



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

Journal homepage <https://gnf.khu.ac.ir>

Evaluation of spatial correlation of alteration with fault zones using remote sensing methods, case study of Indes-Tafarsh and Talkhab fault zones in Markazi Province

Fatemeh Ghoraeian¹, Reza Nozaem^{1*}, Somaye Rezaei², Abdorrahman Rajabi¹, Amir Taghavi³

1. School of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3. Geological Survey and Mineral Explorations Organization of Iran, Tehran Iran.

Article info

Article history

Received: 25 October 2024

Accepted: 13 December 2024

Keywords:

Indes-Tafresh Fault zone,
Talkhab fault, Aster,
Geochemistry, Alteration,
Remote Sensing.



Abstract

The Aster sensor has a unique ability to map mineral areas, which can be referred to as the ability to distinguish different types of rocks and highlight alterations in geological studies. The spectral and spatial resolution of the bands of this sensor has enabled geologists to use the Aster sensor well in studies of minerals that have outcrops and also highlight alterations. Useful studies have been conducted in the field of mapping mineral areas with outcrops, which are difficult to access and perform routine geological mapping operations in the desert field due to the presence of rugged mountains. In order to highlight alterations using the SWIR bands of the Aster sensor and image processing methods, several studies have been recorded. In this study, the remote sensing method was used for highlighting alterations for a wide area between the Indus faults in the east of the study area and the Talkhab faults in the west of the study area, and phase fusion was used, which made the size of the study area unique. In this study, two Aster images and the band ratio method, principal component analysis, and spectral angle mapper were used to determine alteration zones. The remote sensing studies conducted in the area resulted in the identification and differentiation of various types of alterations, as well as faults and fractures, which correspond with the geological map of the region. The two methods of band ratio and principal component analysis demonstrate higher accuracy compared to other methods employed in this research. Studies have shown that the Indes, Tafresh, and Talkhab faults, as the main structures of the region, play a key role in controlling and distributing hydrothermal alterations. These faults have created alteration zones along their length by creating pathways for the movement of hydrothermal fluids. In particular, the Indus fault, as one of the main faults in the region, has a significant impact on the distribution of alterations. By creating numerous fractures and joints, this fault has provided suitable conditions for the infiltration of hydrothermal fluids and the formation of alteration minerals. The relationship between faults and the ascent of hydrothermal fluids significantly affects mineral and geological alterations. Faults can create facilitating pathways for the movement of hydrothermal fluids. In general, the interaction between faults and hydrothermal fluids leads to the formation of extensive alterations and the formation of new mineral resources.

Introduction

This research investigates the relationship between fault lineaments and alteration zones in central Iran's Indes-Talkhab fault system (between Saveh and Arak). This area, part of the Alpine-Himalayan orogenic belt, shows diverse geology, mainly Eocene volcanic and

pyroclastic rocks, with older Triassic dolomites and Jurassic-Cretaceous sediments. Previous studies lacked sufficient high-quality satellite imagery for accurate alteration mapping. The study uses two ASTER satellite images and applies band ratio, principal component analysis (PCA), and spectral angle mapper (SAM) to map

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.102102>

*Corresponding author: Reza Nozaem; E-mail: nozaem@ut.ac.ir

How to cite this article: Ghoraeian, F., Nozaem, R., Rezaei, S., Rajabi, A., Taghavi, A., 2024. Evaluation of spatial correlation of alteration with fault zones using remote sensing methods, case study of Indes-Tafarsh and Talkhab fault zones in Markazi Province. Kharazmi Journal of Earth Sciences 10(2), 557- 587. <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.102102>



alteration zones and identify associated minerals. This builds on prior research using various remote sensing techniques for mineral exploration, including the STA algorithm (Case et al., 2016), multispectral ASTER and SAR data (Petrovic et al., 2008), and ASTER-based false color composites, band ratios, and least squares regression (LS-Fit) (Esvand et al., 2012). The aim is to correlate extracted lineaments, their density, and alteration zones via remote sensing, improving porphyry copper deposit exploration (as these are often associated with hydrothermal alteration).

Materials and Methods

This part of the paper describes the use of remote sensing, specifically ASTER imagery, for lineament extraction, focusing on fault mapping. The authors highlight the utility of remote sensing in geological studies and mineral exploration. They emphasize Band 1 of ASTER imagery as optimal for lineament extraction due to its superior optical quality and high variance, confirmed by principal component analysis (PCA). A directional filter is applied to enhance lineaments oriented in various directions, specifically on the near-infrared (VNIR) band, a technique shown in prior research to improve lineament identification and differentiation from adjacent features. The overall goal is to leverage remote sensing techniques to effectively map geological structures, including faults, using ASTER data and image processing methods. All chemical and mineralogical changes that occur in rocks under the influence of magmatic and hydrothermal fluids are called alteration.

Image processing methods Researchers have used various image processing methods such as band ratio, uncorrelated stretch, principal component analysis (PCA), spectral angle mapper (SAM, supervised classification method), etc. to determine different lithologies, structures, alteration zones and highlight mineral minerals in outcrop areas. We employed band ratio, principal component analysis and spectral angle mapper methods to determine alteration zones and highlight different minerals (Attarzadeh et al., 2018).

Results and Discussion

This study, using remote sensing methods and satellite image processing, investigated the relationship between the Indus, Tafresh, and Talkhab fault zones and hydrothermal alterations in a region between Saveh and Arak counties. The results obtained show that the studied fault zones have played an important role in the creation and distribution of hydrothermal alterations in the region. These alterations along the main faults and fractures create a vulnerable region that creates the influence of the earth's structures for the development and spread of alterations. In this study, various satellite image processing methods including band ratio, principal component analysis (PCA), and angular mapping (SAM) were used to identify and distinguish alteration zones. The results showed that both methods are more accurate in detecting alteration zones than band and (selective) principal component analysis, and their results are in significant agreement with each other. These methods highlight argillic, propylitic, and phyllic alteration zones more accurately than the location mapping method. The location mapping method identified locations with high accuracy, but the alteration ranges were smaller and more limited by these methods. The studies show that the Indus, Tafresh, and Talkhab faults, as the main structures of the region, play a key role in controlling and distributing hydrothermal alterations. These faults have created alteration zones along their length by creating paths for the movement of hydrothermal fluids. In particular, the Indus fault, as one of the main faults in the region, has a significant impact on the distribution of alterations. This fault, by creating numerous fractures and seams, has provided suitable conditions for the infiltration of hydrothermal fluids and the formation of alteration minerals.






Conclusions

Remote sensing studies conducted in this area have identified and distinguished the types of alterations. Performing different methods revealed that the two methods of highlighting the principal component analysis and band ratio have completely identical results,

but in the spectral angle area mapping method, the obtained alteration zones, although they are in common with other methods, only the parts where the processed mineral has a stronger presence are highlighted as alteration zones while band ratio and principal component analysis (selective) have higher accuracy. Remote sensing studies conducted in the area have identified and distinguished the types of alterations as well as faults and fractures, which are consistent with the geological map of the region. Using GIS software, it was determined that the linear arrangement on faults with a northwest-southeast (NW-SE) trend, which are on Eocene volcanics in terms of lithological units, indicates that it is better to use the band ratio method and (selective) principal component analysis to investigate fault connections and alteration zones.

References

CRedit authorship contribution statement

 Fatemeh Ghoraieian	Writing - Original Draft, Methodology, Software, Formal analysis, Investigation
 Reza Nozaem	Supervision, Conceptualization, Methodology, Validation, Writing - Review & Editing, Resources
 Somaye Rezaei	Methodology, Software, Formal analysis, Writing - Review & Editing
 Abdorrahman Rajabi	Writing - Review & Editing, Validation
 Amir Taghavi	Writing - Review & Editing, Validation

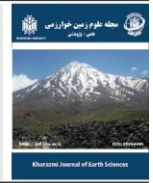
- Attarzadeh, R., Amini, J., Notarnicola, C., Greifeneder, F., 2018. Synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for soil moisture mapping at plot scale. *Remote Sensing* 10(8), 1285.
- Case, A.A., Tin, G., Ni, C., Zhang, S., Liu, C., Yan, Y., Li, Y., 2016. Lineament Length and Density Analyses Based on the Segment Tracing Lineament Length and Density Analyses Based on the Segment Tracing Algorithm: A Case Study of the Gaosong Field in Gejiu Tin Mine, China. <https://doi.org/10.1155/2016/5392453>
- Esvand, S., Haj Sadeghi, S., Tabatabaei, H., 2012. Application of ASTER satellite data in identifying and distinguishing alteration zones of industrial soil indices in Markazi Province, 16th Conference of the Geological Society of Iran.
- Petrovic, A., Khan, S.D., Chafetz, H.S., 2008. Remote detection and geochemical studies for finding hydrocarbon-induced alterations in Lisbon Valley, Utah. *Marine and Petroleum Geology* 25, 696–705. <https://doi.org/10.1016/>



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

Journal homepage <https://gnf.khu.ac.ir>

ارزیابی ارتباط مکانی دگرسانی با پهنه های گسلی با روش های دورسنجی، مطالعه موردی پهنه های گسلی ایندس - تفرش و تلخاب در استان مرکزی

فاطمه قرائیان^۱، رضا نوزعیم^{۱*}، سمیه رضایی^۲، عبدالرحمان رجبی^۱، امیر تقوی^۳

۱. دانشکده زمین شناسی، دانشکده گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

۳. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳	سنجده استر (Aster) توانایی منحصر به فردی برای نقشه برداری از مناطق معدنی دارد که می توان به تفکیک انواع سنگ های مختلف و بارزسازی دگرسانی ها در مطالعات زمین شناسی اشاره کرد. رزولوشن طیفی و مکانی باندهای این سنجده باعث شده که متخصصان زمین شناسی بتوانند به خوبی از سنجده استر در مطالعات مواد معدنی که دارای رخنمون هستند و نیز بارزسازی دگرسانی ها استفاده کنند. مطالعات مفیدی در زمینه نقشه برداری از مناطق معدنی دارای رخنمون که از لحاظ امکان دسترسی و انجام عملیات معمول نقشه برداری زمین شناسی به صورت فیلد صحرایی به دلیل وجود کوهستان های ناهموار دشوار است، انجام شده است. به منظور بارزسازی دگرسانی ها با استفاده از باندهای SWIR سنجده استر و روش های پردازش تصویر، تحقیقات متعددی به ثبت رسیده است. در این تحقیق در بارزسازی دگرسانی ها از روش سنجش از دور برای منطقه وسیع مابین گسل های ایندس در شرق محدوده و تلخاب در غرب محدوده مورد مطالعه، و تلفیق فازی استفاده شده که وسعت منطقه این پژوهش را منحصر به فرد کرده است. در این تحقیق از دو تصویر استر و روش نسبت بانندی، آنالیز مولفه های اصلی و نقشه بردار زاویه طیفی برای تعیین زون های دگرسانی استفاده شده است. روش های یاد شده باعث شناسایی و تفکیک انواع آلتراسیون ها و نیز گسل ها و شکستگی ها شد که با نقشه زمین شناسی منطقه مطابقت دارد. دو روش نسبت بانندی و آنالیز مولفه های اصلی (انتخابی) نسبت به سایر روش های به کار گرفته شده در این پژوهش، از دقت بالاتری برخوردار است. بررسی ها نشان داد که گسل های ایندس، تفرش و تلخاب به عنوان ساختارهای اصلی منطقه، نقش کلیدی در کنترل و توزیع دگرسانی های گرمایی اند. این گسل ها با ایجاد مسیرهایی برای حرکت سیالات گرمایی، باعث ایجاد زون های دگرسانی در امتداد خود شده اند. به ویژه، گسل ایندس به عنوان یکی از گسل های اصلی منطقه، تأثیر قابل توجهی در توزیع دگرسانی ها دارد. این گسل با ایجاد شکستگی ها و درزهای متعدد، شرایط مناسب را برای نفوذ سیالات گرمایی و تشکیل کانی های دگرسانی ارائه کرده است. ارتباط بین گسل ها و بالا آمدن محلول های گرمایی به طرز قابل توجهی بر روی دگرسانی های معدنی و زمین شناسی تأثیر می گذارد. گسل ها می توانند مسیرهایی تسهیل کننده ای برای حرکت محلول های گرمایی ایجاد کنند. به طور کلی، تقابل بین گسل ها و محلول های گرمایی به شکل گیری دگرسانی های گسترده و شکل گیری منابع معدنی جدید منجر می شود.
واژه های کلیدی پهنه گسلی ایندس - تفرش، گسل تلخاب، ژئوشیمی، دگرسانی، سنجش از دور.	



مقدمه

سرزمین ایران مشتمل بر زون های مختلف ساختاری نظیر البرز، زاگرس، ایران مرکزی، کپه داغ و... است که در بخش میانی کوهزاد آلپ-همیالیا قرار داشته و بر اساس شواهد ساختاری و چینه شناسی،

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.102102>

*نویسنده مسئول: رضا نوزعیم nozaem@ut.ac.ir

استناد به این مقاله: قرائیان، ف.، نوزعیم، ر.، رضایی، س.، رجبی، ع.، تقوی، ا. (۱۴۰۳). ارزیابی ارتباط مکانی دگرسانی با پهنه های گسلی با روش های دورسنجی، مطالعه موردی پهنه های گسلی ایندس - تفرش و تلخاب در استان مرکزی. مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه ۵۵۷ تا ۵۸۷.

<http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.102102>

تاریخچه پیچیده‌ای از مراحل دگرریختی را پشت سر نهاده است. در میان زون‌های مختلف ساختاری، ایران مرکزی از تنوع ساختاری و چینه‌شناسی بسیار متنوع و گسترده از زمان پرکامبرین تا عهد حاضر را داراست. پهنه گسلی ایندس، تفرش و تلخاب از گسل‌های اصلی و تاثیرگذار در بحث ایجاد دگرسانی در حد فاصل شهرستان‌های ساوه تا اراک با روند شمال غربی- جنوب شرق قرار گرفته‌اند. این محدوده از تنوع سنگ‌شناسی زیادی برخوردار است که بیشتر رخنمون‌ها به سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تعلق دارد و رخنمون‌های قدیمی‌تر دولومیت‌های تریاس و رسوبات ژوراسیک و کرتاسه است. باید توجه داشت مطالعات و پردازش‌های انجام شده قبلی کیفیت لازم در شناسایی دقیق دگرسانی‌ها را نداشته است. کانسارهای مس پرفیری با استفاده از دگرسانی‌های گرمایی وابسته به آنها به کمک دورسنجی قابل بررسی هستند.

