

## مقایسه عملکرد تصاویر ماهواره‌های ASTER و لندست-OLI۸ در بارزسازی رخدادهای آهن و دگرسانی‌ها در

## منطقه شهرک، استان کردستان

## زهرا بنیادی\*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ایران

## احسان دریانورد

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۵

\* bonyadi@sci.ikiu.ac.ir

## چکیده

در این مطالعه عملکرد تکنیک‌های مختلف پردازش طیفی بر روی داده‌های سنجنده استر و لندست OLI-8 مربوط به محدوده معدنی شهرک واقع در ۶۰ کیلومتری شمال شهرستان بیجار در استان کردستان مورد مقایسه قرار گرفته است. نسبت‌های باندی و ترکیب‌های رنگی کاذب متعددی تهیه شدند تا مشخص شود کدام یک برای بارزسازی رخدادهای آهن، مجموعه کلریت-اپیدوت و دگرسانی رسی کارایی بهتری دارند. تبدیل‌های طیفی آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)، آنالیز مولفه‌های مستقل (ICA) و کسر کمترین نویز (MNF) نیز بر روی باندهای تصاویر استر و OLI اعمال شدند. تصاویر به دست آمده نشان می‌دهند که تصویر OLI در روش PCA بهتر از تصویر استر قادر به بارزسازی کانه‌زایی آهن و دگرسانی رسی است. در تکنیک ICA تصویر OLI جزئیات بیشتری را آشکار می‌سازد، به‌گونه‌ای که ترکیب رنگی IC1، IC2، IC3 علاوه بر بارزسازی پدیده‌های فوق، پتانسیل بالایی در تهیه نقشه لیتولوژیکی نیز دارد. در تبدیل MNF نیز تصویر OLI عملکرد بهتری نسبت به تصویر استر دارد. از میان سه تبدیل به کار رفته، ICA و سپس MNF کارایی بهتری نسبت به PCA در تصویر OLI داشتند.

کلمات کلیدی: استر، لندست OLI-8، کانه‌زایی آهن، دگرسانی، شهرک

## مقدمه

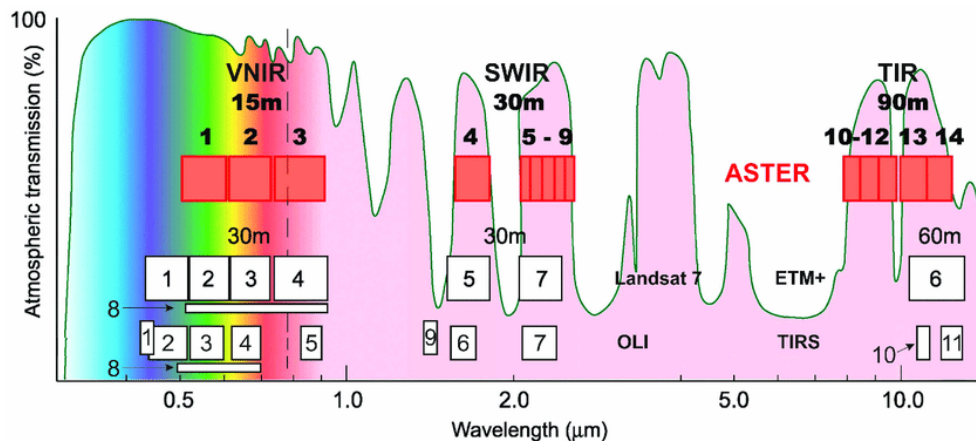
واقع شوند (Li et al., 2014). سنجنده OLI (Operational Land Imager) بر روی ماهواره لندست-۸، در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. تصاویر این سنجنده دارای ۹ باند هستند که متشکل از ۴ باند در محدوده مرئی (۰/۴۳-۰/۶۷ میکرومتر)، یک باند NIR (۰/۸۵-۰/۸۸ میکرومتر)، دو باند در محدوده SWIR (۱/۵۷-۲/۲۹ میکرومتر) و یک باند سبوس با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر، و یک باند پن‌کروماتیک با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر است. دو باند مادون قرمز حرارتی TIR نیز بر روی سنجنده TIRS قرار گرفته (شکل ۱) که توان تفکیک مکانی ۱۰۰ متر دارند. توان تفکیک رادیومتریکی این تصاویر ۱۲ بیت است که تشخیص عوارض را با دقت بالاتری میسر می‌سازد. ابعاد یک سین تصویر OLI ۱۸۵×۱۸۵ کیلومتر است. به دلیل بهره‌گیری این سنجنده از طراحی Push-broom و در نتیجه بهبود نسبت سیگنال به نویز، تصاویر حاصله از قابلیت اعتماد و کارایی بالاتری نسبت به نسل‌های قدیمی‌تر لندست برخوردارند (Van Der Meer and Van Der Werff, 2016; Beiranvand et al., 2015). در ایران از تصاویر استر در بارزسازی کانه‌زایی آهن و مطالعه دگرسانی‌های مرتبط با آن در منطقه بافق استفاده شده است (Sadeghi et al., 2013). مقایسه‌ای میان روش‌های PCA و ICA در مطالعه زون‌های دگرسانی ذخایر مس پورفیری در منطقه اردستان با استفاده از تصاویر استر توسط (Mahmoudishadi et al., 2017) انجام شده است. مطالعه ویژگی‌های طیفی کانی‌های همراه با ذخایر اسکارن در محدوده طول موج‌های VNIR-SWIR به وسیله (Jeong et al., 2015) کمک شایانی به مطالعه ذخایر اسکارن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نموده است.

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات زمین‌شناسی به ویژه در اکتشاف مناطق کانه‌زایی شده، تشخیص زون‌های دگرسانی و تهیه نقشه‌های لیتولوژیکی در سال‌های اخیر اهمیت زیادی یافته است. اثرگذاری ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کانی‌شناختی بر روی جذب و بازتاب طیف‌های مختلف موج الکترومغناطیسی، انجام چنین مطالعاتی را امکان‌پذیر ساخته است (Malekshahi et al., 2019; Abbaszadeh and Mehrnia, 2016; Honarmand et al., 2011).

سنجنده ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) بر روی ماهواره Terra قرار گرفته و در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده است. داده‌های این سنجنده دارای ۱۴ باند است که سه باند در محدوده VNIR (۰/۵۲-۰/۸۶ میکرومتر) با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر، شش باند در محدوده SWIR (۰/۵۶-۱/۶ میکرومتر) با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند در محدوده TIR (۱۱/۶۵-۸/۲۵ میکرومتر) با توان تفکیک مکانی ۹۰ متر قرار دارد (شکل ۱). توان تفکیک رادیومتریکی در باندهای VNIR و SWIR ۸ بیت و در باندهای TIR ۱۲ بیت است. هر سین تصویر استر منطقه‌ای به وسعت ۶۰×۶۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. تصاویر استر به دلیل تعدد باندها در محدوده SWIR و TIR قابلیت کاربرد زیادی در مطالعات زمین‌شناسی به ویژه تشخیص زون‌های دگرسانی دارند. باندهای SWIR این تصاویر محدوده‌های جذبی Si-O-H، Al-O-H، Mg-O-H و بنیان CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> را در بر گرفته و می‌توانند در شناسایی آنها مؤثر

ویژه اسکارن آهن وجود دارد، مطالعه و مقایسه الگوریتم‌های مختلف در کانسارهای اسکارنی شناخته شده، می‌تواند به مطالعه سایر کانسارها و مناطق کانه‌دار ناشناخته کمک کند.

