

Comparison of ASTER and Landsat-8 OLI data for detecting iron occurrences and alteration in Shahrak area, Kurdistan Province

Zahra Bonyadi ^{1*}, Ehsan Daryanavard ¹

1- Department of Geology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Keywords: ASTER, Landsat 8-OLI, Fe mineralization, Alteration, Shahrak

1-Introduction

In this study, the performance of different spectral processing techniques on ASTER and Landsat-8 OLI sensors data of the Shahrak mining area are compared. Shahrak is located 60 km north of Bijar city in Kurdistan province. It is located in the coordinates of 47° 30', 30" to 47° 40', 34" east longitude and 36° 20', 20" to 36° 30', 25" north latitude. It belongs to Takab structural zone. There are ten ore bodies in the Shahrak mining area, mainly composed of magnetite. The host rocks of mineralization are carbonate and volcanic rocks that have undergone argillic, epidote, and chlorite alteration. The purpose of this study was to compare the efficacy of ASTER and OLI images and PCA, ICA, and MNF processing methods in detecting iron ore mineralization and related alteration assemblages in the Shahrak mining area. Given the limited references available for remote sensing of skarn ores (Jeong et al., 2016), especially iron skarns, performing and comparing different algorithms in known skarn ores can help study unknown ore deposits. At pre-processing stage, FLAASH atmospheric correction was applied to both images to reduce noise. The processing techniques used in this study are band ratio (BR), band combination, principal component analysis (PCA), independent component analysis (ICA) and minimum noise fraction (MNF). The results validated by field observations and microscopic studies.

2-Methodology

The VNIR and SWIR bands of both images were used to detect iron oxides, carbonates, chlorite-epidote assemblage, and argillic alteration (Kalinowski and Oliver, 2004; Ducart et al., 2016). The spectral characteristics of minerals in the ore and host rock were investigated to select suitable bands. Various band ratios and false-color composites were prepared to determine which ones are best suited to detect iron mineralization, chlorite-epidote assemblage, and argillic alteration.

3- Results and discussion

The band ratio 4/3 in the ASTER image and 4/2 in the OLI image performed better in highlighting the magnetite orebodies (Fig. 4). The band ratio of $(6 + 9) / (8 + 7)$ in the ASTER image could not characterize the endoskarn complex, but it performed better in color combination. The band ratio of 7/2 in the OLI image well-characterized the epidote-chlorite assemblage. The band ratio of 7/6 in the OLI image also detected argillic alteration (Fig. 5). In the ASTER image, RGB: 468 color combination and the false-color combination prepared using the band ratios RGB: $(6 + 9) / (8 + 7)$, $(7 + 9) / 8$, $(5/3) + (1/2)$, detected the chlorite-epidote assemblage, kaolinite and ferrous minerals. For OLI image, the false-color combinations RGB: 653, RGB: 345, and RGB: 4/2, 6/7, 5 were successful in detecting the mineralization and alteration. As the radiometric resolution in OLI images is higher than the ASTER images, the OLI image's mineralized areas are more evident. On the other hand, the highest reflection and absorption of ferric and ferrous iron are in the visible wavelength range, thus

*Corresponding author: bonyadi@sci.ikiu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2019.29579.1986

Received 2019-05-17

Accepted 2019-09-27

using OLI image results in better iron oxide detection due to having all three visible bands (Zhang et al., 2016). Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA), and Minimum Noise Fraction (MNF) spectral transforms were also applied to ASTER and OLI image bands. In the ASTER image, the best detection of iron oxides occurs in PC1 and PC2. The band PC3 is also useful for detecting argillic alteration. The OLI image PC4 shows the best detection of iron oxides. The obtained images show that in the PCA method, the OLI image detects iron mineralization and clay alteration better than the ASTER image.

