



## شناسایی دگرسانی‌های هیدروترمال در منطقه موته، شمال غرب اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

هوشنگ اسدی‌هارونی<sup>۲</sup>کیوان مختاری<sup>۱</sup>سمیه بیرانوند<sup>۴</sup>محمدعلی علی‌آبادی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

\*\*\*\*\*

### چکیده

کانسار طلای موته و نواحی مجاور آن از تیپ طلای کوه‌زایی است. در این ناحیه در مجموعه متاولکانیک‌ها و در رابطه با گنایس و میکاشیست‌های متعلق به پرکامبرین، کانی‌زایی عمدتاً در زون‌های دگرسانی سیلیسی و سربستی و کربناتیزاسیون، در شکستگی‌ها به صورت رگه و رگچه‌ای به همراه اکسیدهای آهن متمرکز شده است. طبق بررسی‌های انجام شده در این منطقه، دگرسانی‌های توأم رسی، اکسیدهای آهن و سیلیسی شدن سنگ دیواره برای پی‌جویی ذخایر طلا حائز اهمیت است. در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای ASTER و لندست ۸ به منظور بارسازی کانی‌های رسی در رابطه با دگرسانی‌ها، اکسیدهای آهن و واحدهای سنگی منطقه مطالعاتی و داده ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای افزایش قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها و افزایش دقت مکانی نقشه‌های دگرسانی استخراج شده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، برای پردازش تصاویر فوق‌الذکر روش‌های مختلف پردازش داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی ASTER مانند ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، روش کمترین مربعات رگرسیون<sup>۵</sup> (LS-Fit)، آنالیز مؤلفه‌های اصلی<sup>۶</sup> (PCA)، نقشه‌بردار زاویه طیفی<sup>۷</sup> (SAM)، فیلترگذاری تطبیقی<sup>۸</sup> (MF)، برای شناسایی و تفکیک کانی‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی طلا به کار گرفته شدند. در نهایت نقشه پراکندگی زون‌های دگرسانی شناسایی شده، با نقشه زمین‌شناسی، مشاهدات میدانی و نتایج آنالیز XRD نمونه‌های میدانی مقایسه شد. برای مقایسه نتایج و ارزیابی صحت روش‌های یاد شده از ماتریس خطا و ضریب کاپا استفاده شد. پس از نمونه‌برداری‌ها و تجزیه‌های آماری، مشخص شد که روش نقشه‌بردار زاویه طیفی، بهترین تطابق را با واحدهای زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد، و با این روش علاوه بر زون‌های از پیش شناخته شده، محدوده‌های جدید دگرسان شده قابل شناسایی هستند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی طلا، دگرسانی، موته، طیف‌سنجی، ASTER، سنتینل-۲، لندست ۸.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران keyvan\_gm@yahoo.com  
 ۲- استایار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران و مدرس مدعو، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران (نویسنده مسئول) hooshang@cc.iut.ac.ir  
 ۳- عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران geo.aliabadi@gmail.com  
 ۴- مدرس مدعو، گروه زمین‌شناسی، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران s.beyranvand@yahoo.com

5- Least square Fit

6- Principal Component Analysis

7- Spectral Angle Mapper

8- Matched Filtering

## ۱- مقدمه

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 (Nagendra and Rocchini, 2008: 340). فناوری سنجش از دور به‌عنوان روشی مؤثر در اکتشافات معدنی و نقشه‌برداری طیفی واحدهای سنگی مطرح است. داده‌های سنجش از دور در نقشه‌برداری زمین‌شناسی و شناسایی مناطق دگرسانی کانی شده بسیار مؤثر هستند (Asran and Hassan, 2019: 12). دگرسانی ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. بهترین روش برای پیدا کردن دگرسانی‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. اسدی و طباطبایی (۱۳۸۶) روش‌های پردازش نسبت بانندی و تصاویر رنگی کاذب با روش پردازش تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی (PCA) را به‌منظور شناسایی محدوده‌های دگرسانی در مناطق مختلف بر روی تصاویر ASTER، به‌کار گرفته‌اند. گومز و همکاران (۲۰۰۵) عمل نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناختی نامیبیا را با استفاده از الگوریتم PCA بر روی داده‌های ASTER انجام دادند. والفیر و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های سنجش از دور ASTER، الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی را برای نقشه‌برداری ژئومورفولوژی در سواحل منطقه آمازون به‌کار برده‌اند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای مطالعه کلی و شناسایی مناطق دگرسانی گرمایی و گسترش انواع کانی‌های اکسید آهن و از داده‌های ماهواره سنتینل ۲ برای افزایش قدرت تفکیک مکانی و طیفی داده‌های ASTER به‌منظور افزایش قابلیت تشخیص و تفسیر بهتر زون‌های دگرسانی منطقه به کمک نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شده است. سنجنده ASTER اطلاعات منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا تهیه می‌نماید. از این ۱۴ باند، سه باند در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک ( $0.53-0.86 \mu\text{m}$ ) با تفکیک مکانی ۱۵ متر و قابلیت دید سه‌بعدی که توسط دو مؤلفه NADIR و BACKWARD فراهم می‌شود، قرار گرفته است. در

محدوده فرورسرخ موج کوتاه ( $1.6-2.13 \mu\text{m}$ ) این سنجنده دارای شش باند با تفکیک مکانی ۳۰ متر است. این باندها دارای بیشترین پتانسیل برای بررسی ترکیب مواد زمینی بوده و طیف جذبی کانی‌های هیدروکسیلی، سولفاتی و کربناتی در این محدوده قرار دارد؛ همچنین در محدوده فرورسرخ گرمایی ( $8.125-11.65 \mu\text{m}$ ) دارای پنج باند با تفکیک مکانی ۹۰ متر است (ASTER user's guide, 2005).

سنجنده‌ی OLI<sup>۱</sup> ماهواره‌ی لندست ۸ دارای هشت باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر است. در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه تصویربرداری می‌کند (Irons et al., 2012: 4).

اولین هدف تحقیق حاضر، شناسایی دگرسانی‌ها در رابطه با کانی‌سازی طلا مشابه معدن موته است و با فرض و علم بر وجود دگرسانی‌های طلا در منطقه، مناطق امید بخش جدیدی مانند معدن طلای موته می‌توان برای انجام اکتشافات دقیق‌تر معرفی کرد، همچنین معرفی روش‌های مؤثرتر سنجش از دور برای شناسایی مناطق امیدبخش که با مناطق شناسایی شده قبلی (کانسارهای نه‌گانه) و مناطق آزمایش شده از نظر کانه‌زایی طلا، مطابقت داشته باشد، از اهداف این تحقیق است. نتایج این تحقیق نه تنها می‌تواند به شناسایی ذخایر مشابه در مناطق اطراف و به‌طور گسترده‌تر در زون سنجده-سیرجان در ایران کمک کند، بلکه می‌تواند یک استراتژی نوین برای اکتشاف ناحیه‌ای ذخایر طلای تیپ شیترزون (نظیر موته) با استفاده از مطالعات دورسنجی معرفی نماید.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

ناحیه معدنی موته در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال غرب اصفهان قرار دارد و دارای ۱۰ اندیس عمده به‌نام‌های چاه خاتون، سنجده، دره اشکی، تنگه زر، چشمه گوهر، قروم قروم، چاه باغ، چاه علامه، چشمه دستار و سه کپ می‌باشد.

مشاهدات صحرائی حاکی از رخداد کانی‌سازی رگه‌ای و رگچه‌ای سولفیدی طلا دار در پهنه‌های برشی میلونیتی و زون‌های گسلی چپ‌گرد در سنگ میزبان متاولکانیک فلسیک تا مافیک است که عمدتاً در راستای NW-SE و شیب ملایم تا تند به سوی NE تشکیل شده است (Mehrabi et al., 2012: 69).

در منطقه موته دست کم دو نسل کانی‌سازی یکی در کرتاسه پایانی-پالئوسن (۵۶ تا ۶۸ میلیون سال) (Rashidnejad Omran, 2002: 1190) و دیگری براساس سن سنجی  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (Moritz et al., 2006: 1518) ائوسن (۳۸/۵ تا ۵۵/۷ میلیون سال) تشخیص داده شده است.

کانی‌سازی طلا همراه با دگرسانی گرمابی دسته‌کم به دو صورت زیر رخ داده است:

۱- کانی‌سازی همراه با مقادیر بالای کانی‌های سولفیدی (بیش از ۵۰ درصد حجمی) شامل پیریت‌های خودشکل تا نیمه شکل‌دار، کالکوپیریت و آرسنوپیریت در سنگ میزبان متاریولیت‌های شسته شده و انواع مختلفی از شلیست‌های دگرگون شده.

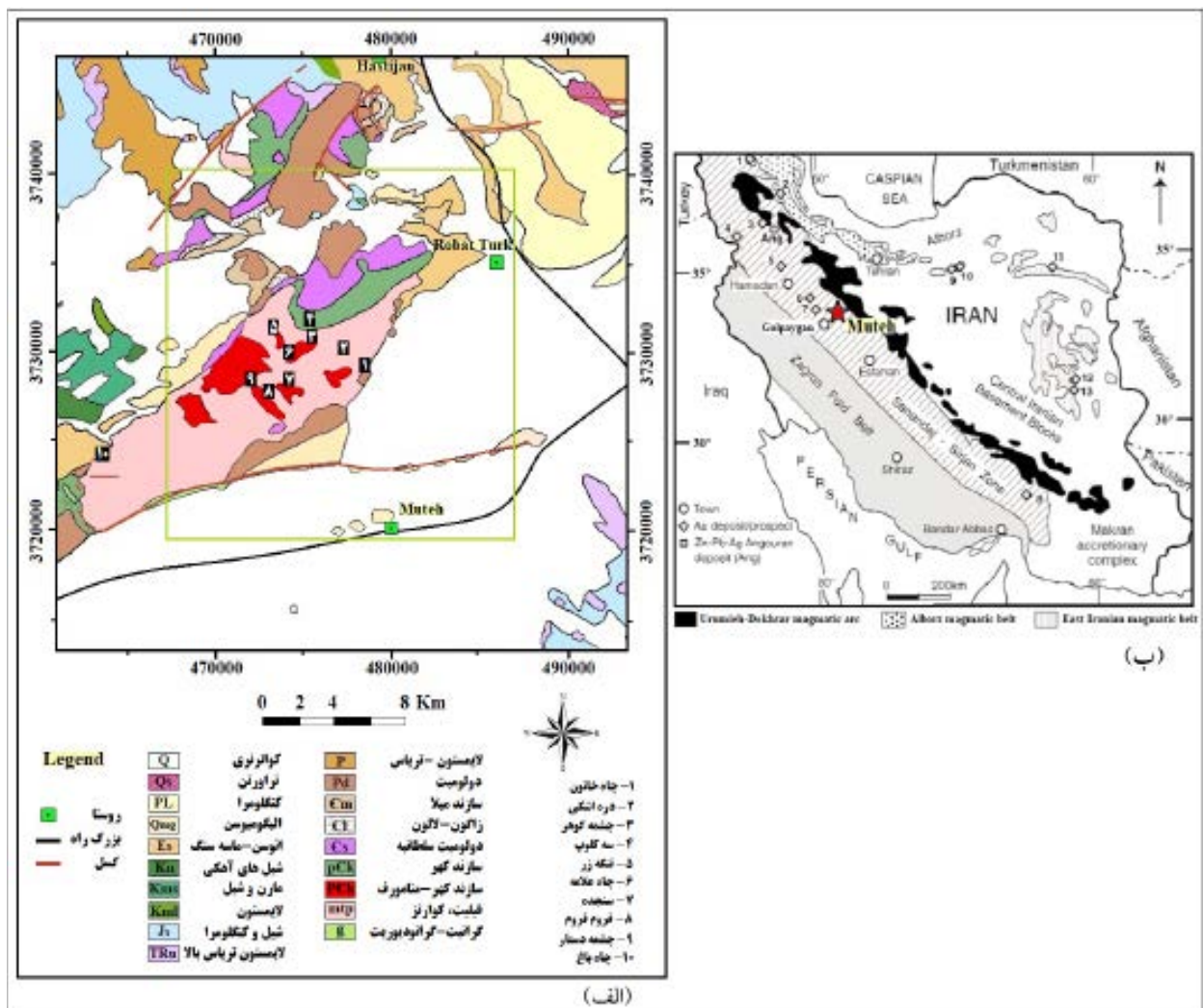
۲- کانی‌سازی همراه با مقادیر فراوان رگه و رگچه‌های کوارتز - سولفیدی تشکیل شده در راستای سامانه پهنه‌های برشی شکل‌پذیر شکن. پیریت و کالکوپیریت به‌عنوان کانی‌های غالب در منطقه مهم‌ترین فازهای حامل کانی‌سازی طلا نیز محسوب می‌شوند. علاوه بر آن کانی‌های مارکاسیت، بیسموت، سولفید مس - بیسموت، آرسنوپیریت و پیریت از کانی‌های فرعی منطقه هستند (Mehrabi et al., 2012: 87).

