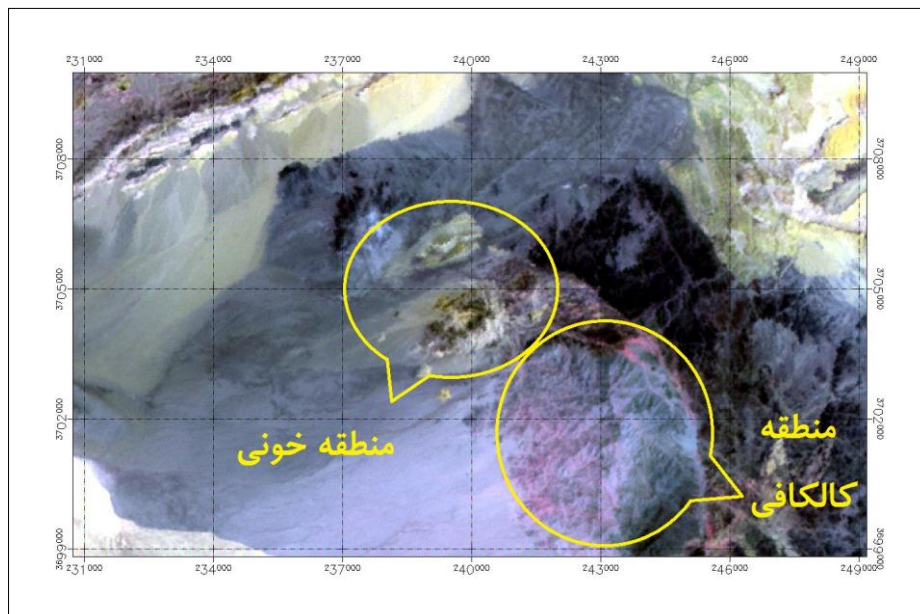
این روش امروزه به نام روش کروستا شهرت یافته است (کروستا و مور، ۱۹۸۹). شرط انتخاب PCهای مناسب این است که در ماتریس‌های بردار ویژه، باندهای مربوط به جذب و انعکاس کانی‌های هدف به‌طور هم‌زمان دارای بالاترین مقادیر بوده و در ضمن این مقادیر غیر هم علامت نیز باشند (کروستا و د سوزا فلیهو، ۲۰۰۳).

### بحث و نتایج

تصاویر حاصل از روش ترکیب رنگی کاذب (RGB) تصویر به دست آمده براساس ترکیب رنگی RGB468 برای منطقه خونی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این تصویر، نواحی با دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی سرسیت 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.

که در آن  $P_k$  ارزش عددی پیکسل مورد نظر برای  $k$  امین مؤلفه اصلی،  $DN(i)$  ارزش عددی در باند  $i$  ام برای پیکسل مورد نظر،  $a_{ik}$  مقدار عنصر بار به دست آمده از بردار ویژه مؤلفه  $k$  ام در باند  $i$  ام است. به این ترتیب برای هر مؤلفه اصلی یا بردار ویژه متناظراً یک تصویر که معرف تغییرپذیری در جهت آن بردار است، به دست می‌آید (وینسنت، ۱۹۹۷).

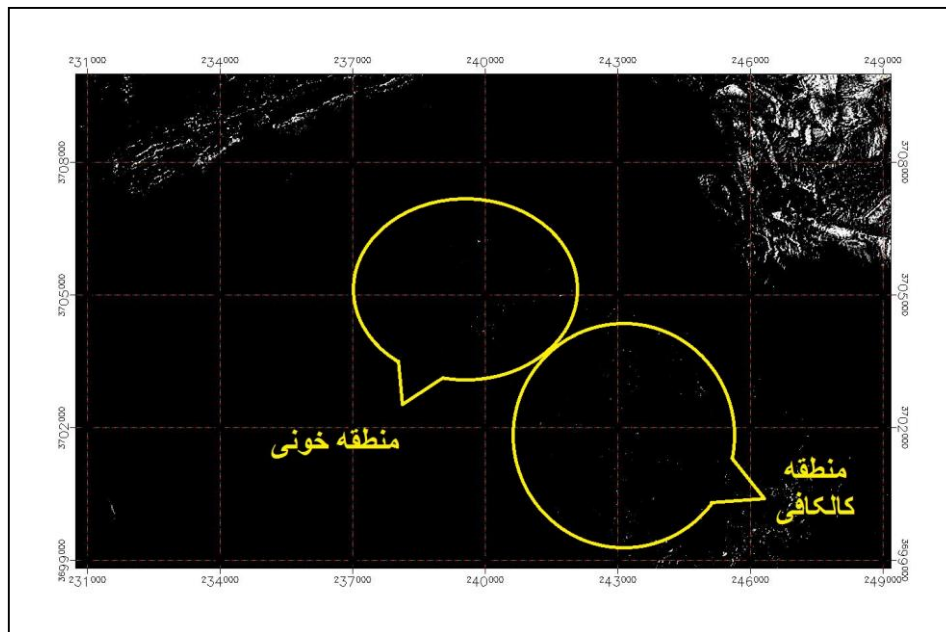
روش کروستا: کروستا و مُر در سال ۱۹۸۹ تکنیکی را بر مبنای PCA برای به نقشه در آوردن سنگ‌ها و کانی‌های دارای اکسید آهن و هیدروکسیدهای مرتبط با توده‌های فلزی سولفیدی در کمربند گرانیات - گرین‌استون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM به کار گرفتند (عزیزی و همکاران، ۲۰۰۷). از این طریق می‌توان اطمینان حاصل کرد که پدیده‌هایی چون پوشش گیاهی در به نقشه در آوردن کانی‌های هدف ظاهر نخواهند شد و نیز اطلاعات طیفی پدیده هدف (کانی‌های دگرسانی) را به کمک یک مؤلفه اصلی خاص به نمایش در آورد.



