



Imam Khomeini International University  
Vol. 10, No. 1, Spring 2025



نشریه مهندسی منابع معدنی  
Journal of Mineral Resources Engineering  
(JMRE)

## Technical Note

# Identification of Promising Areas with Remote Sensing Satellite Data in Karijgan, Khosf- Birjand

Jamshid Moghadam H.<sup>1\*</sup>, Yozbashlo E.<sup>2</sup>, Dodangeh R.<sup>3</sup>, Amirpour A.<sup>4</sup>, Mahmoudi M.<sup>5</sup>

- 1- Ph.D, Dept. of Mining Engineering, Head of R&D in Investment Group of Foladgostar Kowsar, Tabriz, Iran
- 2- Ph.D Student, Dept. of Geology, Director of the Technical Office in Tavarah Sahand Industrial Group, Tabriz, Iran
- 3- Ph.D Student, Dept. of Geology, Director of the Technical Office in Investment Group of Foladgostar Kowsar, Tabriz, Iran
- 4- Ph.D, Dept. of Mining Engineering, Director of Explorations in Investment Group of Foladgostar Kowsar, Tabriz, Iran
- 5- Ph.D Student, Dept. of Mining Engineering, Consultant of Explorations in Investment Group of Foladgostar Kowsar, Tabriz, Iran

Received: 12 Aug. 2023

Accepted: 07 Mar. 2024

**Abstract:** This study aims to use the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) remote sensing data to identify promising areas and design a targeted preliminary survey in the Karijgan area located in Khosuf-Birjand. Therefore, at first, necessary pre-processing, such as atmospheric and topographic corrections, was applied to the data. Then, from conventional processing methods on multispectral data, including band ratio, principal component analysis (PCA), and its improved type, the selective principal component analysis method (CROSTA), promising areas were identified. In this case, by using the band ratio method, index areas prone to iron oxides, silica, carbonate, chlorite and epidote, alunite, kaolinite and pyrophyllite, sericite, muscovite, illite, and smectite were identified. Also, with the Crosta method, various types of main alterations (propylitic, argillic, and phyllic) were determined. Finally, by combining the results, promising areas were identified for preliminary surveys. A check field and sampling of the identified areas were done to validate the processing results. The results of the sample analysis by ICP-OES and X-ray diffraction (XRD) showed good agreement and accuracy with the results obtained from the remote sensing processing of the Karijgan area.

**Keywords:** Karijgan, ASTER, Remote sensing, CROSTA, Alteration.

### How to cite this article

Jamshid Moghadam, H., Yozbashlo, E., Dodangeh, R., Amirpour, A., and Mahmoudi, M. (2025). "Identification of promising areas with remote sensing satellite data in Karijgan, Khosf- Birjand". Journal of Mineral Resources Engineering, 10(1): 21-40.

DOI: [10.30479/jmre.2024.19176.1658](https://doi.org/10.30479/jmre.2024.19176.1658)

\*Corresponding Author Email: [hj\\_moghada@sut.ac.ir](mailto:hj_moghada@sut.ac.ir)

COPYRIGHTS



©2025 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## INTRODUCTION

Remote sensing is the most important tool that reduces the cost of exploration and, at the same time, increases the speed of surveys for mineral exploration. This science, by identifying the alterations and studying the mineralogy of the area, provides beneficial information regarding guidance for field studies, sampling, and analyses that can help reject or accept an area as a deposit [1,2]. In the current research, the multispectral data of ASTER was used to process and identify the promising areas in the Karijgan area, located in the 100,000 sheets of South Khorasan province. Rajendran and Nasir presented a comprehensive review of the processing method types on ASTER satellite data in 2018 [3]. In 2022, a survey was conducted on the ASTER data to identify the metal potentials in the 100,000 Ahar sheet [4]. In addition, a study was also conducted in 2019 to identify alteration zones related to the porphyry system based on ASTER data in the Jebal-Barez region, southeast of Iran [5]. In 2019, Sheikh Rahimi et al. used ASTER data to map hydrothermal alteration minerals and better distinguish geological structural features related to gold mineralization in the Sanandaj-Sirjan zone [6]. In 2020, Rezaei also prepared a geological map of the Sangan region, located in the southeast of Razavi Khorasan, Iran, using remote sensing methods based on the output of the results of ASTER data processing [7]. A wide range of research using ASTER data to identify alterations and complications of the earth's surface in different places can be expressed in [8-12].

### Geology of the case study

Structurally, this area is located west of the Sistan zone and east of the Lut zone. According to the geological map of 100,000 Khosuf, the rock units of this area include ignimbrite, tuff, and tuff-breccia pyroclastic deposits along with volcanic phases with the combination of dacite, andesite, and andesite pyroxene with Eocene-Oligocene age. These units are cut by dyke-like structures called intermediate dykes. In general, the main trend of these dyke-like structures is northwest-southeast. In addition, there are silicified and jasperoid shear zones in the area [13].

### Data

The ASTER satellite sensor is one of the five state-of-the-art instrument sensor systems onboard the Terra satellite, which was launched in 1999. Its short-wave infrared bands have six bands, which are very useful for geological applications. This study utilizes Level-1T (L1T) processed ASTER images, which have undergone geometric and radiometric corrections [14].

## METHODS

### Preprocessing

In this research, the Quick Atmospheric Correction, or QUAC, method was used, which is an atmospheric correction method in the VNIR-SWIR region for images. Unlike other atmospheric correction methods, it estimates the correction parameters directly from the observed spectra in a scene without the help of secondary information. In addition, in this study, the logarithmic residual (log-residual) correction technique was used to perform the correction. On the other hand, according to the rough topography of the studied area and the shadow effects caused by the topography, it is necessary to correct it [15].

### Data processing

Determining the amount of vegetation in the studied area can help correct processing. Therefore, one of the vegetation spectral indices, called the normalized coverage index ( $NDVI=(2-3/3+2)$ ), was used for this purpose. Then, to explore metal mineralization in the region, at first, band indicators related to iron oxides (band ratios of 2 to 1) and silica (band ratios of 14 to 12), prone areas, and index pixels were identified. According to the output of the results, most of the iron ferro-silicates are exposed in the northwest of the Karijgan area in the form of veins. In addition, parts of the north and south of the area are also concentrated in silica [3].

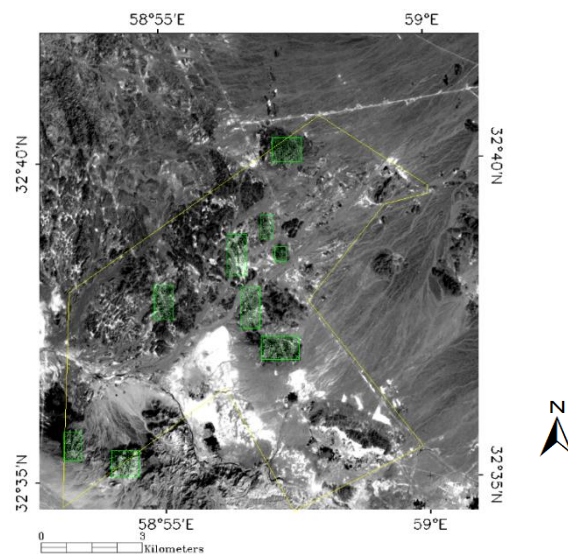
Other applied methods were also used to identify the types of alterations, namely principal component analysis (PCA) and its improved type, selective principal component analysis, or the Crosta technique. In this case, bands 7, 8, and 9 to identify propylitic alterations (Table 1), bands 1, 4, 5, and 7 to identify argillic alterations (Table 2), and bands 1, 5, 6, and 7 to identify areas of phylic alteration (Table 3) were introduced as selected bands by the Crosta method. Therefore, according to the tables, the loading values that show

the highest absorption and reflection in each band can be considered the band that determines the desired alteration [3].

## FINDINGS AND ARGUMENT

### Promising areas and field check

In this section, according to the results and processing done on ASTER data, the potential areas were designed for initial surveys and next exploration operations. Figure 1 shows the location of prone areas for preliminary surveys. After determining promising areas from remote sensing studies, a field check was made for the mentioned areas. With field investigations, it is possible to confirm the existence of metal mineralization, including copper, in accordance with the results obtained from remote sensing studies in the area. In addition, the positions of the identified alterations are also in acceptable agreement with the mentioned results.



**Figure 1.** The position of the identified prone points for the initial survey in the Karijgan area

Finally, samples were taken from prominent outcrops in the region. In this regard, seven samples were selected for X-ray diffraction (XRD) and 34-element analysis (ICP-OES) and sent to Zarazamazengan Laboratory, Zanjan. According to the result extracted from the X-ray diffraction analysis, there was a high agreement between its output and the results of remote sensing studies, and the collected sample was in accordance with the position of argillic alteration identified with the ASTER images of the area. The results of elemental analyses also show the appropriate concentration of copper in some areas identified by remote sensing studies.

## CONCLUSIONS

The studied area, located in the east of Iran, has a very high potential for mineralization, especially copper, due to many tectonic activities. Therefore, in this research, using principal component analysis (PCA) and its improved version (Crosta method), index alterations were identified. Then, by identifying the prone areas and checking the results, key areas were selected to continue the exploration process (survey and preliminary sampling) and process validation. In this case, an andesitic dyke and argillic alteration around it were considered the main targets of the survey. The results of the laboratory analysis showed acceptable compliance with the remote sensing processes, and the results of the studies led to the identification of altered zones, while the field control led to the identification of mineralized zones. As a general conclusion, remote sensing studies can be used as a successful exploratory method. Also, the studied area has the potential for additional exploratory studies.

