

Enhancing of iron containing minerals using satellite images and spectroscopy technique (Case study: North Saveh)

Kazem Rangzan¹, Somayeh Beiranvand^{2*}, Hooshang Pourkaseb², Alireza Zarasvandi², Hojatollah Ranjbar³

1-Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2-Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3-Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Keywords: Enhancing, Iron containing minerals, TM, ETM, FieldSpec3, TSG techniques

1-Introduction

The interaction of hot aqueous fluids with host rocks produce the hydrothermal mineral deposits (Pirajno, 1992). One of the way for iron mineral formation is that hot aqueous solutions rich in iron with proper temperature, pH, and suitable EH react with rock walls that lead to the generation of hydrothermal iron deposits. Hematite is formed at high temperatures, and goethite is formed from the weathering of iron minerals.

One of the primary uses of remote sensing in geology is the detection of different minerals (i.e., iron minerals; Sabins, 1999). Spectroscopy is capable of detecting the behavior of phenomena in different wavelengths (Hunt and Salisbury, 1976). Infrared spectroscopy method has been used to recognize the altered minerals (e.g., Kerr et al., 2011; Rangzan et al., 2012; Poorkaseb et al., 2013). Many researchers have used satellite imagery to enhance the mineral exploration (Massironi et al., 2008; Abedi et al., 2013). The main objective of this study is the discrimination of iron minerals by using the TM, ETM⁺, and Landsat8 images and confirming the enhancement of iron-containing minerals using spectrometry tools in the Saveh region, Iran.

2-Methodology

In this study, we have applied the TM, ETM⁺, and Landsat8 images downloaded from the USGS Geological Survey site (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). The FieldSpec3 and TSG techniques were used for recognition of the Fe minerals in the Saveh region, Iran. We applied the ETM⁺ image for geometric correction of TM and Landsat8 images. The total RMS error of less than 0.5m was intended. Internal Average Relative Reflectance (IARR) method was used for atmospheric correction, masking the region based on the geological map, eliminating unwanted parts, eliminating or reducing interference TM, ETM⁺, and Landsat8 images. To enhance iron mineral, the TM3/TM1, TM4/TM1 band ratio method on TM image, 3/1 band ratio on ETM⁺ image, and 4/2 band ratio on the Landsat8 image were employed. Then rock samples collected for enhancing areas with the TM3/TM1, TM4/TM1 band ratio method and each rock sample was examined with the FieldSpec3 and TSG at spectral laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3- Results and discussion

The TM, ETM⁺, and Landsat8 images were analyzed to detect the iron-containing minerals in the Saveh region. The iron minerals have spectrum features in the electromagnetic spectra of 0.4 to 1.1 nm (Hunt, 1976, 1979). Plants have a high reflection in the infrared that can obstruct the explanation of iron minerals; therefore, this feature may cause the main problem with the recognition of the iron minerals. For this purpose, we masked the vegetation in the TM data using the TM3/TM1, TM4/TM1 method. This technique separates ferric oxide from

*Corresponding author: s.beyranvand@yahoo.com

DOI: 10.22055/aag.2020.31975.2067

Received 2019-12-16

Accepted 2020-05-18

vegetation (Fraser, 1991). The benefit of this technique is the mask of the vegetation area, as well as hematite and goethite minerals could be separated.

Also, for identifying the iron-containing minerals, we used the calculation of band ratios on TM and ETM⁺ satellite images. The appearance of containing iron minerals indicates high absorption in the UV-blue district and reflectance in the UV-VIS district. The ratio of blue/green band in Landsat8 and ETM⁺ is 4:2 and 3:1, respectively. This is applied extensively for iron-containing minerals mapping. The ground survey showed that the prepared map using TM3/TM1. TM4/TM1 method is the most compatible compared to that of other methods.

Rock samples were collected from enhancing areas for the TM3/TM1. TM4/TM1 band ratio method and then each rock sample is studied with FieldSpec3 technique. The FieldSpec3 technique revealed the goethite and hematite as the major iron minerals in the samples. Goethite minerals show strong absorption of more than 900 nm and the hematite mineral show absorption less than 900 nanometers.

The Spectral Assistant TM (TSA) software in the TSG software having essential minerals among the 60 classes in the current library provides an extraordinary ability to identify the minerals. The TSA software discriminates the mineral types according to the shapes of these absorption features. For discrimination, the type of minerals and spectra of the samples were entered into the software. Then the results were displayed. This software determined the percentage of iron-containing minerals (i.e., goethite and hematite in the VNIR range) in each rock sample.

Based on the FieldSpec3 and TSG techniques, hematite and goethite are the significant iron-containing minerals in the study area. The FieldSpec3 and TSG techniques results approved that the goethite and hematite minerals could be identified correctly using TM3/TM1. TM4/TM1 band ratio method. Accordingly, this method could be considered as an appropriate method for enhancing the iron minerals. Detection of the types of iron minerals is one of the essential features of using TSG software. The TSG technique results show that this method can determine the presence and the type of iron minerals. The spectra obtained from remote sensing tools (e.g., FieldSpec3 and TSG) is consistent with the enhancement of iron-containing minerals using the TM3/TM1. TM4/TM1 band ratio method.

4-Conclusions

In this study, we used the FieldSpec3 and TSG techniques with TM3/TM1. TM4/TM1 band ratio methods for identifying the iron-containing minerals. The results of the FieldSpec3 and TSG techniques approved the importance of these tools in identifying the goethite and hematite minerals. The TSG technique results revealed the goethite and hematite spectral at the most rock samples and determines the percentage of iron-containing minerals. Also, it is determined that TM3/TM1. TM4/TM1 band ratio method is the appropriate method for the evaluation of the identification of iron areas. The FieldSpec3 and TSG results confirmed the accuracy of the enhancing areas by TM3/TM1. TM4/TM1 band ratio method. In this way, advanced remote sensing devices confirmed the results of the enhancing iron-containing minerals in the North Saveh, Iran.

References

- Anderson, J.A., 1982. Characteristics of leached capping and techniques of appraisal. In: Titley, S.R, *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America*, Tucson, University of Arizona Press, 275-295.
- Bedini, E., 2011. Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. *Advances in Space Research* 47, 60–73.
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J., Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and central Iran. *Journal of the Geological Society* 139, 605–614.
- Fraser, S.J., 1991. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study. *International Journal of Remote Sensing* 12, 635-641.
- Hunt, G.R., Ashley, P., 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology* 74, 1613–1629.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., 1976. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XII. Metamorphic rocks, *Modern Geology* 5, 219-228.
- Kaufman H., 1988. Mineral exploration along the Auaba-Levant structure by use of TM-data, Concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing* 9, 1639–165.
- Kerr, A., Rafuse, H., Sparkes, G., Hinchey, J., Sandeman, H., 2011. Visible/infrared spectroscopy (VIRS) as a research tool in economic geology; background and pilot studies from New Foundland and Labrador. *Journal of Geological Survey* 11(1), 145–166.

- Kruse, F.A., Raines, G.I., Waston, K., 1985. Analytical techniques for extracting geology information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne imaging spectrometer data. In Proceeding of the 4th Thematic Conference on Remote Sensing of the Environment, Remote Sensing for exploration geology, Sanfransisco, California 1-4 April, 309-324.
- Laakso, K., Rivard, B., Rogge, D., 2016. Enhanced detection of gossans using hyperspectral data: Example from the Cape Smith Belt of northern Quebec, Canada. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114, 137–150.
- Massironi, M., Bertoldi, L., Calafa, P., Visona, D., Bistacchi, A., Giardina, C., Schiavo, A., 2008. Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern Anti-Atlas, Morocco). *Geosphere* 4 (4), 736-759.
- Moskowitz, B.M., Reynolds, R.L., Goldstein, H. L., Berquo, T., Kokaly, R. F., Bristow, C. S., 2016. Iron oxide minerals in dust-source sediments from the Bodélé Depression, Chad: Implications for radiative properties and Fe bioavailability of dust plumes from the Sahara. *Aeolian Research* 22, 93–106.
- Pirajno, F., 1992. *Hydrothermal Mineral deposits-principles and fundamental concepts for the exploration geologist*. Springer, Berlin, p. 409.
- Rajendran S., Thirunavukkarasu A., Balamurugan G., Shankar K., 2011. Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data. *Journal of Asian Earth Sciences* 41, 99–106.
- Rangzan, K., Saki, A., Hassan Shahi, H., Mojaradi, B., 2012. Analysis and spectral classification of igneous and metamorphic rocks in the Hamedan region for remote sensing studies using reflectance spectroscopy (350 to 2500 nm). *Crystallography and Mineralogy Iran*, pp. 81- 96 (in Persian).
- Rezaei Kahkhaei, M., Galindo, C., Pankhurst, R.J., Esmaily, D., 2011. Magmatic differentiation in the calc-alkaline Khalkhab–Neshveh pluton, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 499–514.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *BJ. Ore Geology Reviews* 14(3–4), 157–183.
- Salisbury, J.W., Walter, L.S., Vergo, N., D’Aria, D.M., 1991. *Infrared (2.1–25 micrometers) Spectra of Minerals*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA, p. 267.
- Yamaguchi, Y., Fujisada, H., Tsu, H., Sato, I., Watanabe, H., Kato, M., Kudoh, M., Ahlc, A.B., Pniel, M., 2001. Aster early image evaluation, *Advance Space Research* 28(1), 69-76.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Rangzan, K., Beiranvand, S., Pourkaseb, H., Zarasvandi, A., Ranjbar, H., 2021. Enhancing of iron containing minerals using satellite images and spectroscopy technique (Case study: North Saveh). *Adv. Appl. Geol.* 11(1), 29-42.