در (نگاره ۱) نیز نقشه زمین‌شناسی محدوده معدن طلای موته، مناطق اطراف به همراه موقعیت اندیس‌های طلا ارائه شده است. کانی‌سازی طلا عمدتاً در متاریولیت‌های شدیداً آلتزه که حاوی سولفورهای آهن و مس هستند و در داخل شکستگی‌ها به‌صورت رگه و رگچه، متمرکز شده است. آلتراسیون‌های سیلیسی، سریسیتی و کربناتیزاسیون نیز همراه با این کنسارها مشاهده می‌شود که به‌عنوان کلیدهای اکتشافی مورد بررسی قرار می‌گیرند (Moritz et al., 2006: 1517).

که از این بین، تنها استخراج طلا در حال حاضر از سنجده و چاه خاتون انجام می‌گیرد. کنسار موته در گروه کنسارهای طلای مزوترمال قرار می‌گیرد (Moritz et al., 2006: 1508).

منطقه معدنی موته، بخشی از درون نهشته گلیپایگان - موته با روند عمومی شمال خاوری جنوب باختری است که در بخش مرکزی زون سنندج-سیرجان قرار گرفته است. این زون با ۱۵۰ کیلومتر عرض و ۲۰۰۰ کیلومتر طول، هنگام فرورانش اقیانوس نئوتتیس در طول حاشیه غربی ایران تشکیل شده است (Mohajjel et al., 2003: 397; Omrani et al., 2008: 381) و عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی با سن پالئوزوئیک تا کرتاسه همراه با توده‌های نفوذی با سن ژوراسیک تا ائوسن می‌باشد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه معدنی موته، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی، ولکانیکی و ولکانی کلاستیک دگرگون شده در حد رخساره شلیست سبز تا مرز شلیست سبز به آمفیبولیت با امتداد عمومی شمال خاوری جنوب باختری هستند که توسط توده‌های نفوذی بازیگ (سیل و دایک) و به‌خصوص اسیدی و گرانیتی (استوک و با تولیت) به‌طور مکرر مورد نفوذ واقع شده‌اند (Rashidnejad- Omran, et al., 2002: 1182). این کمپلکس‌های دگرگونه از پایین به بالا شامل کمپلکس گنایسی (تناوبی از گنایس، میکاشیست و آمفیبولیت با تبدیل تدریجی به میکا-گارنت شلیست، مرمر، فیلیت و کوارتزیت در بخش‌های زیرین)، کمپلکس شلیست‌سبز (شامل تناوبی از میکاشیست، کلریت اکتینولیت شلیست، فلسیک شلیست، کالک شلیست، سنگ‌های آذرین اسیدی میلونیتی (متاریولیت و متاولکانی کلاستیک) و کمپلکس اسلیتی (تناوبی از لایه‌های نازک اسلیت، فیلیت و ماسه سنگ دگرگونه) می‌باشد که با تماس تدریجی یا ناپیوستگی هم‌شیب و گاه با همبری گسلی در زیر واحد کربناتی پرمین قرار گرفته‌اند.

در نگاهی کلی، عناصر کنترل‌کننده کانی‌سازی در منطقه موته شامل، عوامل ساختاری (گسل‌ها و شکستگی‌ها)، دگرسانی و دگرشکلی‌ها (پهنه‌های برشی شکل‌پذیرشکنا) هستند.



نگاره ۱: الف: نقشه واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه موهته به همراه موقعیت اندیس‌های طلا (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گلبایگان) ب: عناصر اصلی تکتونیکی و کمربندهای ماگمایی مزوزوئیک - سنوزویک ایران (Moritz et al., 2006)

AST\_L1T\_00309132003072533\_20150430203727\_92235

پوشش داده می‌شود. این داده از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) در سطح اطلاعاتی LIT با تاریخ اخذ ۲۰۰۳/۰۹/۱۳ میلادی دریافت شده است.

این محدوده در تصویر لندست ۸ با شماره LC08\_L1 TP\_164037\_20200818\_20200823\_01\_T1 با شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۷ واقع شده است که تصویر سطح پردازشی این محدوده به تاریخ اخذ ۲۰۱۷/۰۶/۰۲ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) ثبت سفارش و دریافت شده

### ۳- روش تحقیق

#### ۳-۱- سنجش از دور

در ابتدا نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و داده‌های ماهواره‌ای منطقه جمع‌آوری شده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و لندست ۸ و سنتینل-۲ برای شناسایی و تفکیک دگرسانی‌ها، اکسیدهای آهن و واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه که حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد استفاده شده است. پوشش زمینی هر سین داده ASTER، ۶۰\*۶۰ کیلومتر می‌باشد. محدوده اکتشافی موهته توسط تصویر شماره

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( ۳۳ )

شناسایی دگرسانی‌های هیدروترمال در منطقه موته، شمال غرب اصفهان با ... / ۳۳

استفاده از مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌های بانندی داده‌های Landsat-8 و ASTER باعث بهبود تمایز سنگ‌شناسی و افزایش مرزهای آن‌ها در نقشه زمین‌شناسی تولید شده می‌شوند، این روش در تفکیک سنگ‌شناسی و جزئیات منطقه بسیار مؤثر است (Shokry et al., 2019: 14).

با توجه به این نکته که سنجنده‌های OLI دارای یک باند در محدوده جذب (باند ۲) و یک باند در محدوده بازتاب بالایی اکسید آهن است (باند ۴) انتظار می‌رود مناطق دارای اکسید آهن از قبیل گوتیت و ژاروسیت را بهتر از سنجنده استر مشخص نماید. بنابراین از باندهای VNIR سنجنده OLI برای شناسایی این کانی‌ها استفاده شده است (Yuhas et al., 1992: 148).

### ۳-۱-۱- پیش پردازش داده‌ها

قبل از استفاده از داده‌ها، لازم است آن‌ها را برای ورود به مرحله پردازش آماده نمود. برطرف‌سازی خطاهای تصویر، شامل تصحیح مشکلات نقایص و نویزهای به‌وجود آمده در فرایند تصویربرداری می‌باشد. عملیات پیش‌پردازش مورد نیاز برای آماده‌سازی داده‌ها شامل دو مرحله کلی؛ تصحیح هندسی و تصحیح رادیومتریک است.

هدف از انجام تصحیح هندسی انطباق کامل سیستم مختصات تصویر با سیستم مختصات زمینی است. تصاویر ASTER استفاده شده در این طرح در سطح LIT بوده که براساس اطلاعات مربوط به المان‌های مداری ماهواره و با دقت بسیار بالا تصحیح سه‌بعدی شده‌اند.

تصحیحات رادیومتریک شامل تصحیحات سنجنده و تصحیحات اتمسفریک است. در تصحیحات سنجنده کالیبراسیون داخلی سنجنده و نحوه عمل آشکارسازهای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در داده ASTER تصحیحات رادیومتریک مربوط به سنجنده انجام شده، و بر روی این داده‌ها با استفاده از روش FLAASH<sup>۲</sup> در نرم‌افزار ENVI

است، و همچنین محدوده موته توسط یک بلوک داده ماهواره‌ای Sentinel-2A با تصویر شماره L1C\_T39SVT\_A027316\_20200914T072138 و شماره مدار R006 پوشش داده می‌شود که در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۱۴ اخذ شده است. این داده در سطح اطلاعاتی L1C و از سایت آژانس فضایی اروپا دریافت شده است.

ماهواره‌ی سنتینل-۲ از دو ماهواره‌ی Sentinel-2A و Sentinel-2B تشکیل شده است (Drusch et al., 2012: 26). سه مأموریت اصلی این ماهواره عبارتند از:

۱- ارائه‌ی تصاویر چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا

۲- ارائه‌ی تصاویری که مکمل داده‌های لندست و اسپات باشند

۳- جمع‌آوری اطلاعات برای محصولات شامل نقشه‌های پوشش زمین و نقشه‌های تغییرات زمین، ماهواره‌ی Sentinel-2A در ژوئن سال ۲۰۱۵ پرتاب شده است. این

ماهواره دارای سنجنده‌ی چندطیفی به نام MSI<sup>۱</sup> است و از قدرت تفکیک زمانی پنج روزه در استوا و سه روزه در عرض‌های میانی برخوردار است. منطقه تحت پوشش این ماهواره از عرض ۸۴ درجه شمالی تا ۵۶ درجه جنوبی می‌باشد. سنتینل ۲ از ۱۳ باند تشکیل شده است که محدوده طول موج‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه را پوشش می‌دهد. چهار باند آن ۱۰ متری، شش باند آن ۲۰ متری و سه باند آن ۶۰ متری است (Drusch et al., 2012: 26).