هدف از این مطالعه، انجام مقایسه‌ای بین کارایی تصاویر استر و OLI و همچنین روش‌های پردازشی PCA، ICA و MNF، در بارزسازی کانه‌زایی آهن و مجموعه‌های دگرسانی مرتبط با آن در محدوده معدنی شهرک است. با توجه به اینکه منابع معدودی در ارتباط با سنجش از دور کانسارهای اسکارن به



شکل ۱- موقعیت قرارگیری باندهای سنجنده‌های استر، OLI و ETM+ در بازه طول موج الکترومغناطیسی.

Fig. 1. Position of ASTER, OLI and ETM+ bands in the electromagnetic wavelength range.

علاوه بر کانسار آهن شهرک، که از سه توده معدنی مجزا تشکیل شده است، هفت توده معدنی دیگر نیز در این محدوده معدنی قرار دارد (جدول ۱). کانسارهای شهرک ۱، سراب و کرکرا در حال بهره‌برداری هستند. کانسار شهرک در شمالی‌ترین نقطه محدوده معدنی قرار گرفته و از جمله کانسارهای آهن بزرگ غرب کشور است.

#### منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

منطقه شهرک در شمال شرق استان کردستان و در ۶۰ کیلومتری شمال شهر بیجار و ۲۰ کیلومتری غرب شهر حسن‌آباد یاسوکنند قرار دارد. این منطقه محدوده‌ای به مختصات  $30^{\circ} 30' 30''$  تا  $34^{\circ} 40' 47''$  طول شرقی و  $20^{\circ} 20' 36''$  تا  $25^{\circ} 30' 36''$  عرض شمالی را دربرمی‌گیرد.

جدول ۱- مختصات و میزان ذخیره توده‌های معدنی واقع در محدوده معدنی شهرک (میزان ذخیره برگرفته از Ghorbani, 2013).

Table 1. Coordinates and tonnage of ore bodies located in the Shahrak mining area (tonnage after Ghorbani, 2013).

| Orebody   | X        | Y        | Tonnage (thousand tones) |
|-----------|----------|----------|--------------------------|
| Shahrak 1 | 47.53127 | 36.39845 | 21340.31                 |
| Shahrak 2 | 47.52037 | 36.38545 | 2230.65                  |
| Shahrak 3 | 47.5349  | 36.38475 | 2121.05                  |
| Golezar   | 47.53689 | 36.38064 |                          |
| Korkora 2 | 47.5417  | 36.36858 |                          |
| Chashmeh  | 47.53314 | 36.3633  |                          |
| Korkora 1 | 47.53549 | 36.36494 | 17270.32                 |
| Sarab 1   | 47.53055 | 36.35024 | 2754.13                  |
| Sarab 2   | 47.53395 | 36.3476  |                          |
| Sarab 3   | 47.53555 | 36.34316 | 2186.93                  |

اند، رخ داده است. کانه عمده در این کانسار مگنتیت است. در همه توده‌های آهن منطقه شهرک، سنگ میزبان کانه‌زایی، سنگ‌های کربناته و آتشفشانی است که متحمل دگرسانی شدید آرزلیک، اپیدوتی و کلریتی شده‌اند (شکل ۲). در برخی نقاط آندزیت بر روی واحد آهکی میوسن دیده می‌شود.

منطقه مورد مطالعه جزئی از رشته کوه زاگرس و بخشی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ فجور (یاسوکنند) را تشکیل می‌دهد. توالی چینه‌شناسی در منطقه شهرک در جدول ۲ آمده است. کانه‌زایی آهن در مرز بین ریولیت‌ها و آهک‌های بلورین که در برخی نقاط دولومیتی شده-

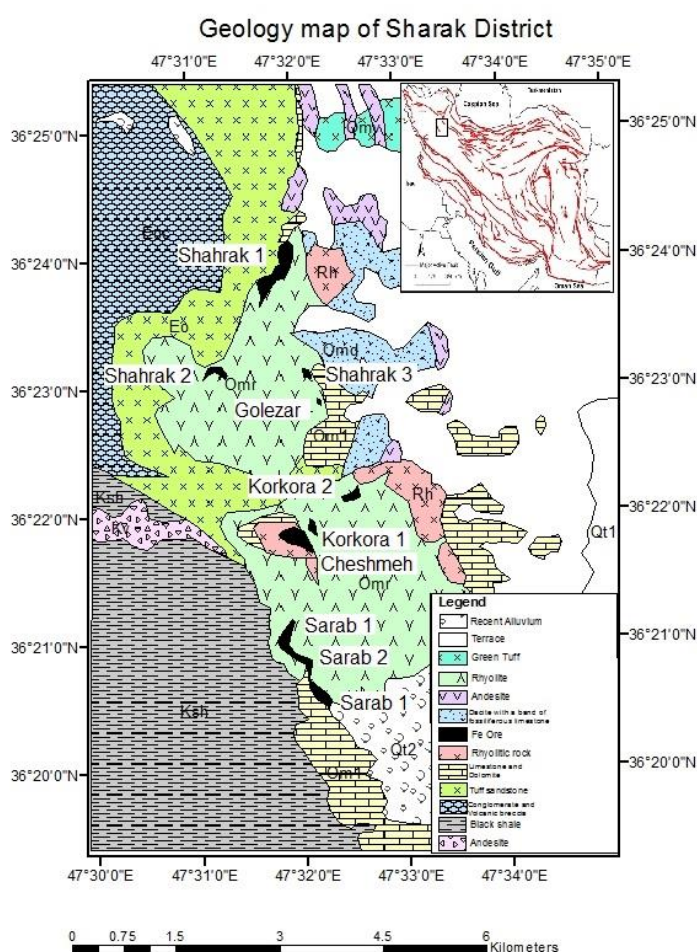
های آتشفشانی و گاهی آهک نفوذ کرده‌اند.

توده‌های نفوذی کم عمق از نوع دیوریت تا میکروگابرو در میان سنگ-

جدول ۲ - واحدهای لیتولوژیکی موجود در منطقه شهرک (Sheikhi, 1995; Ghorbani, 2008).

Table 2 . Lithological units in the Shahrak area (Sheikhi, 1995; Ghorbani, 2008).

| Age                        | Lithology  |
|----------------------------|--|
| Younger than Miocene       | Andesite   |
| Miocene                    | Crystalline limestone  |
| Oligo-Miocene - Miocene    | volcanic -ignimbrite unit, consisting of rhyolite, dacite-ignimbrite rocks and vitric tuff |
| Oligo-Miocene              | Sandstone, sandy tuff and white conglomerate   |
| Eocene                     | Conglomerate, breccia and sandy tuff   |
| Upper Cretaceous-Paleocene | Black shale with andesitic interlayers   |



شکل ۲ - نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده معدنی شهرک (برگرفته از Purnik, 2001).

Fig. 2. Geological Map (1: 20000-scale) of Shahrak mining area (after Purnik, 2001).

آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده‌اند. برای صحت‌سنجی نتایج حاصل از این مطالعات، بازدیدهای صحرایی از منطقه صورت گرفت. نمونه-برداری و مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک و صیقلی نیز انجام شد. در این مطالعه از نرم‌افزارهای ENVI 5.2 و ARCGIS 10.2 برای پردازش تصاویر استر و OLI و تهیه تصاویر خروجی استفاده شد. تکنیک‌های پردازشی مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از:

### روش کار

در این مطالعه از تصاویر ماهواره ترانسجنده ASTER سری T1 مربوط به سال ۲۰۰۷ و تصویر ماهواره لندست-۸ سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۱۸ استفاده شد. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قجور (پاسوگند) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده معدنی شهرک برای تفسیر داده‌های به‌دست

**نسبت بانندی (Band Ratio)**

ضرایب تبدیل است. در حالیکه تبدیل‌های PCA و MNF از آماره‌های مرتبه دوم استفاده می‌کند، این روش از آماره‌های مرتبه بالاتری استفاده می‌کند، در نتیجه پدیده‌هایی که در پیکسل‌های کمی نمایان شده و در روش PCA قابل شناسایی نیستند، می‌توانند با این روش بازسازی شوند (Lee et al., 2000). در واقع روش ICA بسط روش PCA است (Mahmoudishadi et al., 2017). ICA می‌تواند اطلاعات طیفی بیشتری را نسبت به PCA و MNF استخراج کرده و تفکیک واحدهای لیتولوژیکی را بهتر اجرا کند. کاربرد این تکنیک در سنجش از دور، کاهش بعد و استخراج آنومالی‌ها و پدیده‌های مورد نظر، طبقه‌بندی، کاهش نویز و تهیه نقشه است (Kumar et al., 2015).

در این روش برای کاهش نویزها و حذف اثرات توپوگرافی و سایه‌ها، پیکسل‌های یک باند بر پیکسل‌های باند دیگر تقسیم می‌شود (Mark and Rowan, 2006). در این حالت، بانندی که در آن پدیده مورد نظر بیشترین بازتاب را دارد بر بانندی که کمترین بازتاب را دارد تقسیم شده و در نتیجه پدیده مورد نظر با پیکسل‌های روشن مشخص می‌شود. روش نسبت‌گیری بانندی برای بازسازی بسیاری از کانی‌ها و زون‌های دگرسانی و تهیه نقشه-های لیتولوژیکی به کار می‌رود (Rowan et al., 2003, Amer et al., 2010, Ciampalini et al., 2012, Pournamdari et al., 2014).

**ترکیب بانندی (Band Combination)****ویژگی‌های طیفی مواد مورد مطالعه:**

کانه اصلی در توده‌های معدنی منطقه شهرک مگنتیت است که در برخی نقاط مارتیتی شده است. در مناطق سطحی گوتیت (اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن) تشکیل شده‌اند. شناخت ویژگی‌های طیفی این کانی‌ها می‌تواند به انتخاب باندهای مناسب برای بازسازی آنها کمک کند. ویژگی‌های طیفی این کانی‌ها در شکل ۸۳ دیده می‌شود. برخلاف کانی مگنتیت که نمودار طیفی نسبتاً همواری دارد، کانی‌های هماتیت و گوتیت بیشترین بازتاب‌ها را در محدوده ۰.۷ میکرومتر (باند ۴ OLI و باند ۲ استر) و ۱/۲ تا ۱/۵ میکرومتر بروز می‌دهند. بیشترین جذب نیز در محدوده ۰.۵ میکرومتر (باند ۲ OLI و باند ۱ استر) رخ می‌دهد. بر این اساس مهم‌ترین باندها در بازسازی اکسیدهای آهن فریک، باندهای مرئی هستند. به دلیل بازتاب زیاد این اکسیدها در محدوده طول موج ۲/۲ میکرومتر، از باندهای ۷ OLI و باند ۵ استر نیز می‌توان استفاده نمود.

از ترکیب سه باند مختلف و اختصاص رنگ‌های قرمز، سبز و آبی به هر باند، ترکیب رنگی ساخته می‌شود. با ترکیب باندهای مختلف، تشخیص بصری و مشاهده جزئیات پدیده‌های طبیعی بهتر امکان‌پذیر می‌شود. با انتخاب باندهای مناسب در ساخت ترکیب رنگی، داده‌های کم‌ارزش به حداقل رسیده و از اطلاعات مفید حداکثر استفاده خواهد شد (Alavi Panah, 2009). بهتر است در تهیه ترکیب‌های رنگی از باندهایی با کمترین همبستگی استفاده شود (Ranjbar et al., 2003).

**آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)**

روش آنالیز مولفه‌های اصلی از اهمیت زیادی در تفسیر تصاویر ماهواره‌ای برخوردار است. از این روش به منظور فشرده سازی داده‌های مربوط به باندهای مختلف در تعداد کمتری باند و حذف اطلاعات اضافی استفاده می‌شود. تکنیک PCA در افزایش تمایز میان پدیده‌های مختلف و در نتیجه تهیه نقشه‌های دگرسانی و لیتولوژیکی کاربرد زیادی دارد (Crosta et al., 2003; Adiri et al., 2016). در این روش می‌توان تنها از دو باند به عنوان ورودی استفاده نمود که با به حداقل رساندن اطلاعات، باعث راحتی بیشتر تفسیر چشمی می‌شود (Chavez and Kwartang, 1989). در این مطالعه از ۴ باند که دارای کمترین همبستگی هستند، به عنوان ورودی استفاده شده است.

**کسر کمترین نویز (Minimum Noise Fraction)**

به منظور جداسازی و کاهش نویز در تصاویر و همچنین مشخص نمودن بعد و حجم اصلی تصویر می‌توان از تبدیل کسر کمترین نویز استفاده نمود (Boardman and Kruse, 1994; Lakshmi Ram Prasath and Kusuma, 2018). این تبدیل اولین بار توسط (Green et al., 1988) به کار گرفته شد. این تکنیک، یک تبدیل خطی است که با جداسازی پیکسل‌ها از پس‌زمینه تصویر، وضوح تصویر را افزایش می‌دهد. نسبت سیگنال به نویز در تصویر حاصل از این تکنیک نسبت به تصاویر PCA بالاتر است (Luo et al., 2016).

**آنالیز مولفه‌های مستقل (ICA)**

تکنیک آنالیز مولفه‌های مستقل (Independent Components Analysis) برای تبدیل مولفه‌های مخلوط و تصادفی به مولفه‌های مستقل و دارای توزیع غیرگوسی به کار می‌رود. معیاری که ICA را از سایر تکنیک‌های تبدیل (PCA, MNF) متمایز می‌سازد، مستقل بودن مولفه‌ها یا

کرنبات‌ها (مرمر) و کانی‌های اسکارنی مانند اپیدوت، کلریت و گارنت (آندرادیت و گروسولار) نیز در برخی نقاط کانسنگ‌ها را همراهی می‌کنند. دگرسانی آرژیلیکی نیز در محدوده معدنی وجود دارد. از منحنی‌های طیفی شکل ۳-b چنین برمی‌آید که اپیدوت و کلریت بیشترین بازتاب‌ها را در محدوده طیفی ۲/۲ میکرومتر (باند ۷ OLI و باند ۵ استر) و بیشترین جذب را در محدوده طول موج مرئی دارند. کاتولینیت نیز بیشترین بازتاب را در محدوده ۱/۲-۰/۸ و ۲/۳ میکرومتر (باند ۷ OLI و باند ۷ استر) و بیشترین جذب را در محدوده ۰/۴، ۲/۲ و ۲/۷ میکرومتر (باند ۵ استر) نشان می‌دهد.