DOI: 10.22055/aag.2020.31975.2067

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15538.html?lang=en

بارزسازی کانی‌های آهن‌دار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فن طیف سنجی (مطالعه موردی: شمال ساوه)

کاظم رنگزن

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

سمیه بیرانوند*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

هوشنگ پورکاسب

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

علیرضا زراسوندی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

حجت اله رنجبر

گروه معدن، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

*s.beyranvand@yahoo.com

چکیده

سنگ‌های ولکانیکی گسترده‌ای همراه با دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک در شمال ساوه رخنمون دارند. این منطقه از مناطق مهم به جهت کانه‌زایی مس (پورفیری و ماتو) قلمداد می‌شود و به دلیل اینکه کانی‌های آهن‌دار می‌توانند طی فرایندهای دگرسانی سوپرژن در بخش‌های بالای سیستم‌های مس پورفیری تشکیل کلاک آهنی (زون گوسان) دهند، در این مطالعه به بررسی بارزسازی کانی‌های آهن‌دار (زون گوسان) در منطقه شمال ساوه پرداخته شده است. به این منظور از تصاویر Landsat8، ETM⁺، TM⁺، Landsat8، روش نسبت گیری باندی TM4/TM1، TM3/TM1، بر روی تصویر TM و روش نسبت باندی ۳/۱ و ۴/۲ به ترتیب بر روی تصاویر ETM⁺ و Landsat8 استفاده شده است. از مناطق بارزسازی شده نمونه‌های سنگی جمع‌آوری و طیف نمونه‌ها توسط دستگاه FieldSpec3 استخراج گردید. در ادامه از نرم‌افزار تحلیل طیف The Spectral Geologist 7.1.0.073 (TSG) استفاده و طیف‌های به دست آمده از دستگاه FieldSpec3 به این نرم‌افزار وارد شدند. روش‌های FieldSpec3 و TSG، کانی‌های هماتیت و گوتیت را در نمونه‌های سنگ شناسایی نمود. با توجه به اینکه نقاط نمونه‌برداری بیشترین انطباق را با روش نسبت‌گیری باندی در تصویر TM دارند و فن طیف‌سنجی نتایج این روش را تایید می‌کند، در این مطالعه بارزسازی کانی‌های آهن‌دار با روش نسبت گیری باندی، به عنوان روشی مناسب جهت بارزسازی کانی‌های آهن‌دار در شمال ساوه شناخته شد.

کلمات کلیدی: بارزسازی، کانی‌های آهن‌دار، TM، ETM، FieldSpec3، TSG

مقدمه

کانسارها، اسیدی شده و باعث انحلال مس از بخش‌های سطحی و بر جای ماندن توده‌های لیمونیتی می‌گردند (Anderson, 1982). بررسی کانی‌های آهن‌دار هماتیت و گوتیت می‌تواند کلیدی برای تخمین میزان کانی‌سازی هیپوزن و نیز توسعه غنی‌شدگی سوپرژن باشد (Anderson, 1982). به همین دلیل بارزسازی کانی‌های آهن‌دار (کلاک‌های آهنی) امری مهم به نظر می‌رسد. یکی از کاربردهای اصلی سنجش از دور در زمین‌شناسی، شناسایی کانی‌های مختلف از جمله کانی‌های آهن‌دار است (Sabins, 1999). طیف‌سنجی قادر به شناسایی رفتار پدیده‌ها در طول موج‌های مختلف است (Hunt and Salisbury, 1976). مطالعات زیادی در زمینه طیف‌سنجی جهت شناسایی انواع دگرسانی‌ها در طول موج‌های محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک و محدوده فرورسرخ موج کوتاه وسیله محققین صورت گرفته

واکنش محلول‌های گرمابی با سنگ‌های میزبان، کانی‌های گرمابی را ایجاد می‌کند (Pirajno, 1992). یکی از روش‌های تشکیل کانی‌های آهن به این صورت است که محلول‌های گرمابی غنی از آهن در دمای مطلوب، PH و EH مناسب با دیواره‌های سنگی واکنش می‌دهند و ذخایر گرمابی آهن را بوجود می‌آورند (Guilbert and Park, 1997). کانی هماتیت در دمای بالا تشکیل و کانی گوتیت از هوازدگی کانی‌های آهن بوجود می‌آید. همچنین کلاک‌های شسته شده، توده‌های لیمونیتی واقع در بخش‌های فوقانی کانسارهای مس پورفیری هستند که در اثر پدیده‌های سوپرژن تشکیل می‌شوند. کانسارهای مس پورفیری پس از رخنمون یافتن و در اثر پدیده‌های سوپرژن، متحمل برخی تغییرات می‌شوند. محلول‌های فررو با منشا سطحی، جوی و زیر زمینی پس از واکنش با پیریت و سایر سولفیدهای موجود در این

(Takin, 1972; Alavi, 1980; Berberian et al., 1982; Sengor, 1990). منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ماگمایی ارومیه - دختر می باشد (شکل ۱). قدیمی ترین سنگ‌هایی که در منطقه مطالعاتی رخنمون دارند شامل ولکانیک‌های ائوسن، گدازه و توف داسیتی، آندزیت و آندزیت بازالت، تراکی آندزیت و ریوداسیت هستند. نفوذی‌های الیگوسن عمدتاً شامل گرانیت، دیوریت، گرانودیوریت، گابرویدیوریت، تونالیت و کوارتز دیوریت است (Rezaei et al., 2011). در بالای این توالی مارن‌های میوسن که شامل لایه های مختلف ماسه سنگ و کنگلومرا است توسط سنگ‌های کلاستیک پوشیده شده است. به منظور استخراج شکستگی‌ها در منطقه مطالعاتی از روش استخراج خودکار شکستگی‌ها با استفاده از نرم افزار Geomatica 2013 و تصویر Landsat8 استفاده گردید. در روش استخراج خودکار شکستگی‌ها با استفاده از نرم افزار Geomatica 2013، داده ورودی تصویر Landsat8 pc1 می باشد. تصویر Landsat8 pc1 حاوی اطلاعات زیاد و مناسبی جهت استخراج شکستگی‌ها می باشد. سپس در محیط GIS نقشه تراکم شکستگی‌های منطقه ترسیم گردید. شکل ۲ نقشه تراکم شکستگی‌ها متعدد و گسل‌های موجود در منطقه نشان می‌دهد که این شکل بیان کننده این مسئله است که منطقه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیکی فعال بوده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از تصاویر TM، ETM⁺ و Landsat8، به منظور بارزسازی کانی‌های آهن‌دار استفاده شده است. این تصاویر برگرفته از سایت زمین شناسی USGS می باشند (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). از تصویر ETM⁺ به منظور تصحیح هندسی تصویر TM و Landsat8 استفاده گردید. میزان خطا RMS برای هر دو تصویر کمتر از ۰/۵ پیکسل محاسبه شد. کالیبراسیون بازتابش متوسط داخلی (IARR) بر روی همه تصاویر اعمال گردید. این روش یکی از روش‌های تصحیح تابش سنجی است که برای نرمالیزه کردن تصاویر، با استفاده از یک طیف میانگین صحنه، استفاده می‌شود. این روش، اثرات ویژه‌ای را برای تبدیل داده‌های طیفی به بازتاب‌های نسبی دارد. در این روش طیف میانگین برای صحنه ورودی محاسبه شده و این طیف به عنوان طیف مرجع استفاده می‌شود. سپس این طیف میانگین بر هر پیکسل تصویر تقسیم شده و طیف ظاهری پیکسل به دست می‌آید (Kruse et al., 1985). خصوصیات تصاویر مورد استفاده به این صورت است که، تصویر TM شامل ۷ باند است باند شش باند حرارتی می‌باشد که دارای توان تفکیک مکانی ۱۲۰ متر بوده، شش باند دیگر دارای توان تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌باشند. تصویر ETM⁺ دارای هشت باند می‌باشد شش باند با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر، یک باند پانکروماتیک و یک باند حرارتی با توان تفکیک مکانی ۱۵ و ۶۰ متر. تصویر Landsat8 دارای ۱۱ باند، که ۹ باند طول موج کوتاه و ۲ باند طول موج حرارتی است. هفت باند از نه باند OLI با سنجنده‌های TM و ETM⁺ که بر روی ماهواره‌های لندست قبلی قرار داشته‌اند سازگار می‌باشد. Landsat8 تصاویری با قدرت تفکیک