## REFERENCES

- [1] Richards, J. A., and Jia, X. (2006). *“Remote sensing Digital Image Analysis: An Introduction”*. 4th Ed., Springer.
- [2] Gupta, R. P. (2003). *“Remote Sensing Geology”*. Springer, 45-59.
- [3] Rajendran, S., and Nasir, S. (2018). *“ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman”*. Ore Geology Reviews, 108: 33-53.
- [4] Mirsepahvand, F., Jafari, M. R., Afzal, P., and Arian, M. A. (2022). *“Identification of Alteration Zones using ASTER Data for Metallic Mineralization in Ahar region, NW Iran”*. Journal of Mining and Environment, 13(1): 309-324.
- [5] Fakhari, S., Jafarirad, A., Afzal, P., and Lotfi, M. (2019). *“Delineation of hydrothermal alteration zones for porphyry systems utilizing ASTER data in Jebal-Barez area, SE Iran”*. Iranian Journal of Earth Sciences, 11(1): 80-92.
- [6] Sheikhrasimi, A., Pour, A. B., Pradhan, B., and Zoheir, B. (2019). *“Mapping hydrothermal alteration zones and lineaments associated with orogenic gold mineralization using ASTER data: A case study from the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran”*. Advances in Space Research, 63(10): 3315-3332.
- [7] Rezaei, A., Hassani, H., Moarefvand, P., and Golmohammadi, A. (2020). *“Lithological mapping in Sangan region in Northeast Iran using ASTER satellite data and image processing methods”*. Geology, Ecology, and Landscapes, 4(1): 59-70.
- [8] Zamyad, M., Afzal, P., Pourkermani, M., Nouri, R., and Jafari, M. R. (2019). *“Determination of hydrothermal alteration zones using remote sensing methods in Tirka area, Toroud, NE Iran”*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 47: 1817-1830.
- [9] Pour, A. B., Park, Y., Park, T. Y. S., Hong, J. K., Hashim, M., Woo, J., and Ayoobi, I. (2018). *“Regional geology mapping using satellite-based remote sensing approach in Northern Victoria Land, Antarctica”*. Polar Science, 16: 23-46.
- [10] Mohammadi, N. M., and Hezarkhani, A. (2018). *“Applying different methods of processing satellite images to identify and separate the alteration zones in the Khooni and KalKafi region (Esfahan province)”*. 137-152.
- [11] Jamshid Moghadam, H., Mokhtari, M., Hamidi, H., and Yozbashlo, E. (2023). *“Identification of gold promising areas in Tikmehdash area of Bostanabad using Aster data”*. 11th Iranian Mining Engineering Conference and 7th International Mine & Mining Industries Congress, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- [12] Habashi, J., Oskouei, M. M., and Jamshid Moghadam, H. (2024). *“Classification of ASTER Data by Neural Network to Mapping Alterations Related to Copper and Iron Mineralization in Birjand”*. Journal of Mining and Environment, 15(2): 649-665.
- [13] Geological map 1:100,000 of Khusf, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- [14] Abrams, M., and Yamaguchi, Y. (2019). *“Twenty years of ASTER contributions to lithologic mapping and mineral exploration”*. Remote Sensing, 11(11): 1394.
- [15] Moghadam, H. J., Oskouei, M. M., and Nouri, T. (2020). *“Unmixing of hyperspectral data for mineral detection using a hybrid method, Sar Chah-e Shur, Iran”*. Arabian Journal of Geosciences, 13: 1-17.



## یادداشت فنی

# شناسایی مناطق امیدبخش در محدوده کاریجگان پهنه خوسف - بیرجند با داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور

هادی جمشیدمقدم<sup>۱\*</sup>، ابراهیم یوزباشلو<sup>۲</sup>، رسول دودانگه<sup>۳</sup>، امیرامیرپور<sup>۴</sup>، میترا محمودی<sup>۵</sup>

- ۱- دکتری، گروه مهندسی معدن، رئیس بخش تحقیق و توسعه گروه سرمایه‌گذاری فولادگستر کوثر، تبریز
- ۲- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، مدیر دفتر فنی گروه صنعتی توانگران سهند تبریز، تبریز
- ۳- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، مدیر دفتر فنی گروه سرمایه‌گذاری فولادگستر کوثر، تبریز
- ۴- دکتری، گروه مهندسی معدن، مدیر بخش اکتشافات سرمایه‌گذاری فولادگستر کوثر، تبریز
- ۵- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی معدن، مشاور اکتشافات سرمایه‌گذاری فولادگستر کوثر، تبریز

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

## چکیده

هدف از این مطالعه، به کارگیری داده‌های سنجنش از دور استر برای شناسایی مناطق امیدبخش و طراحی پیمایش مقدماتی هدفمند در محدوده کاریجگان واقع در پهنه خوسف- بیرجند است. بنابراین برای این منظور، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم از قبیل، تصحیحات اتمسفری و توپوگرافی بر روی داده‌ها اعمال گردید، سپس از روش‌های پردازشی مرسوم بر روی داده‌های چندطیفی شامل نسبت‌گیری بانندی، روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و نوع بهبود یافته آن، تحت عنوان روش تحلیل مولفه‌های انتخابی (کروستا)، مناطق امیدبخش شناسایی شدند. در این حالت، با استفاده از روش نسبت‌گیری بانندی مناطق مستعد اکسیدهای آهن، سیلیس، کربنات، کلریت و اپیدوت، آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت، سریسیت، مسکویت، ایلیت و اسمکتیت و با کمک روش کروستا انواع دگرسانی‌های شاخص منطقه (پروپیلیتیک، آرژیلیک و فیلیک) مشخص گردید. در نهایت، با تلفیق نتایج یاد شده، مناطق امیدبخش جهت پیمایش‌های اولیه شناسایی شد. یک بازدید میدانی و نمونه‌برداری از مناطق شناسایی شده، برای اعتبارسنجی نتایج پردازش‌ها انجام گرفت و نتایج آنالیز نمونه‌ها به روش ICP-OES و پراش اشعه ایکس (XRD) تطابق و صحت مناسبی را با نتایج حاصل از پردازش محدوده کاریجگان با استفاده از داده‌های سنجنش از دور نشان داد.

## کلمات کلیدی

کاریجگان، سنجنش از دور، استر، کروستا، دگرسانی.

## استناد به این مقاله

جمشیدمقدم، ه.، یوزباشلو، ا.، دودانگه، ر.، امیرپور، ا.، محمودی، م.؛ ۱۴۰۴؛ "شناسایی مناطق امیدبخش در محدوده کاریجگان پهنه خوسف - بیرجند با داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره دهم، شماره ۱، ص ۴۰-۲۱.

DOI: 10.30479/jmre.2024.19176.1658





## ۱- مقدمه

نیز از روش‌های نسبت‌گیری باندی، نقشه بردار زاویه طیفی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد [۷]. علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از پژوهش‌ها در زمینه استفاده از داده‌های استر در شناسایی دگرسانی‌ها و عوارض سطح زمین در نقاط مختلف را در [۲۴-۸] می‌توان بیان کرد.

## ۲- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

این محدوده از لحاظ ساختاری در مرز باختری زون جوش خورده سیستان و مرز خاوری پهنه لوت قرار دارد. بسیاری از کانی‌زایی‌های فلزی، از جمله کانسارهای مس پورفیری نظیر ماهرآباد، کانسار رگه‌ای مس-طلای همراه با اکسید آهن قلعه زری، در ارتباط مستقیم با فعالیت‌های ماگمایی ترشیاری بلوک لوت و زون جوش خورده سیستان هستند. محدوده مورد نظر نیز از لحاظ زمین‌شناسی عمومی و واحدهای زمین‌شناسی تابع شرایط زمین‌شناسی این دو پهنه است. واحدهای سنگی این محدوده بر اساس نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار خوسف، شامل نهشته‌های آذرآواری ایگنمبریتی، توف و توف-برش به همراه فازهای آتشفشانی با ترکیب داسیتی، آندزیتی و پیروکسن آندزیتی با سن ائوسن-الیگوسن گزارش شده است. این واحدها به وسیله ساختارهای دایک مانند به عنوان دایک‌های حد واسط قطع می‌شوند. به طور کلی روند اصلی این ساختارهای دایک مانند شمال باختری-جنوب خاوری است. علاوه بر این، پهنه‌های برشی، برشی سیلیسی شده و ژاسپروئیدی در محدوده رخنمون دارند که به علت مقاومت زیاد در مقابل فرسایش، مورفولوژی برجسته دارند. وجود رگه‌های سیلیسی ژاسپروئیدی در محدوده شاید بتواند به عنوان یکی از نشانه‌های کانی‌زایی طلا در منطقه محسوب گردد. همچنین، وجود پهنه‌های برشی کربناته در محدوده که دارای آثاری از کانی‌زایی مس اکسیدی است نیز ممکن است نمایانگر کانی‌زایی در این محدوده اکتشافی باشد [۲۵].

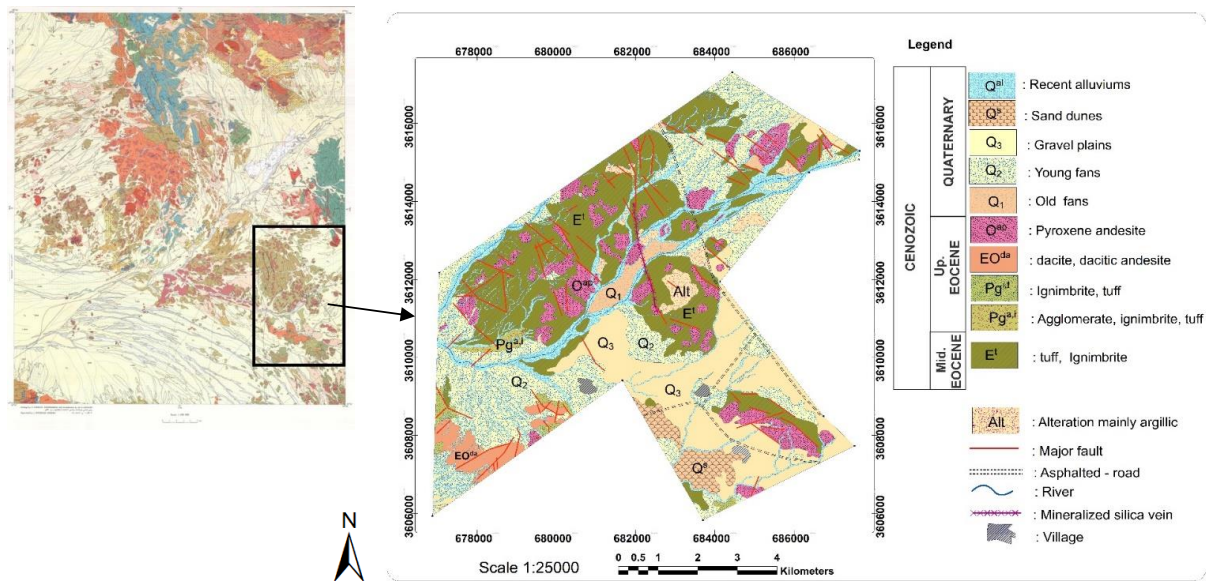
از طرف دیگر، مخروط‌های افکنه، پادگانه‌های آبرفتی و دشت‌های شن و ماسه‌ای از جمله جوانترین واحدهای زمین‌شناسی در این محدوده هستند. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را بر روی ورقه یکصد هزار خوسف نشان می‌دهد [۲۵].