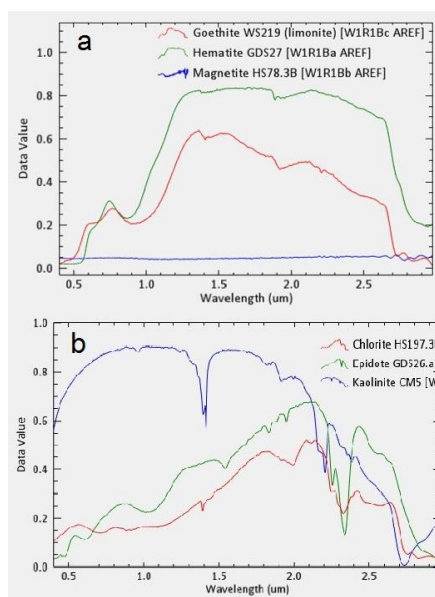
**پیش پردازش**

بررسی اجمالی پارامترهای آماری مربوط به Digital Number (DN) -های باندهای طیفی OLI (جدول ۳) نشان می‌دهد که چهار باند اول این تصویر، مقادیر DN و انحراف معیار پایینی نسبت به سایر باندها دارند که نتیجه پراکنش اتمسفری ریلی (Rayleigh) است. این پراکنش عمدتاً بر روی طول موج‌های کوتاه‌تر تأثیرگذار است. افزایش مقادیر DN و انحراف معیارها از باند ۱ تا باند ۶ به دلیل کاهش اثرات اتمسفری است. کاهش DN‌ها و انحراف معیار در باند ۷ نیز به دلیل فراوانی کمتر این طول موج در انرژی خورشید است (Ducart et al., 2016). این مطلب در مورد تصاویر استر نیز صدق می‌کند، که لزوم انجام تصحیح اتمسفری را بر روی هر دو تصویر نشان می‌دهد.

برای انجام تصحیح رادیومتریک در تصویر ASTER، ابتدا ابعاد پیکسل-های باندهای VNIR و SWIR به عدد ۱۵ متر یکسان‌سازی شد. پس از آن کالیبراسیون بازتابش انجام گرفت و تصویر رادیانس به بازتابش

این تصاویر اعمال شده است. تصحیح اتمسفری FLAASH بر روی تصویر OLI نیز با در نظر گرفتن ابعاد ۳۰ متر پیکسلها انجام شد.

تبدیل شد. سپس تصحیح اتمسفری به روش Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of (FLAASH Hypercubes) اجرا شد. تصحیحات هندسی و Crosstalk از پیش بر روی



شکل ۳- منحنی‌های طیفی (a) کانی‌های مگنتیت، هماتیت و گوتیت، و (b) کلریت و اپیدوت، برگرفته از کتابخانه طیفی USGS طول موج‌هایی که دارای حداکثر بازتاب و حداکثر جذب هستند، در انتخاب باندهای مناسب برای پردازش طیفی اهمیت دارند.

Fig. 3. Spectral curves of (a) magnetite, hematite and goethite minerals, and (b) chlorite and epidote, taken from the USGS spectral library. Wavelengths with maximum reflectance and maximum absorption are important for selecting the appropriate bands for spectral processing.

جدول ۳- پارامترهای آماری تصویر OLI.

Table 3. Statistical parameters of the OLI image.

| Basic Stats | Min | Max   | Mean  | Std.Dev. |
|-------------|-----|-------|-------|----------|
| Band 1      | 0   | 28518 | 7986  | 5161     |
| Band 2      | 0   | 30625 | 8044  | 5219     |
| Band 3      | 0   | 32422 | 8801  | 5764     |
| Band 4      | 0   | 36724 | 10243 | 6791     |
| Band 5      | 0   | 46845 | 12858 | 8526     |
| Band 6      | 0   | 65535 | 13152 | 8705     |
| Band 7      | 0   | 65535 | 10770 | 7133     |

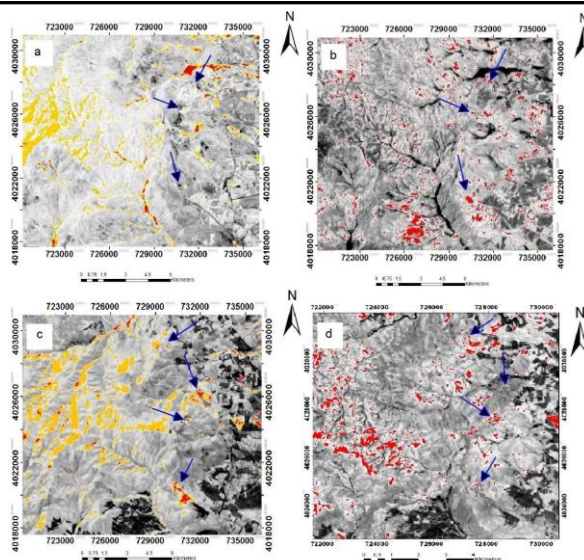
با توجه به اینکه کانسنگ آهن در محدوده شهرک عمدتاً مگنتیتی است که در برخی نقاط تا حدودی مارتیتی شده، و این کانی دارای  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  است، از نسبت باندی ۲/۱ (آهن فریک) و ۴/۳ (اکسیدهای آهن فریک) تصویر استر برای بارزسازی اکسید آهن استفاده شد (شکل‌های ۴a و ۴b). نسبت باندی مرکب  $۱/۲+۵/۳$  نیز برای بارزسازی آهن فرو به کار می‌رود (Kalinovski and Oliver, 2004). در تصویر OLI برای بارزسازی اکسیدهای آهن از نسبت باندی ۴/۲ و ۶/۵ استفاده شد (شکل‌های ۴c و ۴d). برای بارزسازی آهن فرو از نسبت باندی مرکب  $۷/۵+۳/۴$  نیز استفاده می‌شود (Van Der Werffand, 2016).

### پردازش تصاویر

از آنالیزهای طیفی متعددی مانند نسبت‌گیری باندی (Band Ratios)، ترکیب باندی (Band Combination) و تبدیل‌هایی چون آنالیز مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis)، آنالیز مولفه‌های مستقل (Independent Components Analysis) و کسر کمترین نویز (Minimum Noise Fraction) در بارزسازی زون‌های دگرسانی در محدوده معدنی شهرک استفاده شد.

### نتایج و بحث

نسبت باندی (Band Ratios)

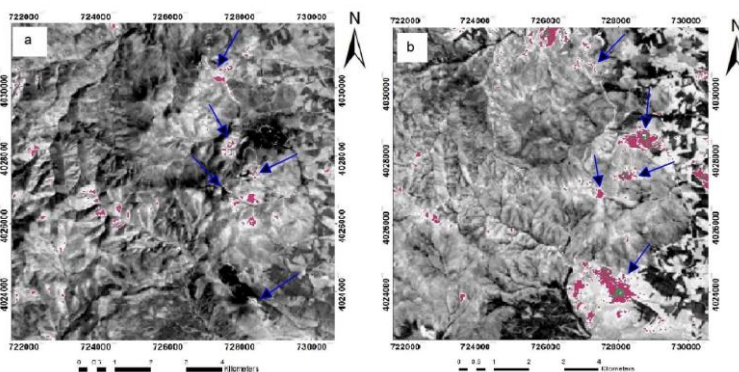


شکل ۴- (a) نسبت باندهای ۲/۱ در تصویر ماهواره ای استر، (b) نسبت باندهای ۳/۴ در تصویر ماهواره ای استر، و (c) نسبت باندهای ۴/۲ تصویر ماهواره ای OLI مناطق قرمز رنگ نشان دهنده اکسیدهای آهن فریک هستند. مناطق زرد رنگ تمرکز پایین تر اکسیدهای آهن را نشان می دهند. (d) نسبت باندهای ۶/۵ تصویر ماهواره ای OLI مناطق قرمز رنگ نشان دهنده اکسیدهای آهن فریک هستند. پیکانها محل توده های در حال بهره برداری را نشان می دهند.