شکل ۲: تصویر ترکیب رنگی کاذب (RGB468) محدوده اکتشافی خونی - کالکافی، نواحی با دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و با دگرسانی سرسیت به رنگ صورتی و دگرسانی آرژیلیک به رنگ زرد دیده می‌شوند.

استفاده شده است (رنجبر و همکاران، ۲۰۰۴؛ کالینوسکی و الیور، ۲۰۰۴) که بعد از اعمال استرچ، تصویر به صورت شکل ۳ در می‌آید. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، پیکسل‌های روشن نشان دهنده مناطقی است که دارای پوشش گیاهی است، مناطق خونی و کالکافی دارای پوشش گیاهی ناچیزی است.

تصاویر حاصل از روش نسبت بانندی **Band Ratio** قبل از ایجاد هرگونه آنالیزی جهت تفکیک واحدهای مختلف سنگی و دگرسانی‌ها باید پوشش گیاهی منطقه را شناسایی کرد، این امر به علت وجود انواع رس‌ها در خاک این مناطق است. این مسئله سبب تداخل این مناطق با زون‌های دگرسانی می‌شود (اسدی‌هارونی، ۱۳۸۵). برای مشخص نمودن پوشش گیاهی از نسبت بانندی  $(3-2)/(3+2)$



شکل ۳: نسبت بانندی  $(3-2)/(3+2)$  برای تشخیص پوشش گیاهی، پیکسل‌های روشن نشان دهنده پوشش گیاهی منطقه است.

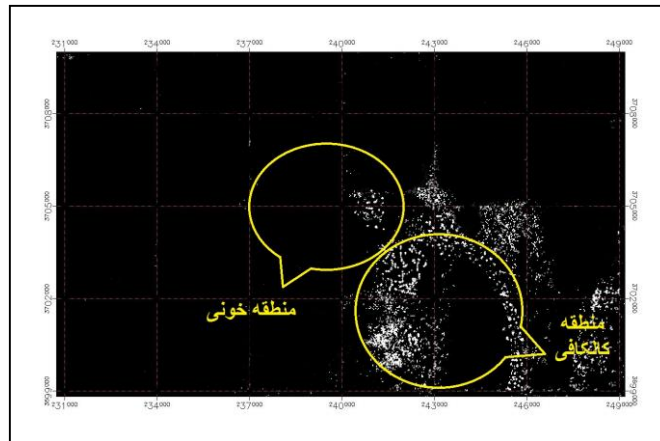
همین ترتیب، طبق نمودار طیف انعکاسی کانی-های شاخص دگرسانی فیلیک و آرژیلیک، این کانی‌ها دارای جذب به ترتیب در محدوده باند ۵ و ۷ و تابش در باند ۶ و ۵ هستند بنابراین برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی از نسبت‌های بانندی جدول ۳ استفاده شده است. نسبت‌های بانندی مناسب برای آشکارسازی مناطق دارای این دگرسانی‌ها با اثر مثبت (پیکسل‌های روشن) بارز شده‌اند. در زیر تصاویر حاصل از روش نسبت بانندی را نشان می‌دهد.