است (Salisbury et al., 1991; Kerr et al., 2011). Rangzan و همکاران (۲۰۱۲) از روش‌های طیف‌سنجی برای شناسایی آلومینوسیلیکات‌های همدان استفاده کردند. از آنجاییکه سنسورهای چندطیفی جهت اکتشاف کانی‌های آهن‌دار در ماهواره‌های لندست (TM، ETM⁺ و Landsat8) وجود دارند (Salem et al., 2011)، Kaufman (۱۹۸۸) بیان داشت با استفاده از این تصاویر می‌توان نقشه‌های هیدروکسیل و اکسید آهن مناطق را تهیه کرد و به این منظور از روش‌های نسبت باندی و PCA استفاده نمود. محققین زیادی از تصاویر ماهواره‌ای به منظور بارزسازی کانی‌های آهن‌دار استفاده کرده‌اند (Massironi et al., 2008; Abedi et al., 2013; Moskowitz et al., 2016; Laakso et al., 2016).

Honarmand و همکاران (۲۰۱۱) از تصاویر ASTER/ETM⁺

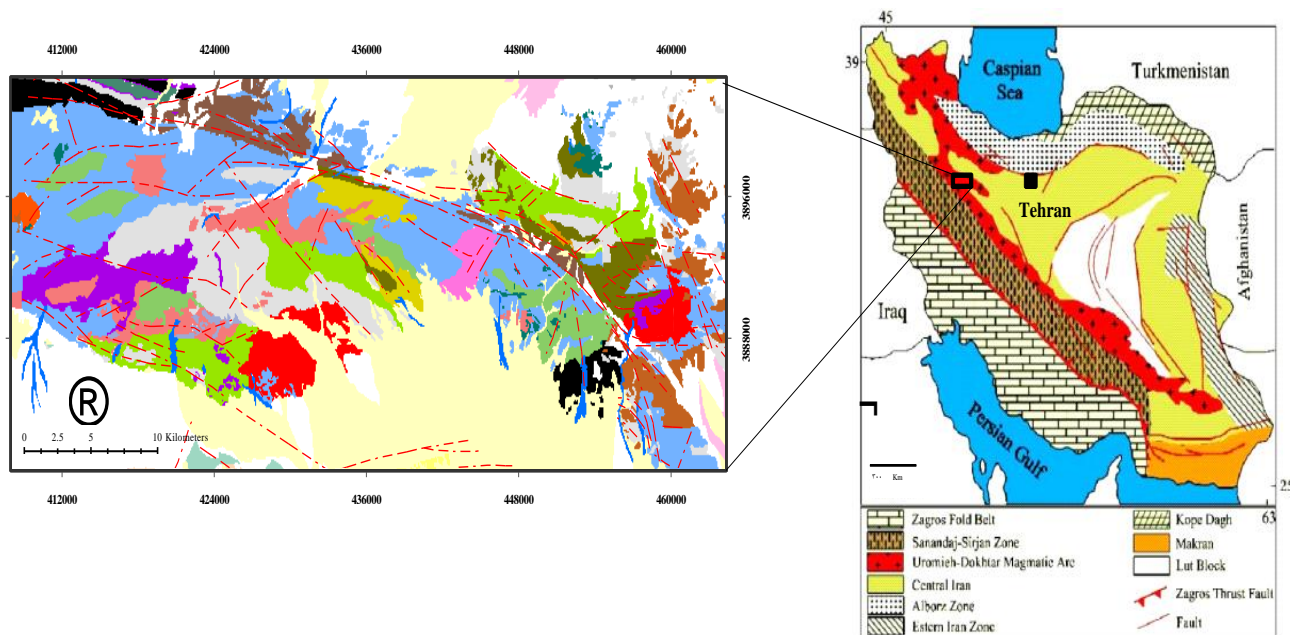
برای تهیه نقشه بارزسازی کانی‌های دگرسانی اکسید/هیدروکسید آهن استفاده کردند. Feizi و Mansouri (۲۰۱۳) تصاویر ماهواره ای ETM⁺، ASTER، روش‌های PCA، SAM، MNF را به منظور بررسی پتانسیل کانی‌های آهن‌دار در استان قم (ایران) مورد استفاده قرار دادند. Ciampalini و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تصویر ETM⁺ و روش‌های PCA و ترکیب رنگی کاذب به بررسی کانی‌های آهن‌دار واقع در سنگ‌های رسوبی دونین از شمال غرب آفریقا پرداختند. Shalaby و همکاران (۲۰۱۰) روش نسبت باندی (۳/۱) را بر روی تصویر ETM⁺ جهت بارزسازی کانی‌های آهن‌دار به کار بردند. هدف اصلی این مطالعه بارزسازی کانی‌های آهن‌دار با استفاده از تصاویر TM، ETM⁺ و Landsat8، معرفی بهترین نسبت باندی و تصویر ماهواره‌ای جهت بارزسازی کانی‌های آهن‌دار منطقه و استفاده از فن طیف‌سنجی جهت تأیید نتایج این بارزسازی در شمال ساوه می‌باشد.

زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در برکه ۱/۱۰۰۰۰۰ ساوه قرار گرفته است. شهر ساوه به خاطر نزدیکی به شهرهای بزرگ، دارای راه‌های اصلی و فرعی فراوان و مناسبی است، که از آن جمله می‌توان به آزاد راه تهران - ساوه و جاده قدیم تهران - ساوه، ساوه - همدان و ساوه - بوئین زهرا به عنوان راه‌های اصلی و راه‌های فرعی ساوه - سیلیجرد - قلعهک، ساوه - نیوشت، ساوه - ورده - نشوه، ساوه - خلخاب اشاره کرد. چهارچوب ژئوتکتونیک کنونی ایران به شدت تحت تاثیر دو رویداد بزرگ قرار گرفته است که یک رویداد در اوایل مزوزوئیک میانی اتفاق افتاده که باعث بسته شدن پلئوتتیس شده است و دومین رویداد در اوایل سنوزوئیک رخ داده است که موجب بسته شدن اقیانوس نئوتتیس شده است (Ilbeyli et al., 2004). بسته شدن نئوتتیس و حاکم شدن رژیم تکتونیکی فشارشی پس از آن، باعث تشکیل سه واحد اصلی تکتونیکی با روند NW-SE در غرب ایران شده که این واحدهای تکتونیکی شامل (۱) کمربند چین‌خورده زاگرس، (۲) منطقه دگرگونی سندانج - سیرجان و (۳) قوس ماگمایی ارومیه - دختر می باشند

باند بر همدیگر است. باندی که میزان بازتابش از هدف مورد بررسی در آن بیشتر است، در صورت و باند دیگر که پدیده جذب برای همان هدف در آن بالاتر است، در مخرج قرار می‌گیرد. با به‌کارگیری این روش، می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را در تصویر کاهش داد و اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرد (Yamaguchi et al., 1998).