In the ICA technique performed on the ASTER image of the Shahrak mining area, the best output was for the IC4 and IC5 components. In the OLI image, IC3, IC2, and IC1 have been successful in highlighting iron ores. Unlike the ASTER images, the ICA method act as well as the PCA method on the OLI image. In this technique, the OLI image reveals more details (Mahmoudishadi et al., 2017), so that the color combination of RGB: IC3, IC2, and IC1 can produce lithological maps in addition to highlighting the mineralization and alteration zones. The MNF technique was used to reduce the noise and increase the resolution of the image. Then the resulting MNF bands were used to prepare different color combinations. The MNF5 band in the ASTER image highlights iron oxides (Gahlan and Ghrefat, 2018). In the OLI image, the MNF4 band detects iron oxides. The resulting images show that the OLI image performs better than the ASTER image in MNF transform. Of the three transforms used, ICA and then MNF performed better than PCA in the OLI image. Finally, it seems that due to the higher radiometric resolution of the OLI image, these images can detect the phenomena with more details. Field observation was conducted to validate the results of the study. Sampling and microscopic studies were also performed. The presence of magnetite ores in the vicinity of marble, skarn zone consisting of the minerals epidote, chlorite, goethite, and crystalline calcite and kaolinite approved in several locations, were also detected on the satellite images.

4-Conclusion

Among the mentioned techniques, the ICA technique yields more precise results than other techniques such as PCA and MNF. The RGB image obtained from the OLI independent components IC3, IC2, IC1 could detect iron oxides, carbonates and the lithological units with comprehensive details, which can be useful for lithological mapping of the area.

References

- 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.
- 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 36-37.
- Mahmoudishadi, S., Malian, A., Hosseinali, F., 2017. Comparing independent component analysis with principle component analysis in detecting alterations of porphyry copper deposit (case study: Ardestan area, Central Iran). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* 42, 161-166.
- 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.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Bonyadi, Z., Daryanavard, E., 2020. Comparison of ASTER and Landsat-8 OLI data for detecting iron occurrences and alteration in Shahrak area, Kurdistan Province. *Adv. Appl. Geol.* 10(2), 154-166.

DOI: 10.22055/AAG.2019.29579.1986

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15078.html?lang=en

مقایسه عملکرد تصاویر ماهواره‌ای ASTER و لندست-OLI۸ در بارزسازی رخداد آهن و دگرسانی‌ها در

منطقه شهرک، استان کردستان

زهرا بنیادی*

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

احسان دریانورد

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه بین المللی 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 رخداد 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، به گونه‌ای 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

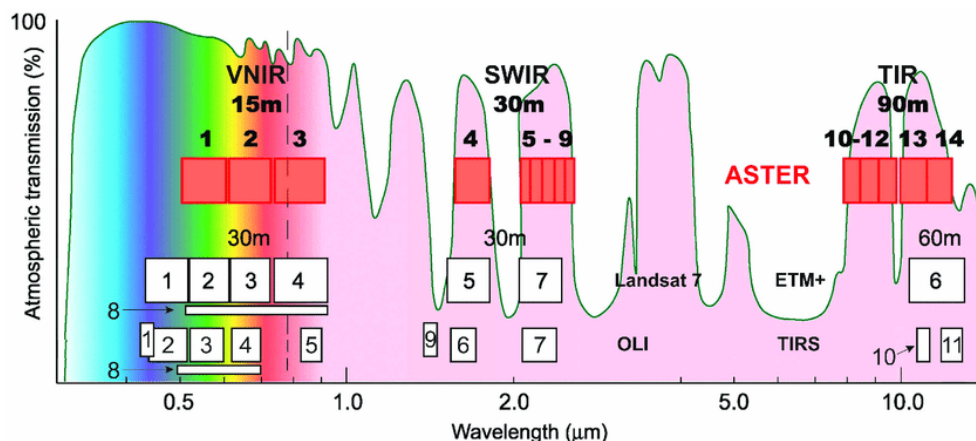
واقع شوند (Li et al., 2014).
سنجنده OLI (Operational Land Imager) بر روی ماهواره لندست-۸، در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. تصاویر این سنجنده دارای ۹ باند هستند که متشکل از ۴ باند در محدوده مرئی (۰/۴۳-۰/۶۷ میکرومتر)، یک باند NIR (۰/۸۵-۰/۸۸ میکرومتر)، دو باند در محدوده SWIR (۱/۵۷-۲/۲۹ میکرومتر) و یک باند سیروس 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 موج های 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 CO₃²⁻ 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، می تواند 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 توده های 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.