## ۳- داده‌های مورد استفاده

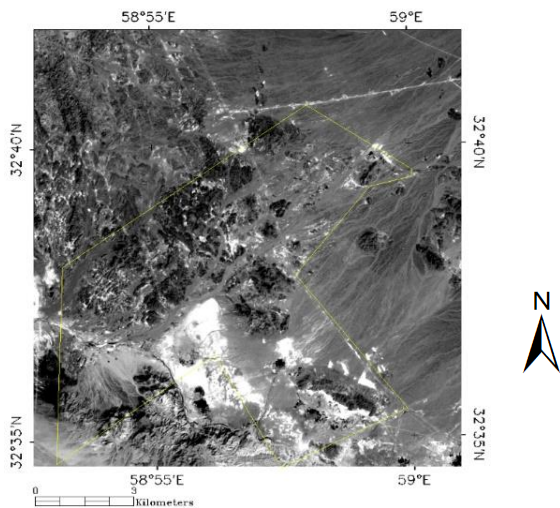
سنجنده استر یکی از ۵ سنجنده ماهواره ترا است که در سال ۱۹۹۹ میلادی توسط ناسا به فضا پرتاب شد. این سنجنده

مطالعات سنجش از دور مهم‌ترین ابزار در کاهش هزینه و افزایش سرعت پی‌جویی‌ها برای اکتشاف مواد معدنی است. این روش با معرفی آلتراسیون‌ها و مطالعه کانی‌شناسی منطقه، اطلاعات بسیار مفیدی در خصوص هدایت مطالعات صحرایی و برداشت نمونه‌ها و تحلیل‌ها و در نتیجه رد یا قبول یک منطقه به عنوان کانسار دارد. در این بین، داده‌های سنجش از دور توانایی زیادی برای شناخت نواحی دگرسان شده مربوط به توده‌های کانساری و در نتیجه اکتشاف ذخایر به ویژه در نواحی کوهستانی دارند [۲، ۱].

در پژوهش حاضر، از داده‌های چندطیفی استر به منظور پردازش و شناسایی مناطق امیدبخش در محدوده کاریجگان واقع در ورقه یکصد هزار خوسف در استان خراسان جنوبی استفاده شد. یک مرور جامعی از انواع روش‌های پردازشی معرفی شده تا به امروز بر روی داده‌های ماهواره استر در سال ۲۰۱۸ توسط راجندران و ناصر ارایه گردید [۳]. در سال ۲۰۲۲، یک بررسی بر روی داده‌های استر جهت یافتن پتانسیل‌های فلزی در برگه یکصد هزار اهر صورت گرفت. در این مطالعه، از روش‌های برازش کمترین مربعات، اندازه‌گیری زاویه طیفی و فیلتر کردن همسان جهت تشخیص و جدایش زون‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی فلزی از یکدیگر استفاده شد [۴]. علاوه بر این، مطالعه‌ای نیز در سال ۲۰۱۹ برای شناسایی و تشخیص زون‌های آلتراسیونی مرتبط با سیستم پورفیری بر اساس داده‌های استر در منطقه جبال-بارز، جنوب شرقی ایران صورت گرفت [۵]. همچنین، شیخ رحیمی و همکاران در سال ۲۰۱۹، از داده‌های استر جهت نقشه‌برداری کانی‌های آلتراسیونی هیدروترمال و تفکیک بهتر ویژگی‌های ساختاری زمین‌شناسی مرتبط با رخدادهای کانی‌زایی طلا در زون سنندج-سیرجان استفاده کردند. در این حالت، از روش نسبت‌گیری باندی و آنالیز تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، برای تعیین واحدهای سنگ‌شناسی و از روش‌های طبقه‌بندی نظارتی همچون نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) و واگرایی اطلاعات طیفی (SID) برای شناسایی تفاوت بین کانی‌های آلتراسیونی شاخص مرتبط با مکان واقعی طلا در منطقه استفاده شد [۶]. رضایی نیز در سال ۲۰۲۰ از روش‌های سنجش از دور و بر پایه خروجی نتایج حاصل از پردازش داده‌های استر یک نقشه زمین‌شناسی از منطقه سنگان واقع در جنوب شرقی خراسان رضوی، ایران تهیه کرد. برای دستیابی به این مقصود



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه یکمصد هزار خوسف [۲۵] همراه با نقشه ۱:۲۵۰۰۰ محدوده کاریجگان



شکل ۲: تصویر بانده ۱ استر از محدوده مورد مطالعه

با همکاری ناسا و سازمان فضایی کشور ژاپن برای مطالعات علوم زمین طراحی و بر روی ماهواره ترا قرار گرفت.

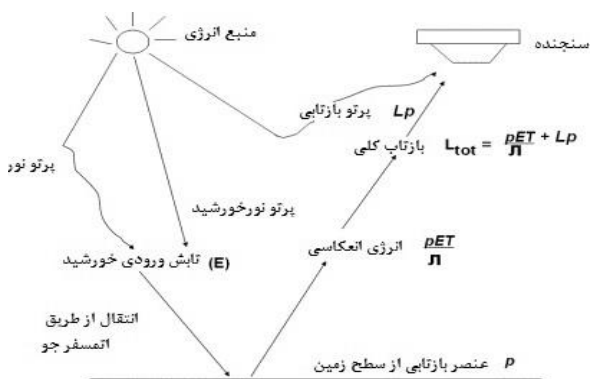
باندهای مادون قرمز دور آن دارای ۶ باند است که برای کاربردهای زمین شناسی (به ویژه کانی شناسی) بسیار کاربردی است. ۵ باند حرارتی نیز برای برآورد دقیق دمای سطح زمین و اندازه گیری پدیده های مختلف استفاده می شود. از لحاظ رادیومتریکی، تصاویر مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز دور به صورت ۸ بیتی و تصاویر مادون قرمز حرارتی به صورت ۱۱ بیتی طراحی شده که امکان افزایش دقت رادیومتریکی و مکانی باندهای حرارتی آن را فراهم کرده است [۲۶-۲۸].

تنوع باندهای کاربردی استر باعث شده تا با استفاده از ساده ترین پردازشها مانند شاخص های طیفی، روش های نسبت گیری، تجزیه مولفه های اصلی و نظایر آن، اطلاعات بسیار مهم و با ارزشی در ارتباط با کانی های مختلف سطح زمین استخراج شود [۲۶-۲۸]. در مطالعه حاضر، از داده های LIT سنجنده استر جمع آوری شده در تابستان سال ۲۰۰۳ استفاده شده است. ویژگی این داده ها، عدم حضور ابر در تصاویر به عنوان عامل مزاحم و وجود تمام باندهای طیفی است. شکل ۲، تصویر بانده ۱ استر، به همراه موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.

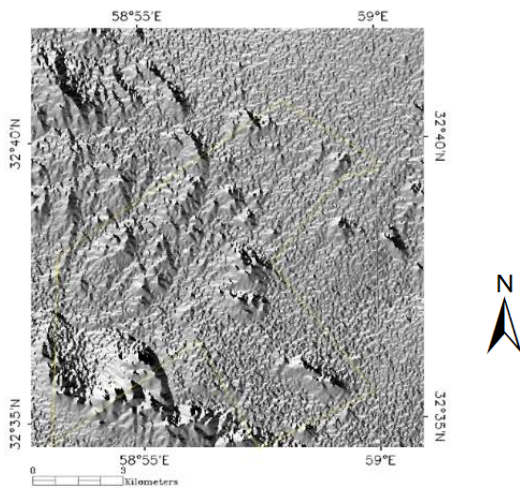
#### ۴- پیش پردازش داده ها

انرژی انعکاسی که به وسیله سنجنده های نصب شده بر روی

هوایما یا ماهواره ثبت می شود، یک بار در گذر از خورشید به سطح زمین و بار دیگر پس از انعکاس از سطح زمین و برگشت به سوی سنجنده، از جو عبور می کند. تابش الکترومغناطیس در گذر از جو با مواد معلق در هوا، پوشش ابر، بخار آب و مولکول های سازنده جو برخورد می کند. این عمل متقابلا با دو فرآیند پراکنش و جذب جو بررسی می شود. فرآیند پراکنش باعث تغییر مسیر تابش می شود و فرآیند جذب انرژی تابشی الکترومغناطیسی را به انرژی ذاتی مولکول جذب کننده تبدیل می کند [۲۹].



شکل ۳: اثرات اتمسفر بر امواج دریافتی سنجنده [۳۰]



شکل ۴: شیب و آزیموت استخراج شده از تصویر ارتفاعی DEM منطقه مورد مطالعه

که در آن:

$\rho_H$ : انعکاس از سطح افقی

$\rho_T$ : انعکاس دریافتی از سطح شیب دار

$\theta_z$ : زاویه زنیت خورشید

$IL$ : مقدار روشنایی منطقه است [۳۳].

به عنوان یک نتیجه‌گیری نهایی، شکل ۵ طیف یک پیکسل از تصویر منطقه مورد مطالعه را قبل و بعد از اعمال پیش پردازش‌های لازم نشان می‌دهد.

#### ۵- پردازش داده‌ها

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نسبت‌گیری بانندی (BR)<sup>۲</sup> طیف‌های مختلف است. انتخاب

در این پژوهش، از روش تصحیح اتمسفری سریع یا QUAC<sup>۱</sup> استفاده شد، که یک روش تصحیح اتمسفری در ناحیه VNIR-SWIR برای تصاویر است. بر خلاف سایر روش‌های تصحیح اتمسفری، این روش پارامترهای تصحیح اتمسفر را مستقیماً از اطلاعات داخل خود تصویر و بدون کمک گرفتن از اطلاعات فرعی تعیین می‌کند. شکل ۳، به صورت شماتیک تاثیر اثرات اتمسفری را بر روی امواج دریافتی از سنجنده را نشان می‌دهد [۳۰].