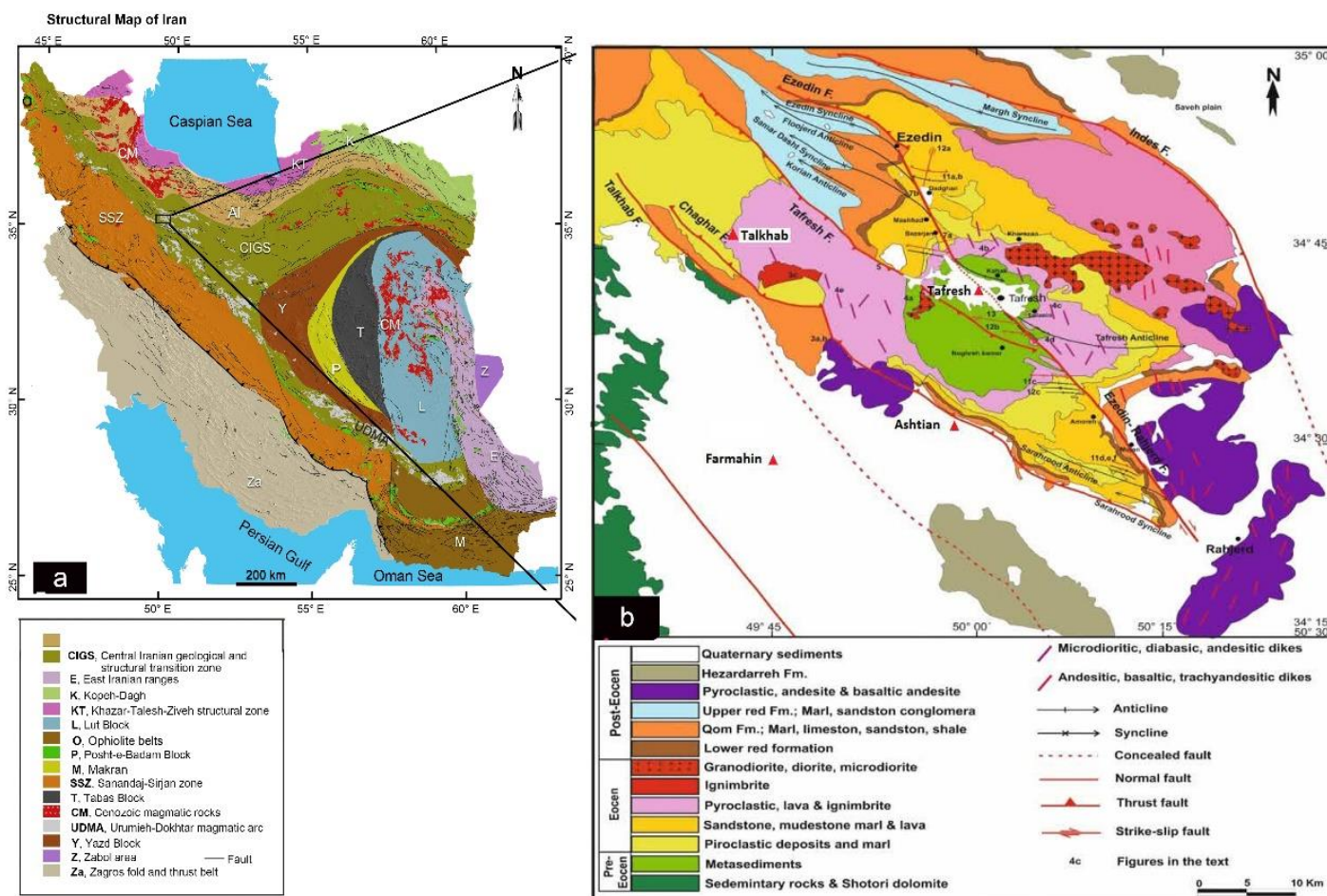
تاکنون مطالعات بسیاری به منظور استفاده از سنجش از دور در انجام اکتشافات معدنی و ارتباط دگرسانی با پهنه گسلی انجام گرفته است. در برخی از این مطالعات به استخراج ساختارهای زمین شناسی به کمک دورسنجی و در برخی دیگر به انجام مطالعات طیفی و بررسی مناطق دگرسان و پتانسیل وجود معدن پرداخته شده است.

در تحقیق کیس و همکاران (Case et al., 2016) برای استخراج خطوط در تصاویر ماهواره‌ای از الگوریتم STA استفاده شد. در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، بین خطواره‌های استخراج شده و تغییرات معدنی رابطه وجود داشت. پتروویک و همکاران (Petrovic et al., 2008) سنجش از دور چندطیفی استر (ASTER)، داده راداری (SAR) و طیف‌سنجی را با هدف تحلیل مدل دگرسانی به کار برده است. در این بررسی نقشه مناطق دگرسان شده با استفاده از تصاویر استر (ASTER) و داده SAR تهیه گردیده است.

عیسوند و همکاران (Esvand et al., 2012) در مقاله‌ای با عنوان "کاربرد ماهواره‌ای استر در شناسایی و تفکیک مناطق دگرسانی اندیس-های خاک صنعتی در استان مرکزی" روش‌های مختلف بارزسازی آلتراسیون‌ها، از قبیل ترکیب کاذب رنگی، نسبت باندی (Band Ratio) و روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit) بر روی تصاویر سنجنده استر را اعمال کرده‌اند. در نهایت با استفاده از این تکنیک‌های پردازش، هاله‌های دگرسانی مشخص گردید. این نواحی مشخص شده در مراحل بعدی اکتشاف می‌توانند دارای اولویت باشند. مناطق دگرسان به طور معمول با کانی‌های مشخصی همراه هستند. در این پژوهش ارتباط دگرسانی منطقه و در سامانه گسلی ایندس تا تلخاب قرار دارند مورد بررسی قرار می‌گیرند تا در نهایت، ارتباط بین خطواره-های گسلی و محل تراکم آنها و دگرسانی به کمک سنجش از دور مشخص شود. در این تحقیق از دو تصویر استر و روش نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های اصلی و نقشه‌بردار زاویه طیفی برای تعیین زون‌های دگرسانی و بارزسازی کانی‌های مواد معدنی استفاده شده است.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در عرض‌های ۳۰° تا ۳۴° ۳۵° شمالی و طول‌های ۳۰° ۴۹° تا ۳۰° ۵۰° شرقی قرار دارد (شکل ۱) و از شمال به شهر ساوه و از جنوب به شهرهای فرمهین، آشتیان و دستجرد محدود می‌گردد. منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک بوده و دارای پوشش گیاهی اندک می‌باشد اما به سمت غرب و جنوب غربی بر پوشش گیاهی افزوده می‌شود. از دیدگاه زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه با روند عمومی شمال غربی- جنوب شرقی جزئی از پهنه ماگمایی ارومیه-دختر بوده و از غرب به گسل ایندس و از شرق به گسل تلخاب محدوده می‌شود.



شکل ۱- (a) موقعیت محدوده مطالعاتی در نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (اقتباس از Rajabi et al., 2015 بر اساس Aghanabati, 2004). (b) موقعیت شهرها در نقشه محدوده مطالعاتی (Davoodi, 2020).

Fig. 1. a) Location of the study area on the map of Iran's structural zones (adapted from Rajabi et al., 2015, based on Aghanabati, 2004). b) Location of the cities within the study area map (Davoodi, 2020).

Transpression به معنای فرآیند یا شرایطی است که نیروهای فشاری در راستای دو بعد، معمولاً افقی و عمودی، اعمال می‌شود و منجر به تغییر شکل و جابجایی لایه‌های زمین می‌گردد) است که سنگ‌های قسمت جنوب شرقی آن ویژگی جزایر کمانی و قسمت شمال غربی آن ویژگی جزایر کمانی را نشان می‌دهد و قسمت شمال غربی آن ویژگی‌های حاشیه فعال قاره ای را نشان می‌دهد. بطور کلی مجموعه ارومیه- دختر شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیت، داسیت، آندزیت بازلت، تراکی آندزیت و ریولیت با سری ماگمایی توله‌ایتی، کالک‌آلکانل، آلکانل غنی از پتاسیم و به طور محلی شوشونیتی است که با

منطقه مورد مطالعه در شمال ایران مرکزی و کمان ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. کمان ماگمایی ویژه‌ی فرورانش نئوتتیس (کمان ماگمایی ارومیه- دختر) درحاشیه جنوب غربی شبه قاره ی ایران مرکزی به طول ۱۵۰۰ کیلومتر و موازی خط درز زاگرس تشکیل شده است که همواره کانون توجه زمین‌شناسان بوده و از منظر تحولات ماگمایی و تکتونیکی، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. فعالیت ماگمایی این ناحیه منطبق بر فعالیت کوهزایی آلپ تامیوسن کرتاسه و یک کمربند تکتونیکی ترافشارش (واژه ترافشارش یا

پیروکلاست‌های بیشتر آگلومرا و روانه گدازه‌های ایگنیمبریتی همراه شده‌اند (Aghanabati, 2004). مجموعه ذکر شده در برخی مناطق از جمله تفرش با دایک و توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی قطع می‌شوند. برخی محققین به رابطه میان ماگماتیسم و این گسل‌های امتدادلغز در نوار ماگمایی ارومیه - دختر توجه داشته و آنها را بررسی کرده‌اند؛ به طوری که عده‌ای معتقدند که ماگمای حاصل از فرورانش مایل لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس، به زیر پهنه‌ی ایران مرکزی در اواخر مزوزوئیک تا ابتدای سنوزوئیک، در راستای گسله‌های پی‌سنگی یادشده، در پوسته رخنه کرده است. بررسی‌های زمین‌ساختی و

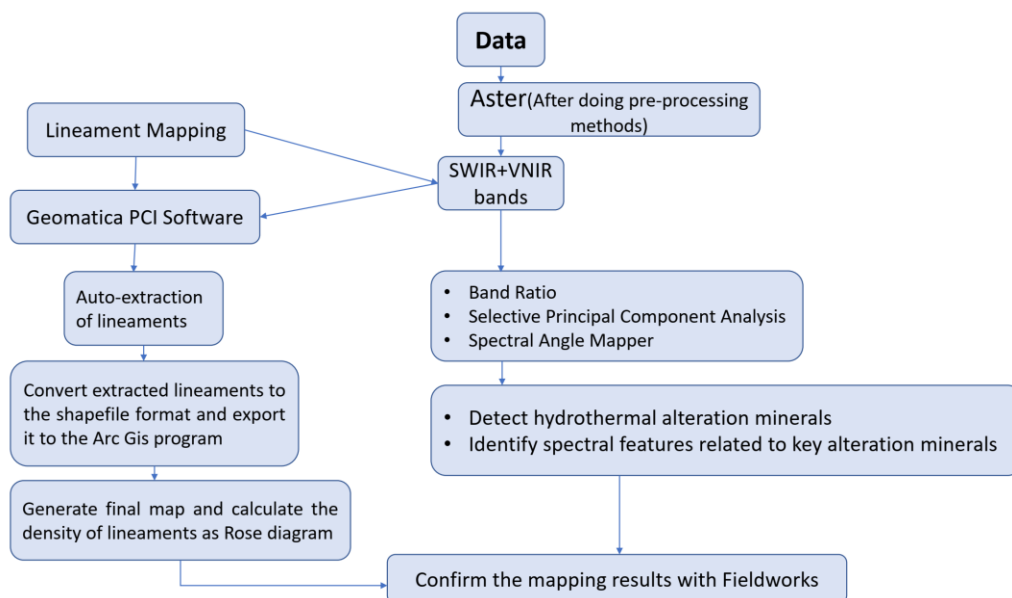
ریخت‌شناسی بیانگر آن است که همگرایی در طول پهنه آتشفشانی ارومیه - دختر به طور عمده بر روی این گسله‌های امتدادلغز راست بر، مستهلک می‌شوند.