متوسط از ۱۵ متر تا ۱۰۰ متر را ارائه می‌دهد. این تصویر در محدوده‌ی نورمرئی، مادون قرمز نزدیک، موج کوتاه مادون قرمز و طیف مادون قرمز حرارتی به کار گرفته می‌شود. در این مطالعه به منظور بارزسازی کانی-های آهن دار از ۳ تصویر لندست و روش‌های نسبت باندی استفاده شده است، روش نسبت باندی یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای است (Sabins, 1999). این روش، شامل تقسیم کردن دو



Legend

Gabbro-diorite quartziorite (Oligocene)	Andesitic & Basaltic breccia and lava (Mid Eocene)	Andesitic lava and Rhyo-dacitic tuff (Up Eocene)
Granite & Granodiorite (Oligocene)	Limestone & Mar (Oligo-Miocene)	Crysta-litic tuff as lapilli tuff and tuff breccia (Mid Eocene)
Granodiorite-Tonalite-Quartz diorite (Oligocene)	Gypsy marl (Oligo-Miocene)	Rhyo-dacitic tuff with intercalations of Andesitic lava (Mid Eocene)
Dacitic-andesitic subvolcanic masses (Mid Eocene)	Recent alluvium & river deposits (Plio-Quaternary)	Andesitic & basaltic lava with minor beds of andesitic tuff (Up Eocene)
Andesitic lava (Mid Eocene)	Conglomerate & sandstone (Oligo-Miocene)	Acidic to intermediate tuff (Up Eocene)
Trachy andesitic rocks (Up Eocene)	Conglomerate with sandstone and clay (Plio-Quaternary)	fault
Tonalite-Diorite-Gabbro (Oligocene)	Siliceous deposits (Plio-Quaternary)	
Dasic tuff (Up Eocene)	Old terraces & gravel fans (Plio-Quaternary)	

شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ایران (Ghahamghash, 1998).

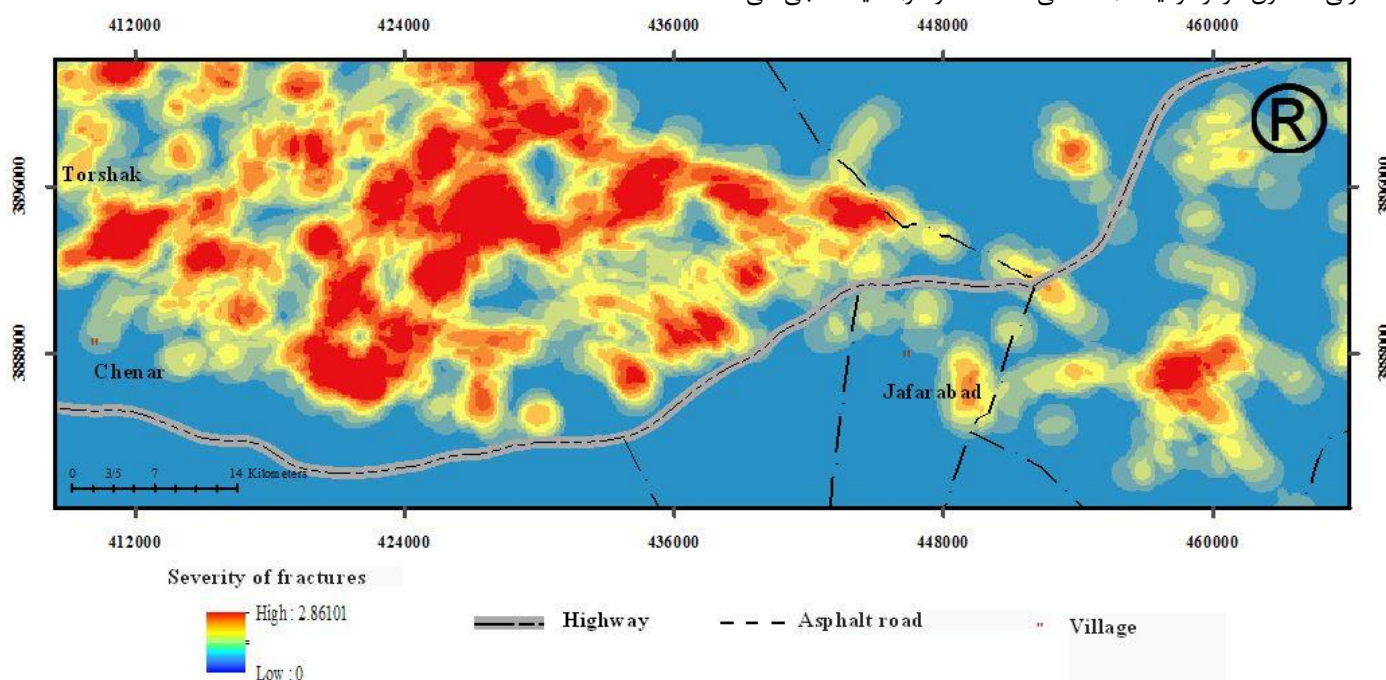
Fig. 1. Geological map of the study area (scale of 1:100,000), adapted from geological maps of geological survey of Iran (Ghahamghash, 1998).

در ناحیه فروسرخ نزدیک می‌باشد که باعث شده این تصویر برای بارزسازی کانی‌های آن مناسب باشد (Sabins, 1999; Liu et al., 2011). کانی‌های آهن‌دار در باند ۱ تصویر ETM^+ جذب و در باند ۳ این تصویر بازتاب بالای از خود نشان می‌دهند، بنابراین استفاده از نسبت باندی ۳/۱ می‌تواند بارزسازی کانی‌های آهن‌دار را در تصویر ETM^+ به خوبی نشان دهد. همچنین در تصویر Landsat8، کانی‌های آهن‌دار در باند ۲ جذب و در باند ۴ بازتاب بالای از خود نشان می‌دهند، به همین دلیل استفاده از نسبت باندی ۴/۲ می‌تواند بارزسازی کانی‌های آهن‌دار را در تصویر Landsat8 به خوبی نشان دهد. بعد از بارزسازی کانی‌های

به منظور بارزسازی کانی‌های آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه، روش نسبت‌گیری باندی $TM3/TM1$ ، $TM4/TM1$ بر روی تصویر TM، روش‌های نسبت باندی ۴/۲ بر روی تصویر Landsat8 و ۳/۱ بر روی تصویر ETM^+ اعمال گردید. در تصویر TM کانی‌های آهن‌دار در باند ۱ جذب و در باندهای ۳ و ۴ از خود بازتاب نشان می‌دهند. از مزایای روش نسبت‌گیری باندی $TM3/TM1$ ، $TM4/TM1$ تشخیص پوشش گیاهی است که بعد از شناسایی، پوشش گیاهی منطقه حذف گردید و همچنین تشخیص دو نوع کانی آهن‌دار گوتیت و هماتیت از یکدیگر می‌باشد. تصویر ETM^+ دارای یک باند جذب برای اکسید آهن

کند. دو آشکارساز دیگر در محدوده مادون قرمز کوتاه است که یکی از ۱۰۰۰ نانومتر تا ۱۸۳۰ نانومتر و دیگری در محدوده ۱۸۳۰ نانومتر تا ۲۵۰۰ نانومتر طیف سنجی می‌کند. کانی‌گوتیت دارای جذب قوی در محدوده های ۰/۵، ۰/۶۶، ۰/۷۵ و ۰/۹۰ میکرومتر است (Hunt and Ashley, 1979; Bedini, 2011). کانی هماتیت نیز در محدوده-های ۰/۶۵، ۰/۸۷ میکرومتر از خود جذب قوی نشان می‌دهد (Rajendran et al., 2011). این ویژگی‌های جذب در کانی‌های گوتیت و هماتیت باعث شناسایی طیف این کانی‌ها توسط دستگاه طیف سنج FieldSpec3 می‌شود. نرم افزاری استاندارد برای تجزیه و تحلیل اطلاعات طیفی کانی‌ها می‌باشد. در این مطالعه، طیف کانی‌های به دست آمده از طیف سنج FieldSpec3 جهت تجزیه و تحلیل به نرم افزار TSG وارد شدند.