علاوه بر این، در این مطالعه، از ابزار کالیبراسیون لگاریتمی باقیمانده‌ها<sup>۲</sup> برای انجام تصحیح استفاده شد. ابزار کالیبراسیون لگاریتمی باقیمانده‌ها یک تکنیک پیش‌پردازش مفید برای داده‌ها است که امکان استخراج و تحلیل ویژگی‌های جذبی مرتبط با مواد معدنی را فراهم می‌کند. با حذف اثرات مختلف از داده‌ها، تصویر غیرواقعی بازتابی ایجاد می‌شود که تحلیل بیشتری را ممکن می‌سازد [۳۱، ۳۲].

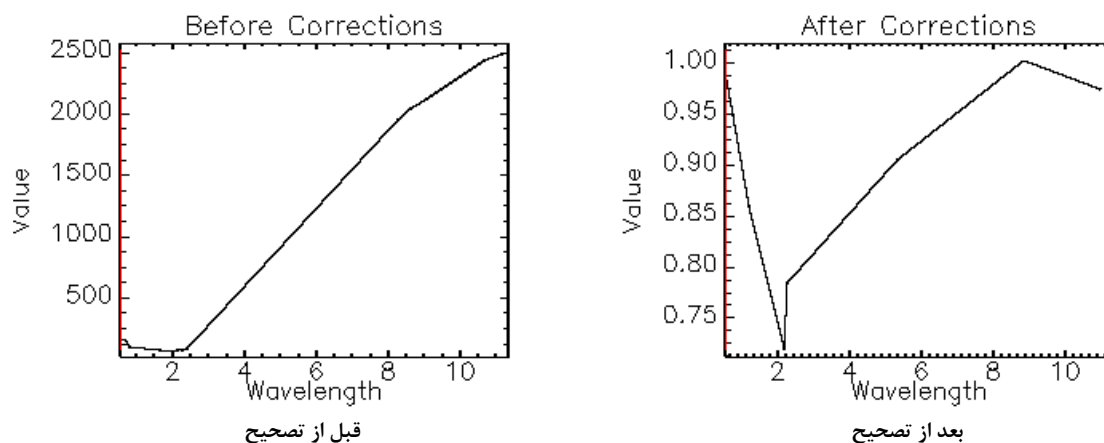
از طرف دیگر، به دلیل ناهمواری سطح زمین همه نقاط به یک اندازه در معرض تابش آفتاب قرار ندارند و این باعث می‌شود که امواج دریافتی توسط سنسور که از سطح زمین انعکاس می‌یابند، برای یک ترکیب زمین‌شناسی مشابه، در نقاط مختلف متفاوت باشد. به طوری که در مناطق سایه‌دار انعکاس کمتر از مقدار انتظار خواهد بود، بنابراین با توجه به توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و به دلیل وجود اثرات سایه ناشی از توپوگرافی، تصحیح آن امری ضروری است [۳۳-۳۵].

به طور کلی، انجام این کار نیازمند داده‌های ارتفاعی رقومی<sup>۳</sup> DEM منطقه است. در این گزارش، از داده‌های DEM با اندازه پیکسل‌های ۳۰ متر استفاده شد، سپس با استفاده از نرم‌افزار انوی (ENVI)، شیب و آزیموت از تصویر DEM استخراج گردید. شکل ۴، شیب و آزیموت استخراج شده از تصویر DEM منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، محدوده مورد مطالعه، پستی و بلندی یکنواختی ندارد، بنابراین در این حالت، انجام تصحیح توپوگرافی قبل از شروع پردازش‌ها ضروری است. در نهایت، به روش تصحیح کسینوس (لامبرتین) در محیط برنامه‌نویسی IDL<sup>TM</sup> فرآیند تصحیح انجام گرفت. به طور کلی، روش کسینوس بر اساس روابط زیر قابل انجام است:

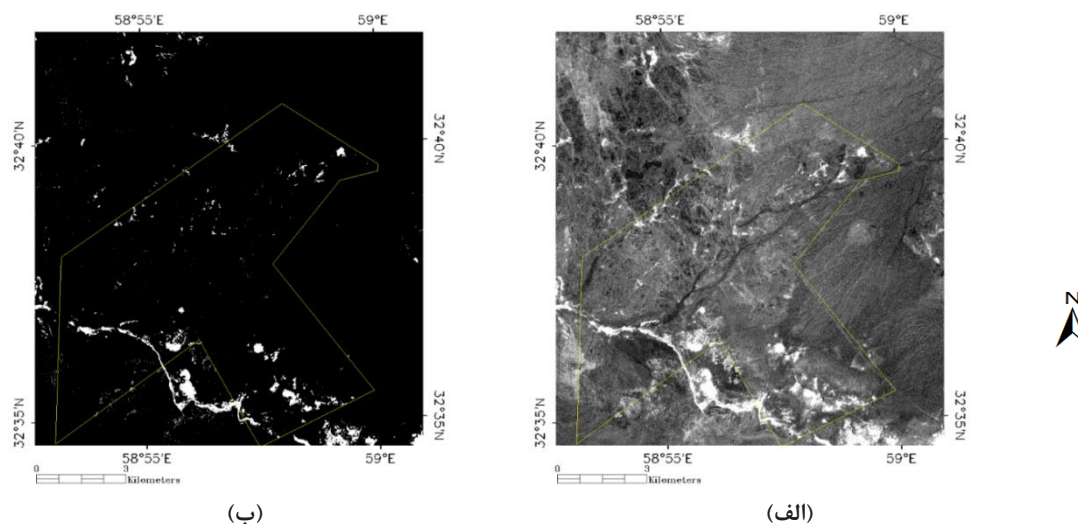
$$\rho_H = \rho_T \left( \frac{\cos \theta_z}{IL} \right) \quad (1)$$

$$IL = \cos \gamma_i = \cos \theta_p \cos \theta_z + \sin \theta_z \sin \theta_p \cos(\varphi_a - \varphi_0) \quad (2)$$





شکل ۵: موقعیت طیف یک پیکسل قبل و بعد از اعمال تصحیحات لازم



شکل ۶: موقعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص پوشش گیاهی نرمال شده: الف) در حالت کلی، ب) بر اساس پیکسل‌های خالص

حالت کلی و زمانی که فقط پیکسل‌های کاملاً خالص در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. با توجه به خروجی نتایج حاصل از شاخص، میزان پوشش گیاهی منطقه محسوس نیست و بیشتر در حاشیه یک رسوبات آبراهه ای بزرگ محدوده متمرکز است، بنابراین تاثیر چندانی در پردازش‌های بعدی نخواهند داشت. در این حالت می‌توان در صورت تداخل با سایر عارضه‌ها یا ویژگی‌ها، موقعیت یاد شده به عنوان پوشش گیاهی در نظر گرفته نشوند [۳].

در ادامه پردازش محدوده کاریجگان، با هدف اکتشاف کانی‌زایی‌های فلزی در منطقه، در ابتدا به کمک شاخص‌های باندی مرتبط با اکسیدهای آهن (نسبت باندی ۲ به ۱)

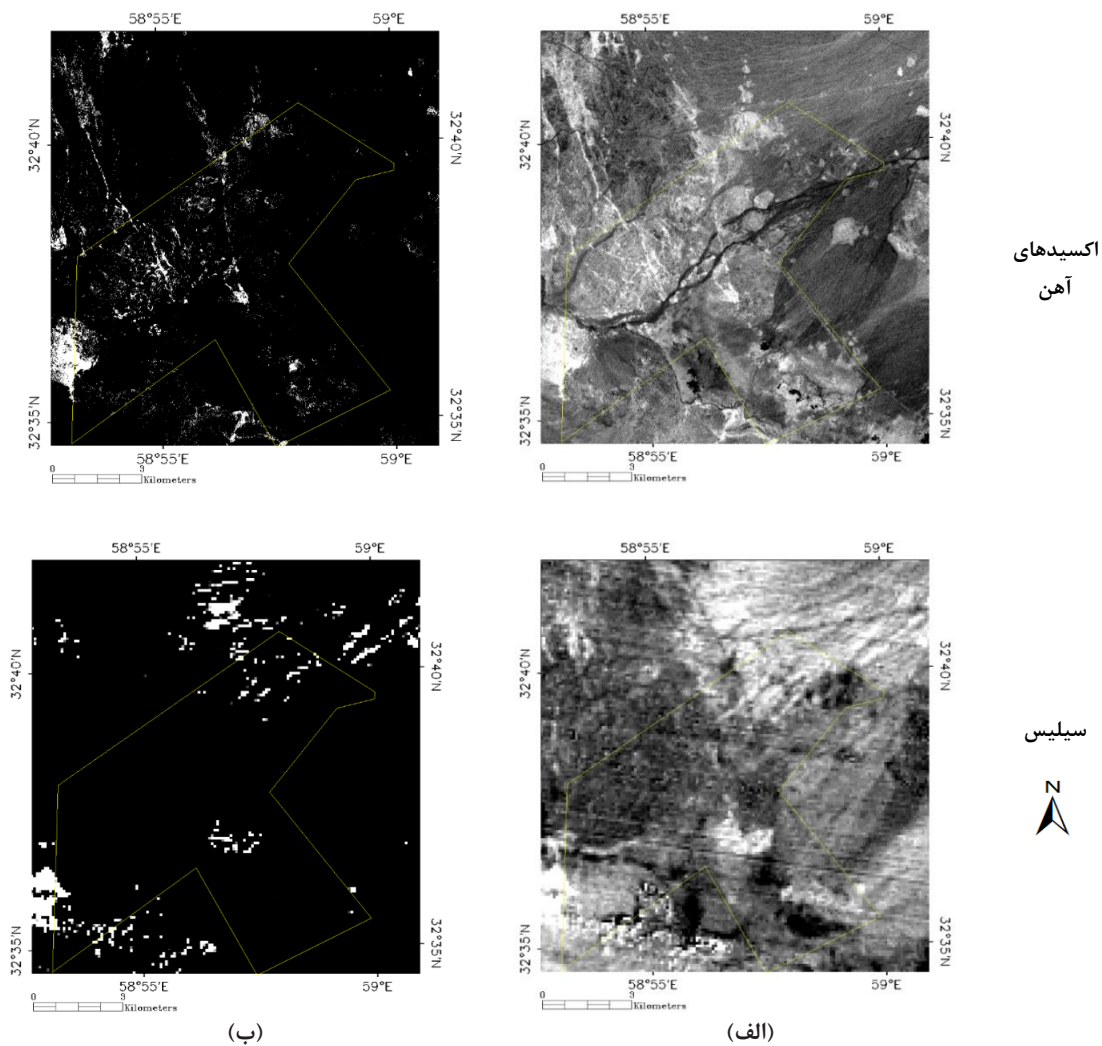
باندها برای تصاویر نسبتی، وابسته به مشخصات مواد سطحی مورد نظر است. معمولاً برای صورت کسر، باندی انتخاب می‌شود که مواد سطحی انعکاس زیادی در آن باند دارند و برای مخرج کسر، باندی اختصاص داده می‌شود که پوشش جذبی زیادی برای مواد دارد [۳۶، ۳۷].