ماهواره سنتینل ۲، جدیدترین نسل ماهواره‌های مشاهده متعلق به سازمان فضایی اروپا است. این ماهواره در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد و در مقایسه با سری ماهواره‌های لندست، قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی بهتری دارد. ویژگی‌های این ماهواره سبب شده است که کارایی مناسبی در کاربردهای متفاوت نظیر طبقه‌بندی جنگل و پیش‌محصول، تشخیص مناطق ساخته شده و همچنین پیش‌محیط‌های آبی داشته باشد (Immitzer et al., 2016: 1; Paul et al., 2016:10; Lefebvre et al., 2016: 2)

و پراکندگی زون‌های دگرسانی و نوع کانی‌سازی در معدن طلای موته در منطقه، کانی‌زایی‌های تیپ طلای کوه‌زایی انتظار می‌رود، که می‌توان آن را به‌طور غیرمستقیم با تشخیص دگرسانی‌های فوق احتمالاً شناسایی نمود.

روش‌های رقومی پردازش تصاویر ماهواره‌ای عبارتند از:

### ۳-۱-۲-۱- نسبت‌گیری باندها<sup>۲</sup>

نسبت‌گیری بانندی یک روش رقومی پردازش تصاویر چندطیفی است که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن در تصویر یا باند دیگر می‌شود. نسبت‌گیری یکی از متداول‌ترین انواع تبدیل است که بر تصاویر سنجنش از دور اعمال می‌شود. با شناخت خواص انعکاسی پدیده‌ها از روی نمودار طیفی آن‌ها، می‌توان به کمک روش فوق پدیده‌های مختلف مانند مرز واحدهای سنگی و انواع دگرسانی را بارزسازی کرد (Di Tommaso and Rubinstein, 2007: 288).

### ۳-۲-۱-۲- آنالیز مؤلفه‌های اصلی<sup>۳</sup> (PCA)

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی که آنالیز مؤلفه‌های اصلی نیز خوانده می‌شود، در تجزیه و تحلیل‌هایی که معمولاً امکان استفاده از چند باند وجود ندارد و تنها یک باند مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند کاربرد فراوانی داشته باشد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی در اصل به منظور فشرده‌سازی داده‌ها به‌کار می‌رود ولی در سنجنش از دور برای حذف اطلاعات تکراری یا اضافی طیفی<sup>۴</sup> و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم و بیش دارای همبستگی هستند در یک باند با واریانس بالا به‌کار می‌رود (Alavi Panah, 2003: 27). در روش مؤلفه‌های اصلی برای یافته انتخابی<sup>۵</sup> (FPCS) از باندهای مناسب و شناخته شده که دارای اطلاعات مناسب هستند، استفاده می‌شود (Crosta and Moore, 1989: 1183).

تصحیح اتمسفری انجام شد (QUAC, 2009: 17). تصاویر لندست طی یک الگوریتم مخصوص به‌نام LEDAPS<sup>۱</sup> با استفاده از داده‌های جانبی و مدل‌های کامل و دقیق اتمسفری مورد پردازش قرار گرفته است.

داده ماهواره‌ای سنتینل-۲ نیز در سطح تصحیحاتی LIC است که تصحیحات هندسی سه‌بعدی و رادیومتریک بر روی آن اعمال شده و به‌صورت داده انعکاس در بالای اتمسفر هستند. از آنجاکه در پژوهش حاضر از تصویر Sentinel-2A در ترکیب با سایر داده‌ها برای بررسی دقیق‌تر محدوده مطالعاتی استفاده شده و بر روی آن براساس روش‌های نسبی بین باندها، نه روش‌های مطلق، پردازش‌های تصویری صورت گرفته است، لذا تهیه تصویر انعکاس در سطح زمین لازم نبود و از این داده به‌صورت انعکاس در بالای اتمسفر استفاده شد. در این مطالعه از نرم‌افزار ENVI5.3 برای پردازش داده‌های دورسنجی و بارزسازی زون‌های دگرسان استفاده شده است.

### ۳-۱-۲- پردازش داده‌های ماهواره‌ای

با استفاده از پردازش اطلاعات ماهواره‌ای، می‌توان داده‌ها و اطلاعات مختلف را شناسایی و استخراج کرد. پردازش داده‌های ماهواره‌ای به دو صورت پردازش بصری و رقومی صورت می‌گیرد. با تلفیق این دو روش، عوارض مورد نظر با دقت بیشتری از تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص هستند. روش بصری شامل تهیه تصاویر ترکیب رنگی متنوع با استفاده از جاگذاری باندهای طیفی در کانال‌های قرمز، سبز و آبی است.

بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده دگرسانی گرمایی گسترده در سطح منطقه بوده و زون‌های دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک، فیلیک، پروپیلیتیک و سیلیسی شدن از جمله زون‌های دگرسانی قابل تشخیص در منطقه هستند که با استفاده از روش‌های مختلف پردازش داده‌های ماهواره‌ای شناسایی شدند. در این محدوده با توجه به لیتولوژی منطقه

2- Band Ratio

3- Principal Component Analysis

4- spectral redundancy

5- Feature-Orientated Principle Component Selection

1- Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System

طیف مرجع به بازسازی مناطق هدف پرداخته می‌شود (Harsani and Chang, 1994: 784). روش MF ابتدا باندهایی که کلیه تصحیحات روی آن‌ها انجام شده را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و سپس طیف بازتابی کانی‌هایی که قصد جدایش آن‌ها وجود دارد (با توجه به کتابخانه طیفی ایجاد شده) به‌عنوان ورودی بعدی به آن داده می‌شود. انتخاب روش‌های فوق براساس نوع اطلاعات مورد درخواست برای استخراج داده‌ها از تصاویر صورت گرفته است.

### ۲-۳-۲- بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی

به‌منظور صحت‌سنجی میان مشاهدات صحرایی و آنالیزهای طیفی تعداد ۲۴ نمونه از سنگ‌های منطقه و محل دگرسانی‌ها به‌ویژه حضور دگرسانی سیلیسی، آرژلیک، سریسیتی در نزدیکی غرب و شمال غرب کانسارهای سنجد و در شمال و نزدیکی چاه خاتون برداشت شد که ۱۱ نمونه برای آنالیز XRD به آزمایشگاه زرآزما و پنج نمونه برای ۴۱ عنصر مورد آنالیز شیمیایی به‌روش ICP-MS<sup>۴</sup> و همچنین عنصر طلا به‌روش FIRE ASSAY به آزمایشگاه شرکت زرکاوان البرز ارسال شد.

با توجه به نتایج حاصل از نمونه‌ها در جدول ۱، کانی‌های کوارتز، آلونیت، ایلیت، آلبیت و دولومیت بیشترین میزان (فاز اصلی) را نشان می‌دهند. و کانی‌های ایلیت، موسکویت، کلریت و ژئوتیت در فاز ثانویه مشاهده می‌شوند که در کل نشان‌دهنده حضور دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، کربناتیزاسیون، آرژلیک و پروپیلیتیک و اکسید آهن در منطقه هستند.

پس از بررسی نمونه‌ها و مشخص شدن فازهای اصلی و فرعی کانی شناسی با استفاده از آنالیز ICP-MS و FIRE ASSAY مقدار عناصر فرعی و کمیاب و طلا مشخص شد (جدول ۲).

### ۳-۲-۱- روش کمترین مربعات رگرسیون<sup>۱</sup> (LS-Fit)

این روش به تخمین یک باند براساس ترکیب خطی باندهای دیگر می‌پردازد. این تکنیک با این فرض است که باندهای به‌کار گرفته شده به‌عنوان مقادیر ورودی می‌توانند رفتار سایر باندها را به‌صورت یک عبارت خطی بیان کنند. این مقدار در واقع باند پیش‌گویی‌شونده (باند مدل) نامیده شده و به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور شناسایی کانی‌های رسی از روش کمترین مربعات رگرسیون شده نیز استفاده شد.

### ۳-۲-۱-۴ روش نقشه‌بردار زاویه طیفی<sup>۲</sup> (SAM)

روش نقشه‌بردار زاویه طیفی یکی از روش‌های مؤثر در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای است که براساس مقایسه زاویه طیفی بین بردار داده‌های طیفی مرجع (تهیه شده در آزمایشگاه، روی زمین و یا داده‌های ماهواره‌ای) و بردار داده‌های تصویر ماهواره‌ای می‌باشد. الگوریتم مورد استفاده در SAM شباهت طیفی را از طریق محاسبه زاویه بین دو طیفی که آن‌ها را به‌عنوان بردارهایی در فضای n بعدی در نظر می‌گیرد؛ محاسبه می‌کند. زاویه کم بین دو طیف نشانگر شباهت زیاد و زاویه زیاد بین دو طیف نشانگر شباهت کم است.

### ۳-۲-۱-۵ فیلترگذاری تطبیقی<sup>۳</sup> (MF)

روش فیلترگذاری تطبیقی تکنیکی است که انعکاس اعضای مرجع تعریف شده را افزایش داده و انعکاس زمینه ترکیبی تعریف نشده و ناشناخته را به‌حداقل می‌رساند، بنابراین نشان تعریف شده را روی تصویر منطبق می‌کند (Harsani and Chang, 1994: 784). این روش وسیله‌ای سریع برای شناسایی مواد خاص براساس تطبیق عضوهای انتهایی منحنی بازتاب طیفی با پیکسل‌های تصویر است که با استخراج طیف کانی‌های شاخص و مقایسه آن‌ها با

1- Least-Squares fit Linear Band Prediction

2- Spectral Angle Mapper

3- Matched Filtering

4- Inductivity Coupled Plasma- Mass Spectrometry

جدول ۱: نتایج آنالیز دستگامی به روش پراش طیفی (XRD)

Sample No.	UTM		Major Phase	Minor Phase	Trace Phase
	X	Y			
M-1-CH	478647	3729209	Quartz, Potassium Feldspar	Muscovite, illite, Chlorite, Pyrite	-
M-6-S	474009	3728437	Quartz	Albite, Potassium Feldspar, Muscovite, illite	Pyrite, Chlorite
M-7-S	474244	3728200	Alunite	Kaolinite, Muscovite, illite	Quartz
M-9-S	474298	3728282	Quartz, Muscovite - illite, Potassium Feldspar	Albite, Pyrite	-
M-10-S	474449	3728173	Quartz, Albite, Mica - illite	Potassium Feldspar, Chlorite	Hematite
M-12-S	474416	3728434	Quartz, Albite, Muscovite - illite	Potassium Feldspar, Pyrite	-
M-13-S	474291	3728202	Quartz, Muscovite - illite	Potassium Feldspar, Albite, Goethite, Kaolinite	-
M-14-S	474162	3728420	Quartz, Albite, Muscovite - illite	Potassium Feldspar, Kaolinite	-
M-18-S	474289	3728484	Quartz, Albite, Chlorite, Mica - illite	Potassium Feldspar, Vermiculite	Hematite, Calcite
M-21-CH	478712	3729383	Dolomite	-	-
M-24-S	474162	3728517	Quartz, Dolomite	Calcite	-

نوع دگرسانی از ترکیبات رنگی مختلف و شناخته شده سنجنده ASTER استفاده شد. این ترکیبات رنگی عبارتند از: تصویر ترکیب رنگی کاذب استاندارد، تصاویر ترکیب رنگی SWIR 468، SWIR 456 و TIR 531. تحلیل‌های تجربی نشان داده‌اند که تصویر ترکیب رنگی ۸، ۶، ۴ (RGB) مناسب‌ترین ترکیب رنگی برای شناسایی مناطق دگرسانی در اغلب کانسارها به‌ویژه مس پورفیری و طلای اپی‌ترمال است (Ferreir et al., 2002: 12). در این ترکیب رنگی زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته به رنگ قرمز، زون آرژیلیک به رنگ صورتی، زون پروپلیتیک به رنگ سبز تیره و واحدهای کربناته به رنگ زرد تا زرد متمایل به سبز دیده می‌شوند (نگاره ۳-الف). مجموعه باندهای با همبستگی بالا معمولاً باعث ایجاد تصاویر ترکیب رنگی ملایم می‌شوند. با حذف همبستگی‌های بالا، که معمولاً در تصاویر چندطیفی وجود دارند، می‌توان تصاویر ترکیب رنگی مفیدتری تهیه نمود. در تصویر ترکیب رنگی بسط عدم همبستگی<sup>۱</sup> باندهای ۶۸۸ سنجنده ASTER مناطق دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی، مناطق پروپلیتیک به رنگ سبز تیره و تشکیلات کربناته به رنگ زرد تا سبز شاخص‌تری مشاهده می‌شوند (نگاره ۳-ب).