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، فیلیک و آرژیلیک، می‌توان از کانی‌های شاخص این دگرسانی‌ها با استفاده از نمودارهای استاندارد آن‌ها استفاده کرد. مطابق طیف انعکاسی استاندارد کانی‌های شاخص دگرسانی پروپیلیتیک (کلریت) دارای تابش در باندهای ۹ و ۷ و در باند ۸ به دلیل وجود پیوند Mg-OH، دارای جذب هستند به

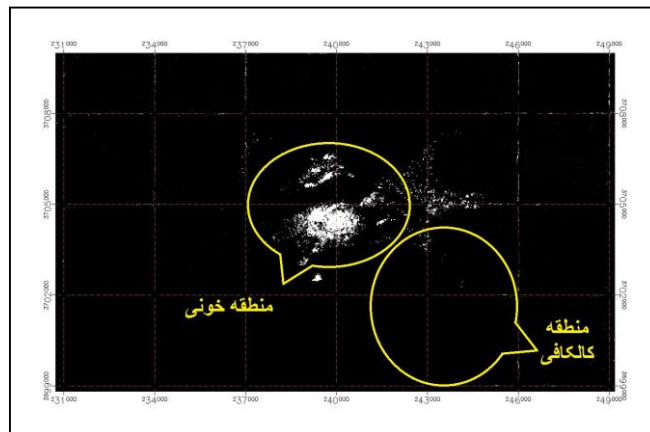


جدول ۳: نسبت‌های باندی انتخابی برای منطقه خونی (اسدی هارونی، ۱۳۸۵)

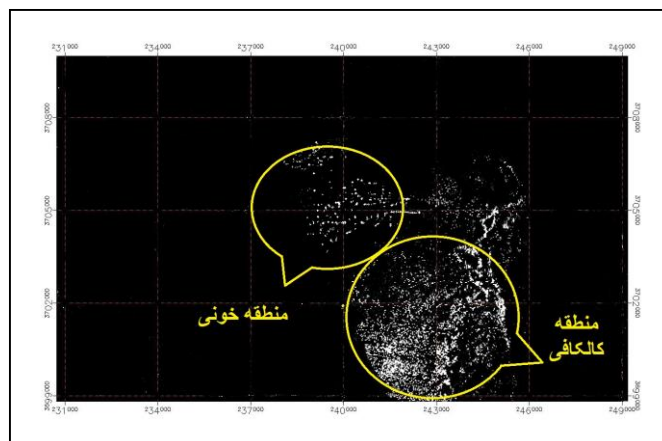
نسبت باندی انتخابی	نوع دگرسانی
۷/۵	آرژلیک
(۷+۹)/(۸)	پروپلیتیک
(۵+۷)/۶	سرسیت



شکل ۴: تصویر نسبت باندی ۶/(۷+۵) جهت تعیین دگرسانی فیلیک (پیکسل‌های روشن).



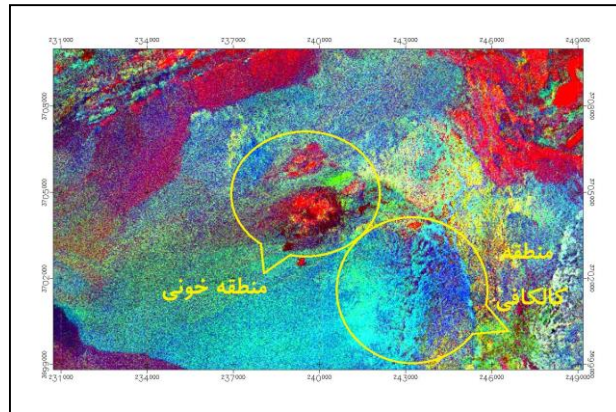
شکل ۵: تصویر نسبت باندی ۸/(۹+۷) جهت تعیین دگرسانی پروپلیتیک (پیکسل‌های روشن).



شکل ۶: تصویر نسبت باندی ۵/۷ جهت تعیین دگرسانی آرژلیک (پیکسل‌های روشن).



با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب (RGB) می-توان تصاویری تولید کرد که تفسیر و نتیجه‌گیری براساس آنها قابل اعتماد و کاربردی‌تر باشد. تصویر رنگی حاصل از نسبت‌های بانندی در مورد سه دگرسانی پروپلیتیک، فیلیک و آرژیلیک در آورده شده است.



شکل ۷: تصویر ترکیب رنگی با  $RGB = \frac{5+7}{6} \frac{7+9}{8} \frac{7}{5}$  جهت به نمایش درآوردن دگرسانی‌های پروپلیتیک، فیلیک و آرژیلیک

در تصویر فوق دگرسانی پروپلیتیک با رنگ قرمز، دگرسانی‌های فیلیک با رنگ سبز و آرژیلیک با رنگ آبی کم‌رنگ به نمایش درآورده شده‌اند. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود منطقه خونی به رنگ قرمز و منطقه کالکافی به رنگ آبی است. و هم‌چنین پیکسل‌های به رنگ سبز که نشان‌دهنده دگرسانی

فیلیک است، در اطراف مناطق مورد نظر مشاهده می‌شود.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (Crosta): ماتریس بردار ویژه برای دگرسانی پروپلیتیک در جدول ۱ و دگرسانی آرژیلیک و فیلیک در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: ضرائب مربوط به بارگذاری آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی برای دگرسانی پروپلیتیک.