بعد از پیش‌پردازش و تصحیح داده‌ها، یک بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، در انجام درست پردازش‌ها می‌تواند کمک کننده باشد، بنابراین از یکی شاخص‌های طیفی گیاهی ارایه شده تا به امروز، به نام شاخص پوشش نرمال شده  $(NDVI = (3-2/3+2))$ ، برای این مقصود استفاده شد. شکل ۶ موقعیت شاخص پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در دو

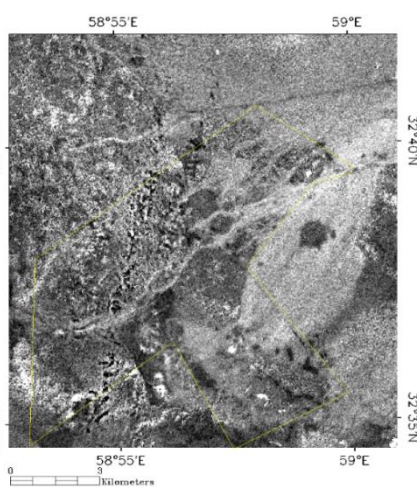
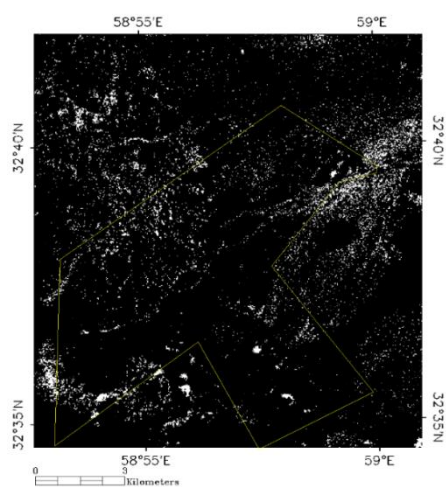
مشخص کردن مناطق شاخص کربناته و تا حدودی معرف آلتراسیون پروپیلیتیک، نسبت بانندی آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت به عنوان معرف آلتراسیون آرژیلیکی و نسبت بانندی سریسیت، مسکویت، ایلیت و اسمکتیت نیز به عنوان معرف آلتراسیون فیلیک استفاده شد. شکل ۸ موقعیت این مناطق را نشان می‌دهد. با بررسی نتایج نسبت‌های بانندی یاد شده می‌توان مشاهده کرد که نسبت بانندی کربناته که معرف آلتراسیون پروپیلیتیک است، گستردگی زیاد در محدوده کاریجگان نشان می‌دهد و دو نسبت دیگر که معرف آلتراسیون‌های آرژیلیکی و فیلیک هستند در محدوده قابل رویت است و این دو دگرسانی تا حدودی با یکدیگر همپوشانی دارند. در این حالت، موقعیت این دگرسانی‌ها می‌تواند کلید اکتشافی مهمی برای شروع عملیات پی‌جویی و شناسایی در نظر گرفته شود.

و سیلیس (نسبت بانندی ۱۴ به ۱۲)، مناطق مستعد و پیکسل‌های شاخص مرتبط با آنها شناسایی گردید. شکل ۷ موقعیت این اکسیدها را در منطقه کاریجگان نشان می‌دهد. با توجه به خروجی نتایج، بیشتر فروسیلیکات‌های آهن منطقه، در شمال غربی محدوده کاریجگان به صورت رگه و رگچه و بخش‌هایی از شمال و جنوب محدوده نیز با سیلیس تمرکز دارند. اکسیدهای مذکور و سیلیس می‌توانند به عنوان نشانه‌های بارزی برای شناسایی مناطق کانی‌زایی فلزی از قبیل طلا و مس در نظر گرفته شوند.

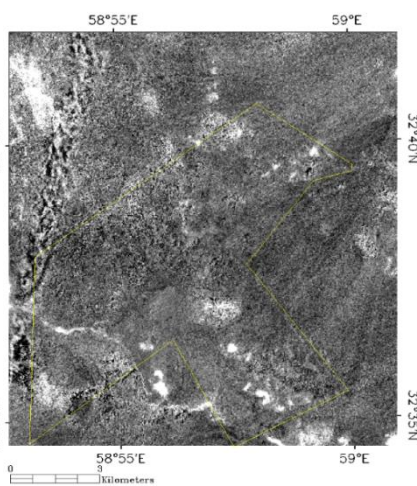
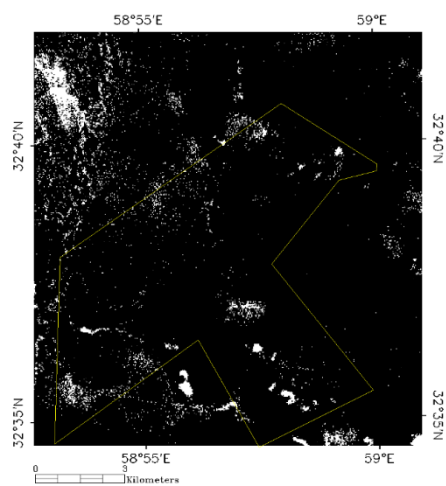
علاوه بر این، از نسبت‌های بانندی دیگری که تا حدودی معرف آلتراسیون‌های بارز منطقه در نظر گرفته می‌شوند، نیز برای بررسی و شناسایی نقاط مستعد پیمایش استفاده گردید. در این حالت، از نسبت بانندی کربنات، کلریت و اپیدوت برای



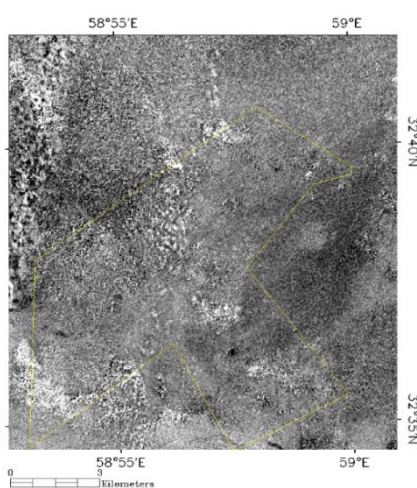
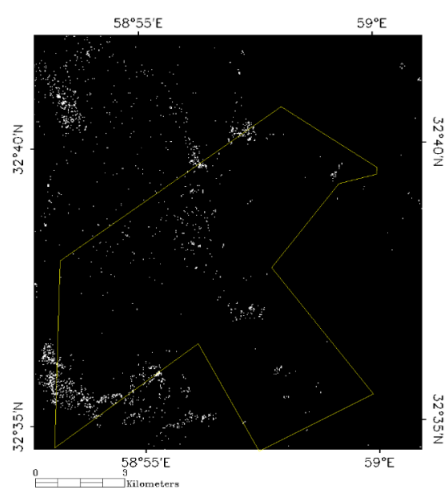
شکل ۷: نسبت‌های بانندی استفاده شده برای شاخص اکسیدهای آهن و سیلیس؛ (الف) در حالت کلی، (ب) بر اساس پیکسل‌های خالص



کربنات، کلریت و  
اپیدوت



آلونیت، کائولینیت و  
پیروفیلیت



سرسیت، مسکویت،  
ایلپیت و اسمکتیت



(ب)

(الف)

شکل ۸: نسبت‌های باندی استفاده شده برای نسبت‌های باندی مرتبط با دگرسانی مختلف؛ (الف) در حالت کلی، (ب) بر اساس پیکسل‌های خالص

تمام باندها، تعداد محدودی از باندها که حاوی عوارض طیفی (جذب و انعکاس شدید) ماده مورد نظر هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از تاثیر سایر مواد (مثل پوشش گیاهی) در نتیجه نهایی جلوگیری شود [۳۹،۳۸].

در این مطالعه، روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی باندهای انتخابی به منظور انجام روش کروسا اعمال و نتایج لودینگ استخراج شده برای هر باند محاسبه شد. در این حالت، باندهای ۷، ۸ و ۹ به منظور شناسایی مناطق دگرسانی پروپیلیتیک (جدول ۱)، باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ به منظور شناسایی مناطق دگرسانی آرژیلیکی (جدول ۲) و باندهای ۱، ۵، ۶ و ۷ به منظور شناسایی مناطق دگرسانی فیلک (جدول ۳) به عنوان باندهای انتخابی به روش کروسا معرفی گردیدند. از این رو، با توجه به جداول، مقادیر لودینگ که بیشترین جذب و انعکاس را در هر باند نشان می‌دهد، می‌تواند به عنوان باند تعیین‌کننده دگرسانی مورد نظر در نظر گرفته شود. شکل ۹، موقعیت دگرسانی‌های یاد شده را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این حالت، دگرسانی پروپیلیتیک نسبت به حالت قبل پراکندگی کمتری دارد. علاوه بر این، موقعیت‌های شناسایی شده برای آلتراسیون آرژیلیکی به نسبت روش نسبت‌گیری باندی خطای کمتر و دقت بیشتری دارد، بنابراین می‌توان موقعیت آن را جهت طراحی پی‌جویی‌های آتی در نظر گرفت.