بررسی‌های صحرایی و نتایج آنالیز به‌دست آمده جدول ۲، نشان می‌دهد تغییرات عیار طلا با دگرشکلی و دگرسانی ارتباط نزدیک دارد. به‌طوری که عیارهای بالای طلا به بخش‌های سیلیسی و سولفیدی شده به شدت دگرشکل (میلونیتی و اولترا میلونیتی) و پهنه‌های سیلیسی - سولفیدی طلاداری که در بخش‌های داخلی پهنه‌های دگرسانی قرار گرفته‌اند، تعلق دارند.

#### ۴- بحث و یافته‌های تحقیق

##### ۴-۱- روش ترکیب رنگی کاذب (RGB)

تصاویر سنجنده ASTER فاقد باند آبی (محدوده طیفی ۰/۴-۰/۵ میکرومتر) بوده و ترکیب رنگی حاصل از باندهای VNIR آن به‌صورت ترکیب رنگی کاذب استاندارد ۱، ۲، ۳ RGB خواهد بود (Abbaszadeh and Hazarkhani, 2017: 5). (نگاره ۲-الف). در این ترکیب رنگی پوشش گیاهی به رنگ قرمز دیده می‌شود.

در نگاره ۲-ب تصویر ترکیب رنگی ۲، ۴، ۶ (RGB) ماهواره لندست ۸ محدود مته نمایش داده شده است. در این ترکیب رنگی مناطق دگرسان شده بویژه مناطق دارای کانی‌های اکسید آهن به رنگ نارنجی تا زرد دیده می‌شوند. برای شناسایی بصری مناطق دگرسان شده و تشخیص

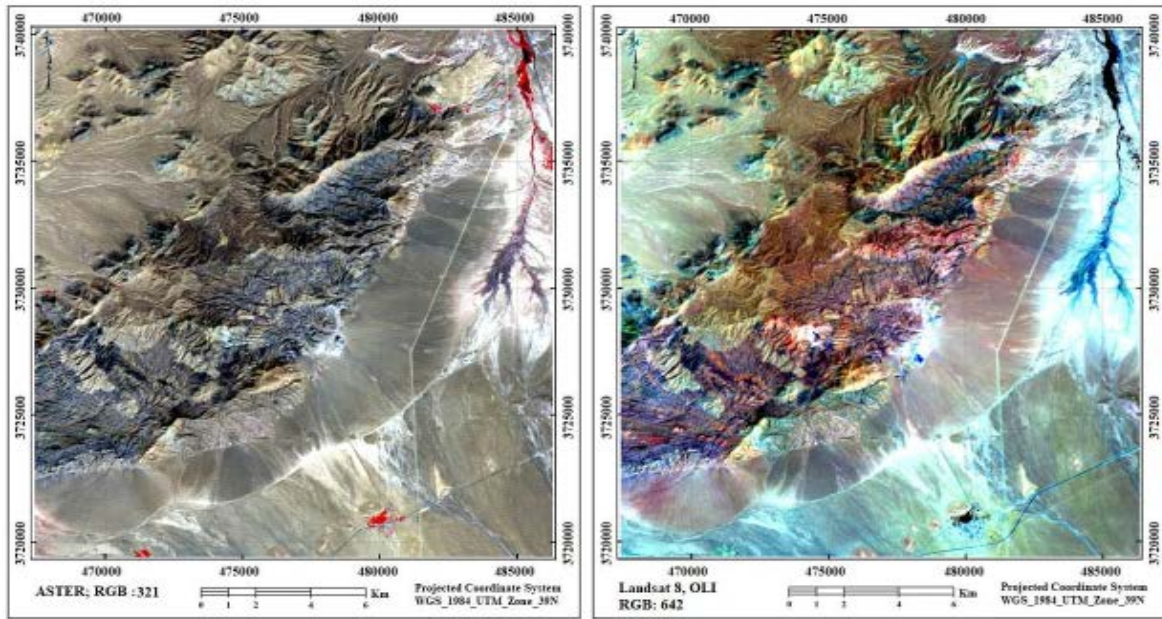


فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( )

شناسایی دگرسانی‌های هیدروترمال در منطقه موه، شمال غرب اصفهان با ... / ۳۷

جدول ۲: نتایج آنالیز ICP-MS طلا و برخی از عناصر

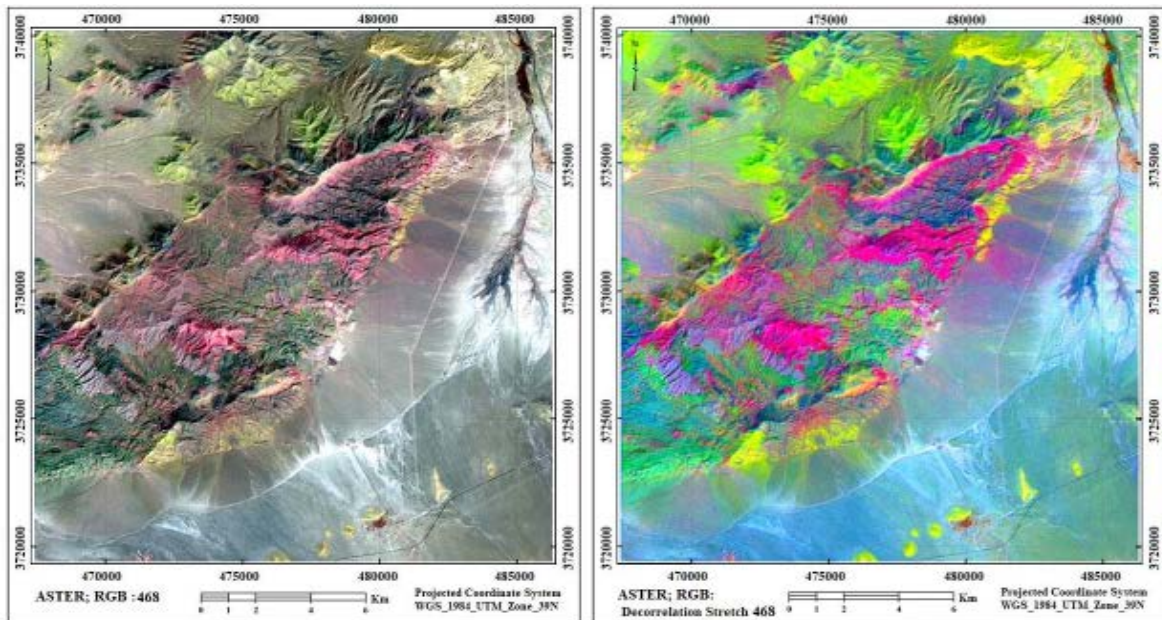
Element	Unit	Clarke Value	Sample No			
			X:474291	X:474103	X:478712	X:474162
			Y:3728202	Y:3728458	Y:3729383	Y:3728517
			M-13 s	M-19 ch	M-21 ch	M-24 s
Au	ppb	5	250.49	28	4	13
Ag	ppm	0.1	5.6	0.1	0.1	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	15.37	5.83	5.72	1.54	0.46
As	ppm	1.8	224	46	475	51
Ba	ppm	250	1078	305	807	97
Be	ppm	2.8	1.3	1.0	0.5	0.1
Bi	ppm	0.2	0.1	0.1	0.4	0.3
CaO	%	5.04	0.54	0.22	21.78	3.86
Cd	ppm	0.2	11.9	2.1	1.0	1.7
Ce	ppm	60	92	223	42	18
Co	ppm	25	58	7	4	2
Cr	ppm	100	26	333	65	864
Cu	ppm	55	9.795%	1822	111	48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	7.15	33.18	4.07	8.29	2.13
Ga	ppm	15	28	12	6	4
K <sub>2</sub> O	%	3.13	2.16	0.97	0.14	0.07
La	ppm	30	18	120	11	3
Li	ppm	20	19	5	3	7
MgO	%	3.49	0.32	0.44	18.86	2.47
Mn	%	0.095	0.03	0.01	0.10	0.02
Mo	ppm	1.5	676	18	2	1
Na <sub>2</sub> O	%	3.78	0.63	0.82	0.10	0.06
Nb	ppm	20	5	5	1	2
Nd	ppm	28	30	122	10	5
Ni	ppm	75	13	4	27	9
Pb	ppm	13	1817	362	133	109
S	%	0.026	0.19	0.24	0.06	0.09
Sb	ppm	0.2	5	4	5	4
Sc	ppm	22	6	5	3	1
Sn	ppm	2.0	3	2	1	2
Sr	ppm	375	137	50	102	32
Ta	ppm	2.0	1	2	1	1
Th	ppm	7.2	14	26	7	4
Ti	%	0.44	0.04	0.06	0.01	0.01
U	ppm	1.8	1	1	2	2
V	ppm	135	26	14	9	8
W	ppm	1.5	1	2	1	1
Y	ppm	33	52	68	21	4
Yb	ppm	3.4	9	6	2	1
Zn	ppm	70	696	111	2553	191
Zr	ppm	165	15	79	14	12



(الف)

(ب)