با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و بازدید میدانی از قسمت مرکزی کمان ماگمایی ارومیه-دختر در ناحیه تفرش، به نظر می‌رسد سنگ‌های آذرین این ناحیه نیز از این قاعده مستثنی نبوده و تحت تاثیر فعالیت این گسل‌ها قرار گرفته‌اند (Taheri et al., 2017). شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

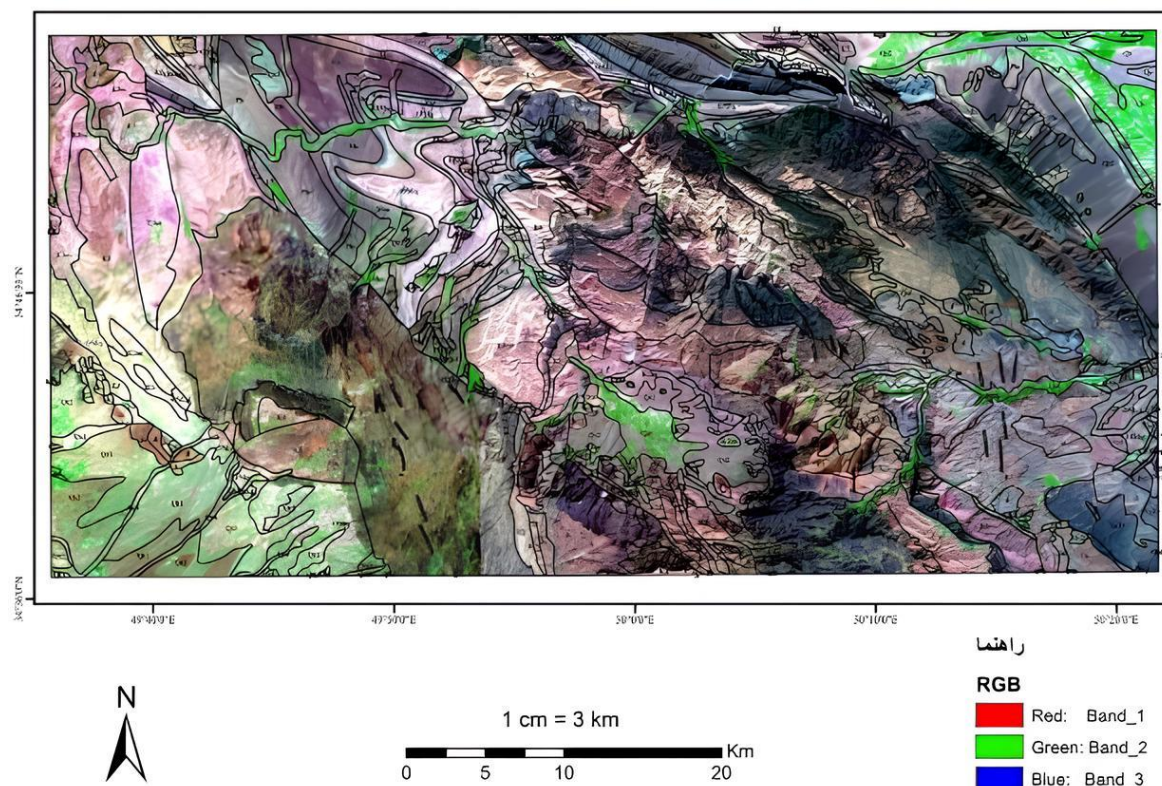
به منظور بارزسازی دگرسانی ها، ابتدا تصحیحات لازم را بر روی تصاویر ماهواره ای انجام می دهیم. به منظور درک بهتر، مراحل انجام

تحقیق بصورت فلوجارت نمایش داده شده است (شکل ۳). دگرسانی ها را نیز به کمک روش نسبت باندی بارزسازی می کنیم و آن را با نقشه زمین شناسی منطقه مطابقت می دهیم (شکل ۴).



شکل ۳- فلوجارت روش های اتخاذ شده در این مطالعه.

Fig. 3. Flowchart showing the adopted methodology utilized in this study



شکل ۴- مطابقت نقشه زمین‌شناسی منطقه با نقشه تهیه شده به روش نسبت بانندی.

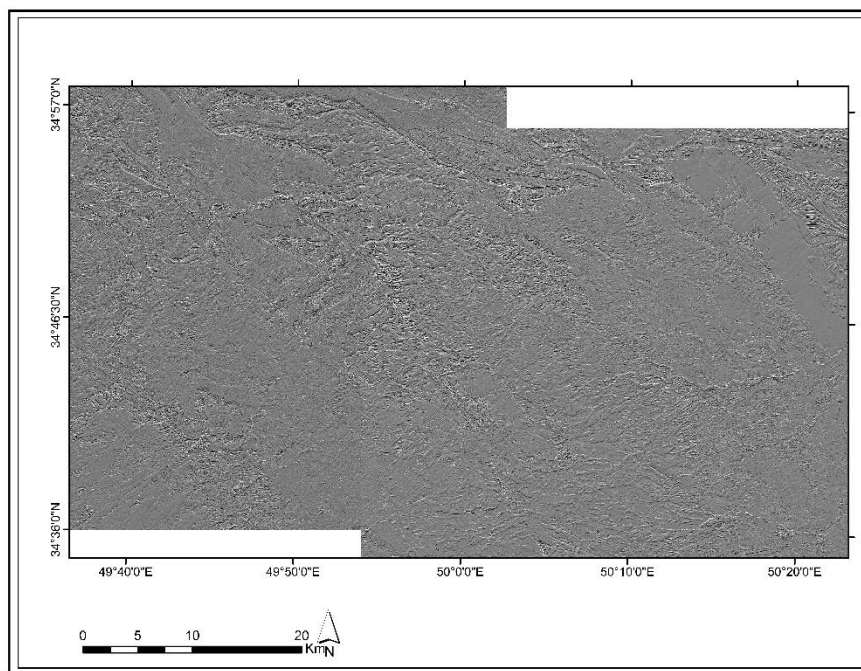
Fig. 4. Correspondence of the geological map of the region with the map prepared using the band ratio method.

با توجه به اینکه باند ۱ بهترین و بیشترین کیفیت را از نظر اپتیکی دارد، برای استخراج خطوطها از باند ۱ استفاده می‌کنیم. همچنین می‌توان با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی به بالا بودن واریانس اطلاعات در باند اول پی برد. فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش‌های طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند. از فیلتر جهت‌دار به منظور بارزسازی خطوطها که در جهات مختلف گسترش دارند، استفاده گردید. این فیلترها در جهات مختلف بر روی باند مادون قرمز نزدیک تصویر VNIR اعمال شدند. تحقیقات قبلی نشان داده است که اعمال فیلتر بر روی این باند در تشخیص بهتر خطوطها از دیگر پدیده‌های مجاور مؤثر است (شکل ۵).

ترسیم گسل‌ها و شناسایی دگرسانی‌ها به کمک سنجش از دور

امروزه سنجش از دور به عنوان ابزاری مفید جهت مطالعه در زمینه‌های مختلف علمی از جمله زمین‌شناسی و اکتشاف شناخته می‌شود. یکی از کاربردهای دورسنجی در زمین‌شناسی تهیه نقشه خطوطهاست که به عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات زمین‌شناسی مناطق مختلف در نظر گرفته می‌شود. ساختارهای زمین‌شناسی (درزه‌ها، شکستگی‌ها، گسل‌ها، زون‌های برشی و فولیاسیون‌ها) در مطالعات سنجش از دور خود را به صورت خطوطها نشان می‌دهند (Hung et al., 2005).

استفاده از تصاویر استر در استخراج گسل

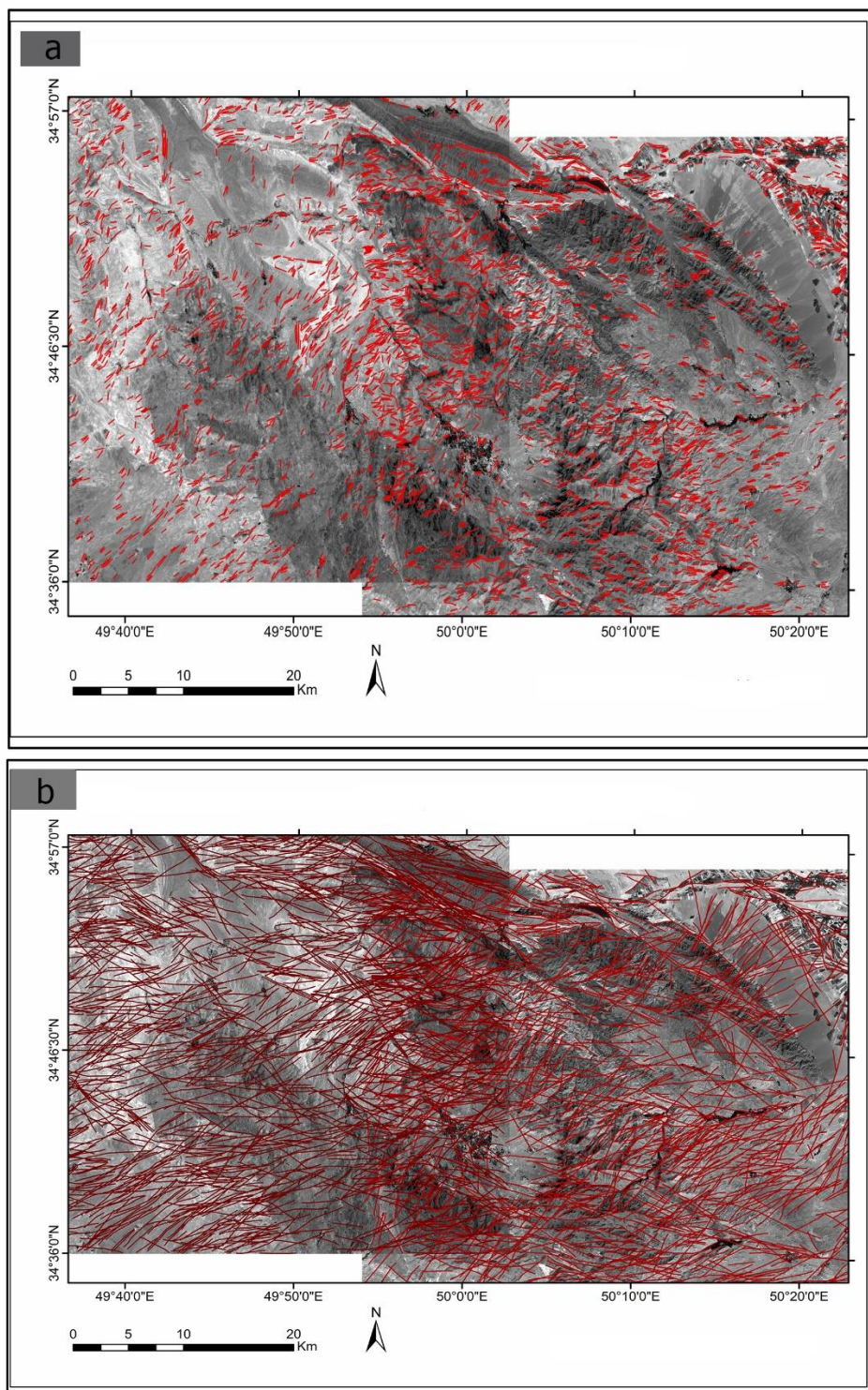


شکل ۵- تصویر اعمال فیلتر بالاگذر بر تصویر استر محدوده مورد مطالعه با اعمال فیلتر با زاویه ۲۷۰ درجه.

Fig. 5. Image of applying a high-pass filter to the ester image of the study area.

خطی، پرتگاه های گسلی، تغییرات مربوط به لیتولوژی (رنگ و جنس)، تغییر ناگهانی شیب و سن لایه ها، قطع شدگی امتداد بیرون زدگی - ها درزه ها و شکستگی، خطواره ها شناسایی و استخراج می شوند (شکل ۶).

با استفاده از قابلیت های برخی ماژول های تعبیه شده در نرم افزار Geomatica PCI، استخراج خودکار خطواره انجام می گیرد و سپس به کمک تفسیر بصری و نشانه هایی که شامل جابه جایی لایه ها، رودخانه ها و مخروط افکنه ها، خطی شدن پوشش گیاهی، دره های

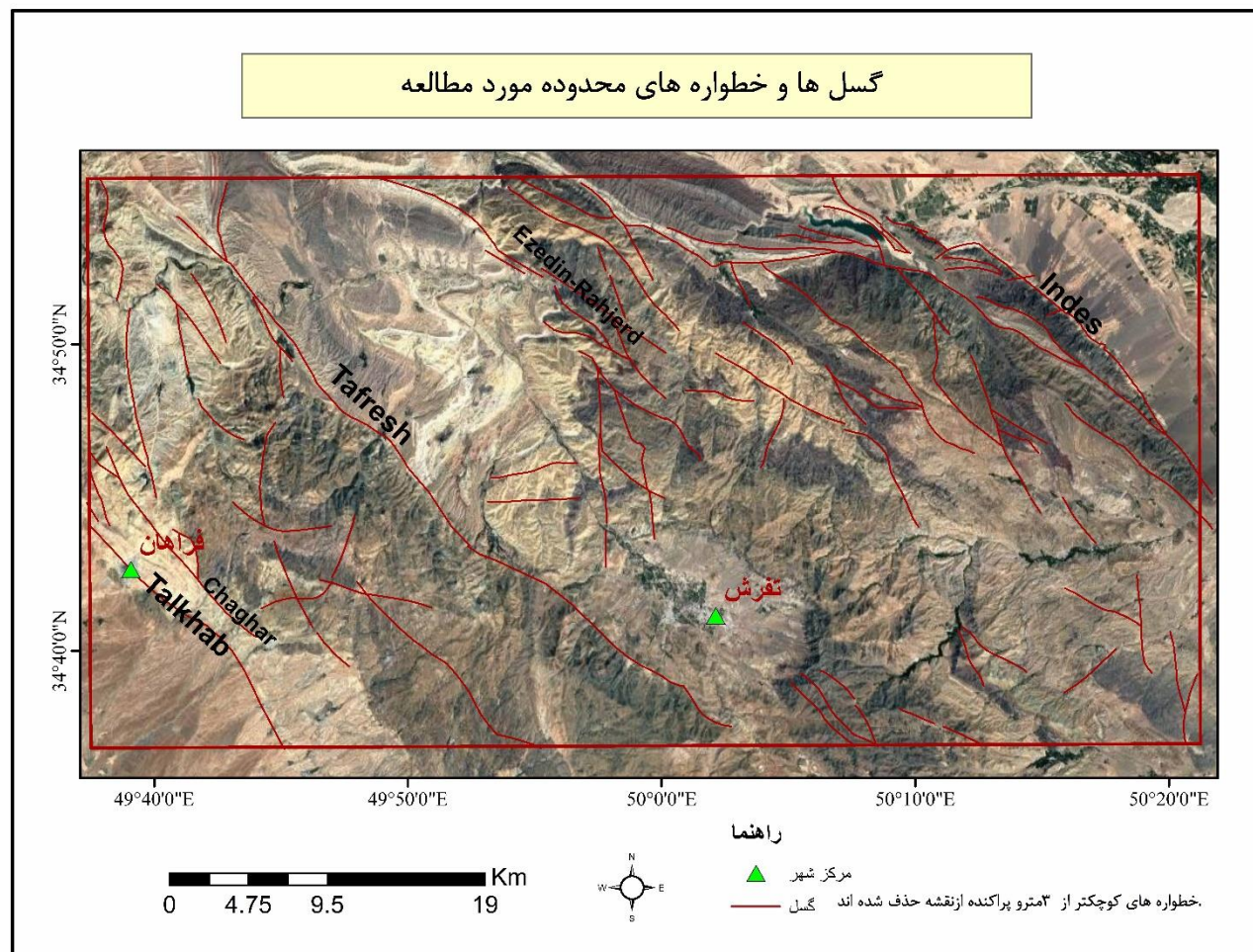


شکل ۶- (a) استخراج خطواره‌ها با پارامترهای خطواره کوتاه. (b) استخراج خطواره‌ها با پارامترهای خطواره‌های بلند برای همان تصویر
 Fig. 6. Extraction of lineaments with short lineament parameters (a), and long lineament parameters (b) for the same image.