جدول ۱: نتایج لودینگ به دست آمده برای شناسایی دگرسانی پروپیلیتیک

بیشترین اختلاف	باند ۹	باند ۸	باند ۷	
۰٫۰۸۸۴۳۹	۰٫۵۱۸۰۷۴	۰٫۶۰۶۵۱۳	۰٫۶۰۳۱۱	مولفه ۱
۱٫۲۶۶۴۲۷	-۰٫۴۷۳۶۹۹	-۰٫۳۸۳۶۵۵	۰٫۷۹۲۷۲۸	مولفه ۲
۱٫۴۰۸۵۷	۰٫۷۱۲۱۸۶	-۰٫۶۹۶۳۸۴	۰٫۰۸۸۵۴۲	مولفه ۳

در ادامه برای بررسی و تایید نتایج قبلی، از روش‌های کاربردی دیگر نیز در امر شناسایی انواع دگرسانی‌ها، تحت عنوان روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و نوع بهبود یافته آن، تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی یا کروسا استفاده گردید. به طور کلی، اطلاعات باندهای مختلف تصاویر چندطیفی سنجش از دور غالباً همبستگی دارند. معمولاً همبستگی منفی ما بین باندهای مرئی و مادون قرمز و مثبت بین باندهای مرئی بر روی پوشش‌های خاکی و سنگی وجود دارد. وجود همبستگی بین تصاویر باندهای چندطیفی حکایت از وجود اطلاعات مشترک و یا به عبارت دیگر تکرار اطلاعات است. برعکس این موضوع نیز صادق است که وجود اطلاعات مشترک در باندها به صورت همبستگی بین آن‌ها ظاهر می‌شود. آنالیز مولفه‌های اصلی در اصل برای فشرده‌سازی داده‌ها به کار می‌رود، ولی در سنجش از دور، برای حذف اطلاعات تکراری و یا اضافی طیفی و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم و بیش همبستگی دارند، در یک باند با مقیاس بالا به کار می‌رود. تبدیل مولفه‌های اصلی، یک تبدیل خطی است که در آن محورهای مختصات فضایی چندباندی، به گونه‌ای می‌چرخند که اولین محور در راستای حداکثر واریانس ارزش‌های باندها و دومین محور عمود بر محور اول و در راستای واریانس باقیمانده قرار می‌گیرد و به این ترتیب از تعداد  $n$  باند شرکت‌کننده در این تبدیل،  $n$  باند جدید ایجاد می‌شود که همبستگی بالایی با یکدیگر ندارند. در این حالت، در PC‌های پایین‌تر نویز افزایش یافته و تصویر حالت از هم پاشیده‌ای پیدا می‌کند. نوع بهبود یافته این روش، به نام روش تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی یا کروسا، روشی بر مبنای تحلیل مولفه‌های اصلی برای به نقشه درآوردن دگرسانی‌های مختلف و کانی‌های شاخص آن‌ها است. این تکنیک برای اولین بار توسط کروسا و مور در سال ۱۹۸۹ پیشنهاد گردید، به طوری که بتوان یک هدف خاص را در یکی از تصاویر مولفه اصلی با پیکسل‌های روشن و نسبت به سایر پدیده‌ها نشان داد. در این روش، به جای اعمال تحلیل مولفه‌های اصلی روی

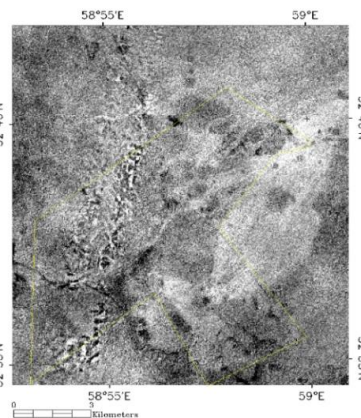
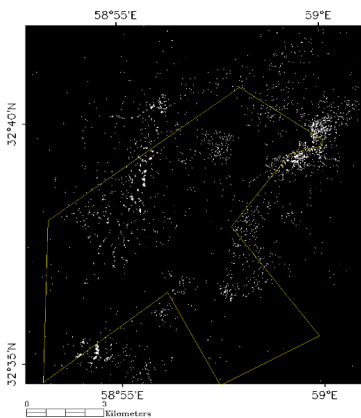
جدول ۲: نتایج لودینگ به دست آمده برای شناسایی دگرسانی آرژیلیک

بیشترین اختلاف	باند ۷	باند ۵	باند ۴	باند ۱	
۰٫۲۱۸۳۴۶	-۰٫۵۳۶۹۶۲	-۰٫۵۴۷۸۳۹	-۰٫۵۴۹۴۶۱	-۰٫۳۳۱۱۱۵	مولفه ۱
۱٫۱۸۹۶۷۱	۰٫۱۶۷۲۰۹	۰٫۲۴۸۴۱۹	۰٫۱۵۶۱۲۳	-۰٫۹۴۱۲۵۲	مولفه ۲
۱٫۴۱۱۴۴۳	۰٫۶۸۳۲۶۸	۰٫۰۵۱۹۷۷	-۰٫۷۲۸۱۷۵	۰٫۱۴۳۱۷	مولفه ۳
۱٫۲۶۲۸۳۸	۰٫۴۶۵۶۸۱	-۰٫۷۹۷۱۵۷	۰٫۳۷۸۷۸۶	-۰٫۰۶۴۸۳۴	مولفه ۴

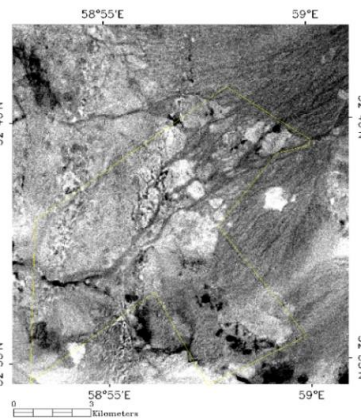
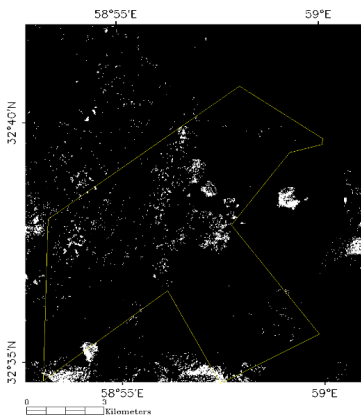


جدول ۳: نتایج لودینگ به دست آمده برای شناسایی دگرسانی فیلیک

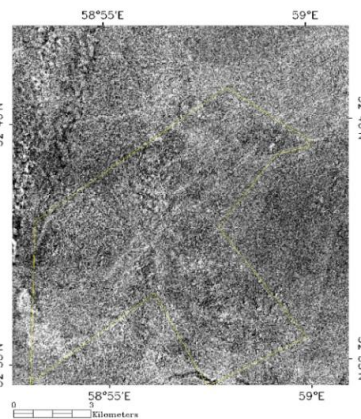
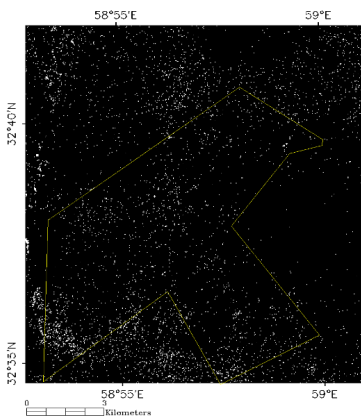
بیشترین اختلاف	باند ۷	باند ۶	باند ۵	باند ۱	مولفه
۰٫۲۲۰۷۷۲	-۰٫۵۴۱۴۷	-۰٫۵۴۰۳۲	-۰٫۵۵۲۲۵۴	-۰٫۳۳۱۴۸۲	۱
۱٫۱۷۴۷۷۴	۰٫۱۵۲۷۵۲	۰٫۱۸۷۰۶۳	۰٫۲۳۲۶۸۵	-۰٫۹۴۲۰۸۹	۲
۱٫۳۳۸۰۷۸	-۰٫۸۱۲۴۱۳	۰٫۲۴۷۸۳۸	۰٫۵۲۵۶۶۵	۰٫۰۴۷۳۱۸	۳
۱٫۳۸۵۸۵۳	۰٫۱۵۳۱۷۶	-۰٫۷۸۲۰۷۳	۰٫۶۰۳۷۸	۰٫۰۱۸۶۷۳	۴



دگرسانی پروپیلیتیک



دگرسانی آرزلیک



دگرسانی فیلیک



(ب)

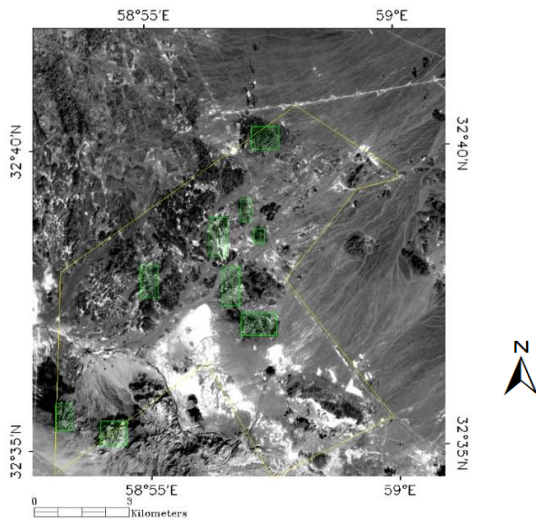
(الف)

شکل ۹: انواع دگرسانی‌های استخراج شده به کمک روش کروسا در محدوده کاریجان؛ (الف) در حالت کلی، (ب) بر اساس پیکسل‌های خالص

## ۶- تعیین مناطق امیدبخش و بازدید میدانی

در این بخش با توجه به خروجی نتایج و پردازش‌های صورت گرفته بر روی داده‌های استر، به طراحی مناطق مستعد پیمایش برای انجام پیمایش‌های اولیه و ادامه عملیات اکتشاف اقدام می‌شود. شکل ۱۰، موقعیت مناطق مستعد جهت پیمایش‌های مقدماتی را نشان می‌دهد.