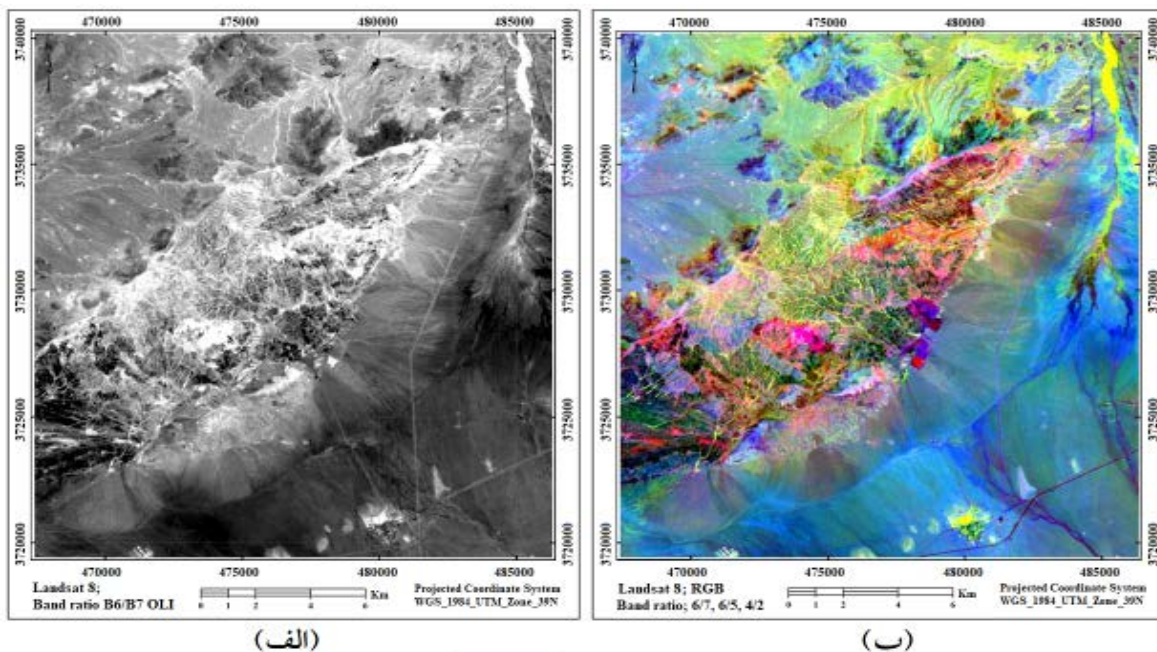
نگاره ۲: الف: ترکیب رنگی استاندارد (۱، ۲، ۳) باندهای VNIR سنجنده ASTER،  
 ب: تصویر ترکیب رنگی ۲، ۴، ۶ (RGB) ماهواره لندست ۸ محدوده موته



(الف)

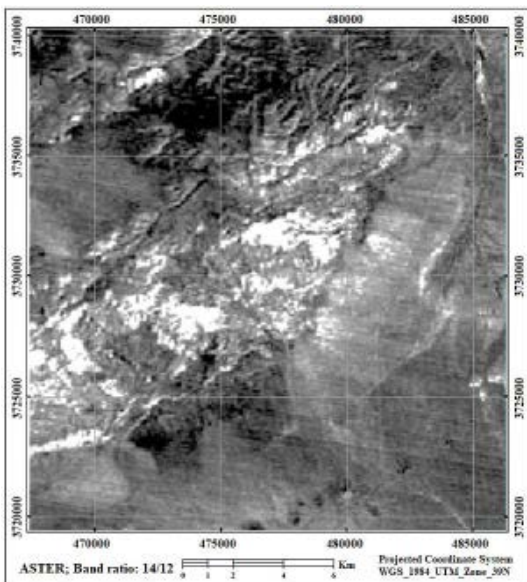
(ب)

نگاره ۳: الف: تصویر ترکیب رنگی باندهای ۴، ۶، ۸ سنجنده استر محدوده موته،  
 ب: تصویر بسط عدم همبستگی باندهای ۴، ۶، ۸ سنجنده استر محدوده موته



نگاره ۴: الف: تصویر نسبت باندهای ۶/۷ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در شناسایی زون‌های دگرسانی گرمابی (پیکسل‌های روشن) ب: تصویر ترکیب رنگی نسبت باندهای (R:6/7, G:6/5, B:4/2) سنجنده OLI ماهواره لندست ۸

دگرسانی سیلیسی و سنگ‌های غنی از سیلیس هستند.



نگاره ۵: تصویر نسبت باندهای ۱۴/۱۲ در شناسایی دگرسانی سیلیسی و سنگ‌های غنی از سیلیس (پیکسل‌های روشن)

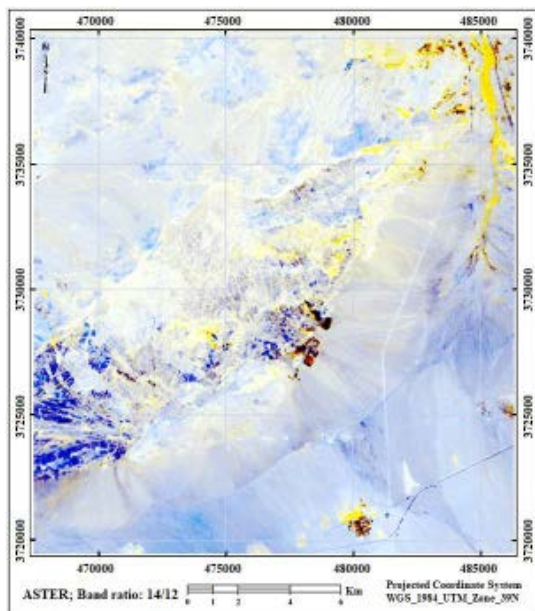
#### ۴-۲- نسبت‌گیری باندهای

با توجه به منحنی بازتاب طیفی کانی‌های هیدروکسیل که در محدوده باند ۶ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ دارای بازتاب بالا و در محدوده باند ۷ دارای جذب هستند، نسبت باندهای ۶/۷ این سنجنده می‌تواند برای بارزسازی این نوع دگرسانی مناسب باشد (نگاره ۴-الف). البته لازم به توضیح است که در این نسبت باندهای پوشش گیاهی سبز نیز به صورت پیکسل‌های روشن ظاهر می‌شود. همچنین در نگاره ۴-ب تصویر ترکیب رنگی نسبت‌های باندهای (R:6/7, B:4/2, C:6/5) سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ نمایش داده شده است. در این ترکیب باندهای مناطق نارنجی، دگرسانی فیلیک، مناطق صورتی، دگرسانی آرژیلیک، مناطق سبز دگرسانی پروپیلیتیک، مناطق آبی واحدهای کربناته و پیکسل‌های زرد پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. یکی از روش‌های شناسایی مناطق دگرسانی سیلیسی و سنگ‌های غنی از سیلیس با استفاده از تصویر سنجنده ASTER نسبت باندهای ۱۴ به ۱۲ است. در نگاره ۵ تصویر نسبت باندهای ۱۴/۱۲ نمایش داده شده که در این تصویر پیکسل‌های روشن معرف مناطق

#### ۴-۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

این روش برای جداسازی مناطق دگرسان شده گرمابی بسیار موفقیت‌آمیز است و به‌طور گسترده برای آشکارسازی

پیکسل‌ها به رنگ روشن، معکوس مؤلفه ۳ (PC3-) به عنوان تصویر هیدروکسیل یا H کروستا انتخاب شد. همچنین با توجه به بازتاب بالای کانی‌های اکسید آهن در باند ۴ و جذب در باند ۲ ماهواره لندست ۸ و با توجه به مقادیر ویژه جدول ۴ در مؤلفه ۴ اختلاف مقادیر ویژه این دو باند حداکثر و دارای علامت مختلف هستند و با توجه به منفی بودن مقدار ویژه در باند ۴ در این مؤلفه کانی‌های اکسید آهن به رنگ تیره دیده می‌شوند. پس در نتیجه برای باندهای معرف کانی‌های اکسید آهن، معکوس مؤلفه ۴ (PC4-) مناسب‌ترین مؤلفه است که در این مؤلفه (تصویر F کروستا) پیکسل‌های روشن معرف کانی‌های اکسید آهن هستند. در نگاره ۶ ترکیب رنگی حاصل از این مؤلفه‌ها (RGB : H, (H+F)/2, F) در بازسازی مناطق دگرسان شده، نشان داده شده است. در این ترکیب رنگی، مناطق دگرسانی هیدروکسیل به صورت پیکسل‌های زرد تا زرد مایل به سفید و مناطقی که اکسید آهن بیشتری نسبت به هیدروکسیل دارند به رنگ آبی تیره ظاهر می‌شوند.



نگاره ۶: تصویر ترکیب رنگی حاصل مؤلفه‌های اکسید آهن و هیدروکسیل (RGB : H, (H+F)/2, F)، رنگ زرد روشن پیکسل‌های حاوی کانی‌های هیدروکسیل (رسی) و رنگ آبی تیره، اکسیدهای آهن را نشان می‌دهند

دگرسانی‌ها در ایالت‌ها و کمربندهای فلزایی استفاده شده است (Tangestani and Moore, 2001: 181). در پژوهش حاضر، برای شناسایی و بازسازی مناطق دگرسانی اکسید آهن و هیدروکسیل (دگرسانی گرمایی) از اعمال روش مؤلفه‌های اصلی برای یافته انتخابی یا همان تکنیک معروف کروستا بر روی داده ماهواره لندست ۸ استفاده شد. در این روش با توجه به نمودار بازتاب طیفی کانی‌های هیدروکسیل شاخص مناطق دگرسانی گرمایی از باندهای انتخابی ۲، ۵، ۶ و ۷ ماهواره لندست ۸ برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. همچنین برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی اکسید آهن باندهای ۲، ۴، ۵ و ۶ این ماهواره برای آنالیز انتخاب شدند. مقادیر ویژه محاسبه شده برای آنالیزهای فوق‌الذکر به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر ویژه محاسبه شده برای شناسایی کانی‌های

#### هیدروکسیل

Eigenvector	Band 2	Band 5	Band 6	Band 7
PC1	-0.1967	-0.50877	-0.61679	-0.56748
PC2	-0.24315	-0.8024	0.421117	0.34596
PC3	0.456861	-0.1731	-0.59235	0.640657
PC4	0.832746	-0.2595	0.302247	-0.3845

جدول ۴: مقادیر ویژه محاسبه شده برای شناسایی کانی‌های

#### اکسید آهن

Eigenvector	Band 2	Band 4	Band 5	Band 6
PC1	0.217753	0.476804	0.564998	0.637196
PC2	0.269116	0.332326	0.479823	-0.7661
PC3	0.523551	0.538315	-0.66038	0.003823
PC4	0.778495	-0.61027	0.12021	0.08403

با توجه به اینکه کانی‌های هیدروکسیل دارای بازتاب بالا در باند ۶ و جذب در باند ۷ هستند؛ لذا با بررسی مقادیر ویژه به دست آمده از مؤلفه‌های حاصل از آنالیز باندهای انتخابی برای شناسایی کانی‌های هیدروکسیل (جدول ۳)، در مؤلفه ۳ اختلاف مقادیر ویژه بین این دو باند حداکثر بوده و با توجه به منفی بودن مقدار ویژه در باند ۶ و مثبت بودن آن در باند ۷ در این مؤلفه کانی‌های هیدروکسیل به رنگ تیره دیده می‌شوند. لذا برای نمایش