روش بصری

در این روش به کمک تصاویر گوگل ارث و بینگ، گسل ها و

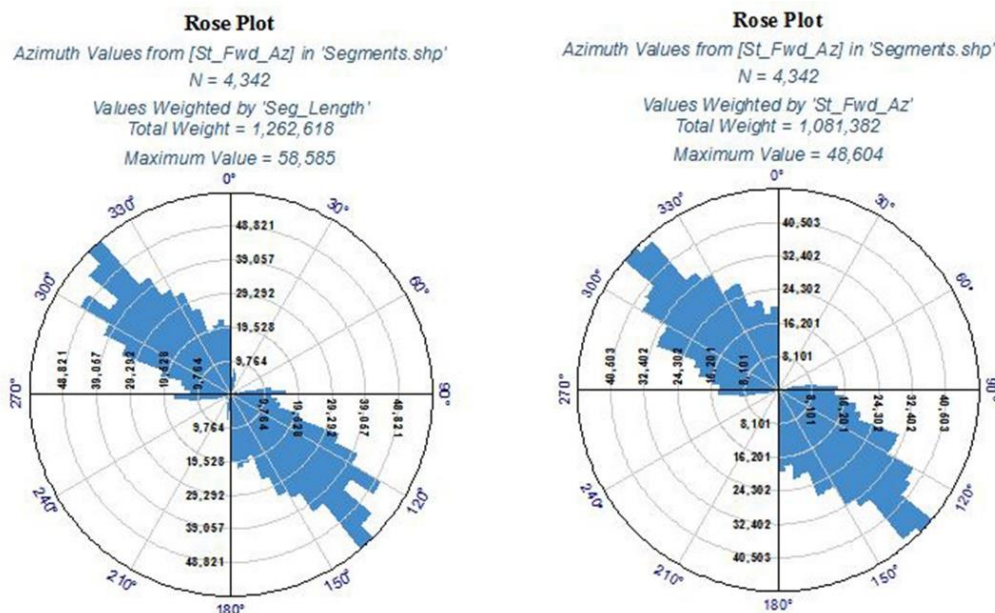
شکست ها رسم می شوند. در آخر، نقشه نهایی گسل های منطقه به صورت شکل ۷ به دست می آید. گسل های مهم منطقه در این شکل نشان داده شده اند.



شکل ۷- نقشه گسل های منطقه.

Fig. 7. Map of the region's faults.

رز دیاگرم گسل ها به شکل زیر ترسیم شدند که نمایش دهنده جهت و امتداد گسل های اصلی و فرعی منطقه مورد مطالعه می باشند (شکل ۸).



شکل ۸- تندرار گلسرخى گسلهائى منطقه مورد مطالعه بر حسب فراوانى (راست) و وزن دهى شده بر اساس طول (چپ)
Fig. 8. Rose diagram of fault strike of the study area, weighted by frequency (right) and weighted by length (left)

۱-دگرسانى پتاسيک، ۲-دگرسانى آرژيليك، ۳-دگرسانى پروپلتيك، ۴-دگرسانى فيليک.

روش های پردازش تصاویر

محققان از روش های پردازش تصاویر مختلف مانند نسبت باندى، كَشش ناهمبسته، آناليز مولفه های اصلى (PCA)، نقشه بردار زاويه طيفى (SAM)، روش طبقه بندى نظارت شده و ... برای تعيين ليتولوژى های مختلف، ساختارها، زون های دگرسانى و بارزسازى كانى های مواد معدنى در مناطق داراى رخنمون استفاده کرده اند. در اين تحقيق از دو تصوير استر و روش های نسبت باندى، آناليز مولفه های اصلى و نقشه بردار زاويه طيفى برای تعيين زون های دگرسانى و بارزسازى كانى های مواد معدنى استفاده شده است (Attarzadeh et al., 2018).

شناسایی مناطق دگرسان به کمک سنجش از دور

سنجش از دور دانش پردازش و تفسير تصاویری است که حاصل ثبت تعامل انرژی الکترو مغناطیس و اشیا می باشند. سنجنده استر توانایی منحصر به فردی برای نقشه برداری از مناطق معدنی دارد و انواع سنگ های منطقه را به خوبی تفکیک می کند. رزولوشن طیفی و مکانی باندهای این سنجنده باعث شده که متخصصان زمین شناسی که در گرایش اکتشافات مواد معدنی فعالیت دارند بتوانند به خوبی از سنجنده استر استفاده کنند.

کلیه تغییرات شیمیایی و کانی شناسی که تحت تاثیر آب های ماگمایی و گرمایی در سنگ ایجاد می شود را دگرسانى (Alteration) می گوئیم.

انواع دگرسانى ها

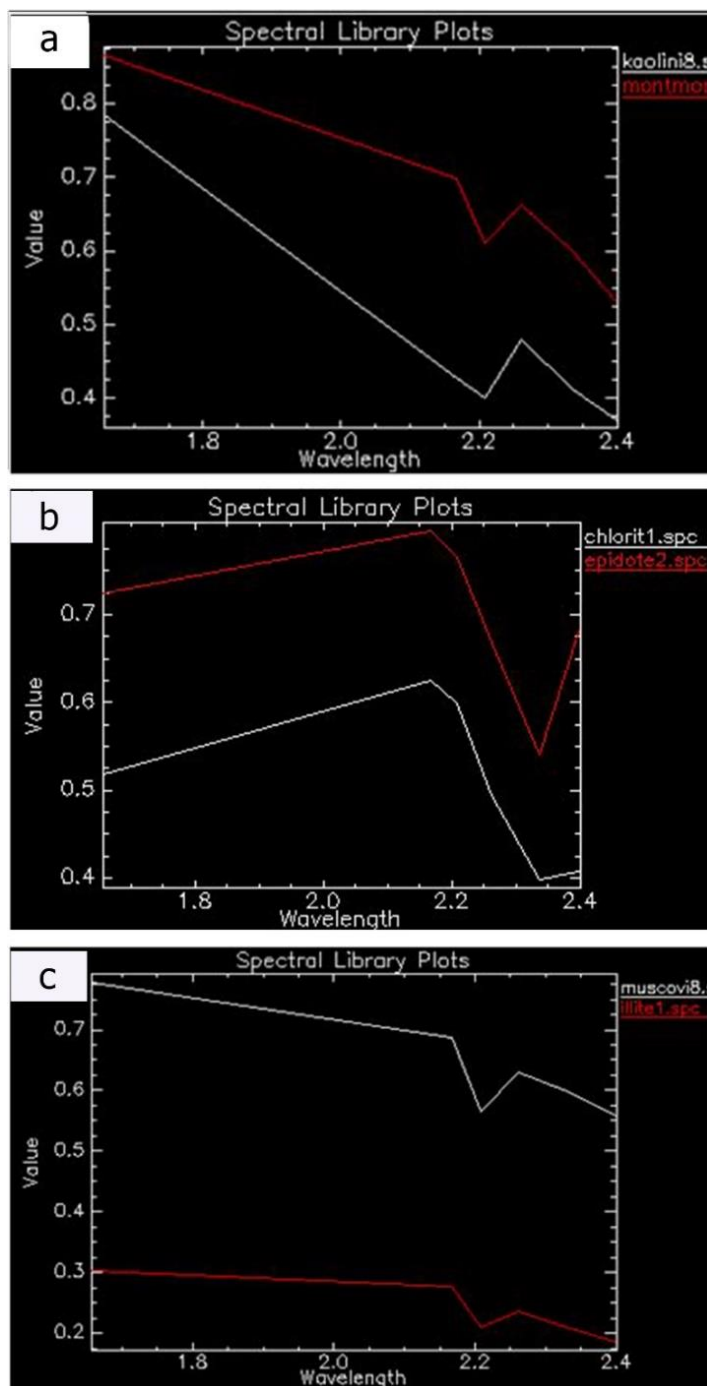
دگرسانى ها بر اساس یک یا چندکانی مهم تفکیک می شوند. مهمترین دگرسانى ها در کانسارهای مس پورفیری عبارتند از :

روش نسبت بانندی

تقسیم بانندی یا نسبت‌گیری بانندی یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر یکدیگر است، بانندی که میزان بازتابش از هدف مورد بررسی در آن بیشتر است، در صورت و باند دیگر که پدیده جذب از همان هدف برای همان هدف در آن بالاتر است در مخرج قرار می‌گیرد. با بکارگیری این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه را در تصویر از بین برد و اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرد، همچنین برای تشخیص سنگ‌ها و مرز آنها نیز بکار می‌رود. این که چه بانندی را در صورت و چه بانندی را در مخرج بگذاریم در مقالات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و بصورت رفرنس آورده شده اما می‌توانیم بر اساس نموداری که رفتار طیفی کانی

مورد نظر به ما نشان می‌دهد نیز باندهای مناسب را انتخاب کنیم. برای دگرسانی آرژیلیک معمولاً از نسبت بانندی ۴ به ۵ محدوده SWIR استفاده می‌شود. این نسبت با توجه به نمودار طیفی کانی کائولینیت و مونتموریونیت قابل درک است. با توجه به اینکه بانندی که بازتاب بیشتر دارد در صورت کسر گذاشتیم، دگرسانی آرژیلیک با پیکسل‌های روشن در تصویر مشخص می‌شود (Petrovic et al., 2008).

به همین ترتیب با توجه به نمودار طیفی کانی‌های کلریت و اپیدوت (شکل ۹) که از کانی‌های شاخص زون دگرسانی پروپلتیک هستند، از نسبت بانندی ۹ به ۸ استفاده می‌کنیم. برای دگرسانی فیلیک با توجه به نمودار طیفی کانی‌های ایلیت و مسکویت از نسبت بانندی جمع دو باند ۵ و ۷ و تقسیم آن بر باند ۶ استفاده می‌کنیم.

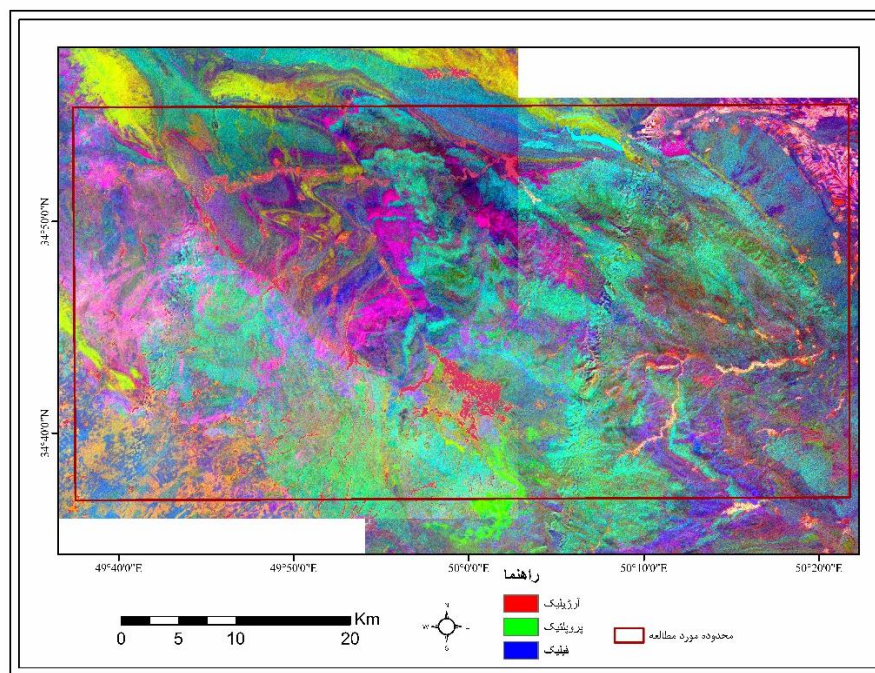


شکل ۹- (a) نمودار طیفی کانی‌های کائولونیت و مونتموریونیت زون دگرسانی آرژیلیک. (b) نمودار طیفی کانی‌های کلریت و اپیدوت زون دگرسانی پروپلیتیک. (c) نمودار طیفی کانی‌های ایلیت و مسکوویت زون دگرسانی فیلیک.

Fig. 9. Spectral diagram of kaolinite and montmorillonite minerals of the argillic alteration zone. Spectral diagram of chlorite and epidote minerals of the propylite alteration zone. Spectral diagram of illite and muscovite minerals of the phyllic alteration zone.

پس از اتمام انجام نسبت‌های باندی، با نتایج به دست آمده یک تصویر کاذب رنگی درست می‌کنیم (شکل ۱۰). آرژیلیک را در باند

قرمز، پروپیلتیک را در باند سبز و دگرسانی فیلیک را در باند آبی قرار می‌دهیم. نتیجه به دست آمده تصویر زیر می‌باشد:



شکل ۱۰- نتیجه نهایی پردازش به روش نسبت باندی. محدوده‌هایی با رنگ صورتی کمرنگ تا قرمز نمایانگر دگرسانی آرژیلیک و محدوده‌های سبز و زرد نشان دهنده دگرسانی پروپیلتیک و مناطق با رنگ آبی تا بنفش، دگرسانی فیلیک می‌باشند.

Fig. 10. Final result of Band Ratio processing. Pale pink to red areas represents argillic alteration, green and yellow areas represent propylitic alteration, and blue to purple areas represent phyllic alteration.