Fig. 4. (a) ASTER band ratio 1/2 of the Shahrak area, (b) ASTER band ratio (3/4), (c) The band ratio (2/4) of OLI satellite images, the red spots represent ferric oxides and yellow areas show lower concentration of iron oxides, and (d) the band ratio (5/6) of OLI satellite image, the red spots represent ferric oxides. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.

کتابخانه طیفی USGS که بیشترین بازتاب اپیدوت را در محدوده ۲/۱ میکرومتر و بیشترین جذب را در محدوده ۰/۴ میکرومتر نشان می دهد، در تصویر OLI نسبت باندهای ۷/۲ اعمال شد که نتیجه قابل قبولی در برداشت این نسبت باندهای منجر به بارزسازی کانی کلریت نیز می شود که منحنی طیفی مشابهی با کانی اپیدوت دارد (شکل a ۵). دگرسانی رسی با نسبت باندهای ۷/۶ بارزسازی می شود (شکل b ۵).

برای بارزسازی اندوسکارن متشکل از مجموعه کانی های اپیدوت، کلریت و آمفیبول در تصاویر استر، نسبت باندهای مرکب  $(6+9)/(7+8)$  پیشنهاد شده است (Oliver, 2004). این نسبت باندهای در منطقه شهرک نتایج مطلوبی دربر نداشت. با توجه به منحنی طیفی کانی های اپیدوت و کلریت موجود در



شکل ۵- (a) نسبت باندهای ۷/۲ در تصویر OLI، مناطق ارغوانی رنگ نشانگر حضور فراوان کانی های اپیدوت و کلریت (زون اسکارنی) هستند. پیکانها محل تمرکز کانی های اپیدوت و کلریت را در مجاورت توده های معدنی نشان می دهند. (b) نسبت باندهای ۷/۶ تصویر OLI. مناطق ارغوانی و سبز نشان دهنده حضور فراوان سیلیکات های آهن فرو هستند. پیکانها محل توده های در حال بهره برداری را نشان می دهند.

Fig. 5. (a) The Landsat-8(7/2) ratio image, the purple spots indicate the presence of epidote and chlorite minerals (skarn zone). The arrows show the concentration of epidote and chlorite minerals in the vicinity of the ore bodies. (b) The Landsat-8 (6/7) ratio image, the purple and green spots indicate the abundance of ferrous silicates. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.

از ترکیب رنگی کاذب RGB: 456 و RGB: 468 استفاده شد. کانی های رسی، سریسیست، کلریت، اپیدوت و کلسیت بازتاب بالایی در باند ۴ تصویر استر دارند. کلریت و اپیدوت به دلیل وجود Fe و Mg-OH جذب بالایی

### ترکیب باندهای (Band Combination)

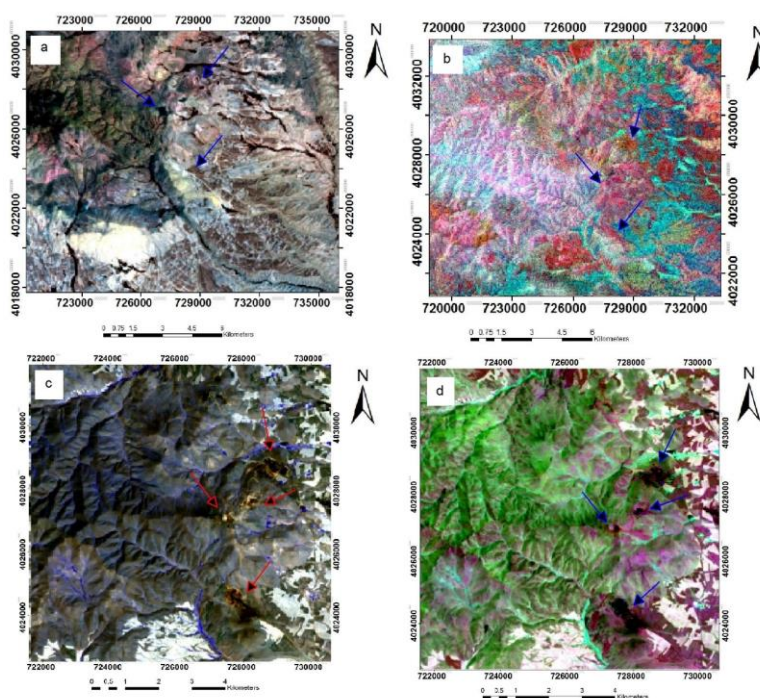
ترکیب های رنگی کاذب متعددی برای بارزسازی مناطق کانه زایی شده و دگرسانی های منطقه شهرک مورد استفاده قرار گرفت. برای تصویر استر

سبز دیده می‌شود. در ترکیب رنگی ۳۴۵ مناطق دارای کانه‌زایی آهن به رنگ قهوه‌ای و کربنات‌ها به رنگ زرد بارزسازی می‌شوند (شکل ۶c) در تصویر رنگی کاذب دیگری که با نسبت‌های باندی ۵، ۶/۷، ۴/۲ RGB: تصویر OLI تهیه شد، اکسیدهای آهن به رنگ بنفش تیره و آلتراسیون‌ها به رنگ بنفش روشن بارزسازی شدند (شکل ۶d).

با توجه به اینکه قدرت تفکیک رادیومتریک در تصاویر OLI بالاتر از تصاویر استر است، در تصویر OLI مناطق کانه‌زایی شده مشخص‌تر هستند. از طرف دیگر بیشترین بازتاب و جذب آهن فریک و فرو در محدوده طول موج مرئی قرار دارد، در نتیجه استفاده از تصویر OLI به دلیل داشتن هر سه باند مرئی، در بارزسازی کانه‌زایی آهن نتیجه بهتری در پی دارد (Zhang et al., 2016).

در باند ۸ (محدوده ۲/۳۳-۲/۳۵ میکرومتر) دارند (شکل ۳b; Mars and Rowan, 2006) در ترکیب باندی ۴۶۸ که بر روی تصویر استر منطقه شهرک اعمال شد، مجموعه کانی‌های کلریت-اپیدوت به رنگ سبز و کائولینیت به رنگ صورتی دیده می‌شود (شکل ۶a- کلریت به رنگ آبی و کربنات‌ها به رنگ زرد دیده می‌شوند. (Malekshahi et al., 2019) در ترکیب رنگی کاذب ۴۵۶ نیز دگرسانی کائولینیتی به رنگ صورتی مشاهده می‌شود. در ترکیب رنگی کاذبی که با استفاده از نسبت‌های باندی  $(\frac{1}{2}) + (\frac{5}{3})$ ،  $(\frac{7+9}{8})$ ،  $(\frac{6+9}{7+8})$ ،  $(\frac{3}{5}) + (\frac{1}{2})$  RGB: تهیه شد، آهن فرو به رنگ قرمز و مجموعه کربنات، کلریت و اپیدوت به رنگ سبز متمایل به آبی دیده می‌شوند (شکل ۶b).