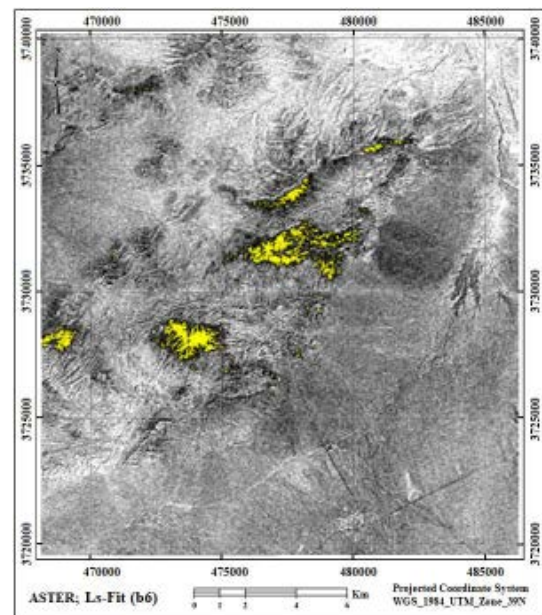
#### ۴-۴- روش کمترین مربعات رگرسیون شده (Ls-Fit6) - ۶-۴ روش فیلترگذاری تطبیقی (MF)

روش MF طیف‌های خالص کانی‌ها را که در کتابخانه طیفی موجود است با طیف‌های کانی‌های منطقه مقایسه کرده و بیشترین انطباق طیفی کانی مربوطه را با کتابخانه به‌عنوان یک کلاس شناخته شده در نظر می‌گیرد. در نگاره‌های ۹- الف، ب، ج و د به ترتیب مناطق کانی‌های شاخص زون‌های کلریت، کائولینیتیک، موسکویت و سیلیس که با روش MF بارز شده‌اند با پیکسل‌های روشن نشان داده شده‌اند.

با توجه به ارتباط بین نواحی دگرسانی با کانی‌سازی‌های فلزی، شناخت و به نقشه درآوردن این نواحی در اکتشاف این کانسارها اهمیت زیادی دارد. از مهم‌ترین نواحی دگرسانی گرمایی که با کانسارهای معدنی در ارتباط هستند؛ نواحی دگرسانی فیلیک (سریسیتیک)، آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته (آلونیتی) و پروپیلیتیک و سیلیسی است که در مطالعه حاضر، سعی بر آن بوده است که با به‌کارگیری و پردازش داده‌های ماهواره‌ای این نواحی دگرسانی در محدوده مطالعاتی بارزسازی شوند. زون‌های دگرسانی را بر مبنای یک یا چند کانی مهم تفکیک می‌کنند و به هر بخش یک زون می‌گویند. به‌کارگیری و پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER که شناسایی انواع دگرسانی‌ها از ویژگی‌های اصلی این سنجنده است؛ با استفاده از منحنی‌های بازتاب طیفی منحصر به فرد کانی‌های شاخص دگرسانی‌ها کمک شایانی به شناسایی و بارزسازی این مناطق دگرسانی و پتانسیل‌یابی مناطق مستعد کانی‌زایی فلزی نمود. همچنین با توجه به توانایی بالای تصاویر Sentinel-2A در شناسایی محدوده‌های گوسان و اکسید آهن از پردازش این داده برای بارزسازی بهتر این نواحی استفاده شد.

در نهایت در نگاره ۱۰- الف و ب پراکندگی کانی‌ها و زون‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه که با روش SAM بر روی تصویر تصحیح شده ASTER با انتخاب زوایای طیفی مناسب بارز شده‌اند، با پیکسل‌های رنگی نشان داده شده‌اند.

با توجه به اینکه کانی‌های رسی جذب خوبی در باند ۶ دارند به همین دلیل باند ۶ را باند مدل در نظر گرفتیم. در نگاره ۷ خروجی حاصل از Ls-Fit6 قابل مشاهده است. در این نگاره کانی‌های رسی با رنگ زرد قابل تشخیص می‌باشد.

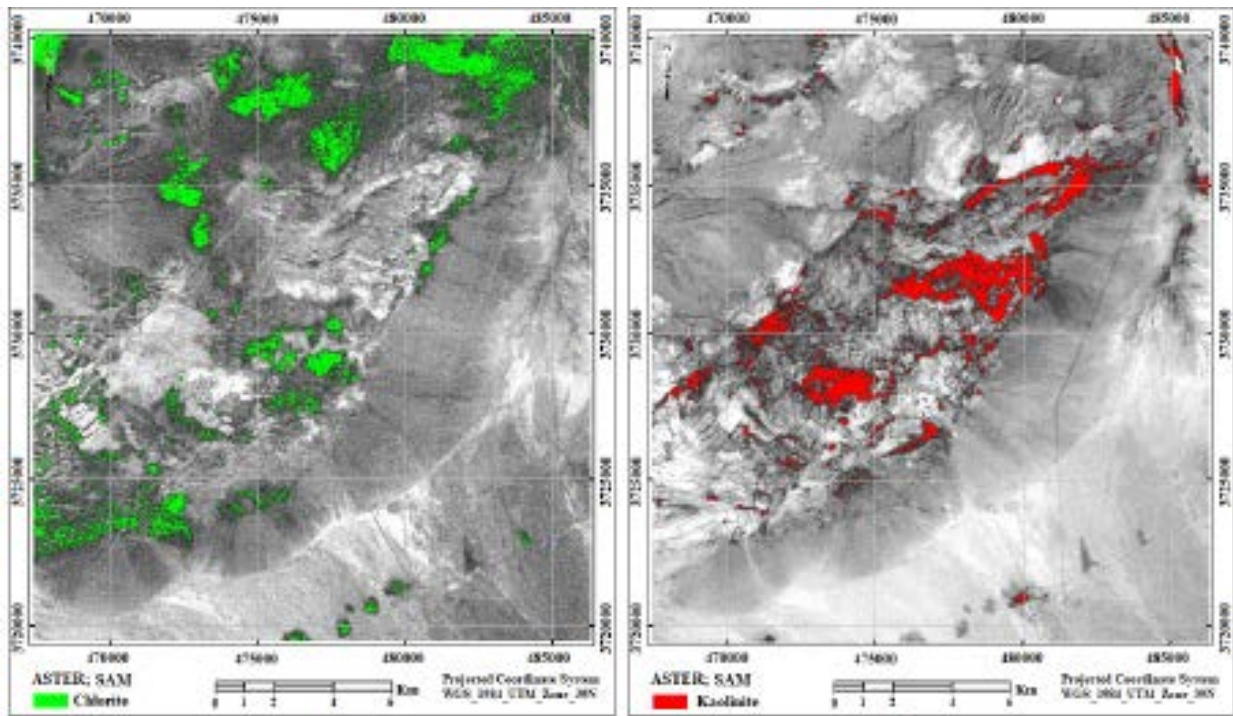


نگاره ۷: روش کمترین مربعات رگرسیون شده بر روی باند ۶، برای تفکیک کانی‌های OH (پیکسل‌های زرد).

#### ۴-۵- نقشه بردار زاویه طیفی (SAM)

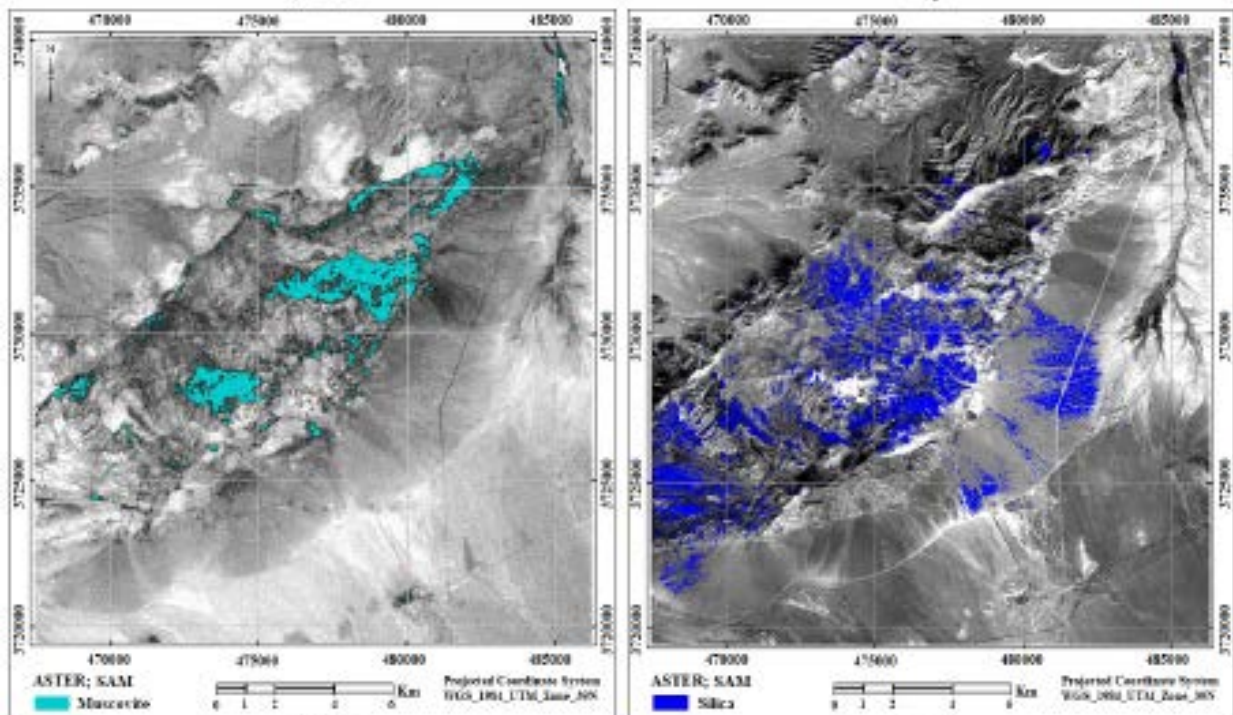
فاکتورهای تابش خورشیدی به دلیل اینکه زاویه بین دو بردار مستقل از طول بردار است بر محاسبات این روش تأثیری ندارد.

به منظور شناسایی مناطق دگرسانی گرمایی، روش SAM بر روی تصویر تصحیح شده ASTER با انتخاب زوایای طیفی مناسب، به‌کار گرفته شده است، که به ترتیب در نگاره ۸ - الف، ب، ج و د مناطق کانی‌های شاخص زون‌های کلریت و کائولینیتیک و موسکویت و سیلیس که با روش نقشه‌برداری زاویه طیفی بارز شده‌اند، با پیکسل‌های رنگی نشان داده شده‌اند.