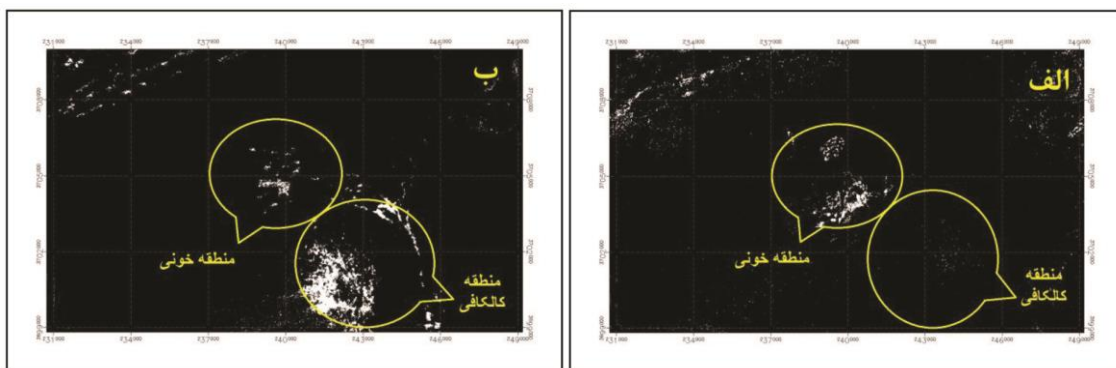
Eigenvector	Band 6	Band 7	Band 8	Band 9
PC1	-۰,۹۹۹۱۳۹	۰,۰۰۰۱۹۰	۰,۰۴۰۹۴۹	۰,۰۰۶۶۴۵
PC2	۰,۰۰۰۹۴۴	۰,۹۹۹۸۳۵	۰,۰۱۸۰۱۶	۰,۰۰۲۲۹۴
PC3	۰,۰۴۱۳۰۷	-۰,۰۱۸۱۵۷	۰,۹۹۶۴۸۶	۰,۰۷۰۵۶۴
PC4	۰,۰۰۳۷۳۱	-۰,۰۰۱۰۱۶	-۰,۰۷۰۸۰۸	۰,۹۹۷۴۸۲

جدول ۲: ضرائب مربوط به بارگذاری آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی برای دگرسانی فیلیک و آرژیلیک.

Eigenvector	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
PC1	۰,۹۹۸۸۹۷	۰,۰۴۳۲۶۸	۰,۰۱۴۴۶۰	۰,۰۱۱۰۸۸
PC2	۰,۰۴۴۳۷۷	-۰,۹۹۵۷۴۸	۰,۰۸۰۳۸۶	-۰,۰۰۷۴۰۹
PC3	۰,۰۱۰۷۸۸	۰,۰۸۰۸۴۳	-۰,۹۹۶۵۹۳	۰,۰۱۲۲۷۶
PC4	-۰,۰۱۰۸۸۱	-۰,۰۰۸۸۵۱	۰,۰۱۱۴۸۰	۰,۹۹۹۸۳۶

آرژلیک مقایسه بین باندهای ۶ و ۷ صورت گرفت، و براساس بیشترین اختلاف مقادیر ویژه PC3 انتخاب می‌شود. تصاویر دگرسانی‌های پروپلیتیک و آرژلیک و فلیک مرتبط با کانی‌سازی در منطقه مورد اکتشاف در شکل ۸ آورده شده است. پیکسل-های روشن نشان دهنده دگرسانی‌های پروپلیتیک (شکل ۸ الف)، دگرسانی آرژلیک و فلیک (شکل ۸ ب) است.