آهن‌دار با استفاده از این تصاویر، از مناطق بارزسازی شده، نمونه‌های سنگی جمع‌آوری شد. طیف نمونه‌های سنگی با استفاده از دستگاه طیف سنج FieldSpec3 استخراج و در نهایت از نرم افزار TSG جهت آنالیز طیف‌ها استفاده گردید. طیف سنج FieldSpec3 دستگاهی است که در زمینه‌هایی که نیاز به اندازه‌گیری انعکاس، تابش و پخش انرژی الکترومغناطیسی از سطوح می‌باشد، کاربرد دارد. این دستگاه اپتیکی به طور اختصاصی جهت استفاده در طیف سنجی میدانی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد که منحنی طیفی را در ناحیه مرئی - مادون قرمز نزدیک (VNIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند. طیف سنج FieldSpec3 دستگاهی قابل حمل با دامنه طیفی ۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر و زمان جمع‌آوری ۰/۱ ثانیه برای هر طیف می‌باشد. دستگاه دارای سه آشکارساز مجزا است که یکی در محدوده مرئی - مادون قرمز نزدیک (۳۵۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر) طیف‌سنجی می‌کند.



شکل ۲- نقشه تراکم شکستگی‌ها منطقه مورد مطالعه.

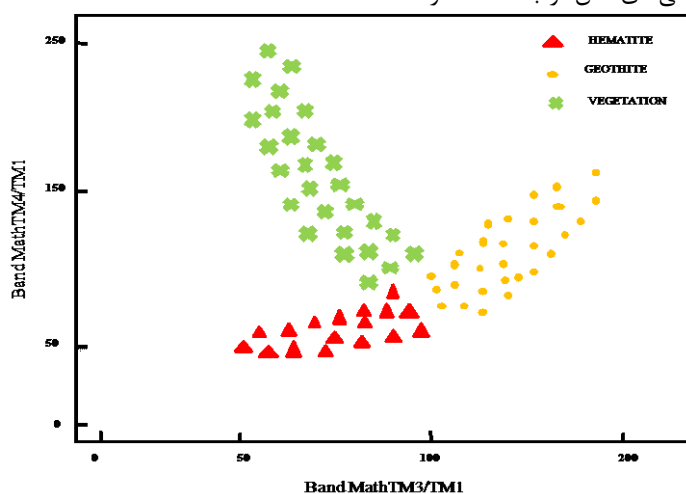
Fig. 2. Fracture density map in the study area.

نتایج و بحث
همانطور که پیشتر ذکر شد در این مطالعه از تصاویر TM⁺، TM³/TM¹، TM⁴/TM¹ و Landsat8 جهت شناسایی کانی‌های آهن‌دار در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. کانی‌های آهن‌دار در محدوده طیفی ۰/۴ تا ۱/۱ از طیف الکترومغناطیس جذب نشان می‌دهند (Hunt and Salisbury, 1976; Hunt and Ashley, 1979). گیاهان در محدوده مادون قرمز انعکاس بالا دارند که جذب در این محدوده مانعی برای تفسیر کانی‌های آهن‌دار به حساب می‌آیند، بنابراین این موضوع در تشخیص کانی‌های آهن‌دار مشکل بوجود می‌آورد (Hunt and Ashley, 1979). برای این منظور پوشش گیاهی با روش نسبت‌گیری بانندی

شناسایی و سپس مناطق دارای پوشش گیاهی از تصاویر حذف گردید. شکل ۳ نمودار طرح پراکندگی نسبت‌های TM³/TM¹، TM⁴/TM¹ را نشان می‌دهد. با استفاده از این روش علاوه بر تشخیص پوشش گیاهی، دو نوع کانی آهن‌دار گوتیت و هماتیت از هم قابل تفکیک می‌باشند (Fraser, 1991) (شکل ۴). به منظور نمونه‌برداری، سه نقشه بارزسازی کانی‌های آهن‌دار با استفاده از تصاویر ذکر شده تهیه و به دلیل این که روش نسبت‌گیری بانندی با استفاده از روش TM قادر است کانی‌های گوتیت و هماتیت را از هم تفکیک نماید، مناطق نمونه برداری با توجه به نقشه بارزسازی تهیه شده با روش نسبت‌گیری بانندی بر روی تصویر TM تعیین شدند.

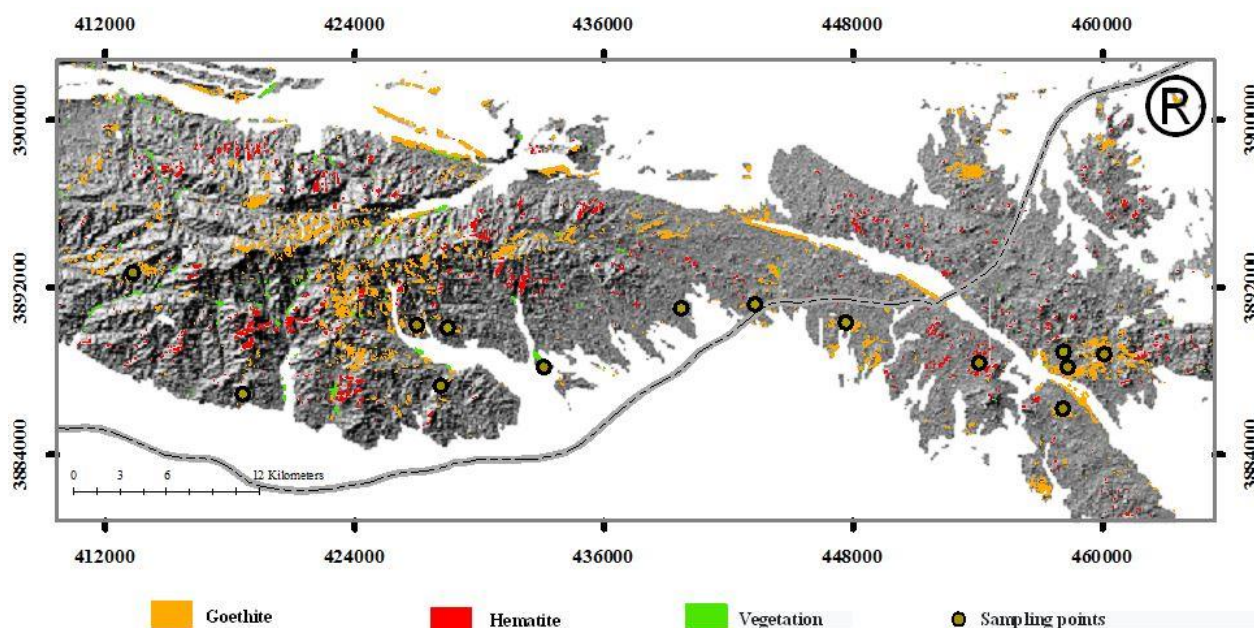
روش نسبت‌های باندهای ۴/۲ بر روی تصویر Landsat8 و ETM⁺3/ETM⁺1 همراه با مناطق بازدید میدانی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد، در بازدید میدانی مشخص شد مناطق نمونه‌برداری که با توجه به نقشه تهیه شده با روش نسبت‌گیری باندهای بر روی تصویر TM انجام گرفت، کاملاً منطبق بر مناطق زمینی می‌باشند. بارزسازی نقشه‌های بارزسازی کانی‌های آهن‌دار با استفاده از



شکل ۳- طرح پراکندگی نسبت‌های TM3/TM1. TM4/TM1 (Fraser, 1991).

Fig. 3. Scatter plot of TM3/TM1. TM4/TM1 (Fraser, 1991).