در تصویر OLI از ترکیب‌های رنگی ۶۵۳ و ۳۴۵ استفاده شد. در ترکیب رنگی ۶۵۳ کانه‌زایی آهن به رنگ بنفش و پوشش گیاهی به رنگ



شکل ۶- (a) ترکیب رنگی کاذب ۴۶۸ RGB: تصویر استر منطقه شهرک. در محدوده معدنی مجموعه کلریت-اپیدوت به رنگ سبز کم‌رنگ، کائولینیت صورتی، کلریت آبی و کربنات‌ها زرد دیده می‌شوند. (b) ترکیب رنگی کاذب متشکل نسبت‌های باندی  $3/5 + 1/2$ ،  $7+9/8$ ،  $6+9/7+8$  از تصویر استر. در این تصویر آهن فرو به رنگ قرمز، مجموعه کربنات، کلریت و اپیدوت به رنگ سبز متمایل به آبی دیده می‌شوند. (c) ترکیب رنگی کاذب ۳۴۵ RGB: تصویر OLI منطقه شهرک. مناطق کانه‌زایی شده به رنگ قهوه‌ای تیره دیده می‌شود. در این ترکیب رنگی کربنات‌ها به رنگ زرد روشن نمایان شده‌اند. (d) ترکیب رنگی کاذب متشکل از نسبت‌های باندی ۵، ۶/۷، ۴/۲ RGB: تصویر OLI که اکسیدهای آهن را به رنگ بنفش تیره و دگرسانی‌ها را به رنگ بنفش روشن نشان می‌دهد. پیکان‌ها محل توده‌های در حال بهره‌برداری را نشان می‌دهند.

Fig. 6. (a) ASTER false-color composite image (RGB: 468) of Shahrak area. In this image, chlorite-epidote assemblage detects as pale green, kaolinite is pink, chlorite is blue, and carbonates are yellow. (b) ASTER False color combination consisting of RGB band ratios:  $3/5 + 1/2$ ,  $(7 + 9) / 8$ ,  $(6 + 9) / (7 + 8)$ . In this image, ferrous iron is red, carbonate, chlorite, and epidote assemblages are greenish-blue. (c) OLI false color combination image (RGB: 345) of shahrak area. The ore-bodies are dark brown, and the carbonates appear bright yellow in color. (d) OLI false color compositimage (RGB:  $2/2$ ,  $6/7$ ,  $5$ ), iron oxides and alterations appear dark purple and light purple, respectively. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.

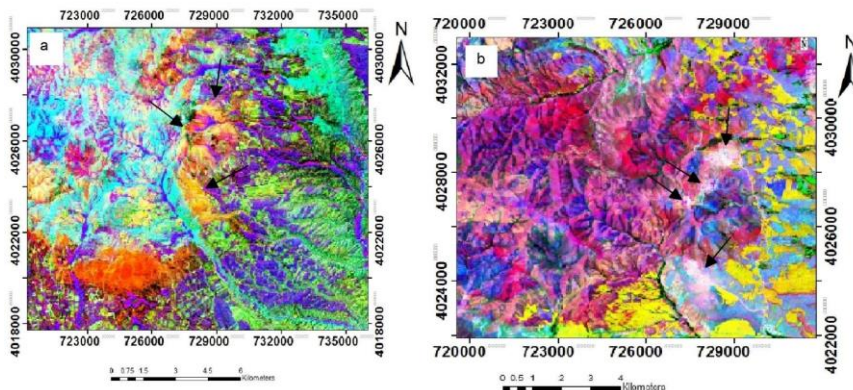
پدیده استفاده کرد. PC3 نیز برای بارزسازی دگرسانی رسی مفید است. در ترکیب رنگی کاذب متشکل از PC3، PC2، PC1 RGB: دگرسانی-های رسی به رنگ قرمز، کربنات‌ها به رنگ سبز تیره و اکسیدهای آهن به رنگ زرد بارزسازی شدند (شکل ۷a). در تصویر OLI بهترین بارزسازی اکسیدهای آهن در PC4 انجام می‌شود. در ترکیب رنگی RGB: PC4،

#### آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)

در تصویر استر بهترین بارزسازی اکسیدهای آهن در PC1 و PC2 رخ می‌دهد، با توجه به اینکه در PC1 پوشش گیاهی نیز به صورت پیکسل-های روشن مشخص می‌شود، ولی در PC2 پوشش گیاهی تیره و اکسید آهن روشن دیده می‌شود، می‌توان از این دو PC برای تفکیک این دو

قرمز و کربنات‌ها به رنگ آبی دیده می‌شوند.

PC3، PC2 اکسیدهای آهن به رنگی صورتی روشن متمایل به سفید نمایان می‌شود (شکل ۷b). در این ترکیب دگرسانی هیدروترمال به رنگ



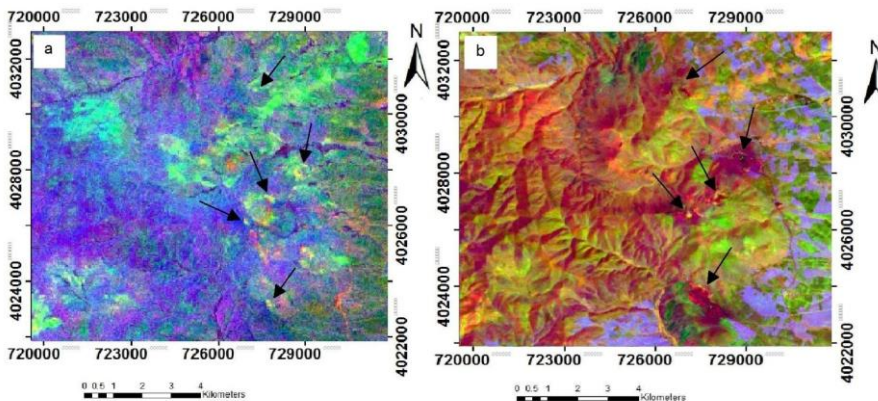
شکل ۷- (a) ترکیب رنگی کاذب متشکل از مولفه‌های اصلی RGB: PC3، PC2، PC1 تصویر استر. دگرسانی‌های رسی به رنگ قرمز، کربنات‌ها به رنگ سبز تیره و اکسیدهای آهن به رنگ زرد دیده می‌شوند. (b) ترکیب رنگی کاذب متشکل از RGB: PC4، PC3، PC2 تصویر OLI. در این تصویر اکسیدهای آهن به رنگ صورتی روشن، دگرسانی رسی به رنگ قرمز و کربنات‌ها به رنگ آبی به نمایش گذاشته شده است. پیکان‌ها محل توده‌های در حال بهره‌برداری را نشان می‌دهند.

Fig. 7. (a) ASTER false color combination image (RGB: PC3, PC2, PC1) showing clay alteration as red, carbonates as dark green, and iron oxides as yellow. (b) OLI false color combination image (RGB: PC4, PC3, PC2). In this RGB image, iron oxides are light pink, clay alteration is red and carbonates are blue. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.

در تصویر OLI منطقه شهرک مولفه‌های IC3، IC2، IC1 در بارزسازی مناطق دارای کانه‌زایی آهن موفق عمل کردند. در ترکیب رنگی کاذبی که با این باندها ساخته شد، اکسید آهن به رنگ ارغوانی، کربنات‌ها (مرمر) به رنگ زرد و مناطق دارای اپیدوت و کلریت به رنگ سبز روشن آشکارسازی شدند (شکل ۸b). برخلاف تصاویر استر، تصویر OLI با استفاده از روش ICA نیز به خوبی روش PCA بارزسازی شد.

#### آنالیز مولفه‌های مستقل (ICA)

در تصاویر استر مربوط به محدوده معدنی شهرک، بهترین خروجی مربوط به مولفه‌های IC4 و IC5 است. در ترکیب رنگی کاذب ساخته شده با مولفه‌های مستقل RGB: IC6، IC5، IC4 مناطق کانه‌زایی شده اکسید آهن به رنگ زرد و کربنات‌ها به رنگ سبز روشن آشکار شدند (شکل ۸a). در مقایسه با تصاویر PCA به دست آمده، به نظر می‌رسد تصاویر ICA مربوط به تصویر استر در بارزسازی مناطق کانه‌زایی شده چندان موفق عمل نکرده‌اند.