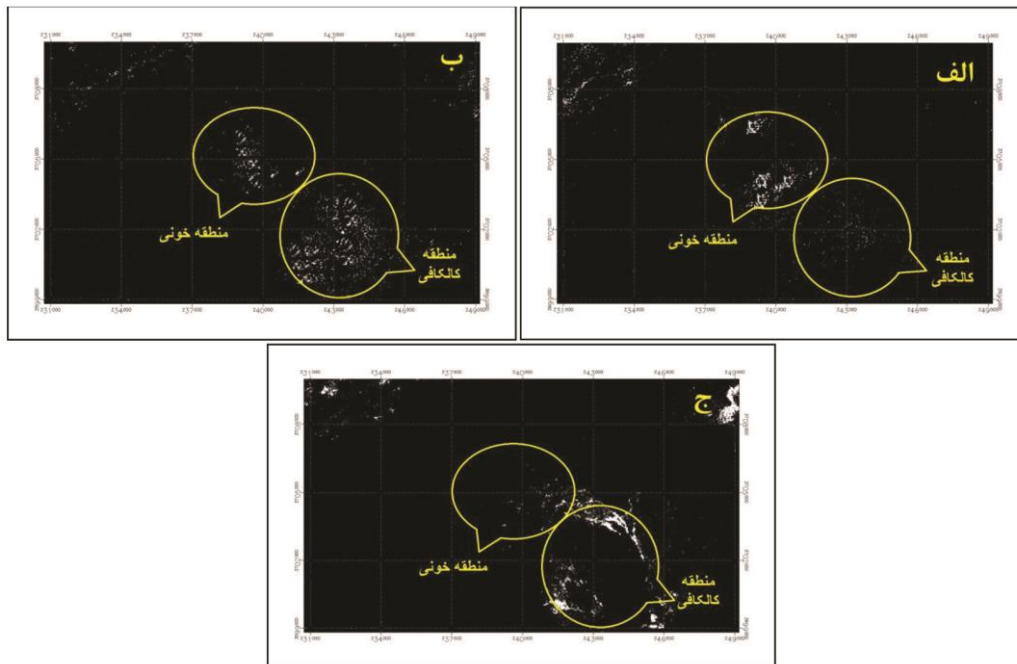
با توجه به نمودار طیفی کانی‌های شاخص، برای دگرسانی پروپلیتیک باندهای ۸، ۷، ۹ و ۶ و برای دگرسانی‌های فلیک و آرژلیک باندهای ۴، ۵، ۶ و ۷ به‌عنوان باندهای ورودی روش آنالیز مؤلفه اصلی انتخاب می‌شود (ماهوش محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به جدول ۱ و بررسی ماتریس مقادیر ویژه‌ی زون پروپلیتیک، براساس شرط انتخاب PC و بیشترین اختلاف بین باندها ۸ و ۹، PC4 به‌عنوان PC مناسب انتخاب می‌شود و همین‌طور، برای شناسایی دگرسانی‌های فلیک و



شکل ۸: انواع دگرسانی‌های منطقه خونی و کالکافی استخراج شده از آنالیز مولفه اصلی (تصویر الف دگرسانی پروپلیتیکی، تصویر ب دگرسانی فلیک و آرژلیک)

نشان می‌دهد، این باند به‌عنوان باند مدل‌سازی در روش LS-Fit به همراه باند ناحیه SWIR استر به عنوان باند ورودی، در نظر گرفته شد. همچنین باند ۵ به‌عنوان باند مدل دگرسانی فلیک به همراه باند ناحیه SWIR استر به‌عنوان باند ورودی، انتخاب می‌شود (ماهوش محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). با مشخص شدن باندهای مدل می‌توان دگرسانی‌های منطقه را مشخص کرد که در زیر نتایج حاصل از روش LS-Fit نشان داده شده است. مناطق روشن خارج از محدوده می‌تواند نمایان‌گر دگرسانی‌های مورد نظر، و یا نشان دهنده‌ی پوشش گیاهی است، که مناطق دارای پوشش گیاهی در شکل ۳ مشخص شده است.

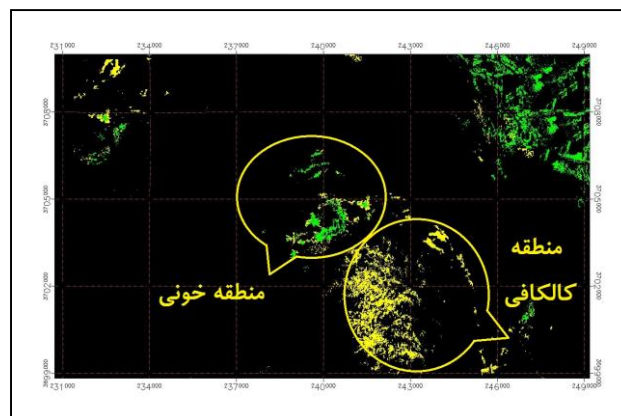
تصاویر حاصل از روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit): در این تحقیق، روش کمترین مربعات رگرسیون شده بر روی باندهای SWIR داده‌های ماهواره‌ای ASTER محدوده اکتشافی خونی برای بارزسازی دگرسانی‌های آرژلیک، فلیک و پروپلیتیک استفاده شد. نظر به اینکه کانی کائولینیت یکی از کانی‌های شاخص آلتراسیون آرژلیک است و طیف این کانی در باند ۷ استر (باند ۴ ناحیه طول موجی SWIR) جذب بالایی را نشان می‌دهد، بنابراین باند ۷ استر، به‌عنوان باند مدل استفاده گردید. برای مشخص کردن دگرسانی پروپلیتیک با این روش، با توجه به اینکه طیف کلریت (کانی شاخص آلتراسیون پروپلیتیک) در باند ۸ استر (باند ۵ ناحیه SWIR) جذب بالایی را