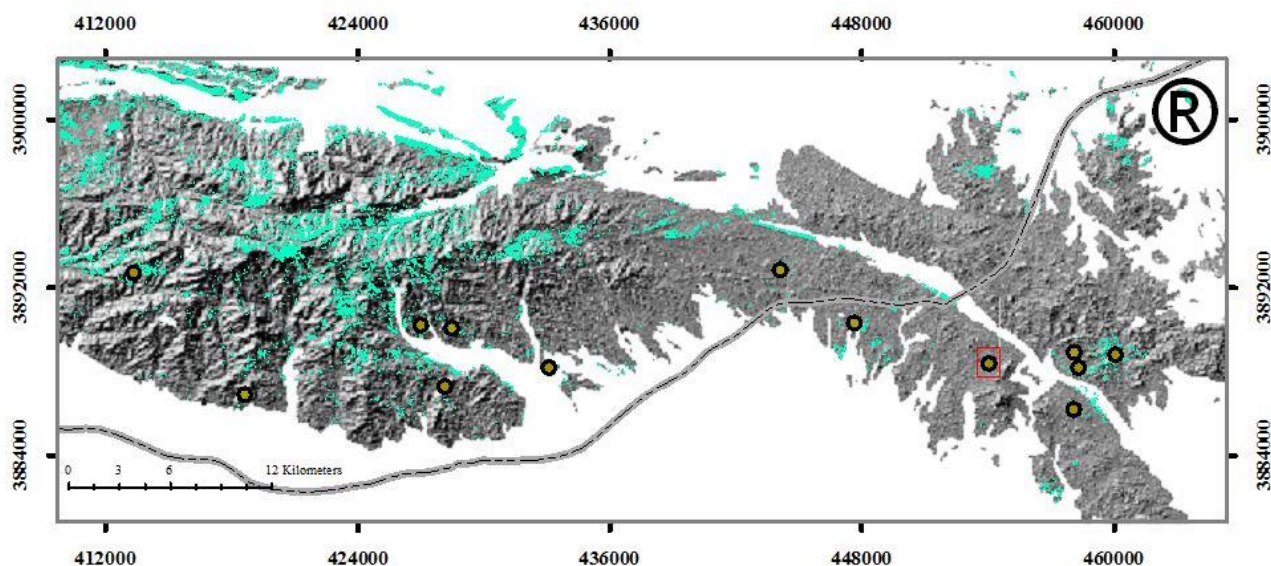


شکل ۴- نتایج بارزسازی کانی‌های آهن با روش نسبت‌گیری باندهای ۴/۲ بر روی تصویر TM.

Fig. 4. The results of iron containing minerals extracted by using a TM3/TM1. TM4/TM1 band ratios method in the study area.

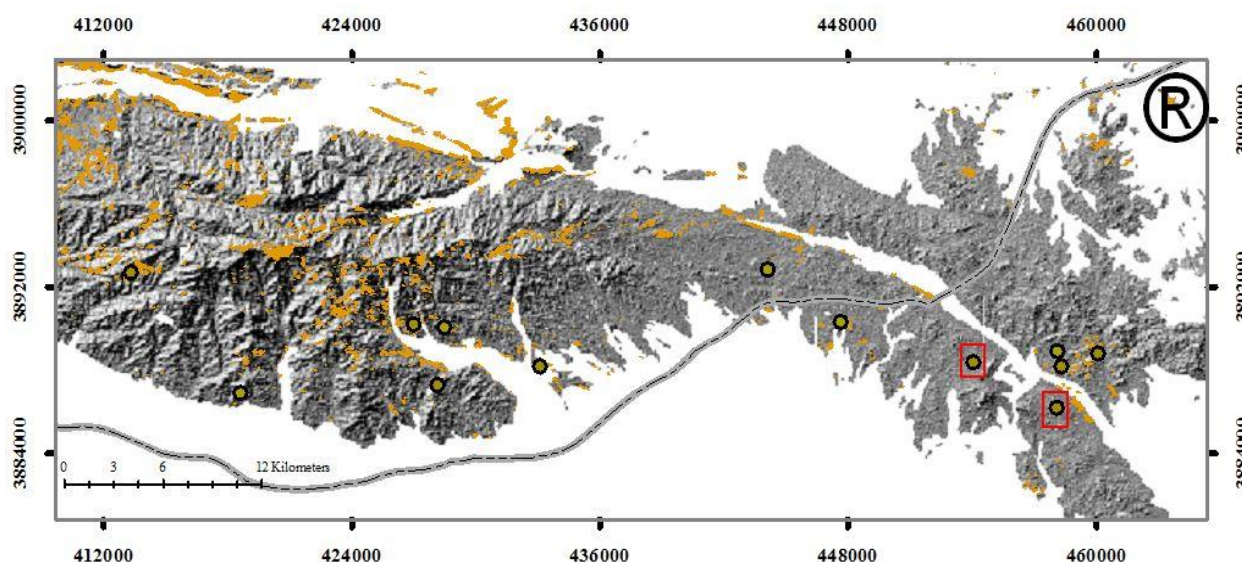
دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک و به مقدار بیشتر بر روی واحدهای دگرسانی پروپلیتیک واقع شده‌اند. بعد از برداشت زمینی، نمونه‌ها با استفاده از طیف سنج FieldSpec3 موجود در دانشگاه شهید چمران اهواز آنالیز شدند. طیف‌های استخراج شده از نمونه‌های سنگی بیشتر کانی‌گوتیت را نشان می‌دهند. شکل ۷ طیف کانی‌گوتیت و شکل ۸ طیف کانی‌هماتیت را نشان می‌دهد.

در تصاویر ETM⁺ و Landsat8 نیز مناطق نمونه‌برداری، انطباق نزدیکی با نقشه بارزسازی در این تصاویر دارد (به جز یک منطقه در شکل ۵ و دو منطقه در شکل ۶). نمونه‌برداری از واحدهای سنگی گرانیت، آندزیت، بازالت، آندزیت - بازالت و توف صورت گرفت. این واحدهای سنگی همراه با دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک است. بازدید میدانی نشان داد که کانی‌های آهن‌دار تا حدودی با



شکل ۵- نتایج کانی‌های آهن بارزسازی شده با روش نسبت باندهی ۳/۱ بر روی تصویر ETM⁺.

Fig. 5. The results of iron containing minerals extracted by using a 3/1 band ratio technique on ETM⁺ image in the study area.

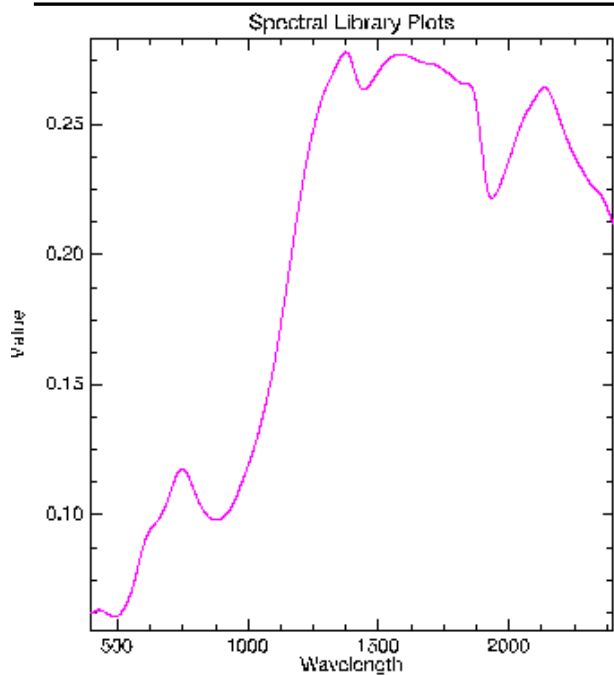


شکل ۶- نتایج کانی‌های آهن بارزسازی شده با روش نسبت باندهی ۴/۲ بر روی تصویر Landsat8.

Fig. 6. The results of iron containing minerals extracted by using a 4/2 band ratio technique on Landsat8 image in the study area.

شده به نرم افزار TSG همراه با نمونه سنگ در شکل ۹ نمایش داده شده است. این نرم افزار درصد کانی‌های آهن‌دار (گوتیت و هماتیت) در محدوده طول موج مرئی در هر نمونه سنگ را تعیین نمود. در هر نمودار دو طیف مشاهده می‌شود، در نموداری که عمق جذب اصلی بیشتر از ۹۰۰ نانومتر را نشان می‌دهد معرف کانی گوتیت و نموداری که عمق جذب اصلی از ۹۰۰ نانومتر کمتر را نشان داده بیانگر کانی هماتیت می‌باشد.