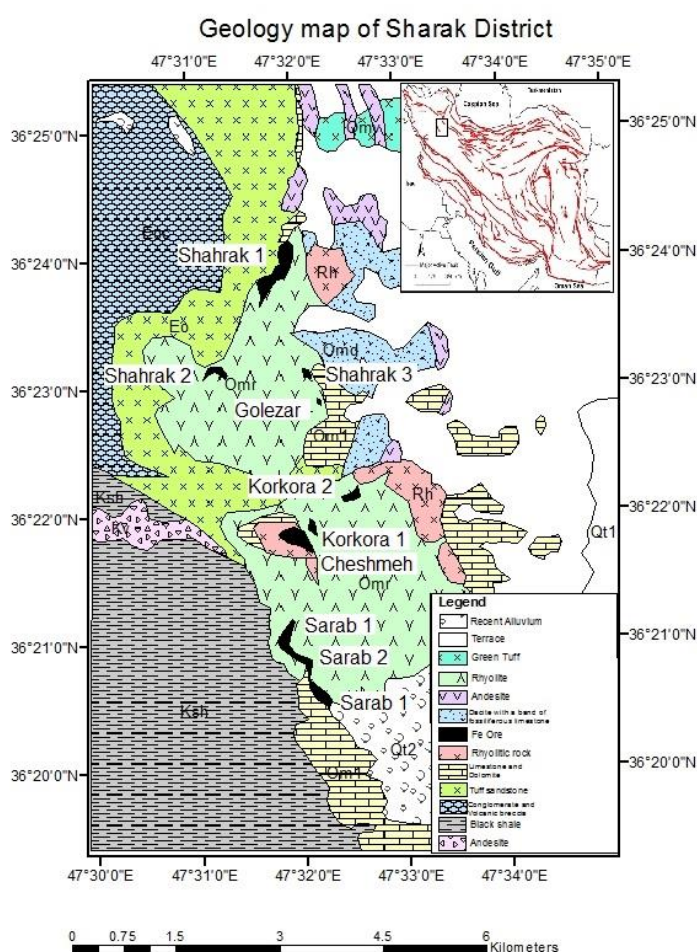
منطقه مورد مطالعه جزئی از رشته کوه زاگرس و بخشی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ فچور (یاسوکنند) را تشکیل می‌دهد. توالی چینه‌شناسی در منطقه شهرک در جدول ۲ آمده است. کانه‌زایی آهن در مرز بین ریولیت‌ها و آهک‌های بلورین که در برخی نقاط دولومیتی شده-

توده‌های نفوذی کم عمق از نوع دیوریت تا میکروگابرو در میان سنگ- های آتشفشانی و گاهی آهک نفوذ کرده‌اند.

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).

روش کار

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:

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 (پاسوکند) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده معدنی شهرک برای تفسیر داده‌های به‌دست

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).

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.

کربنات‌ها (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. کائولینیت 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

نسبت بانندی (Band Ratio)

در این روش برای کاهش نویزها و حذف اثرات توپوگرافی و سایه‌ها، پیکسل-های 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)

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)

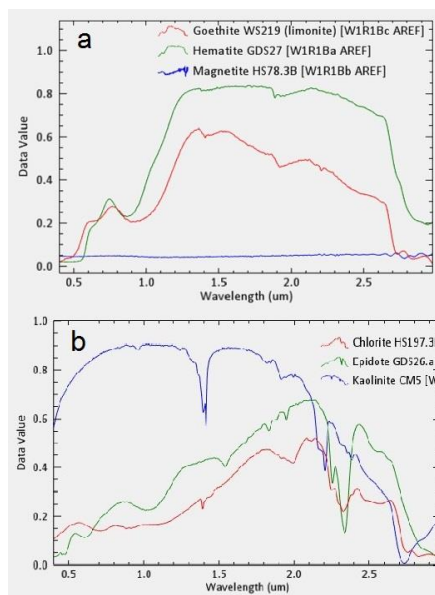
به منظور جداسازی و کاهش نویز در تصاویر و همچنین مشخص نمودن بعد و حجم اصلی تصویر می‌توان از تبدیل کسر کمترین نویز استفاده نمود (Boardman and Kruse, 1994; Lakshmi Ram Prasath and Kusuma, 2018). این تبدیل اولین بار توسط (Green et al., 1988) به کار گرفته شد. این تکنیک، یک تبدیل خطی است که با جداسازی پیکسل‌ها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