شکل ۹: نمایش محدوده دگرسانی منطقه خونی و کالکافی به صورت پیکسل‌های روشن با استفاده از روش LS-Fit. (تصویر الف) آلتراسیون پروپلیتیک، تصویر ب) آلتراسیون آرژلیک و تصویر ج) آلتراسیون فلیک

زرد دیده می‌شوند. همانطور که مشخص است نواحی خونی عمدتاً به رنگ سبز است که نشان دهنده دگرسانی پروپلیتیک است. دگرسانی غالب منطقه کالکافی آرژلیک است، که به رنگ زرد مشخص شده است. محدوده‌های خارج از محدوده که به رنگ سبز و زرد مشخص شده‌اند نشان دهنده پوشش گیاهی است که با شکل ۳ تطابق دارد.

تصاویر حاصل از نقشه برداری 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 ۱۰ نشان داده شده است. در این تصویر، نواحی با دگرسانی پروپلیتیک (کلریت و اپیدوت) به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی آرژلیک (کائولینیت) به رنگ



شکل ۱۰: تصویر دگرسانی‌های محدوده اکتشافی خونی و کالکافی. نواحی با دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و دگرسانی آرژلیک به رنگ زرد دیده می‌شوند.

## بحث

کرده است، تایید می‌نماید. در این تحقیق روش SAM برای شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال قابل قبول و کارآمد می‌باشد (بیراوندپور و هاشیم، ۲۰۱۲).

ارزیابی مطالعات: در این پژوهش با استفاده از روش‌های دورسنجی، پردازش‌های مختلفی بر روی داده‌های سنجنده ASTER انجام گرفت، که منجر به شناسایی و تفکیک انواع پهنه‌های دگرسانی شد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، دگرسانی‌های غالب منطقه خونی پروپلیتیک به‌همراه دگرسانی‌های آرژیلیک و فیلیک است و دگرسانی‌های غالب منطقه کالکافی آرژیلیک و فیلیک است به منظور ارزیابی، نتایج حاصل با مطالعات پیشین مانند، کنترل صحرایی به همراه نمونه برداری از مناطق دگرسانی برای مطالعه مقاطع نازک و صیقلی، تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی به روش XRD که توسط حیدریان دهکردی و همکاران (۱۳۹۰) و نظام پور (۱۳۸۴) انجام شده است، مقایسه می‌شود. با توجه به مطالعات دهکردی و همکاران (۱۳۹۰)، مهم‌ترین دگرسانی‌های مختلف مناطق را، آرژیلیک و پروپلیتیک نام برده‌اند که مطالعات کانی‌شناسی نظام پور (۱۳۸۴) نیز آن را تأیید می‌کند. هم‌چنین شواهد صحرایی پروپلیتی شدن، به ویژه از نوع کلریتی شدن را شایع‌ترین نوع دگرسانی رخ داده در منطقه خونی نشان می‌دهد. این دگرسانی عمدتاً در سنگ‌های مجموعه ولکانیکی منطقه گسترش دارد. این دگرسانی با مجموعه کانی‌های اپیدوت + کلریت + کربنات + پیریت مشخص می‌شود. که بیشتر در اطراف کوه خونی شاهد آن هستیم. و نیز دگرسانی آرژیلی که به رنگ‌های سفید تا کرمی در حاشیه‌های دایک‌های مونزونیتی و اطراف درزه‌های واحد آتشفشانی-آذرآواری ائوسن، مشاهده می‌شود، صحت و دقت نتایج بدست آمده از این