(الف)

(ب)

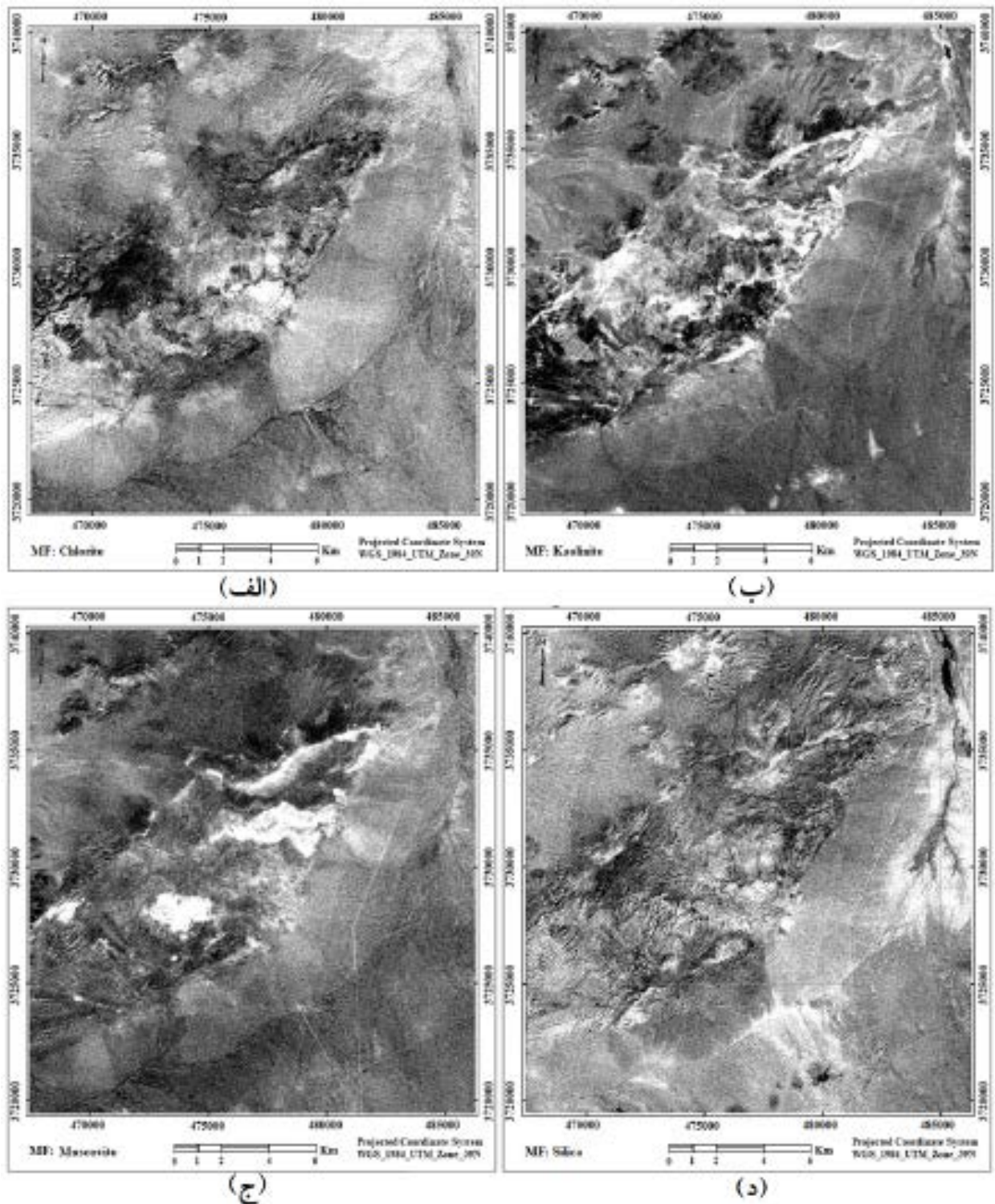


(ج)

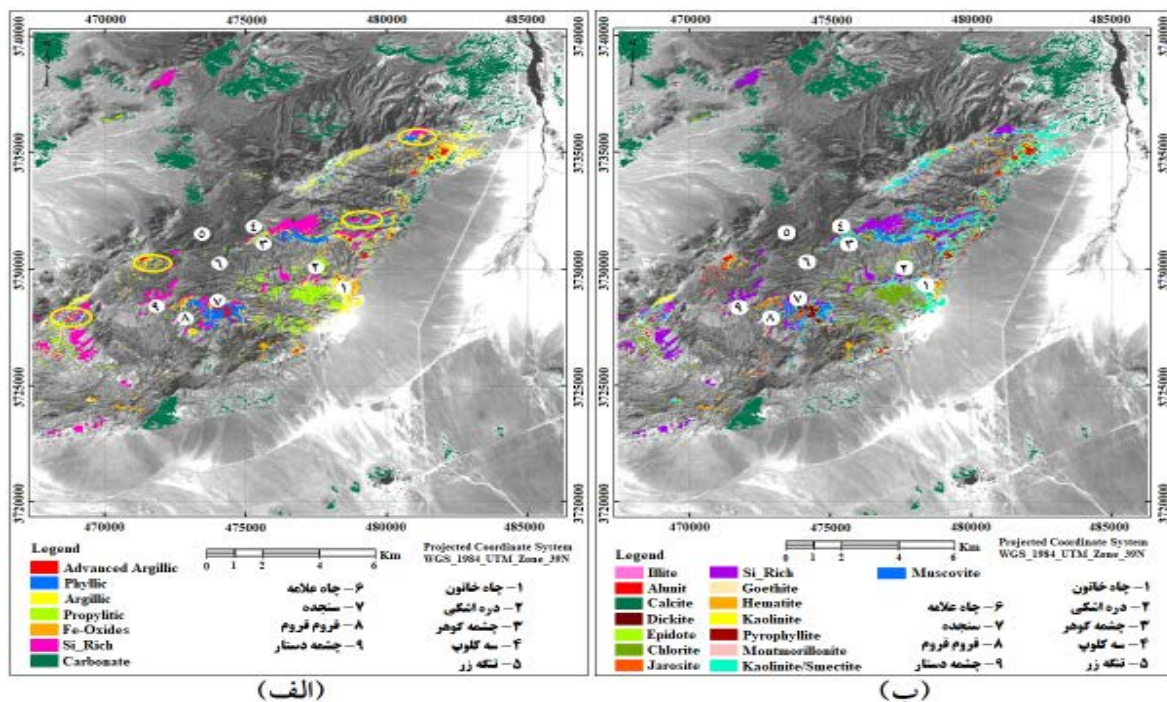
(د)

نگاره ۸: الف: بارزسازی کانی شاخص زون کلریت (به روش SAM)، ب: بارزسازی کانی شاخص زون کائولینیتیک (به روش SAM)، ج: بارزسازی کانی شاخص زون موسکویت (به روش SAM)، د: بارزسازی کانی شاخص زون سیلیس (به روش SAM)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)  
 شناسایی دگرسانی‌های هیدروترمال در منطقه موته، شمال غرب اصفهان با ... / ۴۳



نگاره ۹: الف: بارزسازی کانی شاخص زون کلریت (به روش MF)، ب: بارزسازی کانی شاخص زون کائولینیتیک (به روش MF)،  
 ج: بارزسازی کانی شاخص زون موسکویت (به روش MF) (با پیکسل‌های روشن)،  
 د) بارزسازی کانی شاخص زون سیلیس (به روش MF) (با پیکسل‌های روشن)



نگاره ۱۰: الف: نقشه پراکندگی زون‌های دگرسانی شناسایی شده و اکسیدهای آهن در محدوده طلای موته که با استفاده از آنالیز طیفی داده‌های استر به دست آمده است. مناطق پیشنهادی جهت بررسی‌های اکتشافی با بیضی‌های زرد رنگ مشخص شده‌اند. در محدوده اکتشافی موته، ب: نقشه پراکندگی کانی‌های شاخص نقشه برداری شده در محدوده اکتشافی موته

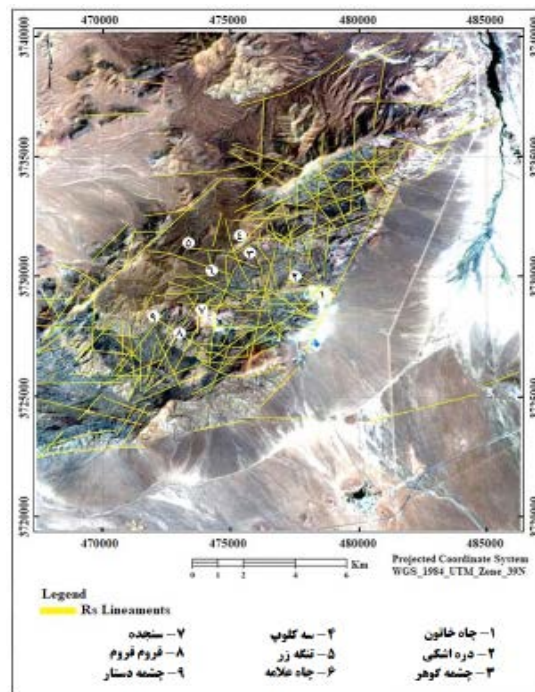
به‌عنوان یکی از کلیدهای اکتشافی در زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشافات معدن کاربردهای مهم و گسترده‌ای دارند. ارتباط این ساختارها با دگرسانی‌ها و کانسارها به منشأ و ارتباط آن‌ها با ساختمان‌های درونی زمین برمی‌گردد؛ به عبارت دیگر خطواره‌ها، اثرات سطحی ساختمان‌های مدفون در زمین هستند (Brockman et al., 1978: 313). ساختارهای حلقوی؛ دارای الگوی حلقوی بوده و در انواع مختلف سنگ‌ها تشکیل می‌شوند. کانسازسازی همراه با این ساختارها عمدتاً شامل انواعی می‌شود که با دگرسانی‌های گرمابی مرتبط هستند و این کانسارها عمدتاً در حاشیه‌های این حلقه‌ها تشکیل شده‌اند (Mirzababaei et al., 2016: 264). در پژوهش حاضر برای بارزسازی خطواره‌ها و ساختارهای حلقوی، از تصاویر ترکیب رنگی ماهواره‌ی سنتینل-۲ استفاده شد و استخراج این عوارض به‌صورت بصری و دستی انجام گرفت (نگاره ۱۱).

همانگونه که مشاهده می‌شود، گسترش کانی‌های ایلیت، کائولینیت، فنگیت، کلریت و اکسیدهای آهن که کانی‌های شاخص دگرسانی هستند انطباق خوبی با مناطق کانی‌سازی موجود در منطقه، شامل سنجد، قروم قروم، چاه خاتون و دره اشکی نشان می‌دهند، که قبلاً در تحقیقات محققانی مانند جوانزاد و همکاران (۱۳۸۹)، عضنفری نجف آبادی (۱۳۹۳)، اسدی و طباطبایی (۱۳۸۶) و میخک و طباطبایی (۱۳۹۳) کانی‌های مذکور شناسایی شده‌اند. در نهایت دو محدوده در غرب و دو محدوده در شمال منطقه مورد مطالعه برای بازدید زمینی و بررسی‌های بیشتر اکتشافی پیشنهاد می‌شوند که در نگاره ۸ - الف با بیضی‌های سفید رنگ مشخص شده‌اند.