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

(Reflectance) 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

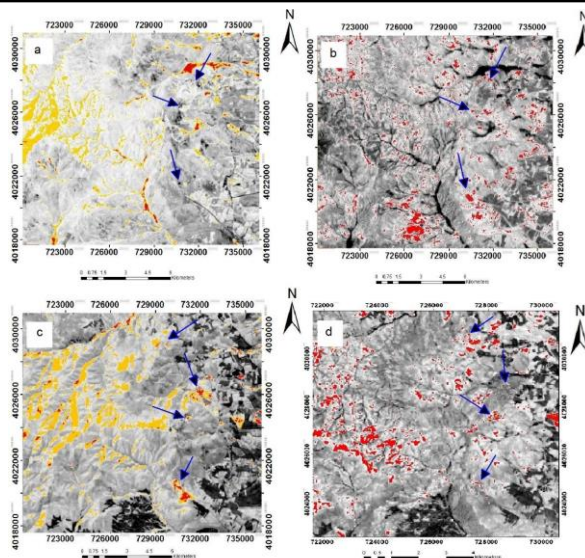
با توجه به اینکه کانسنگ آهن در محدوده شهرک عمدتاً مگنتیتی است که در برخی نقاط تا حدودی مارتیتی شده، و این کانی دارای Fe^{2+} و Fe^{3+} است، از نسبت باندی ۲/۱ (آهن فریک) و ۴/۳ (اکسیدهای آهن فریک) تصویر استر برای بارزسازی اکسید آهن استفاده شد (شکل‌های ۴a و ۴b). نسبت باندی مرکب $1/2+5/3$ نیز برای بارزسازی 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 $7/5+3/4$ 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)

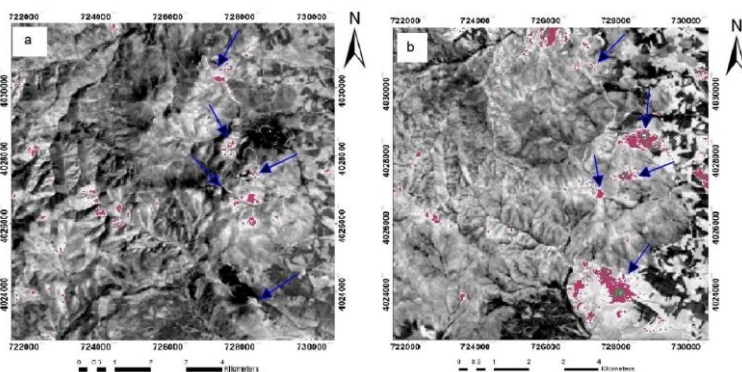


شکل ۴- (a) نسبت باندهای ۲/۱ در تصویر ماهواره ای استر، (b) نسبت باندهای ۳/۴ در تصویر ماهواره ای استر و (c) نسبت باندهای ۴/۲ تصویر ماهواره ای OLI مناطق قرمز رنگ نشان دهنده اکسیدهای آهن فریک هستند. مناطق زرد رنگ تمرکز پایین تر اکسیدهای آهن را نشان می دهند. (d) نسبت باندهای ۶/۵ تصویر ماهواره ای OLI مناطق 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 اندواسکارن متشکل از مجموعه کانی های اپیدوت، کلریت و آمفیبول در تصاویر استر، نسبت باندهای مرکب $(6+9)/(7+8)$ پیشنهاد شده است (Hewson et al., 2005; Kalinowski and Oliver, 2004). این نسبت باندهای در منطقه شهرک نتایج مطلوبی در بر 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، سریسیت، 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)