بعد از تعیین مناطق امیدبخش حاصل از مطالعات سنجش از دوری، به بازدید صحرایی از مناطق یاد شده اقدام شد. با بررسی‌های صحرایی صورت گرفته، می‌توان وجود کانی‌زایی‌های فلزی از جمله مس منطبق با نتایج به دست آمده از مطالعات دورسنجی را در منطقه مورد مطالعه تایید کرد. علاوه بر این، موقعیت دگرسانی‌های شناسایی شده نیز انطباق قابل قبولی با نتایج یاد شده دارند. شکل ۱۱، موقعیت رخنمون‌های برخی از ساختارهای حاوی کانی‌زایی، موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: موقعیت نقاط مستعد شناسایی شده برای پیمایش اولیه در محدوده کاریجگان



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱۱: موقعیت رخنمون‌های برخی از ساختارهای حاوی کانی‌زایی، موجود در منطقه مورد مطالعه: (الف) ساختار دایک مانند با روند کلی شمال باختر- جنوب خاوری (دب) عکس به سمت شمال باختری، (ب) ساختار برشی سیلیسی شده، (ج) دگرسانی لیمونیتی- آرژیلیکی در حاشیه دایک‌های مافیک کانه‌دار، (د) پهنه‌های برشی کربناته با آثاری از کانی‌زایی مس

در نهایت، همزمان با پیمایش مناطق امیدبخش تعیین شده بر اساس مطالعات سنجش از دور، به نمونه برداری از رخنمون‌های بارز منطقه اقدام گردید. در این راستا، تعداد ۷ نمونه شاخص با مشخصات مندرج در جدول ۴، برای انجام آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) و آنالیز ۳۴ عنصری (ICP-OES) انتخاب و به آزمایشگاه زرآزمائنگان زنگان، ارسال گردید. با توجه به نتیجه استخراج شده از آنالیز پراش اشعه ایکس، انطباق بالایی بین خروجی آن با نتایج مطالعات سنجش از دور برقرار بود و نمونه برداشت شده هم راستا با موقعیت دگرسانی آرژیلیکی شناسایی شده با تصاویر استر منطقه بود. جدول ۵ فازهای کانیاپی شناسایی شده از طیف پراش اشعه

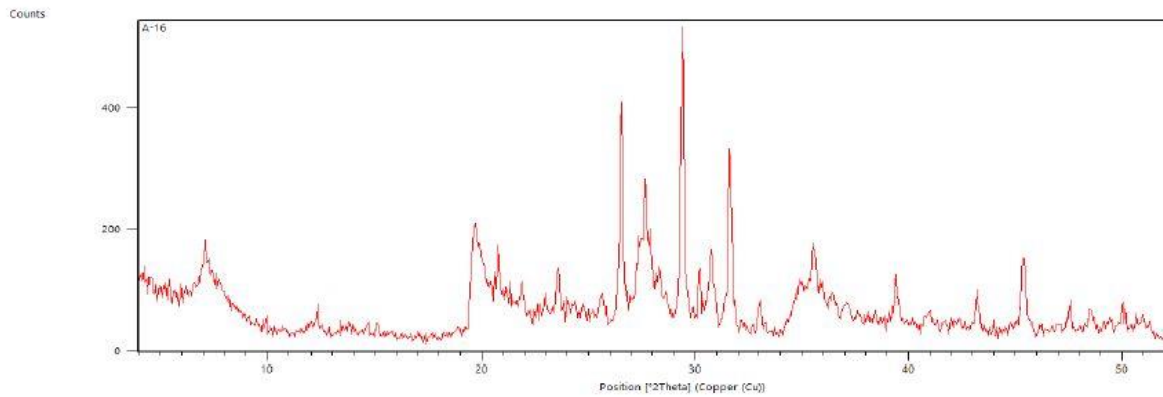
یکس در نمونه برداشت شده در منطقه مستعد آلتراسیون آرژیلیکی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، در شکل ۱۲، طیف استخراج شده به روش XRD نمونه برداشت شده از محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیزهای عنصری نیز نشان از تمرکز مناسب عنصر مس در برخی از مناطق شناسایی شده به وسیله مطالعات سنجش از دور را دارد (جدول ۶)، که انجام مراحل بیشتر اکتشافی از قبیل مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در این منطقه را نشان می‌دهد. در شکل ۱۳، موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. علاوه بر این، شکل ۱۴، برخی از نمونه‌های برداشت شده به صورت شماتیک را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مشخصات نمونه‌های برداشت شده در پیمایش اولیه محدوده کاریجگان

شماره نمونه	مشخصات نمونه برداشت شده
NO.1	یک دم سیلیسی شده ولکانیکی، با آلتراسیون آرژیلیکی متوسط تا شدید همراه با اکسیدهای آهن، کانی ملاکیت در متن نمونه قابل رویت است.
NO.2	برش ولکانیکی با یک آلتراسیون کربناته-سیلیکانه
NO.3	یک رگه به شدت سیلیسی شده با ضخامتی در حدود ۱ تا ۲ متر، در داخل واحدهای ولکانیکی، دارای اکسیدهای آهن همراه با ژاسپروئید، قرمز تا قهوه ای، به مقدار کم سولفور
NO.4	کانی زایی ملاکیتی در یک دایک آندزیتی
NO.5	یک رگه شدیداً سیلیسی شده با ضخامتی در حدود ۲ تا ۵ متر، در داخل یک واحد ولکانیکی به شدت برشی شده، دارای اکسیدهای آهن همراه با ژاسپروئید، قرمز تا قهوه‌ای، موقعیت نمونه برداشت شده در نزدیکی یک آلتراسیون شدیداً آرژیلیکی
NO.6	نمونه سیلیسی شده، همراه با رگه ژاسپروئیدی و یک رگه سیلیسی ثانویه
NO.7	یک رگه شدیداً سیلیسی شده به ضخامت حدوداً ۱ تا ۲ متر در داخل واحدهای ولکانیکی، به شدت برشی شده، دارای اکسیدهای آهن همراه با ژاسپروئید، قرمز تا قهوه‌ای، طول رگه حدوداً ۱۰۰ متر

جدول ۵: فازهای کانیاپی شناسایی شده از طیف پراش اشعه ایکس در نمونه شماره NO.5

شماره نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی	کانی‌های کمیاب
No.5	کوارتز SiO <sub>2</sub> گروه اسمکتیت CaO.2(Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .xH <sub>2</sub> O آلبیت (Na, Ca)(Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub> کلسیت CaCO <sub>3</sub>	کائولینیت Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) هالیت NaCl آنکریت Ca(Fe,Mg)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> پیریت FeS <sub>2</sub>	-

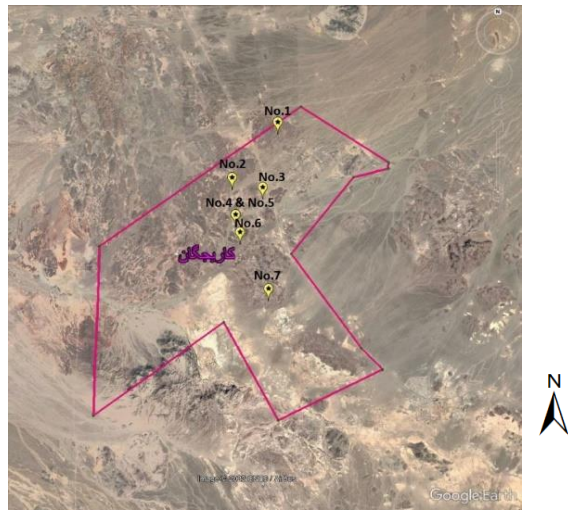


شکل ۱۲: طیف‌های استخراج شده به روش XRD از نمونه شماره NO.5 در محدوده مورد مطالعه

جدول ۶: نتایج آنالیز ۳۴ عنصری برای ۷ نمونه برداشت شده از مناطق امیدبخش دورسنجی در محدوده مورد مطالعه

Sample No.	Ag (ppm)	Al (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Ca (ppm)	Cd (ppm)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	K (ppm)
1	1.5	59452	48	628	1.2	7103	0.38	24	34	52	>5%	23770	10113
2	0.26	30307	61.6	142	1	40032	0.32	13	15	37	116	23415	6946
3	0.2	23112	>100	322	1.3	8101	10	10	28	26	61	55590	5839
4	0.45	35951	>100	2239	<1	1883	4.8	30	2	26	16624	14352	824
5	0.27	57164	>100	4770	1.1	2405	4	33	8	45	5943	29199	949
6	0.39	17674	>100	3903	1	86094	0.46	9	14	33	170	13535	2207
7	0.34	33726	91.6	115	1.1	86289	0.37	15	20	24	90	17662	2352
Sample No.	La (ppm)	Li (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Na (ppm)	Ni (ppm)	P (ppm)	Pb (ppm)	S (ppm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Sr (ppm)
1	13	41	1864	156	15	2131	26	472	4	1040	0.88	14.6	574
2	7	38	14210	809	0.72	2803	16	589	4	1732	1.04	16.4	424
3	5	28	2346	232	44.1	3080	20	531	24	>3%	48.9	5.6	1522
4	19	45	761	41	7.6	1101	7	1000	4	3067	1.35	6.3	2305
5	19	48	384	63	4.4	1153	10	1603	4	2961	12.5	9.7	2185
6	5	43	>2%	1920	0.6	2316	14	384	3	2118	0.96	6	458
7	9	35	>2%	1741	0.64	994	18	665	4	642	0.83	13.3	675
Sample No.	Th (ppm)	Ti (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Yb (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)					
1	<5	3991	<5	542	8	1.6	98	44					
2	<5	1647	<5	184	10	1.2	51	22					
3	<5	1473	<5	228	6	1.2	350	26					
4	<5	1578	<5	64	12	1.3	30	58					
5	<5	2742	<5	172	15	1.7	32	65					
6	8.7	872	<5	73	5	1	34	12					
7	<5	1647	<5	94	1.9	1.3	54	28					





شکل ۱۳: موقعیت نمونه‌های برداشت شده در محدوده کاریجگان



NO.4



NO.3



NO.5

شکل ۱۴: نمایی از ۳ نمونه برداشت شده از محدوده کاریجگان

#### ۷- نتیجه‌گیری

کانی‌زایی، به ویژه مس دارد. علاوه بر این با توجه به پوشش گیاهی ناچیز منطقه، داده‌های سنجش از دور برای ارزیابی مناسب کاملاً با هدف ما انطباق داشتند. به کمک روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و نوع بهبودیافته آن (روش کروستا)،

منطقه مورد مطالعه واقع در شرق ایران، به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی زیاد، پتانسیل بسیار بالایی برای انواع

80-92.