شکل ۸- (b) ترکیب رنگی کاذب متشکل از مولفه‌های مستقل RGB: IC6، IC5، IC4 تصویر استر. مناطق دارای کانه‌زایی آهن به رنگ زرد و نارنجی و کربنات‌ها به رنگ سبز دیده می‌شوند. (a) ترکیب رنگی کاذب متشکل از مولفه‌های مستقل RGB: IC3، IC2، IC1 تصویر OLI. اکسیدهای آهن به رنگ قرمز مایل به نارنجی، کربنات‌ها به رنگ زرد و مجموعه کلریت-اپیدوت به رنگ سبز مشخص می‌شوند. پیکان‌ها محل توده‌های در حال بهره‌برداری را نشان می‌دهند.

Fig. 8. (a) ASTER false color combination of independent components (RGB: IC6, IC5, IC4). Areas of mineralization are yellow and orange and carbonates are green in this image. (b) OLI false color combination image of independent components (RGB: IC3, IC2, IC1). Iron oxides are orange-red, carbonates are yellow, and chlorite-epidote assemblages are green. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.



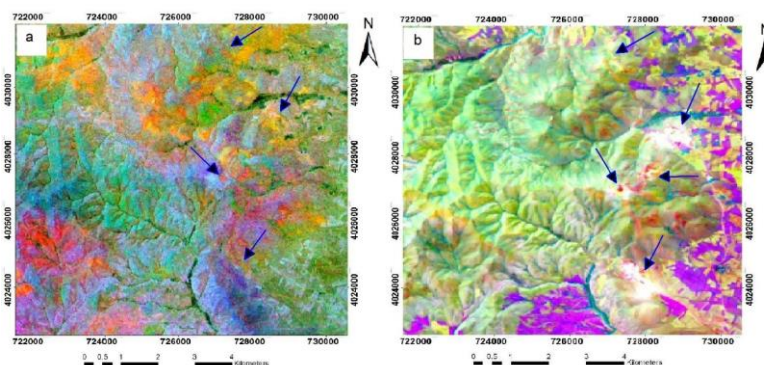
**کسر کمترین نویز (MNF)**

در این مطالعه از تکنیک MNF برای کاهش نویز و بالا بردن وضوح تصویر استفاده شد، سپس باندهای MNF حاصله، در ساخت ترکیب های رنگی مختلف به کار گرفته شدند. باند MNF5 در تصویر استر اکسیدهای آهن را بارزسازی می کند (Gahlan and Ghrefat, 2018). در تصویر رنگی کاذب RGB: MNF5, MNF3, MNF2 حاصله اکسیدهای آهن به رنگ زرد مایل به نارنجی، آلتراسیون رسی به رنگ قرمز و کربنات ها به رنگ بنفش مشخص می شوند (شکل ۹a). در تصویر OLI باند MNF4 به خوبی اکسیدهای آهن را بارزسازی می کند. ترکیب رنگی کاذب RGB: MNF4, MNF5, MNF6

اکسیدهای آهن را به رنگ سفید، کانی های رسی به رنگ صورتی و کربنات ها به رنگ قرمز بارز شدند (شکل ۹b).

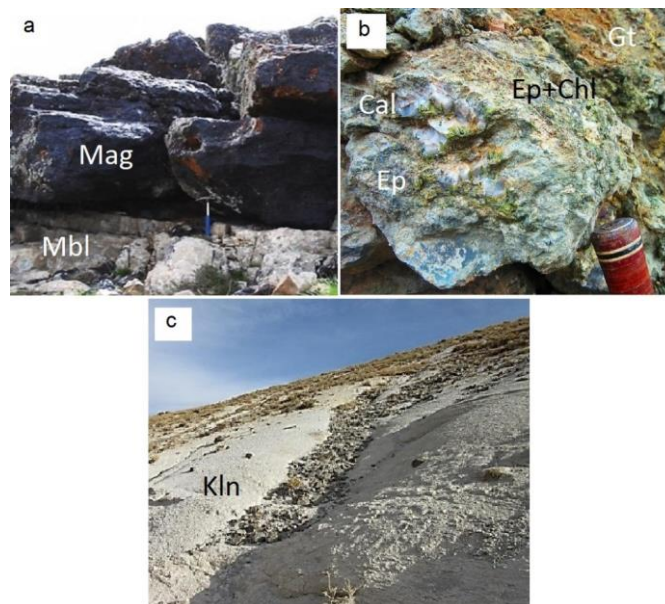
**بازدید صحرایی**

در بازدید صحرایی به عمل آمده از محدوده معدنی شهرک، وجود کانسنگ های مگنتیتی در مجاورت مرمر (شکل ۱۰a) و زون اسکارنی متشکل از کانی های اپیدوت، کلریت، گوتیت و درشت بلورهای کلسیت (شکل ۱۰b) و کائولینیت (شکل ۱۰c) در نقاط متعدد که در تصاویر ماهواره ای نیز بارز شده بودند، مورد تأیید قرار گرفت.



شکل ۹- (a) ترکیب رنگی کاذب RGB: MNF5, MNF3, MNF2 از تصویر استر که در آن اکسیدهای آهن به رنگ زرد، آلتراسیون رسی به رنگ قرمز و کربناتها به رنگ بنفش دیده می شوند. (b) ترکیب رنگی کاذب متشکل RGB: MNF4, MNF5, MNF6 تصویر OLI. اکسیدهای آهن به رنگ سفید، کانی های رسی به رنگ صورتی و کربناتها به رنگ قرمز دیده می شوند. پیکان ها محل توده های در حال بهره برداری را نشان می دهند.

Fig. 9. (a) ASTER false color combination image (RGB: MNF5, MNF3, MNF2), in which the iron oxides are yellow, the clay alteration is red and the carbonates are purple. (b) OLI false color combination image consisting of RGB: MNF4, MNF5, MNF6. Iron oxides are white, clay minerals are pink, and carbonates are red. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.



شکل ۱۰- (a) کانسنگ مگنتیتی (Mag) که در بالای واحد مرمر (Mbl) واقع شده است، کانسار شهرک ۲، دید به سمت شمال. (b) واحد اسکارنی در سینه کار معدن شهرک ۱، متشکل از کانی های کلسیت (Cal)، اپیدوت (Ep)، کلریت (Chl) و گوتیت (Gt). (c) دگرسانی کائولینیتی (Kln) در سنگ های ریولیتی، در محدوده معدنی شهرک، دید به سمت شرق.

Fig. 10. (a) Magnetite ore (Mag) located above the marble unit (Mbl), Shahrak 2 orebody. (b) Skarn unit, consisting of minerals calcite (Cal), epidote (Ep), chlorite (Chl) and goethite (Gt) in Shahrak1 mine. (c) Kaolinite alteration (Kln) in the rhyolitic rocks, in Shahrak mining area.

## نتیجه گیری

توجه به توان تفکیک رادیومتریک بالاتر در تصویر OLI، این تصاویر کارایی بهتری در بارزسازی پدیده‌های مورد نظر دارند. از میان تکنیک‌های به کار رفته، تکنیک ICA نتایج واضح‌تری نسبت به سایر تکنیک‌ها مانند PCA و MNF ارائه می‌دهد. تصویر RGB تهیه شده از مولفه‌های مستقل IC1، IC2، IC3 در تصویر OLI، علاوه بر بارزسازی کانه‌زایی آهن و کربنات‌ها، جزییات واحدهای لیتولوژیکی را به خوبی نمایان می‌کند که می‌تواند در تهیه نقشه لیتولوژیکی منطقه به کار رود.