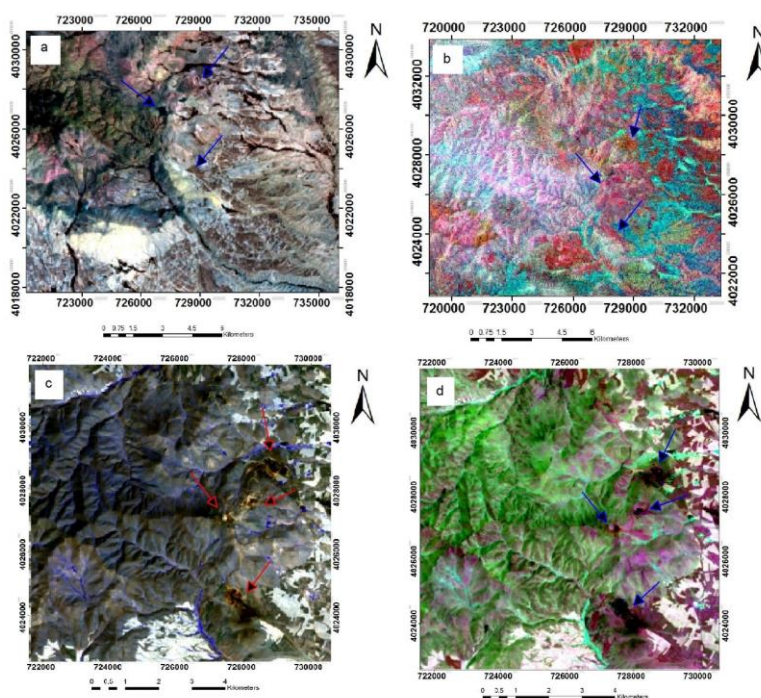
ترکیب های رنگی کاذب متعددی برای بارزسازی مناطق کانه زایی شده و دگرسانی های منطقه شهرک مورد استفاده قرار گرفت. برای تصویر استر

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 ۶b؛ 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 $(\frac{1}{2}) + (\frac{5}{3})$ ، $\frac{8}{(7+9)}$ ، $\frac{8}{(6+9)}$ ، $\frac{7}{(7+8)}$ ، $\frac{3}{5}$ ، $\frac{1}{2}$ ، $\frac{4}{2}$ ، $\frac{6}{7}$ ، $\frac{5}{5}$ 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 $RGB: \frac{3}{5} + \frac{1}{2}, \frac{7+9}{8}, \frac{6+9}{7+8}$ 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: $\frac{3}{5} + \frac{1}{2}, \frac{7+9}{8}, \frac{6+9}{7+8}$. 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: $\frac{2}{2}, \frac{6}{7}, \frac{5}{5}$), iron oxides and alterations appear dark purple and light purple, respectively. The arrows indicate the location of the ore bodies being mined.

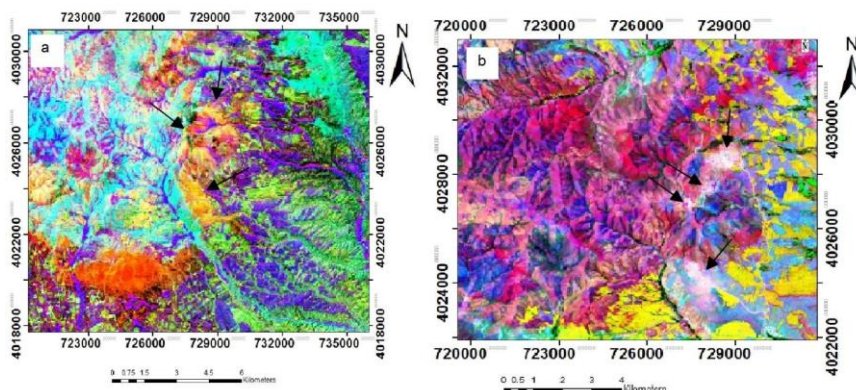
پدیده استفاده کرد. PC3 نیز برای بارزسازی دگرسانی رسی مفید است. در ترکیب رنگی کاذب متشکل از PC3، PC2، PC1 RGB: دگرسانی-های رسی به رنگ قرمز، کربنات‌ها به رنگ سبز تیره و اکسیدهای آهن به رنگ زرد بارزسازی شدند (شکل ۷a). در تصویر OLI بهترین بارزسازی اکسیدهای آهن در PC4 انجام می‌شود. در ترکیب رنگی RGB: PC4،