- [6] Sheikhrasimi, A., Pour, A. B., Pradhan, B., and Zoheir, B. (2019). "Mapping hydrothermal alteration zones and lineaments associated with orogenic gold mineralization using ASTER data: A case study from the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran". *Advances in Space Research*, 63(10): 3315-3332.
- [7] Rezaei, A., Hassani, H., Moarefvand, P., and Golmohammadi, A. (2020). "Lithological mapping in Sangan region in Northeast Iran using ASTER satellite data and image processing methods". *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(1): 59-70.
- [8] Zamyad, M., Afzal, P., Pourkermani, M., Nouri, R., and Jafari, M. R. (2019). "Determination of hydrothermal alteration zones using remote sensing methods in Tirka area, Toroud, NE Iran". *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47: 1817-1830.
- [9] Pour, A. B., Park, Y., Park, T. Y. S., Hong, J. K., Hashim, M., Woo, J., and Ayoobi, I. (2018). "Regional geology mapping using satellite-based remote sensing approach in Northern Victoria Land, Antarctica". *Polar Science*, 16: 23-46.
- [10] ماهوش محمدی، ن.، هزارخانی، ا.، مقصودی، ع.؛ ۱۳۹۷؛ "به کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی و تفکیک بخش‌های دگرسانی منطقه خونی و کالکافی (استان اصفهان)". پژوهش‌های دانش زمین، دوره نهم، شماره ۱، ص ۱۵۲-۱۳۷.
- [11] Azizi, H., Tarverdi, M. A., and Akbarpour, A. (2010). "Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanzan, northern Iran". *Advances in Space Research*, 46: 99-109.
- [12] Beiravand Pour, A., and Hashim, M. (2012). "The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits". *Ore Geology Reviews*, 44: 1-9.
- [13] Boloki, M., and Poormirzaee, R. (2009). "Using ASTER Image Processing for Hydrothermal Alteration and Key Alteration Minerals Mapping in Siyahrud area, Iran". *International Journal of Geology*, 3: 38-43.
- [14] Honarmand, M., Ranjbar, H., and Shahabpour, J. (2012). "Application of principal component analysis and spectral angle mapper in the mapping of hydrothermal alteration in the Jebal-Barez Area, Southeastern Iran". *Resource Geology*, 62(2): 119-139.
- [15] Alimohammadi, M., Alirezaei, S., and Kontak, D. J. (2015). "Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: a case study of Daraloo-Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran". *Ore Geology Reviews*, 70: 290-304.

مجدد دگرسانی‌های شناسایی شده در مرحله قبل تایید گردید. با شناسایی مناطق یاد شده و بررسی خروجی نتایج، مناطقی شاخص برای ادامه فرآیند عملیات اکتشاف (پیمایش و نمونه‌برداری‌های مقدماتی) و اعتبارسنجی پردازش‌ها انتخاب شد. در این حالت، با بررسی نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار منطقه، یک دایک آندزیتی و دگرسانی آرزیلیکی اطراف آن، به عنوان هدف اصلی پیمایش در نظر گرفته شد. خروجی نتایج آنالیز آزمایشگاهی، انطباق قابل قبولی با پردازش‌های سنجش از دور از خود نشان داد و نتیجه مطالعات به شناسایی زون‌های دگرسان و کنترل میدانی به شناسایی زون‌های کانه‌زایی منجر گردید. در این حالت، دایک آندزیتی یاد شده کاملاً مرتبط با کانه‌زایی مس در بخش شمالی محدوده شناسایی گردید. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، مطالعات سنجش از دور می‌تواند به عنوان یک روش اکتشافی موفق به کار برده شوند. همچنین، منطقه مورد نظر استعداد لازم برای مطالعات اکتشافی تکمیلی را دارد.

## ۸- سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی و فنی گروه سرمایه‌گذاری فولاد گسترکوثر انجام شد. بر خود لازم می‌داریم که از مدیران، کارشناسان و همکاران مختلفی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، سپاسگزاری نماییم.

## ۹- مراجع

- [1] Richards, J. A., and Jia, X. (2006). "Remote sensing Digital Image Analysis an Introduction". 4th Edition, Springer, Germany, Berlin, Heidelberg.
- [2] Gupta, R. P. (2003). "Remote Sensing Geology". Heidelberg, Springer, 45-59.
- [3] Rajendran, S., and Nasir, S. (2018). "ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman". *Ore Geology Reviews*, 108: 33-53.
- [4] Mirsepahvand, F., Jafari, M. R., Afzal, P., and Arian, M. A. (2022). "Identification of Alteration Zones using ASTER Data for Metallic Mineralization in Ahar region, NW Iran". *Journal of Mining and Environment*, 13(1): 309-324.
- [5] Fakhari, S., Jafarirad, A., Afzal, P., and Lotfi, M. (2019). "Delineation of hydrothermal alteration zones for porphyry systems utilizing ASTER data in Jebal-Barez area, SE Iran". *Iranian Journal of Earth Sciences*, 11(1):

- Space Research, 23(8): 1415-1424.
- [27] Ninomiya, Y., Fu, B., and Cudahy, T. J. (2005). "Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared 'radiance-at-sensor' data". Remote Sensing of Environment, 99(1-2): 127-139.
- [28] Abrams, M., and Yamaguchi, Y. (2019). "Twenty years of ASTER contributions to lithologic mapping and mineral exploration". Remote Sensing, 11(11): 1394.
- [29] Moghadam, H. J., Oskouei, M. M., and Nouri, T. (2020). "Unmixing of hyperspectral data for mineral detection using a hybrid method, Sar Chah-e Shur, Iran". Arabian Journal of Geosciences, 13: 1-17.
- [30] ITT Visual Information Solutions, "Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide". Version 4.7, August, 2009 Edition.
- [31] Hecker, C., van Ruitenbeek, F. J., van der Werff, H. M., Bakker, W. H., Hewson, R. D., and van der Meer, F. D. (2019). "Spectral absorption feature analysis for finding ore: A tutorial on using the method in geological remote sensing". IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 7(2): 51-71.
- [32] Green, A. A., and Craig, M. D. (1985). "Analysis of aircraft spectrometer data with logarithmic residuals". In: JPL Proceedings of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop, Pasadena, 8-10 April, 111-119.
- [33] Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., and Aguado, I. (2003). "Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(5): 1056-1061.
- [34] Feng, J., Rivard, B., and Sanchez-Azofeifa, A. (2003). "The topographic normalization of hyperspectral data: implications for the selection of spectral end members and lithologic mapping". Remote Sensing of Environment, 85: 221-231.
- [35] Singh, S., Kaur, R., Goraya, A., Singh, A., and Singh, A. (2012, January). "Review of Different Topographic Correction Techniques for Satellite Imagery". In: National Conference Recent Advances in Communication & Electronics (RACE-2012), Vol. 1, 27-28.
- [36] Rowan, L. C., and Mars, J. C. (2003). "Lithologic mapping in the Mountain Pass area, California using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data". Remote Sensing of Environment, 84(3): 350-366.
- [16] Jamshid Moghadam, H., Mokhtari, M., Hamidi, H., and Yozbashlo, E. (2023). "Identification of gold promising areas in Tikmehdash area of Bostanabad using Aster data". 11th Iranian Mining Engineering Conference and 7th International Mine & Mining Industries Congress, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- [17] Rasouli Beirami, M., and Tangestani, M. H. (2020). "A new band ratio approach for discriminating calcite and dolomite by ASTER imagery in arid and semiarid regions". Natural Resources Research, 29: 2949-2965.
- [18] Paramasivam, C. R., and Anbazhagan, S. (2020). "Geospatial assessment of ultramafic rocks and ore minerals of Salem, India". Arabian Journal of Geosciences, 13: 1095.
- [19] Mojeddifar, S., and Mavadati, M. (2020). "Integration of support vector machines for hydrothermal alteration mapping using ASTER data—case study: the northwestern part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran". International Journal of Mining and Geo-Engineering, 54(1): 45-50.
- [20] Balabantaray, S. K., Aravindan, S., Baunthiyal, T., and Ravi, R. (2022). "Processing of Multispectral ASTER Data to Delineate Bauxite Abundant Zones and its Geochemical Characterisation Deposited over Deccan Traps of Central India in Mainpat Plateau, Surguja District, Chhattisgarh". Journal of the Geological Society of India, 98(9): 1301-1307.
- [21] Son, Y. S., Lee, G., Lee, B. H., Kim, N., Koh, S. M., Kim, K. E., and Cho, S. J. (2022). "Application of ASTER Data for Differentiating Carbonate Minerals and Evaluating MgO Content of Magnesite in the Jiao-Liao-Ji Belt, North China Craton". Remote Sensing, 14(1): 181.
- [22] Mirsepahvand, F., Jafari, M. R., Afzal, P., and Arian, M. A. (2022). "Identification of Alteration Zones using ASTER Data for Metallic Mineralization in Ahar region, NW Iran". Journal of Mining and Environment, 13(1): 309-324.
- [23] Errami, M., Algouti, A., Algouti, A., Farah, A., and Agli, S. (2023). "Utilization of ASTER data in lithological and lineament mapping of the southern flank of the Central High Atlas in Morocco". Geologos, 29(1): 1-20.
- [24] Habashi, J., Oskouei, M. M., and Jamshid Moghadam, H. (2024). "Classification of ASTER Data by Neural Network to Mapping Alterations Related to Copper and Iron Mineralization in Birjand". Journal of Mining and Environment, 15(2): 649-665.
- [25] Geological map 1:100,000 of Khusf, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- [26] Yamaguchi, Y. (1999). "ASTER instrument characterization and operation scenario". Advances in

*mapping of granitoidic rocks using ETM+ data: case study from eastern Tauride belt (SE Turkey)*". International Journal of Remote Sensing, 28(17): 3895-3913.

[37] Volesky, J. C., Stern, R. J., and Johnson, P. R. (2003). "Geological control of massive sulfide mineralization in the Neoproterozoic Wadi Bidah shear zone, southwestern Saudi Arabia, inferences from orbital remote sensing and field studies". Precambrian Research, 123: 235-247.

[38] Crosta, A., and Moore, J. (1989). "Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in S W Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain". In: Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, 1173-1187.

[39] Aydal, D., Arda1, E., and Dumanlilar, Ö. (2007). "Application of the Crosta technique for alteration

<sup>1</sup> Quick Atmospheric Correction

<sup>2</sup> Log Residuals Calibration

<sup>3</sup> Digital elevation model

<sup>4</sup> Band Ratio