می‌آید. برای به دست آوردن اطلاعات در این روش نیاز به تجزیه و تحلیل مولفه‌ها داریم. آنالیز مولفه‌های اصلی به دو صورت آنالیز استاندارد و آنالیز انتخابی انجام می‌شود. در روش آنالیز مولفه‌های اصلی استاندارد برای مولفه گرفتن از کل محدوده باندها استفاده می‌کنیم و در روش آنالیز انتخابی فقط بر روی باندهای خاص که بازتاب و جذب پدیده مورد مطالعه را شامل می‌شوند مولفه‌ها را تشکیل می‌دهیم (Case et al., 2016).

روش آنالیز مولفه‌های اصلی-استاندارد

برای انجام این روش از مسیر زیر وارد می‌شویم و در آخر تصویر را برای پردازش معرفی می‌کنیم.

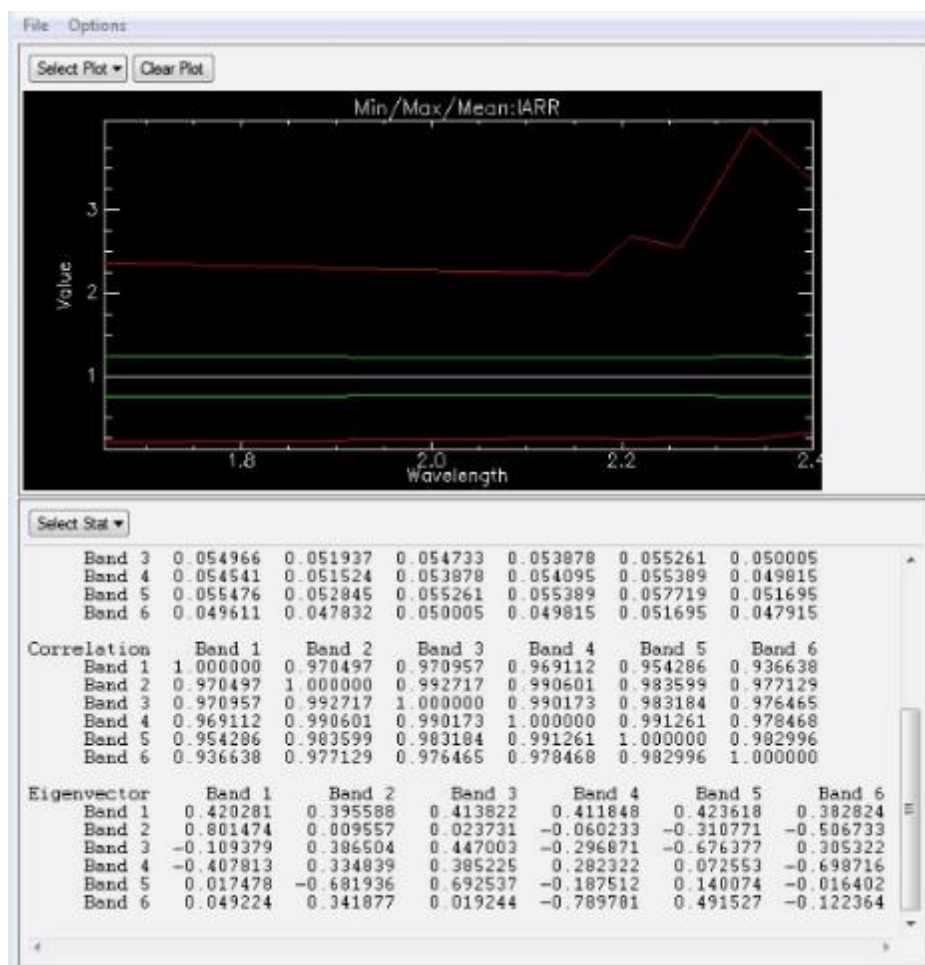
روش آنالیز مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis)

اطلاعات موجود در باندهای چند طیفی ابعادی کمتر از تعداد باند دارند. بنابراین هدف از آنالیز مولفه‌های اصلی تعیین تعداد ابعاد موجود در یک مجموعه اطلاعات است. آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) تکنیک آماری قدرتمندی است که می‌تواند برای فشرده‌سازی تصاویر و از بین بردن اثرات ناخواسته استفاده شود.

هدف از انجام این روش، فشرده کردن مجموعه داده‌های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید به منظور خارج کردن یا کاهش دادن اطلاعات زائدی است که در اثر تشابه و ارتباط میان باندها به وجود

کانی هستند می توانیم مولفه (pc) مورد نظر که نشان دهنده دگرسانی مورد مطالعه هست را شناسایی و استخراج کنیم. به عنوان مثال برای استخراج دگرسانی آرژیلیک از باند ۴ و ۵ و دگرسانی فیلیک از باند ۵ و ۶ و ۷ برای تشخیص دگرسانی پروپیلتیک از باند ۷ و ۸ و ۹ استفاده می کنیم.

Transform→Principal components→Forward PC Rotation→Compute New Statistics and Rotate
بعد از انجام روش آنالیز مولفه اصلی، فایل آماری آن را باز می کنیم و تجزیه و تحلیل را بر روی آن انجام می دهیم (شکل ۱۱). از انتهای ماتریس این فایل آماری، یعنی قسمت Eigenvector استفاده می کنیم. هر سطر نشان دهنده یک مولفه و ستون ها نشان دهنده باندها هستند. با توجه به باندهایی که نشان دهنده طیف بازتاب و جذب هر

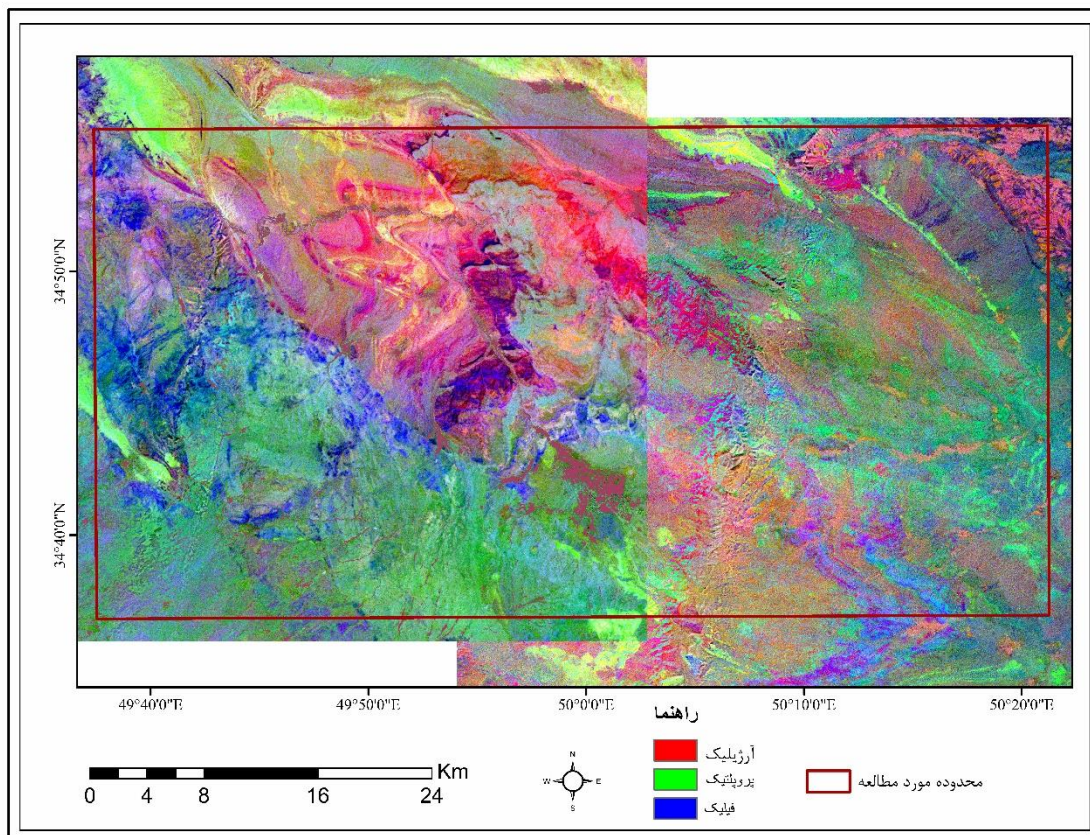


شکل ۱۱- تصویر فایل آماری ایجاد شده برای روش آنالیز مولفه های اصلی استاندارد.

Fig. 11. Image of the statistical file created for the standard principal component analysis method.

روشن نشان دهنده دگرسانی پروپیلتیک، مولفه پنجم با پیکسل های تیره نشان دهنده دگرسانی فیلیک می باشد که باید مولفه مورد نظر را در یک منفی ضرب کنیم (شکل ۱۲).

باتوجه به مطالبی که در بالا مطرح شد، مولفه های انتخابی و تصویر کاذب رنگی ایجاد شده به شرح زیر می باشد. مولفه سوم با پیکسل های روشن نشان دهنده دگرسانی آرژیلیک، مولفه چهارم با پیکسل های



شکل ۱۲- نتیجه پردازش به روش آنالیز مولفه های اصلی استاندارد.

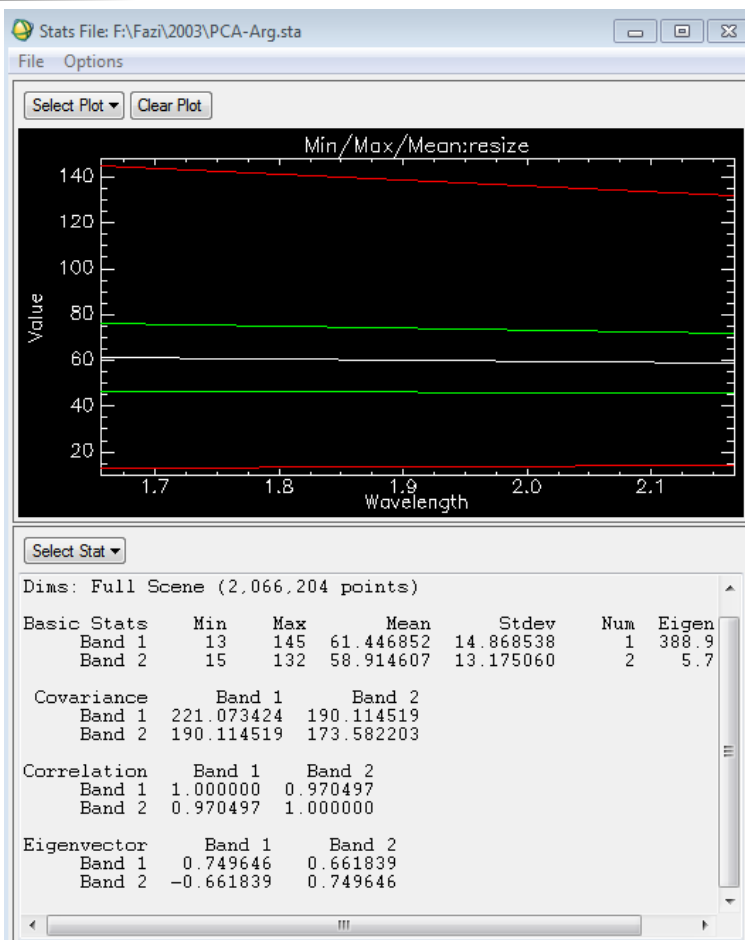
Fig. 12. Result of processing using the standard principal component analysis method.

بطور مثال برای زون دگرسانی آرژیلیک از طیف کانی های کائولینیت و آلونیت استفاده می کنیم که باند ۴ محدوده SWIR باند بازتاب این کانی ها و باند ۵ را به عنوان باند جذب در نظر می گیریم. از آنجایی که فقط دو باند در پردازش و آنالیز شرکت داشته اند، فایل آماری به صورت زیر تشکیل می شود. همانطور که در تصویر ملاحظه می شود ماتریس پایانی فایل آماری ما تنها از دو مولفه تشکیل شده است (شکل ۱۳).

روش آنالیز مولفه های اصلی-انتخابی

برای انجام این روش از مسیر زیر وارد می شویم و در آخر تصویر را برای پردازش معرفی می کنیم. اما این دفعه فقط باندهای کانی های شاخص هر زون دگرسانی را برای پردازش انتخاب می کنیم.

Transform → Principal components → Forward PC
Rotation → Compute New Statistics and Rotate

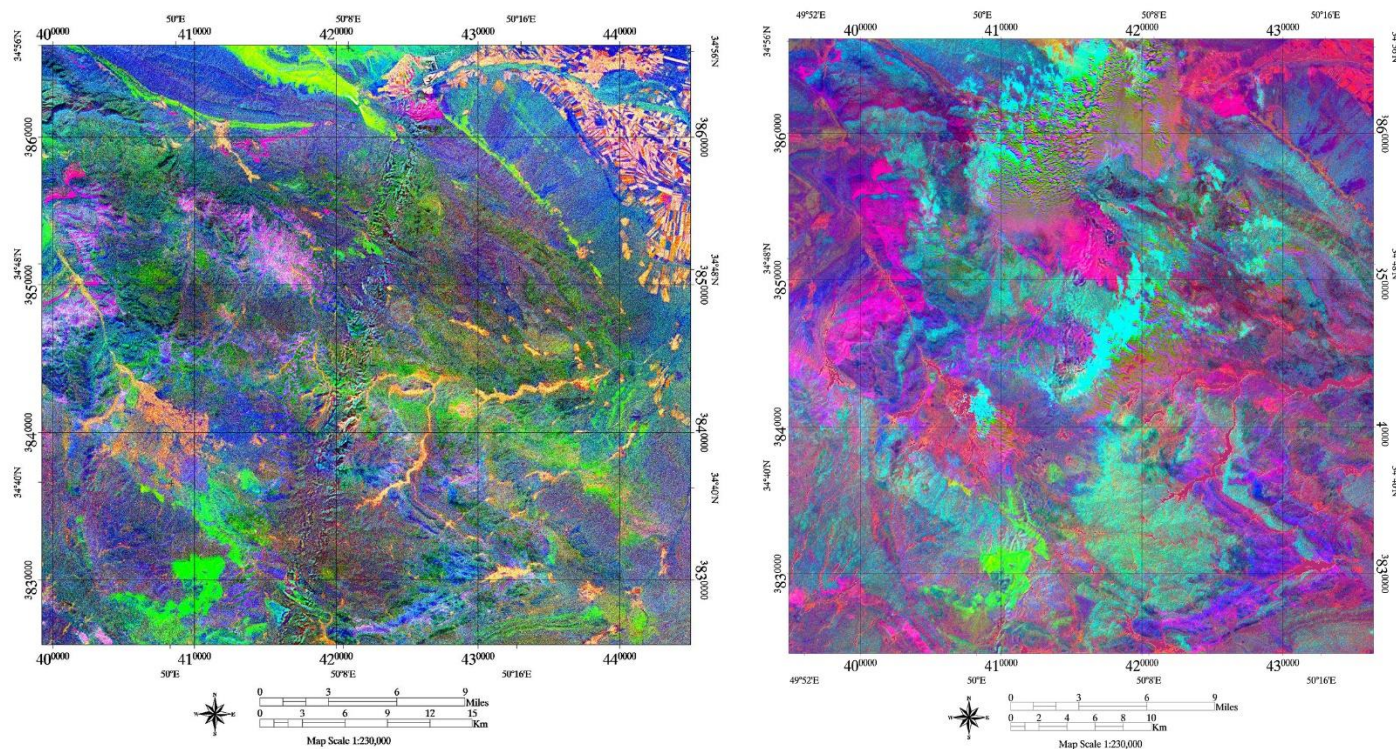


شکل ۱۳- فایل آماری روش آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی.