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



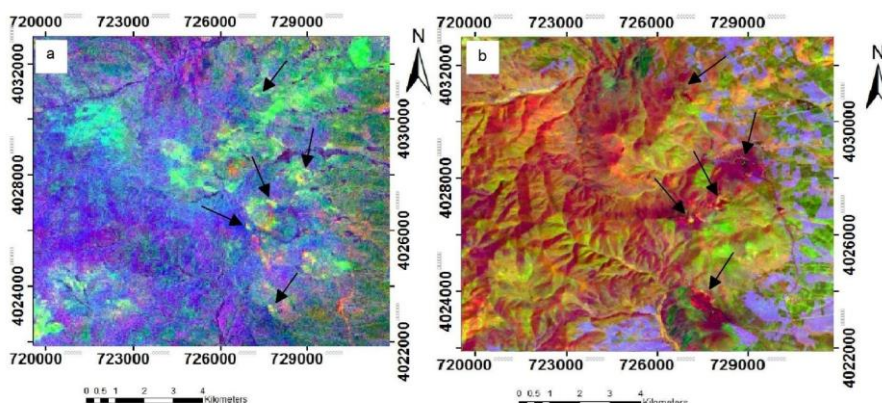
شکل ۷- (a) ترکیب رنگی کاذب متشکل از مولفه‌های اصلی RGB: PC3، PC2، PC1 تصویر استر. دگرسانی‌های رسی به رنگ قرمز، کربنات‌ها به رنگ سبز تیره و اکسیدهای آهن به رنگ زرد دیده می‌شوند. (b) ترکیب رنگی کاذب متشکل از RGB: PC4، PC3، PC2 تصویر OLI. در این تصویر اکسیدهای آهن به رنگ صورتی روشن، دگرسانی رسی به رنگ قرمز 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 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.

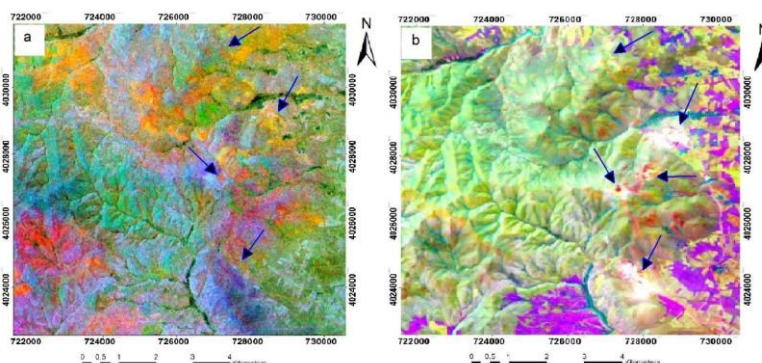
کسر کمترین نویز (MNF)

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).

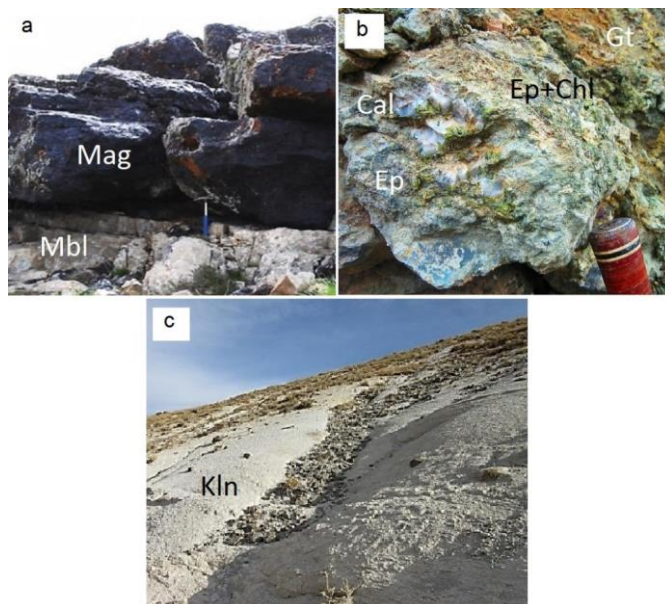
بازدید صحرایی

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. *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.