با مقایسه نقشه‌های حاصل از روش‌های مختلف استفاده شده در این تحقیق، نشان داد که دقت روش SAM بیش از سایر روش‌ها است. به دلیل شباهت اعضای مرجع با یکدیگر، به دلیل کم بودن اختلاف طیفی در سطح زیر پیکسل می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده روش نقشه بردار زاویه-ای با توجه به شرایط منطقه به‌عنوان روشی کارآمد و بهینه برای تشخیص دگرسانی‌های منطقه معرفی می‌شود. علاوه بر آن، نتایج بدست آمده از این پژوهش، نتایج تحقیقی فرد و همکاران (۲۰۰۳) که در منطقه کوپریت امریکا کانی‌های آلونیت، موسکویت، کائولینیت و زئولیت را جداسازی کردند، تایید می‌کند. در این هم روش SAM، در مقایسه با روش‌های دیگر با دقت بالاتری نواحی طلا را تشخیص داد (فرد و همکاران، ۲۰۰۳). افزون بر اینها، نتایج این تحقیق، نتایج تحقیق ارغوانیان و همکاران (۱۳۹۰) را که با استفاده از الگوریتم‌های SAM و LSU مناطق دارای پتانسیل طلا را در منطقه غرب مشکین شهر مشخص کرده است را مورد تایید قرار می‌دهد. در این تحقیق هم روش SAM دقت بالاتری دارد (ارغوانیان و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج حاصل از این پژوهش، افزون بر اینها، با نتایج عامر و همکاران که در سال ۲۰۱۲، با استفاده از تصاویر ASTER و الگوریتم‌های PCA، SID و SAM برای تعیین دگرسانی‌های طلا در مصر استفاده کرده است. هم‌خوانی دارد. در این تحقیق هم روش SAM بهترین نتیجه را ارائه می‌دهد (عامر و همکاران، ۲۰۱۲). و در آخر، نتایج تحقیق بیراوندپور و هاشیم را که در سال ۲۰۱۲، که با استفاده از تصاویر ASTER، کاربرد انواع روش‌های پردازش را مانند نسبت بانندی، روش مؤلفه اصلی انتخابی، SAM و ... برای شناسایی دگرسانی‌های کانسارهای طلای اپی ترمال مرور

پژوهش را تصدیق می‌کند. به نظر می‌رسد که حواشی دایک‌ها، به‌عنوان نقاط ضعیفی، برای صعود سیالات گرمایی نقش داشته‌اند. به‌طوری‌که این سیالات در مسیر خود، حواشی دایک‌ها را دگرسان نموده و آن‌ها را به رنگ قرمز-صورتی تا آجری درآورده‌اند. بنابراین نتایج این بررسی‌ها، انطباق مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی، با نتایج دورسنجی در منطقه خونی و کالکافی را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

تهیه تصاویر مناطق دگرسانی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای روشی سریع و مطمئن است. داده‌های ماهواره‌ای ASTER محدوده اکتشافی خونی با استفاده از روش‌های پردازشی از قبیل ترکیب رنگی کاذب، کروستا، نسبت باندی، روش کمترین مربعات رگرسیون شده و نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) مورد پردازش قرار گرفتند. در این

### منابع

-آلیانی، ف.، دادفر، ث. و معانی جو، م.، ۱۳۹۳. آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار آهن حاجی آباد، با استفاده از داده‌های (SWIR+VNIR) سنجنده ASTER، علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، ص ۷۳-۸۰.  
-آقاناتی، ع. ک.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم، تهران.  
-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، ص ۹۱-۱۰۶.

تحقیق، با استفاده از به‌کارگیری روش‌های پردازشی ذکر شده، کانی‌های کلریت و اپیدوت (دگرسانی پروپلیتیک)، مسکویت و سربیت (دگرسانی فیلیک) و کائولن (دگرسانی آرژیلیک) در محدوده اکتشافی خونی و کالکافی شناسایی شدند که در منطقه خونی، دگرسانی غالب، پروپلیتیک و در قسمت شمال منطقه خونی نیز کمی دگرسانی آرژیلیک و فیلیک مشخص شده است. ولی در منطقه کالکافی، اثری از دگرسانی پروپلیتیک نیست و دگرسانی‌های غالب آن، آرژیلیک و فیلیک نتیجه شده است که با مطالعات زمین‌شناسی منطقه هم-خوانی کامل دارد. نتایج و تصاویر به‌دست آمده بیانگر این مسئله است که این روش‌ها در تعیین و تفکیک نواحی دگرسان شده در محدوده اکتشافی خونی و کالکافی دارای نتایج قابل قبولی است و هم‌چنین روش بهینه و مؤثر در تعیین دگرسانی-های منطقه، نسبت به سایر روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق، روش SAM معرفی می‌شود.

-اسدی‌هارونی، ه.، ۱۳۸۵. کاربرد دورسنجی در اکتشاف ذخایر معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.  
-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، ص ۳۲-۳۹.  
-اکبری، ز.، رسا، ا.، آدابی، م.ح. و محجل، م.، ۱۳۹۴. نقشه برداری واحدهای سنگی منطقه آهنگران (جنوب شرق ملایر) بر پایه داده‌های ASTER، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۴، ص ۳۸-۵۷.  
-پورجبار، آ.، ۱۳۸۵. بررسی‌های ژئوشیمیایی رگه-های پلی متال در منطقه خونی (شمال انارک-

- ماهوش محمدی، ن.، هزارخانی، ن.ا. و قنادپور، س.، ۱۳۹۱. استفاده از روش‌های SAM و LS-Fit در شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال در منطقه خونی و کالکافی (استان اصفهان)، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ص ۷۲-۸۱.