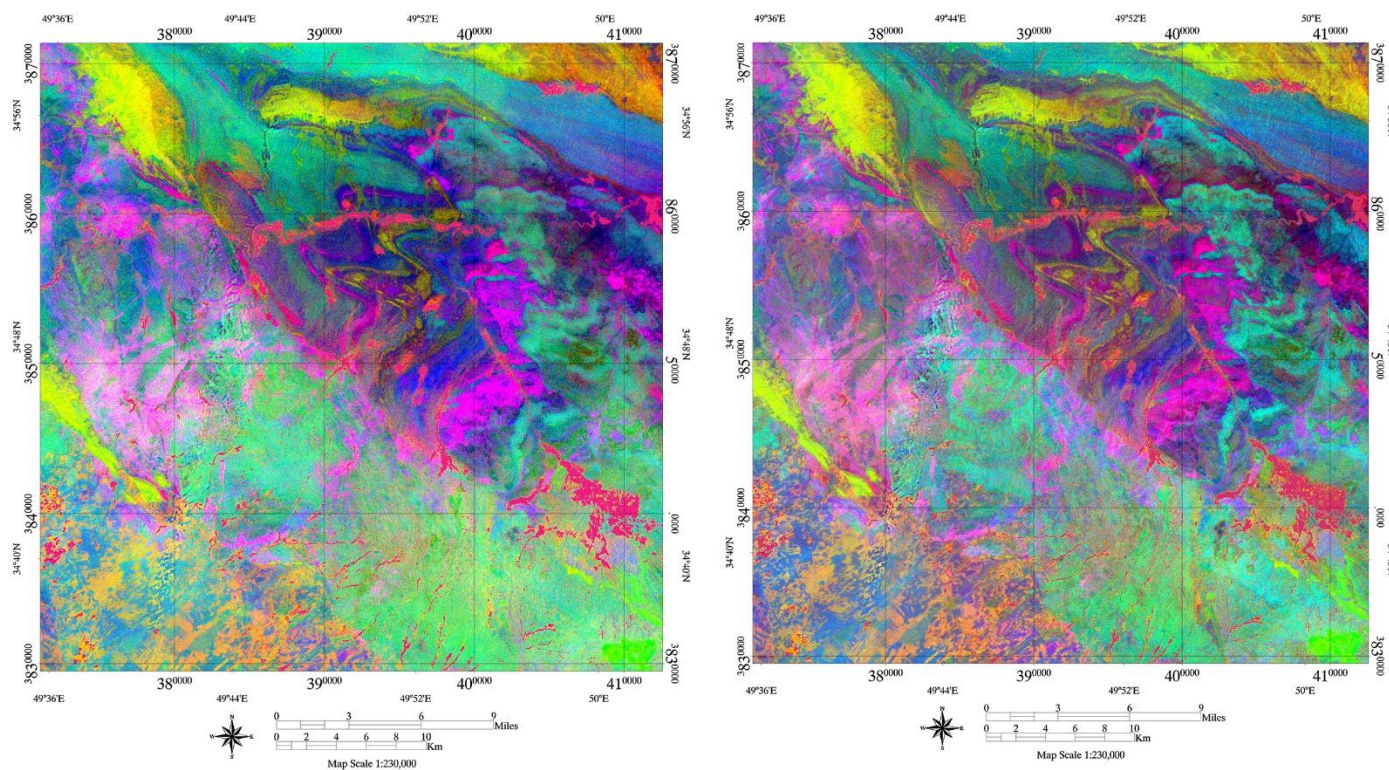
Fig. 13. Statistical file of the selected principal component analysis method.

است و با نتیجه نسبت باندی مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۱۴ و ۱۵). نتیجه نهایی مقایسه بین دو روش نسبت باندی و آنالیز مولفه‌های اصلی - انتخابی نشان می‌دهد که نتایج کاملاً یکدیگر را تایید می‌کنند (شکل ۱۶).

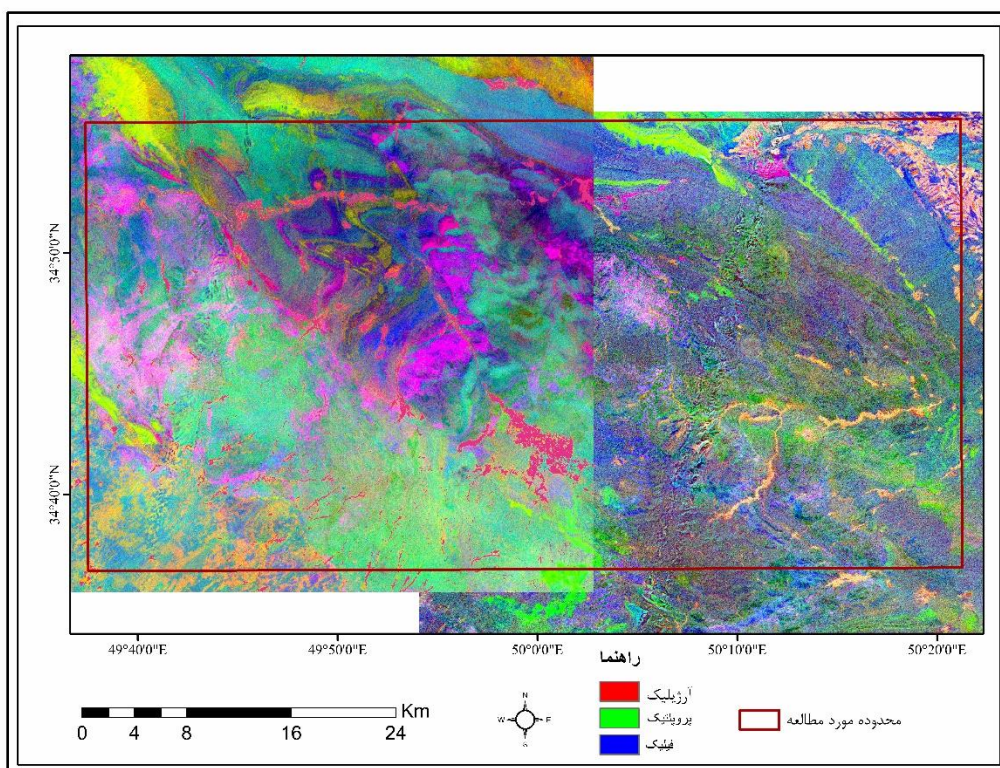
برای دگرسانی پروپلیتیک از باندهای ۹ و ۸ و ۷ و نیز برای دگرسانی فیلیک از باند ۵ و ۶ و ۷ استفاده می‌شود. بدیهی است هنگام استفاده از سه باند در پردازش فایل آماری به دست آمده شامل ۳ مولفه می‌باشد. نتیجه دقیق‌تر و نزدیک به نتیجه روش نسبت باندی می‌باشد. نتیجه به دست آمده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی - انتخابی در ذیل آورده شده



شکل ۱۴- نتیجه پردازش به روش آنالیز مولفه اصلی-انتخابی (تصویر سمت چپ) و پردازش به روش نسبت باندی (تصویر سمت راست)
 Fig. 14. Result of processing using the Principal Component Analysis-Selective method (left image) and processing using the Band Ratio method (right image)



شکل ۱۵- نتیجه پردازش به روش آنالیز مولفه اصلی-انتخابی (تصویر سمت چپ) و پردازش به روش نسبت باندی (تصویر سمت راست).
 Figure 15. The result of processing using the principal component analysis-selective method (left image) and processing using the band ratio method (right image).



شکل ۱۶- نتیجه نهایی پردازش به روش آنالیز مولفه های اصلی انتخابی. محدوده هایی با گام صورتی کمرنگ تا قرمز نمایان گر دگرسانی آرژیلیک و محدوده های سبز و زرد نشان دهنده دگرسانی پروپلیتیک و مناطق با رنگ آبی تا بنفش دگرسانی فیلیک می باشند.

Fig. 16. Final result of selected principal component analysis processing. Areas with a pale pink to red gradient represent argillic alteration, green and yellow areas represent propylitic alteration, and blue to purple areas represent phyllic alteration.

مقدار زاویه آلفا بین صفر و یک است و اگر مقدار زاویه آلفا را یک قرار دهیم، کل تصویر را به عنوان هدف برای ما شناسایی می کند و هرچه مقدار آلفا به صفر نزدیک تر باشد، ممکن است اطلاعاتی را از دست بدهیم. با پیدا کردن مقدار بهینه، بارسازی ما دقیق تر خواهد بود. این در واقع یک روش نظارت طبقه بندی شده است و برای انجام این طبقه بندی از مسیر زیر استفاده می کنیم:

classification → supervised → spectral Angle Mapper

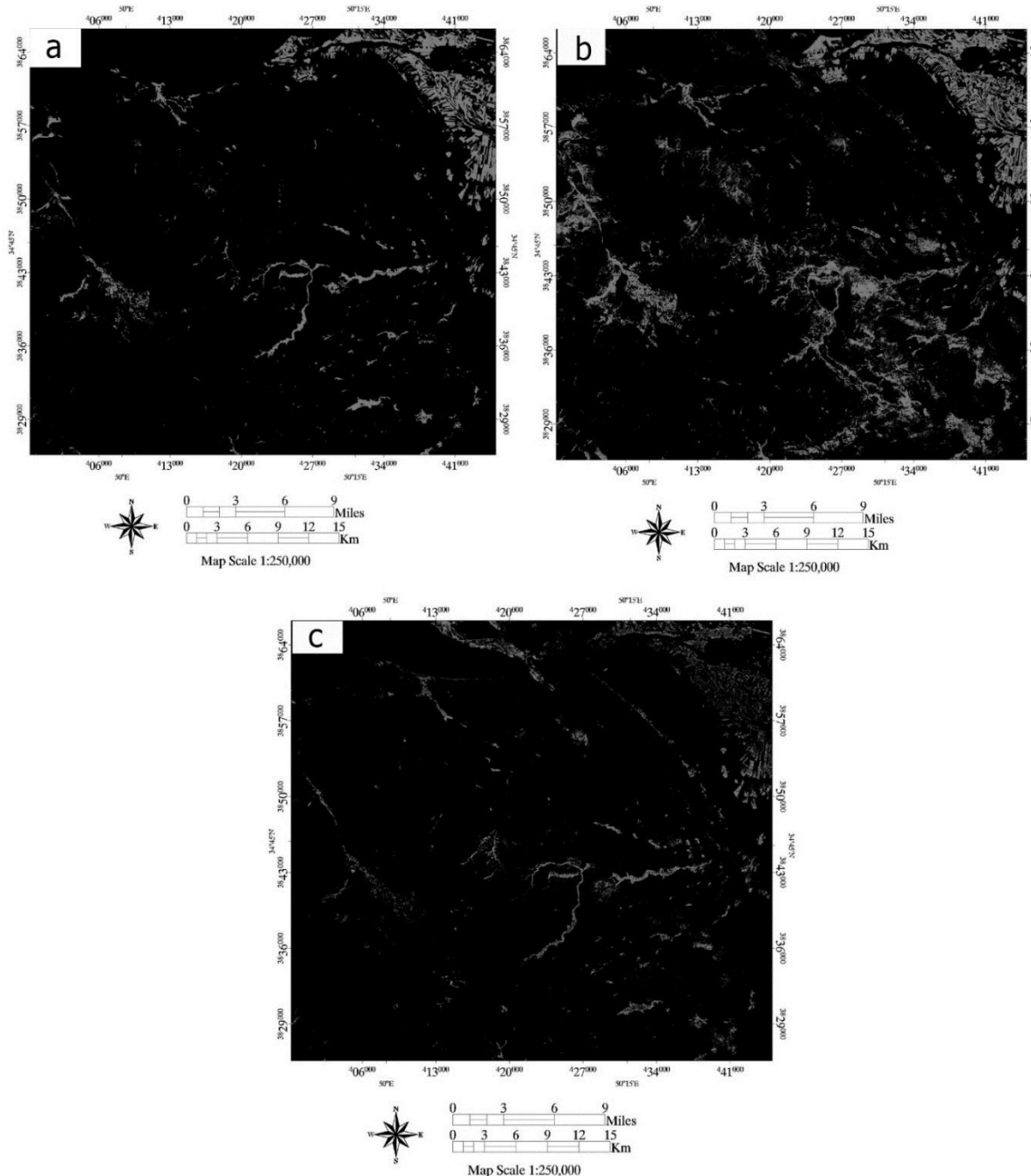
در این روش به کمک فایل آماری که به نام رول ایمج (Rule Images) خوانده می شود، زاویه بهینه استخراج و دگرسانی ها بارسازی می شوند. در تصویر اول (شکل ۱۷)، زاویه بهینه برای دگرسانی آرژیلیک ۰/۱۵، برای دگرسانی پروپلیتیک ۰/۱۱ و برای