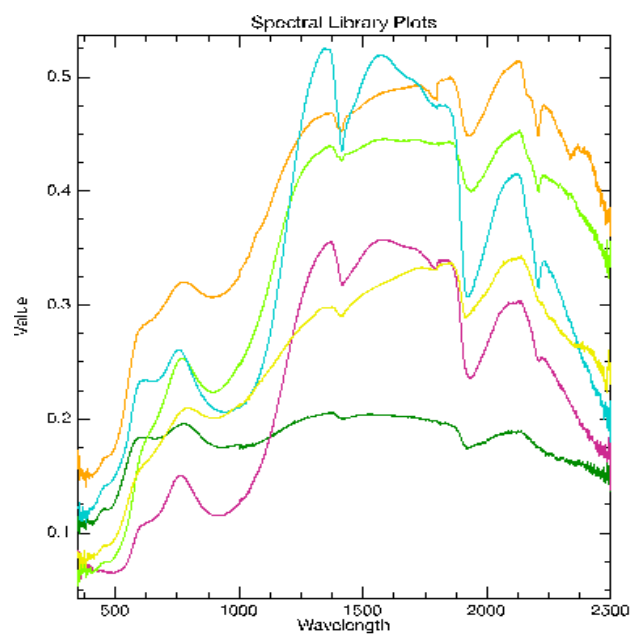
Spectral Assistant TM (TSA) در نرم افزار TSG با داشتن ۶۰ نوع کانی مختلف در کتابخانه خود توانایی فوق العاده‌ای برای شناسایی کانی‌ها دارد، این نرم افزار قادر است انواع کانی‌ها را با توجه به ویژگی جذب هر کانی تشخیص دهد. در این مطالعه برای تشخیص نوع کانی‌های آهن‌دار، تمام طیف‌های به دست آمده از نمونه‌های سنگی به نرم افزار TSG وارد شدند و طیف کانی‌ها در محدوده طول موج مرئی (VNIR) مورد بررسی قرار گرفتند، نتایج تعدادی از طیف‌های وارد



شکل ۸- طیف کانی هماتیت به دست آمده از دستگاه طیفسنج

FieldSpec3

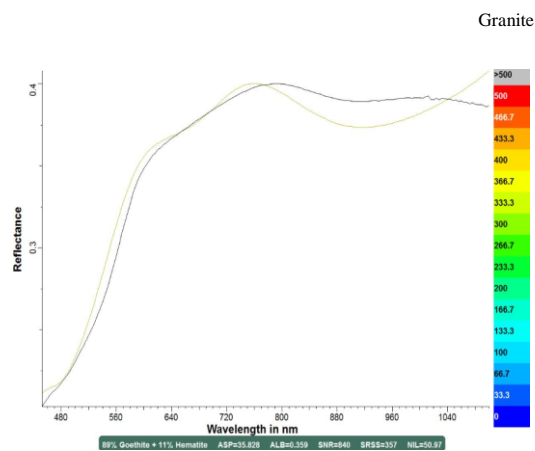
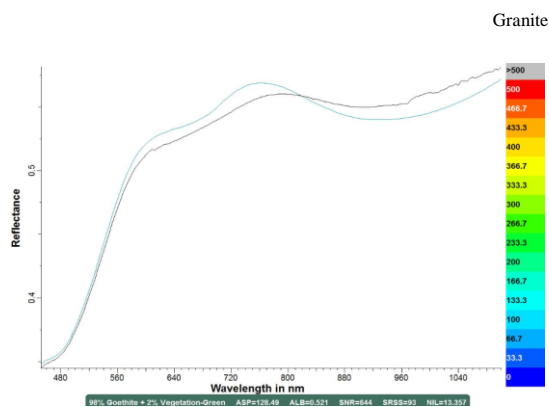
Fig. 8. Hematite spectral obtained from FieldSpec3.



شکل ۷- طیف کانی گوتیت به دست آمده از دستگاه طیف سنج

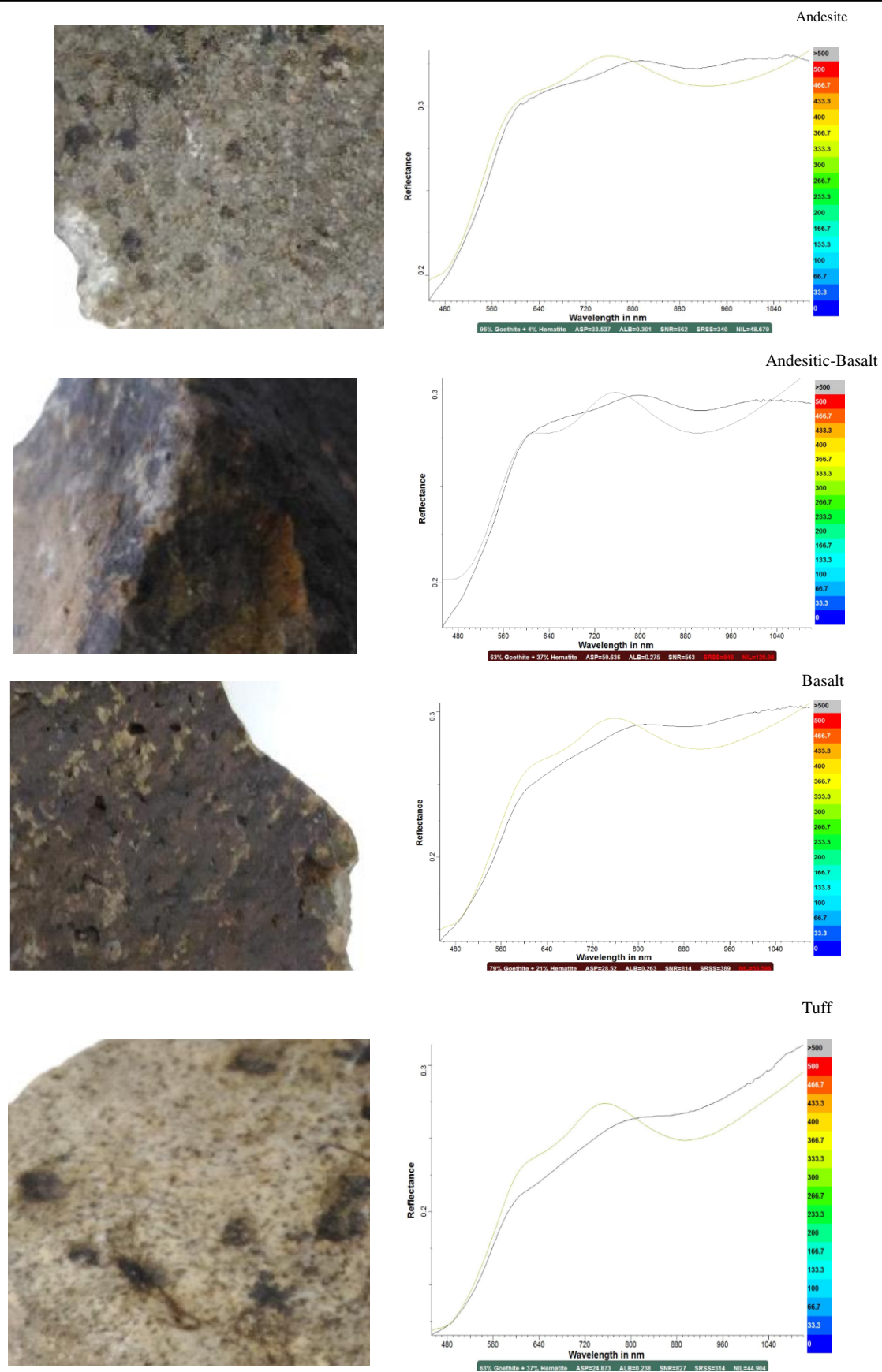
FieldSpec3

Fig. 7. Goethite spectral obtained from FieldSpec3.



شکل ۹- تعدادی از نمودار طیفی کانی‌های آهن تشخیص داده شده توسط نرم افزار TSG در محدوده مرئی همراه با نمونه سنگ مربوطه.

Fig. 9. Spectral diagram of iron minerals detected using the TSG software in the VNIR range with rock samples.



شکل ۹- ادامه.

Fig. 9. Continued.

خوبی دارد. کانی‌های گوتیت و هماتیت در تصویر TM به درستی شناسایی شدند و این مطالعه نشان داد که این روش‌ها و بخصوص روش نسبت‌گیری بانندی، روش‌هایی مناسب برای بارزسازی کانی‌های آهن‌دار می‌باشند. نتایج روش استاندارد دورسنجی نشان می‌دهد که با استفاده از این روش‌ها می‌توان حضور و نوع کانی‌های آهن‌دار را تعیین کرد. بنابراین مناطق بارزسازی شده می‌تواند به عنوان مناطق احتمالی رخداد زون گوسان مورد ارزیابی‌های بیشتر قرار گیرند.