- معصومی، ف.ا. و رنجبر، ح.ا.، ۱۳۹۰. مقایسه بین داده‌های ژئوفیزیک هوایی و تصاویر حسگر استر در نقشه برداری از مناطق دگرسانی گرمایی به منظور اکتشاف کانی‌سازی مس در منطقه بافت کرمان، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۱، ص ۸۳-۱۰۰.

- نظام پور، م.، رسا، ا. و لیاقت، س.، ۱۳۸۴. راهکارهای اکتشافی کانسار پلی‌متال خونی براساس دگرسانی‌های همراه و کنترل‌های ساختاری، مجموعه مقالات نهمین گردهمایی انجمن زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدن، ص ۶۳-۷۰.

- نوحه گر، ا.، بداعی، 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، ص ۱-۱۳.

استان اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-حیدریان دهکردی، ن. و رسا، ا.، ۱۳۹۰. خصوصیات و خاستگاه کانه‌زایی طلا در واحد آتشفشانی ائوسن کانی‌سازی چشمه خونی، انارک بررسی ماهیت سیال کانه‌ساز و مقایسه آن با سایر انواع تیپ کانسارهای طلا، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۵، ص ۷۳-۸۵.

-خلج معصومی، م.، لطفی، م.، معمار کوچه باغ، ا. و خاکزاد، ا.، ۱۳۹۰. دگرسانی گرمایی در ناحیه آنومالی ۵ ساغند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۶، ص ۲۹-۴۱.

-لگ، ک.، ۱۳۸۰. دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، ترجمه فرهنگ جاه، بهروز، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۳۵۰ ص

- ماهوش محمدی، ن.، هزارخانی، ن.ا. و مقصودی، ع.، ۱۳۹۲. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ASTER برای شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال در منطقه خونی و کالکافی استان اصفهان، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، ص ۴۴-۵۰.

-Abrams, M. and Hook, S., 2001. ASTER User Handbook (Version 2): Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA-91109, USA, 135 p.

-Alavipanah, S.K., Komaki, C.B. and Alikhah Asl, M., 2005. Application of Thermal Remote Sensing in the Enviromantal Studies, The 9th world multiconfrence on systemics, cybernetics and informatics, p. 1-31.

-Amer., R., Kusky, T. and El Mezayen, A., 2012. Remote sensing detection of gold related alteration zones in Um Rus area, Central Eastern Desert of Egypt,

Advances in Space Research, v. 49, p. 121-134.

-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 (Se-Sanandaj city), Research journal of applied sciences, v. 2(96), p. 763-768.

-Azizi, H., Tarverdi, M.A. and Akbarpour, A., 2010. Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR datafrom east Zanjan, northern Iran, Advances in Space Research, v. 46, p. 99-109.



- Bedini, E., Van Der Meer, F. and Van Ruitenbeek, F., 2009. Use of HyMap imaging spectrometer data to map mineralogy in the Rodalquilar caldera, southeast Spain, *Int. J. Remote, Sensing*, v. 30, p. 327-348.
- Beiravand Pour, A. and Hashim, M., 2012. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. *Ore Geology Reviews*. v. 44. p. 1-9.
- Boloki, M. and Poormirzaee, R., 2009. Using ASTER Image Processing for Hydrothermal Alteration and Key Alteration Minerals Mapping in Siyahrud area, Iran, *International Journal of Geology*, v. 3, p. 38-43.
- 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.
- 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.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W. and Huntington, J.F. 2003. Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping, *IEEE transactions on Geoscience and remote sensing*, v. 41, p. 1388-1400.
- Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument, *Proceedings of SPIE, International Society for Optical Engineering*, v. 2583, p. 16-25.
- 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.
- Gupta, R.P., 2003 *Remote Sensing Geology*, Second edition, Springer, Verlag, Berline, 656 p.
- Kalinowsky, A. and Oliver, S., 2004, *ASTER Mineral Index Processing Manual Remote Sensing Applications*, Geoscience Australia, v. 26, p. 1125-1145.
- 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 Emis- sion and Reflection Radiometer (ASTER) Image Processing, *Journal of Applied Sciences*, v. 9, p. 829-842.
- 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 20<sup>th</sup> congress, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul Turkey, v. 4, p. 701-706.
- Sabins, F.F., 1999 Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, v. 14, p. 157-183.
- 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.
- 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.
- Vincent, R.K., 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*, 1st edition, Prentice Hall, v. 366, 367 p.
- 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.

-Yuhas, R.H., Goetz, A.F.H. and Boardman, J. W., 1992 Discrimination

among semiarid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm, In Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication, v. 1, p. 147-149.