روش نقشه بردار زاویه طیفی (Spectral Angle Mapper)

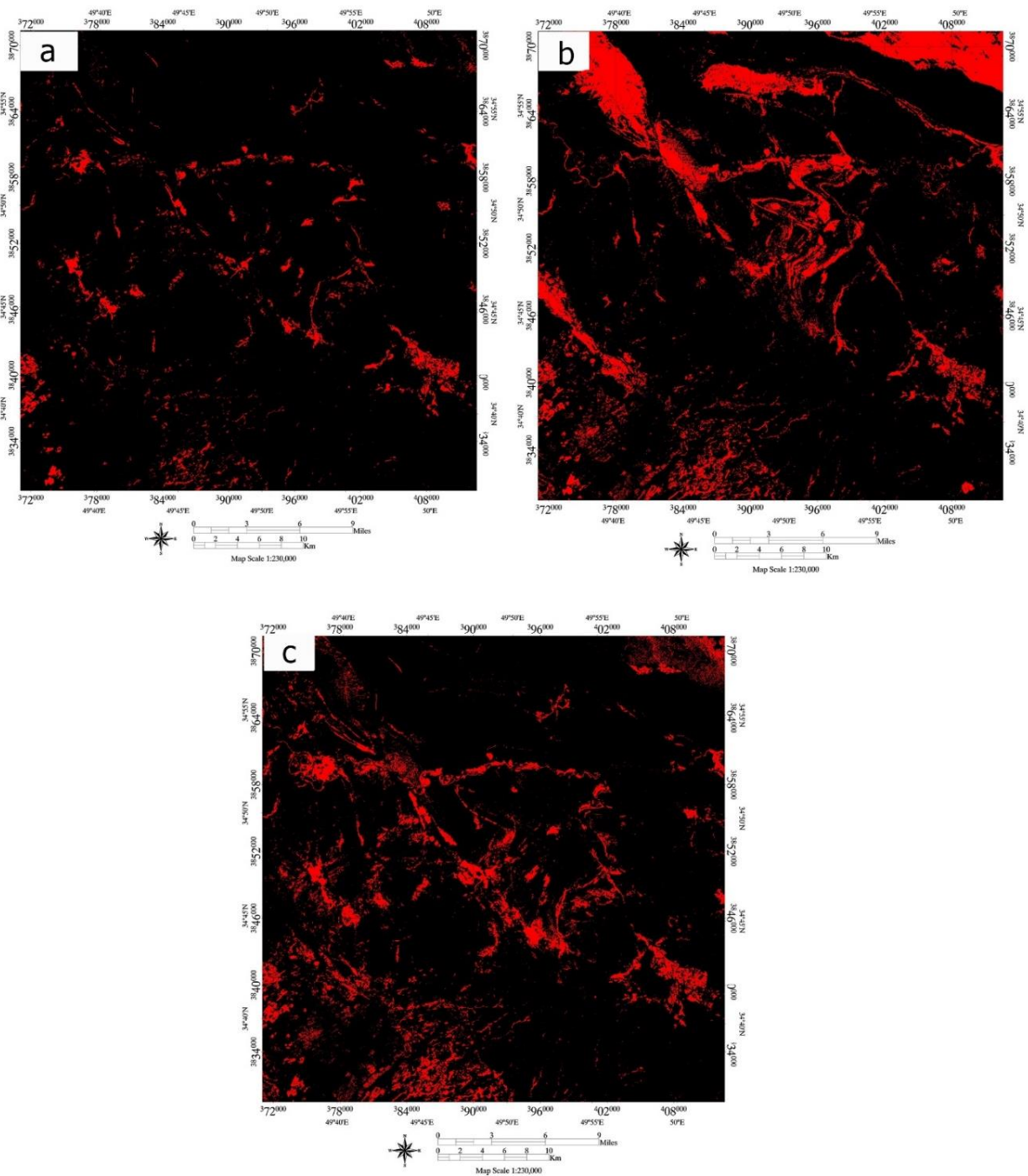
الگوریتم این روش بر پایه مشابهت بین دو طیف است. در این روش، یک طیف خاص را به تصویر می دهیم و از آن می خواهیم که هر پیکسلی که طیفش مشابه با طیف مرجع ما هست، به عنوان پیکسل هدف نشان دهد. در این روش دو طیف مورد نظر که یکی طیف کتابخانه ای و دیگری طیف مورد مطالعه هست را در یک فضای جدید تبدیل به بردار می کند که ابعاد این فضا بستگی به تعداد باندهای ما دارد. وقتی طیف های ما در فضای جدید تبدیل به بردار شدند، یک زاویه بین این دو بردار نظر می گیرد (زاویه آلفا). نرم افزار، براساس زاویه آلفا، پیکسل های هدف را که طیف آنها شبیه به طیف مرجع هست بارز می کند.

۰/۱۳ و برای دگرسانی فیلیک ۰/۰۷ می باشد. نتیجه نهایی پردازش به روش نقشه بردار زاویه طیفی را در شکل ۱۹ مشاهده می کنید.

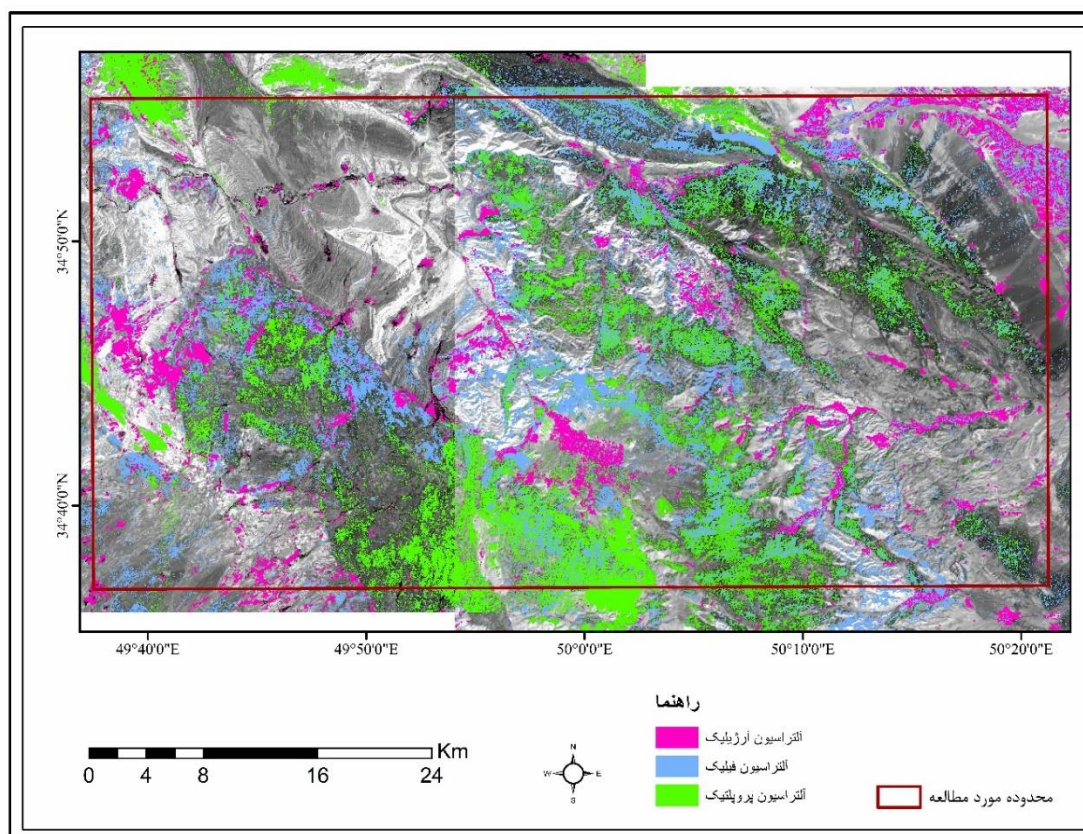
دگرسانی فیلیک ۰/۰۷ می باشد. در تصویر دوم (شکل ۱۸) زاویه پهنه برای دگرسانی آرژیلیک ۰/۱۶، زاویه پهنه برای دگرسانی پروپلیتیک



شکل ۱۷- (a) بارزسازی دگرسانی آرژیلیک، (b) پروپلیتیک و (c) فیلیک به روش نقشه بردار زاویه طیفی
 Fig. 17. Highlighting (a) argillic, (b) propylitic, and (c) phyllic alteration using the spectral angle vector mapping method.



شکل ۱۸- (a) بارزسازی دگرسانی آرزپلیتیک، (b) پروپلیتیک و (c) فیلیک به روش نقشه بردار زاویه طیفی (با تغییر زاویه بهینه).
 Fig. 18. Highlighting argillic (a), propylitic (b), and phyllic alteration using the spectral angle mapper method (By changing the optimal angle).

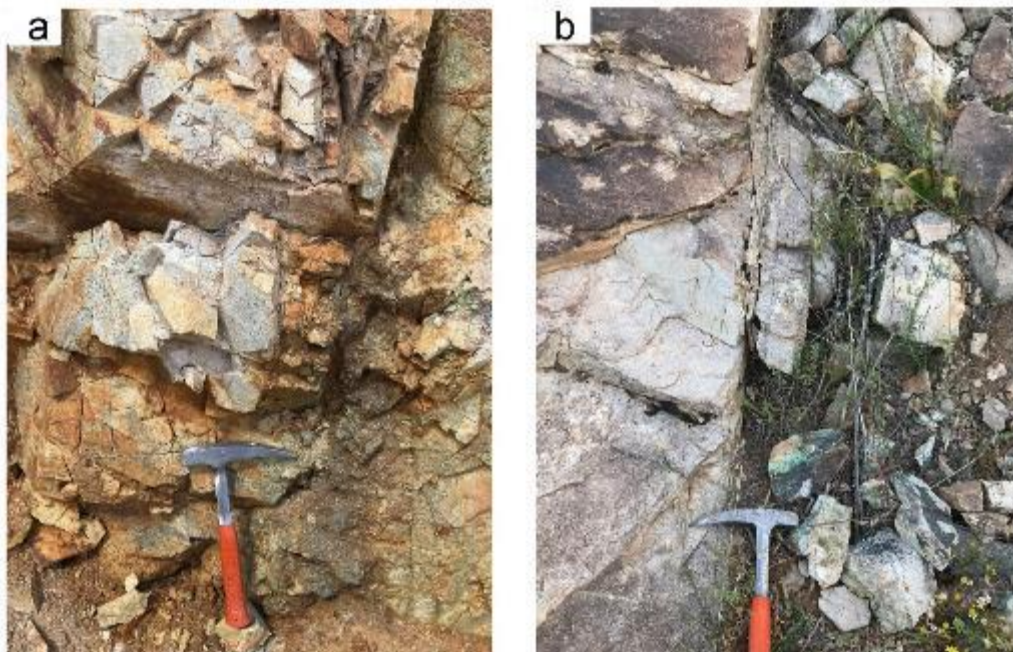


شکل ۱۹- نتیجه نهایی پردازش به روش نقشه بردار زاویه طیفی.

Fig. 19. Final result of processing using the spectral angle mapper method.

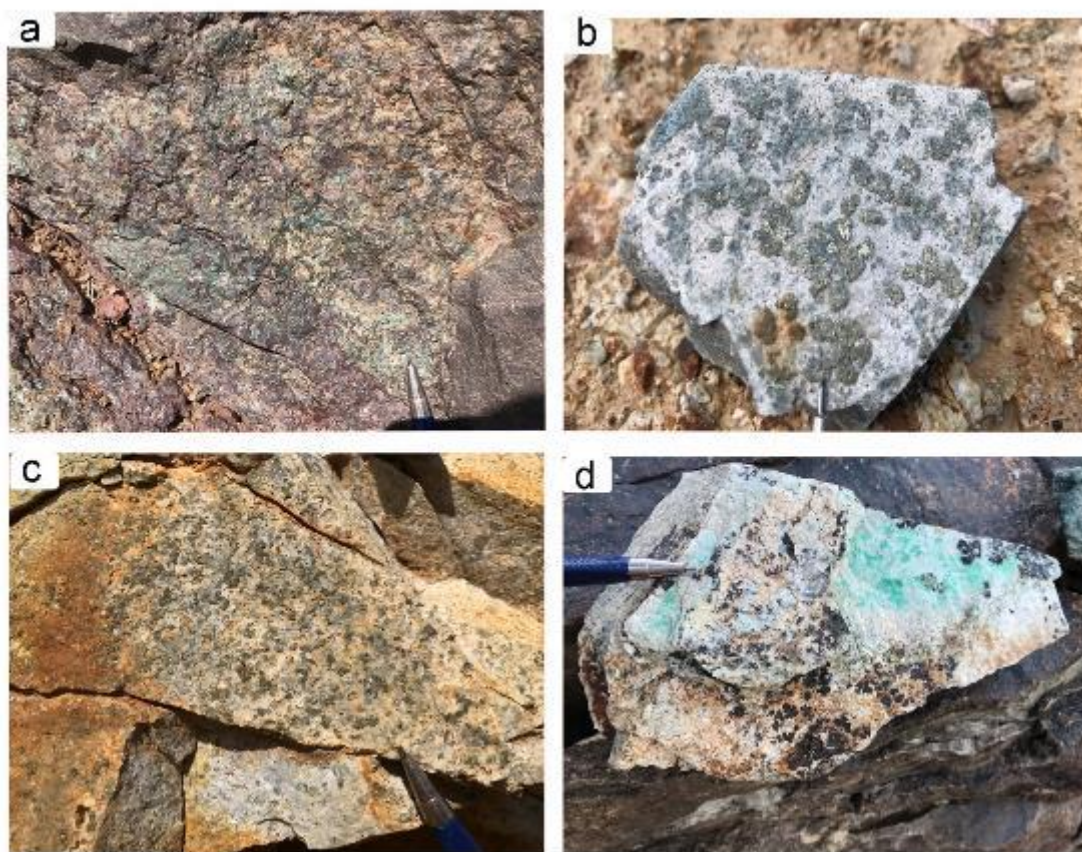
پتاسیک در سطح هستیم می‌توانیم شناسایی را از طریق تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دهیم که شامل این محدوده مورد مطالعه نمی‌شود. شکل ۲۰ نمایی از رخنمون کانه‌زایی و دگرسانی در راستای گسل‌های منطقه را نشان می‌دهد. شکل ۲۱ نیز تصاویری از نمونه دستی همراه با کانه‌زایی و دگرسانی را به نمایش می‌گذارد.