تشخیص کانی‌های آهن‌دار یکی از مهمترین ویژگی‌های استفاده از نرم افزار TSG می‌باشد. در جدول ۱ در اکثر نمونه‌های سنگی درصد گوتیت از هماتیت بیشتر است و علت این امر این است که کانی گوتیت می‌تواند از فرسایش و هوازدگی کانی‌های آهن‌دار بوجود آید. بر اساس نتایج به دست آمده از روش‌های دورسنجی (TSG و FieldSpec3)، هماتیت و گوتیت کانی‌های آهن‌دار موجود در منطقه مطالعاتی می‌باشند. نتایج روش‌های دورسنجی با نقشه‌های بارزسازی کانی‌های آهن‌دار تهیه شده با روش نسبت‌گیری بانندی و نسبت‌های بانندی انطباق

جدول ۱- درصد کانی‌های آهن‌دار شناسایی شده با استفاده از TSG در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Percentage of iron minerals identified using TSG software in the study area.

Rock type	Percentage of hematite mineral	Percentage of goetite mineral
Andesite	7%	93%
Andesite	4%	96%
Andesite	4%	96%
Andesitic-Basalt	20%	80%
Andesitic-Basalt	9%	91%
Andesitic-Basalt	6%	94%
Andesitic-Basalt	37%	63%
Andesitic-Basalt	37%	63%
Basalt	21%	79%
Basalt	50%	50%
Basalt	18%	82%
Basalt	25%	75%
Basalt	31%	69%
Basalt	5%	95%
Granite	37%	63%
Granite	11%	89%
Granite	29%	71%
Granite	4%	96%
Tuff	37%	63%
Tuff	6%	94%

نتیجه‌گیری

TSG اهمیت روش نسبت‌گیری بانندی با استفاده از تصویر TM را در شناسایی کانی‌های آهن‌دار گوتیت و هماتیت نشان می‌دهد. نرم افزار TSG حضور هر دو کانی گوتیت و هماتیت را در نمونه-

در این مطالعه جهت شناسایی کانی‌های آهن‌دار از تصاویر TM⁺ و ETM⁺، Landsat8، روش‌های نسبت بانندی و فن طیف سنجی (TSG و FieldSpec3) استفاده شد. نتایج FieldSpec3

FieldSpec3 و TSG صحت مناطق بارزسازی کانی‌های آهن‌دار را در شمال ساوه تایید می‌کند.

های سنگی شناسایی نمود. همچنین این نرم افزار قادر است درصد کانی‌های آهن‌دار را نیز تعیین نماید. به این ترتیب نتایج

منابع

- Abedi, M., Norouzi, G., Fathianpour, N., 2013. Fuzzy outranking approach: A knowledge-driven method for mineral prospectivity mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 556-567.
- Alavi, M., 1980. Tectono stratigraphic evolution of Zagrosides of Iran. *Geology* 8, 144-149.
- Anderson, J.A., 1982. Characteristics of leached capping and techniques of appraisal. In: Titley, S.R., *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America*, Tucson, University of Arizona Press, 275-295.
- Bedini E., 2011. Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. *Advances in Space Research* 47, 60-73.
- Berberian, F., Muir, I. D., Pankhurst, R.J., Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and central Iran. *Journal of the Geological Society* 139, 605-614.
- Ciampalini, A., Garfagnoli., Antonielli, B., Moretti, S., Righini, G., 2013, Remote sensing techniques using Landsat ETM+ applied to the detection of iron ore deposits in Western Africa. *Arabian Journal of Geosciences* 6, 4529-4546.
- Feizi, F., Mansouri, E., 2013. Introducing the Iron Potential Zones Using Remote Sensing Studies in South of Qom Province, Iran. *Open Journal of Geology* 3, 278-286.
- Fraser, S. J., 1991. Discrimination and identification of Ferric Oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study. *International Journal of Remote Sensing* 12, 635-641.
- Ghalamghash, J., 1998. 1:100,000 geological map of Saveh Geological Survey of Iran.
- Guilbert, J.M., Park, J.R.C.F., 1997. *The geology of ore deposits*. Freeman, New York, p. 985.
- 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, University of Tehran., *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 22(3), 221-238.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., 1976. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XII. Metamorphic rocks. *Modern Geology* 5, 219-228.
- Hunt, G.R., Ashley, P., 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology* 74, 1613-1629.
- Ilbeyli, N., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.G., 2004. Petrogenesis of collision-related plutonics in Central Anatolia, Turkey. *Lithos* 72, 163-182.
- Kaufman H., 1988. Mineral exploration along the Auaba-Levant structure by use of TM-data, Concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing* 9, 1639-165.
- Kerr, A., Rafuse, H., Sparkes, G., Hinchey, J., Sandeman, H., 2011. Visible/infrared spectroscopy (VIRS) as a research tool in economic geology; background and pilot studies from New Foundland and Labrador. *Geological Survey* 11(1), 145-166.
- Kruse, F.A., Raines, G.I., Waston, K., 1985. Analytical techniques for extracting geology information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne imaging spectrometer data. In *Proceeding of the 4th Thematic Conference on Remote Sensing of the Environment, Remote Sensing for exploration geology*, Sanfransisco, California 1-4 April, 309-324.
- Laakso, K., Rivard, B., Rogge, D., 2016. Enhanced detection of gossans using hyperspectral data: Example from the Cape Smith Belt of northern Quebec, Canada. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114, 137-150.
- Liu, L., Zhuang, D. F., Zhou, J., et al., 2011. Alteration Mineral Mapping Using Masking and Crosta Technique for Mineral Exploration in Mid-vegetated Areas: A Case Study in Areletuobie, Xinjiang (China). *International Journal of Remote Sensing* 32(7), 1931-1944.
- Massironi, M., Bertoldi, L., Calafa, P., Visona, D., Bistacchi, A., Giardina, C., Schiavo, A., 2008. Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern Anti-Atlas, Morocco) *Geosphere* 4 (4), 736-759.
- Moskowitz, B.M., Reynolds, R.L., Goldstein, H.L., Berquo, T., Kokaly, R. F., Bristow, C.S., 2016. Iron oxide minerals in dust-source sediments from the Bodélé Depression, Chad: Implications for radiative properties and Fe bioavailability of dust plumes from the Sahara. *Aeolian Research* 22, 93-106.

- Pirajno, F., 1992. Hydrothermal Mineral deposits-principles and fundamental concepts for the exploration geologist. Springer, Berlin, p. 409.
- Rajendran S., Thirunavukkarasu A., Balamurugan G., Shankar K., 2011. Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data. *Journal of Asian Earth Sciences* 41, 99–106.
- Rangzan, K., Saki, A., Hassan Shahi, H., Mojaradi, B., 2012. Analysis and spectral classification of igneous and metamorphic rocks in the Hamedan region for remote sensing studies using reflectance spectroscopy (350 to 2500 nm). *Journal of Crystallography and Mineralogy* 20, 81- 96 (in Persian).
- Rezaei Kahkhaei, M., Galindo, C., Pankhurst, R.J., Esmaeily, D. 2011. Magmatic differentiation in the calc-alkaline Khalkhab–Neshveh pluton, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 499–514.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews* 14, 157–183.
- Salem, SM., Arafa, SA., Ramadan., 2011. Exploration of copper deposits in Wadi El Regeita area, Southern Sinai, Egypt, with contribution of remote sensing and geophysical data. *Arabian Journal of Geosciences* 6, 321, 335.
- Salisbury, J.W., Walter, L.S., Vergo, N., D'Aria, D.M., 1991. Infrared (2.1–25 micrometers) Spectra of Minerals. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA. p. 267.
- Sengor, A.M.C., 1990. Plate tectonics and orogenic research after 25 years; a Tethyan perspective. *Earth-Science Reviews* 27, 1-201.
- Shalaby, M.H., Bishta, A.Z., Roz, M.E., Zalaky, M.A., 2010. Integration of geologic and remote sensing studies for the discovery of uranium mineralization in some granite plutons, Eastern Desert, Egypt. *Journal of King Abdulaziz University Earth Science* 21, 1–25.
- Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Journal of Nature* 23, 147–150.
- Yamaguchi, Y., Fujisada, H., Tsu, H., Sato, I., Watanabe, H., Kato, M., Kudoh, M., Ahlc, A.B., and Pniel, M., 2001. Aster early image evaluation, *Advance Space Research* 28(1) 69-76.