۵- آشکار سازی خطواره‌ها و عوارض ساختاری  
خطواره‌ها گذشته از اهمیت ساختمانی و زمین‌ساختی،



ضریب کاپا ۶۴/۸۲ درصد نسبت به الگوریتم MF با ضریب کلی ۸۷/۱۵ درصد و ضریب کاپا ۶۳/۸۱ درصد و روش کروسا با ضریب صحت کلی ۸۵/۴۴ و ضریب کاپا ۶۰/۶۲ برای تعیین و تفکیک نواحی دگرسان شده در محدوده اکتشافی موته دارای نتایج قابل قبولی است و روش بهینه و مؤثر در تعیین دگرسانی‌های منطقه، نسبت به سایر روش‌های به‌کار گرفته شده در این تحقیق، معرفی می‌شود. با مشاهده صحرایی و نمونه‌برداری سطحی از اطراف کانسارهای چاه خاتون و سنجد به‌منظور مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی و همچنین مطالعه دگرسانی‌های منطقه مشخص شد که عمده دگرسانی‌های اتفاق افتاده در این نمونه‌ها دگرسانی آرژیلیک، سریستیک و سیلیسی و کربناتی است که مقایسه این نتایج با تصاویر حاصل از پردازش داده‌های ASTER صحت این مطالعات را اثبات می‌کند. با توجه به منطبق بودن نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی (جدول ۲) و XRD با نقشه پراکندگی زون‌های دگرسانی شناسایی شده حاصل از طیف‌های مرجع کانی‌های مجموعه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و کتابخانه طیفی (JPL)، با نقشه پراکندگی خطواره‌ها و شکستگی‌های ساختاری محدوده اکتشافی موته علاوه بر زون‌های از پیش شناخته‌شده، محدوده‌های جدید دگرسانی‌ها نیز معرفی شد. محدودیت اصلی در استفاده از تصاویر ASTER، آشکارسازی فقط تعداد محدودی از گروه‌های کلی سنگ است و تمایز جزئیات با تشخیص محل دقیق طول موج‌ها و نوارهای جذبی امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای تأیید نتایج حاصل از پردازش داده‌های ASTER، علاوه بر پی‌جویی صحرایی پیشنهاد می‌شود، از داده‌های ابر طیفی با قدرت تفکیک بالا برای تشخیص دگرسانی‌ها در منطقه و شناسایی دقیق مناطق اطراف استفاده نمود و همچنین می‌توان با استفاده از مطالعات طیف‌سنجی زمینی به دلیل دقت بسیار بالا و جزئیات کامل ذخایر مشابه موته، در مناطق اطراف و یا زون سنجد سیرجان را شناسایی کرد.



نگاره ۱۱: نقشه پراکندگی خطواره‌ها و شکستگی‌های ساختاری محدوده اکتشافی موته

## ۶- نتیجه‌گیری

تهیه تصاویر مناطق دگرسانی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای روشی سریع و مطمئن است. داده‌های ماهواره‌ای ASTER محدوده اکتشافی موته با استفاده از روش‌های پردازشی از قبیل ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، روش کمترین مربعات رگرسیون (LS-Fit)، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM)، فیلترگذاری تطبیقی (MF) برای شناسایی و تفکیک کانی‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی طلا استفاده و در پایان دگرسانی‌های عمده منطقه آشکار شدند. در این تحقیق، با استفاده از به‌کارگیری روش‌های پردازشی ذکر شده، کانی‌های کلریت و اپیدوت (دگرسانی پروپیلیتیک)، موسکویت و سریست (دگرسانی فیلیک) و کائولن (دگرسانی آرژیلیک) و دگرسانی سیلیسی در محدوده مورد مطالعه موته شناسایی شدند. ارزیابی نتایج حاصل از این پژوهش بیان‌کننده این واقعیت است که الگوریتم SAM با ضریب صحت کلی ۸۷/۲۵ درصد و

mineral exploration.(A 78-53376 24-43) Stroudsburg, Pa., Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., 292-317.

11- Crosta, A.P. and Moore, J.M., 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, 11(11): 1173-1187. DOI: 10.4236/abb.2020.1111032.

12- Di Tommaso, I., Rubinstein, N., 2007, Hydrothermal alteration Mapping using ASTER data in the Infiernillo Porphyry deposit, Argentina. Ore Geology Review, 32(1-2): 275-290. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.05.004>.

13- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sya, O., Marchese, F., Bargellini, P., 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services, Remote Sens. Environ, 120: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.

14- Ferreir, G., White, K., Griffiths, G., Bryant, r., Stefofuli, M., 2002. the mapping of hydrothermal alteration zones on the island of Levos, Greece using an integrated remote sensing dataset. International of journal of Remote sensing, 23(2): 341-356. <https://doi.org/10.1080/01431160010003857>.

15- Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P. and Wackerle, R., 2005. Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia, Remote Sensing, 30 (1-3): 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.08.042>.

16- Harsanyi, J. C. and Chang, C., 1994. Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: An orthogonal subspace projection approach. IEEE transactions on Geosciences and Remote Sensing, 32(4): 770-785. DOI: 10.1109/36.298007.

17- Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C., 2016. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. Remote Sensing, 8(3): 166. <https://doi.org/10.3390/rs8030166>.

18-Irons, J.R., Dwyer, J.L., Barsi, J.A., 2012. The next Landsat satellite: the Landsat data continuity mission. Remote Sens. Environ. 122: 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>.

19-Lefebvre, A., Sannier, C., and Corpetti, T., 2016.

## منابع و مأخذ

۱- اسدی هارونی، طباطبایی؛ هوشنگ، حسن (۱۳۸۶).

شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های در ارتباط با کانی‌زایی طلا به کمک پردازش داده‌های ماهواره‌های استر در منطقه موته. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، ص ۳۹-۳۲.

۲- جوادنژاد، علی‌نیا، بهنیا؛ فرید، فیروز، پوران (۱۳۸۹).

شناسایی دگرسانی‌ها و عوارض ساختمانی به وسیله تصاویر ETM + و اطلاعات توپوگرافی برای پی جویی کانسارهای طلای هیدروترمال در منطقه دلیجان. مجله علمی و پژوهشی امیرکبیر، شماره ج-۷۲، ص ۱۶-۹.

۳- عباس‌زاده، هزارخانی؛ ملیحه، اردشیر (۱۳۸۸). شناسایی و تفکیک زون‌های دگرسانی هیدروترمال در منطقه رابر کرمان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای استر. مجموعه مقالات سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص ۲۸۵-۲۷۷.

۴- عبدالمهی، محمد جواد (۱۳۸۸)؛ زمین‌شناسی و زایش کانسار طلای موته (گلپایگان - اصفهان)؛ رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۵- غضنفری نجف‌آبادی، محمدجواد (۱۳۹۳)؛ پتانسیل‌یابی کانی‌سازی مشابه تیپ طلای موته در محدوده دلیجان؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶- میخک، طباطبایی؛ احسان، حسن (۱۳۹۳). آنالیز طیفی داده‌های استر محدوده اکتشافی معدن طلای موته و نواحی مجاور. همایش ملی علوم زمین و توسعه پایدار، ص ۱۷۷-۱۶۸.

7- 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. Vol.9 No.10.

8- Asran, A.M.H., Hassan, S.M., 2019. Remote sensing-based geological mapping and petrogenesis of Wadi Khuda Precambrian rocks South Eastern Desert of Egypt with emphasis on leucogranite. Egypt. J. Rem. Sens. & Space Sci. (in press). <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.07.004>.

9- ASTER user's guide (2005), part 1, ver 4.0

10- Brockman, C.E., Fernandez, A., Ballon, R. and Claire, H., 1978. Analysis of geological structures based on Landsat-1images. Remote-sensing applications for

- 27- Paul, F., Winsvold, S., Kääb, A., Nagler, T., Schwaizer, G., 2016. Glacier Remote Sensing Using Sentinel-2. Part II: Mapping Glacier Extents and Surface Facies, and Comparison to Landsat 8. *Remote Sensing*, 8(7): 575. <https://doi.org/10.3390/rs8070575>.
- 28- Rachidnejad-Omran, N., Emami, M. H., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H. and Piqué, A. 2002. Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional). *Comptes Rendus Geoscience*, 334 (16): 1185-1191. [https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(02\)01861-8](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(02)01861-8).
- 29- Shokry, M. M., Sadek, M. F., Osman, A. F., & El Kalioubi, B. A. (2019). Precambrian basement rocks of Wadi-Khuda-Shut area, South Eastern Desert of Egypt: Geology and remote sensing analysis. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(1), 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.12.005>.
- 30- Tangestani, M.H. and Moore, F., 2001. Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping. A case study, Meiduk area, Kerman, Iran. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27(2): 176-182. <https://doi.org/10.1080/07038992.2001.10854931>
- 31- 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*, 31(3): 214-224. <https://doi.org/10.5589/m05-009>
- 32- Yuhas, R. H., Goetz, A. F. H. and Boardman, J. W., 1992. Discrimination Among Semi-Arid Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm. *Summaries of the 4th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL publication, 1: 147-149.
- Monitoring urban areas with Sentinel-2A data: Application to the update of the Copernicus high resolution layer imperviousness degree. *Remote Sensing*, 8(7): 606. <https://doi.org/10.3390/rs8070606>.
- 20- Mehrabi, B., Tale Fazel, E. and Shahabifar, M., 2012. Ore mineralogy and fluid inclusions constraints on genesis of the Muteh gold deposit (western Iran). *Geopersia*, 2(1-Serial): 67-90 10.22059/JGEOPE.2012.24802.
- 21- Mirzababaei, G., Shahabpour, J., Zarasvandi, A. and Hayatolghayb, S.M., 2016. Structural Controls on Cu Metallogenesis in the Dehaj Area, Kerman Porphyry Copper Belt, Iran: A Remote Sensing Perspective, *journal of sciences islamic republic of iran*, 27(3): 253-267.
- 22- Module, F.L.A.A.S.H. (2009). Atmospheric correction module: Quac and flaash user's guide. Version, 4, 44.
- 23- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M. R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4): 397-412. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4).
- 24- Moritz R., Ghazban F., Singer B. S., 2006. Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan Tectonic Zone, Western Iran: a result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen. *Economic Geology*, 101(8) 1497-1524. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.8.1497>.
- 25- Nagedra. H. and Rocchini, D. (2008). "High resolution satellite imagery for tropical bio diversity Studies: the devil is in the detail". *Biodiver Conserv*. No. 1. pp. 3431-3442.
- 26- Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Are magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran, A new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106(3-4): 380-398. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>.

---

## COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

---