درمورد بارزسازی زون پتاسیک باید توجه داشته باشیم که دگرسانی پتاسیک کاملاً بستگی به محیط زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه دارد. این دگرسانی در میان هاله‌های دگرسانی مربوط به کانسارهای مس پورفیری در مرکز قرار گرفته و توسط سایر دگرسانی‌ها احاطه شده است. در صورتی که در بررسی‌های زمین‌شناسی اثبات شود که سایر زون‌های دگرسانی فرسایش یافته‌اند و ما شاهد حضور زون



شکل ۲۰- نمای رخنمون کانه‌زایی بصورت سولفیدی (عمدتاً پیریت) (a) و مالاکیت (b) در راستای گسل‌های منطقه در سنگ‌های میکرودیوریت و کوارتز مونزونیت با دگرسانی آرژیلیک

Fig. 20. Outcrop view of sulfide mineralization (mainly pyrite) (a) and malachite (b) along the region's faults in micro-diorite and quartz monzonite with argillic altered rocks.



شکل ۲۱- a) نمای رخمون از دگرسانی کلریتی؛ b و c) نمونه دستی از کوارتز مونزونیت حاوی تجمعات پیریت بصورت پراکنده؛ d) نمونه دستی از کانه زایی مس به صورت مالاکیت در میکرودیوریت با دگرسانی آرژیلیک.

Fig. 21. a) Outcrop view of chlorite alteration; b, c) Hand sample of quartz monzonite containing scattered pyrite accumulations; d) hand sample of copper mineralization in the form of malachite in micro-diorite with argillic alteration.

در این پژوهش، از روش های مختلف پردازش تصاویر ماهواره ای شامل نسبت باندی، آنالیز مولفه های اصلی (PCA) و نقشه بردار زاویه ای (SAM) برای شناسایی و تفکیک زون های دگرسانی استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو روش نسبت به باندی و آنالیز مولفه های اصلی (انتخابی) در تشخیص زون های دگرسانی دقت دارند و نتایج آن ها به طور قابل توجهی با هم همخوان هستند. این روش ها، زون های دگرسانی آرژیلیک، پروپلیتیک و فیلیک را به طور دقیق تری نسبت به روش نقشه بردار زاویه ای بارسازی می کنند.

بررسی ها نشان داد که گسل های ایندس، تفرش و تلخاب به عنوان ساختارهای اصلی منطقه، نقش کلیدی در کنترل و توزیع دگرسانی های

بحث

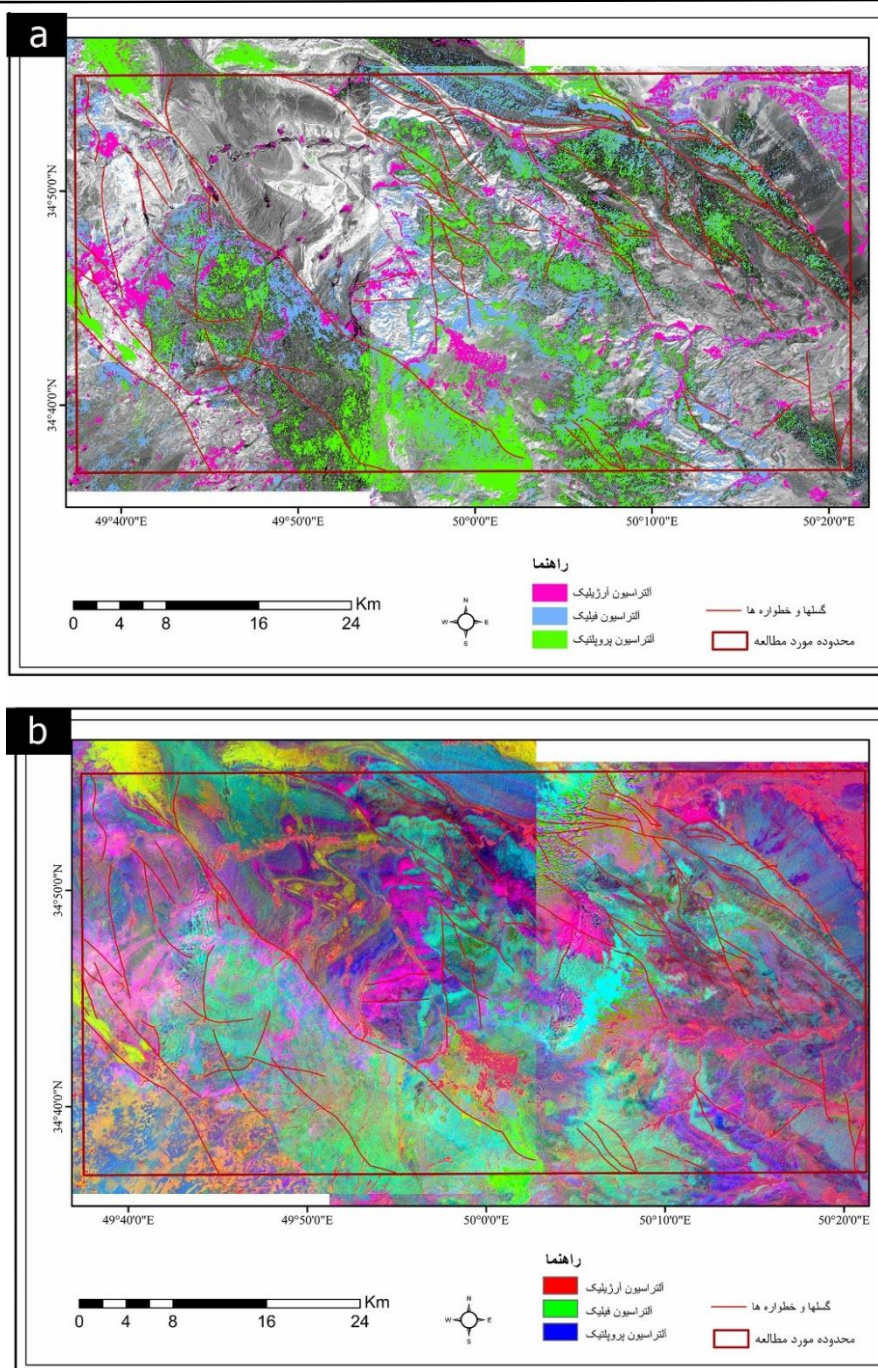
این مطالعه با استفاده از روش های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای، به بررسی ارتباط بین پهنه های گسلی ایندس، تفرش و تلخاب با دگرسانی های گرمابی در منطقه ای بین شهرستان های ساوه تا اراک پرداخته است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که پهنه های گسلی مورد مطالعه نقش مهمی در ایجاد و توزیع دگرسانی های گرمابی در منطقه داشته اند. این دگرسانی ها در امتداد گسل ها و شکستگی های اصلی منطقه رخ داده اند که تأثیر ساختارهای زمین را برای توسعه و گسترش دگرسانی ها نشان می دهد.

آن‌ها را به شکل جدیدی رسوب دهند. به طور کلی، تقابل بین گسل‌ها و محلول‌های گرمایی به شکل‌گیری دگرسانی‌های گسترده و شکل‌گیری منابع معدنی جدید منجر می‌شود. شکل ۲۲ تطابق نقشه گسل‌های منطقه و نتیجه نهایی بارزسازی دگرسانی‌ها به روش زاویه طیفی و نسبت بانندی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

مطالعات دورسنجی انجام شده در این محدوده باعث شناسایی و تفکیک انواع آلتراسیون‌ها شد. انجام روش‌های مختلف مشخص کرد که دو روش بارزسازی آنالیز مولفه‌های اصلی و نسبت بانندی نتایج کاملاً یکسان دارند اما در روش نقشه بردار زاویه طیفی مساحت محدوده‌های دگرسان به دست آمده اگرچه با روش‌های دیگر اشتراک دارند اما تنها قسمتهایی که کانی مورد پردازش حضور پررنگ‌تری دارد به عنوان محدوده دگرسان بارز می‌شود.

گرمایی‌اند. این گسل‌ها با ایجاد مسیرهایی برای حرکت سیالات گرمایی، باعث ایجاد زون‌های دگرسانی در امتداد خود شده‌اند. به ویژه، گسل ایندس به‌عنوان یکی از گسل‌های اصلی منطقه، تأثیر قابل توجهی در توزیع دگرسانی‌ها دارد. این گسل با ایجاد شکستگی‌ها و درزهای متعدد، شرایط مناسب را برای نفوذ سیالات گرمایی و تشکیل کانی‌های دگرسانی ارائه کرده است. ارتباط بین گسل‌ها و بالا آمدن محلول‌های گرمایی به طرز قابل توجهی بر روی دگرسانی‌های معدنی و زمین‌شناسی تأثیر می‌گذارد. گسل‌ها می‌توانند مسیرهای تسهیل‌کننده‌ای برای حرکت محلول‌های گرمایی ایجاد کنند. این حرکت معمولاً به دلیل شکستگی‌ها و نواحی نفوذپذیر سنگ‌ها انجام می‌شود که به محلول‌ها اجازه می‌دهد به عمق بیشتری نفوذ کنند و به سطح زمین برسند. محلول‌های گرمایی به دلیل غنی بودن از مواد معدنی می‌توانند به دگرسانی سنگ‌ها کمک نمایند. این محلول‌ها می‌توانند مواد معدنی جدیدی را به همراه داشته باشند یا مواد معدنی موجود را حل کرده و



شکل ۲۲- (a) تطابق نقشه گسل های منطقه و نتیجه بارسازی دگرسانی به روش زاویه طیفی. (b) تطابق نقشه گسل های منطقه و نتیجه بارسازی دگرسانی به روش نسبت بانندی.

Fig. 22. a) The correspondence between the fault map of the region and the result of the alteration highlighting using the spectral angle method. (b) The correspondence between the fault map of the region and the result of the alteration highlighting using the band ratio method.

دگرسانی‌ها در تعیین ترکیب و ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه نقش بسزایی دارند. همانطور که در مراحل انجام تحقیق و شکل‌های حاصل از نتایج روش‌های دورسنجی مشاهده می‌شود، آلتراسیون آرژیلیک بیشتر واحدهای آهک و توف، آلتراسیون فیلیک، بیشتر واحدهای آذرین منطقه و آلتراسیون پروپیلیتیک نیز بیشتر واحدهای آهک و توف و برخی واحدهای آذرین منطقه را تحت تاثیر قرار داده‌اند. منطقه دارای کانی‌سازی سولفیدی است که در امتداد گسل‌ها تشکیل شده‌اند. از این رو می‌بایست مطالعات کانه‌زایی و زمین‌شناسی اقتصادی در منطقه صورت گیرد.

بنابراین دو روش نسبت باندی و آنالیز مولفه‌های اصلی (انتخابی) دقت بالاتری دارند. مطالعات دورسنجی انجام شده در محدوده باعث شناسایی و تفکیک انواع آلتراسیون‌ها و نیز گسل‌ها و شکستگی‌ها شد که با نقشه زمین‌شناسی منطقه مطابقت دارد. به کمک نرم افزار GIS مشخص شد که آرایش خطی برروی گسل‌ها با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی (NW-SE) که از لحاظ واحدهای لیتولوژی بر روی ولکانیک‌های ائوسن هستند، نشان می‌دهد که برای بررسی ارتباطات گسلی و پهنه‌های دگرسانی بهتر است از روش نسبت باندی و آنالیز مولفه اصلی (انتخابی) استفاده کنیم.

دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپیلیتیک و فیلیک در لیتولوژی‌های مختلف و تحت شرایط متفاوتی به وقوع می‌پیوندند. هر یک از این

References

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 538 pp. (in Persian)
- Attarzadeh, R., Amini, J., Notarnicola, C., Greifeneder, F. 2018. Synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for soil moisture mapping at plot scale. *Remote Sensing*, 10(8), 1285.
- Case, A.A., Tin, G., Ni, C., Zhang, S., Liu, C., Yan, Y., Li, Y., 2016. Lineament Length and Density Analyses Based on the Segment Tracing Lineament Length and Density Analyses Based on the Segment Tracing Algorithm: A Case Study of the Gaosong Field in Gejiu Tin Mine, China.
- Davoodi, Z., 2020. Introduction and Structural Study of the Ezedin-Rahjerd Transverse Fault Zone, One Of the Seismic Potential Structures in Tafresh Area. *Bulletin of Earthquake. Science and Engineering* 7 (1), 37-52.
- Esvand, S., Haj Sadeghi, S., Tabatabaei, H., 2012. Application of ASTER satellite data in identifying and distinguishing areas of alteration of industrial soil indices in Markazi Province, 16th Conference of the Geological Society of Iran.
- Hung, L.Q., Batelaan, O., De Smedt, F., 2005. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology* 5983, 182-193.
- Petrovic, A., Khan, S.D., Chafetz, H.S., 2008. Remote detection and geochemical studies for finding hydrocarbon-induced alterations in Lisbon Valley, Utah. *Marine and Petroleum Geology* 25, 696-705.
- Rajabi, A., Canet, C., Rastad, E., Alfonso, P. 2015. Basin evolution and stratigraphic correlation of sedimentary-exhalative Zn-Pb deposits of the Early Cambrian Zarigan-Chahmir Basin, Central Iran. *Ore Geology Reviews* 64, 328-353.
- Taheri, M., Ardalan, A.A., Emami, M.H., Zakariay, S.J.S., 2017. Petrology and Tectonic Setting of Volcanic Rocks in West and South West of Salafchegan, Qom, Iran. *Open Journal of Geology* 07, 745-767. (in Persian).