در این مطالعه از داده‌های استر و OLI استفاده شد. به منظور کاهش نویز، تصحیح اتمسفری بر روی این تصاویر اعمال شد. باندهای VNIR و SWIR در این دو تصویر برای بارزسازی اکسیدهای آهن، کربنات‌ها، مجموعه کلریت- اپیدوت و دگرسانی‌های رسی به کار رفتند. ترکیب‌های باندی مختلف در کنار تبدیل‌های نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های اصلی، آنالیز مولفه‌های مستقل و کسر کم‌ترین نویز اعمال شدند تا بتوان کارآمدی این تکنیک‌ها را در دو تصویر مقایسه نمود. در نهایت به نظر می‌رسد با

## منابع

- Abbaszadeh, S., Mehrnia, S.R. 2016. Application of overlay index modeling to detection of hydrothermal alteration effects in Ramand area, Qazvin. *Journal of Advanced Applied Geology* 24, 12–25.
- Adiri, Z., El Harti, A., Jellouli, A., Maacha, L., Bachaoui, E.M., 2016. Lithological mapping using Landsat 8 OLI and Terra ASTER multispectral data in the Bas Drâa inlier, Moroccan Anti Atlas. *Journal of Applied Remote Sensing* 10, 016005.
- Alavi Panah, S. K., 2009. Principles of Modern Remote Sensing and Interpretation of Satellite Images and Aerial Photographs, University of Tehran Press. p. 800 (In Persian).
- Amer, R.M., Kusky, T.M., Ghulam, A., 2010. New methods of processing ASTER data for lithological mapping: examples from Fawakhir, Central Eastern Desert of Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 56, 75–82.
- Beiranvand Pour, A., Hashim, M., 2015. Hydrothermal alteration mapping from Landsat-8 data, Sar Cheshmeh copper mining district, south-eastern Islamic Republic of Iran. *Journal of Taibah University for Science* 9, 155–166.
- Boardman, J.W., Kruse, F.A., 1994. Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI. I-407-I-418.
- Ciampalini, A., Garfagnoli, F., Antonielli, B., Del Ventisette, C., Moretti, S., 2012. Photo-lithological map of the southern flank of the Tindouf Basin (Western Sahara). *Journal of Maps* 8, 453–464.
- Crosta, A.P., De Souza Filho, C.R., Azevedo, F., Brodie, C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing* 24, 4233–4240.
- Darbandi, G., 2016. Mineralization and alteration associated with igneous rocks in Shahrak area, Kurdistan province. M.Sc. thesis, Imam Khomeini International University, (In Persian with English abstract).
- Ducart, D.F., Silva, A.M., Toledo, C.L.B., Assis, L.M. de, 2016. Mapping iron oxides with Landsat-8/OLI and EO-1/Hyperion imagery from the Serra Norte iron deposits in the Carajás Mineral Province, Brazil. *Brazilian Journal of Geology* 46, 331–349.
- Gahlan, H., Ghrefat, H., 2018. Detection of Gossan Zones in Arid Regions Using Landsat 8 OLI Data: Implication for Mineral Exploration in the Eastern Arabian Shield, Saudi Arabia. *Natural Resources Research* 27, 109–124.
- Ghorbani, M. 2013. The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources. Springer Netherlands, p. 572.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D., 1988. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* 26, 65–74.
- Honarmand, M., Ranjbar, H., Shahabpour, J., 2011. Application of spectral analysis in mapping hydrothermal alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran. *Journal of Sciences* 22, 221–238.
- Jeong, Y., Yu, J., Koh, S.M., Heo, C.H., Lee, J., 2016. Spectral characteristics of minerals associated with skarn deposits: a case study of Weondong skarn deposit, South Korea. *Geosciences Journal* 20, 167–182.
- Kalinowski, A., Oliver, S., 2004. ASTER mineral index processing manual: Remote Sensing Applications. Geoscience Australia, internal report 36, p. 37.
- Kumar, C., Shetty, A., Raval, S., Sharma, R., Ray, P.C., 2015. Lithological discrimination and mapping using ASTER SWIR Data in the Udaipur area of Rajasthan, India. *Procedia Earth and Planetary Science* 11, 180–188.
- Lakshmi Ram Parasath, Kusuma, K.N., 2018. Lithological Mapping using Landsat 8 OLI and ASTER TIR Multispectral Data-A Comparative Study. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS* 7, 2728–2745.
- Lee, T.W., Girolami, M., Bell, A.J., Sejnowski, T.J., 2000. A unifying information-theoretic framework for independent component analysis. *Computers & Mathematics with Applications* 39, 1-21.
- Li, Q., Zhang, B., Lu, L., Lin, Q., 2014. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in Baogutu porphyry deposit, China, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, p. 012174.

- Luo, G., Chen, G., Tian, L., Qin, K., Qian, S.E., 2016. Minimum noise fraction versus principal component analysis as a preprocessing step for hyperspectral imagery denoising. *Canadian Journal of Remote Sensing* 42, 106–116.
- Mahmoudishadi, S., Malian, A., Hosseinali, F., 2017. Comparing independent component analysis with principle component analysis in detecting alterations of porphyry copper deposit (case study: Ardestanarea, Central Iran). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* 42, 161-166.
- Malekshahi, Sh., Rasa, I., Rashidnejad Omran, N., Lotfi, M., 2019. Investigation of satellite image processing results for alteration with field evidences in Sarkouh porphyry copper deposit. *Iranian Remote Sensing & GIS* 10, 1-26 (In Persian).
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2006. Regional mapping of phyllic-and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Geosphere* 2, 161–186.
- Pournamdari, M., Hashim, M., Pour, A.B., 2014. Spectral transformation of ASTER and Landsat TM bands for lithological mapping of Soghan ophiolite complex, south Iran. *Advances in Space Research* 54, 694–709.
- Purnick, P., 2001. Report on determination of Shahrak iron ore deposit. Zaryaban Exploration Consulting Engineers Company (In Persian).
- Ranjbar, H., Shahriari, H., Honarmand, M., 2003. Comparison of ASTER and ETM+ data for exploration of porphyry copper mineralization: A case study of Sar Cheshmeh areas, Kerman, Iran, in: *Map Asia Conference*, Kuala Lumpur. 13–15.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J., Mars, J.C., 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. *Economic Geology* 98, 1019–1027.
- Sadeghi, B., Khalajmasoumi, M., Afzal, P., Moarefvand, P., Yasrebi, A.B., Wetherelt, A., Foster, P., Ziazarifi, A., 2013. Using ETM+ and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi 1: 100,000 mapping sheet of Central Iran. *Journal of African Earth Sciences* 85, 103–114.
- Sheikhi, R., 1995. Economic geological survey of Shahrak iron ore deposit, east of Takab. M.Sc. thesis, Shahid Beheshti University (In Persian with English abstract).
- Van Der Werff, H., Van Der Meer, F., 2016. Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing. *Remote sensing* 8, 883.
- Zhang, T., Yi, G., Li, H., Wang, Z., Tang, J., Zhong, K., Li, Y., Wang, Q., Bie, X., 2016. Integrating data of ASTER and Landsat-8 OLI (AO) for hydrothermal alteration mineral mapping in duolong porphyry Cu-Au deposit, Tibetan Plateau, China. *Remote Sensing* 8, 890.