

*Original Research*

## Discrimination of Hydrothermal Alterations Associated with Copper Mineralization Using ASTER Image Processing Sheet in Sar-e-Chah-e-Shur, Eastern Iran

Mortaza Hosseini<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty Member, Department of Mining Engineering, Faculty of Tabas, South-Khorasan Branch, Technical and Vocational University (TVU), Tabas, Iran.

**ARTICLE INFO****Received:** 09.27.2020**Revised:** 12.21.2020**Accepted:** 01.20.2021**Keyword:**

Copper  
Alteration Zones  
Remote Sensing  
ASTER  
Birjand

**\*Corresponding Author:**

Mortaza Hosseini

**Email:**

hoseini.mortaza30@yahoo.com

**ABSTRACT**

Sar-e-Chah-e-Shur area is located in the eastern part of Iran and is adjacent to Lut block. Due to subduction, this area of Iran has a high potential for the formation of various minerals, particularly copper ores. Remote sensing data can be used effectively for the mapping of altered zones related to copper deposits due to the extension of the zones and poor vegetation coverage in the area. Advanced Space-born Thermal and Emission Reflectance Radiometer (ASTER) sensor, by covering a relatively wide range of electromagnetic spectra and storing ground surface information in three visible and near infrared (VNIR) bands, six shortwave infrared (SWIR) bands and five thermal infrared (TIR) bands (a total of 14 bands), has created favorable conditions for detecting alteration zones. In this research, the data of this sensor was used to separate the algal, cerclitic, propylitic and iron oxide alterations related to copper ores in the 1: 100000 map of Sar-e-Chah-e-Shur, located in the southwest of Birjand, Iran. In the present study, alteration zones associated with porphyry copper were identified using various processing methods including false color combination, band ratio, standard analysis and selective component. The results of the present study field processing and surveys demonstrated the expansion of alteration zones in the study area and the optimal accuracy of the ASTER sensor. In the 13 visited areas, the existence of the desired alterations was confirmed.

## تفکیک دگرسانی‌های گرمابی مرتبط با کانی‌سازی مس با استفاده از پردازش تصویر استر بر گه سرچاه‌شور، شرق ایران

مرتضی حسینی\*

۱- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی معدن، آموزشکده فنی امام علی (ع) طبس، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان خراسان جنوبی، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

ناحیه سرچاه‌شور در شرق ایران و در مجاورت بلوک لوت واقع شده است. این ناحیه از ایران، به دلیل رخداد فرورانش دارای قابلیت بالا برای تشکیل انواع مواد معدنی به‌ویژه کانه‌های مس می‌باشد. به دلیل گستردگی مناطق دگرسانی مرتبط با مس و نیز پوشش ضعیف گیاهی منطقه، می‌توان از داده‌های دورسنجی برای تفکیک این مناطق به طور مؤثر استفاده کرد. سنجنده استر با پوشش محدوده نسبتاً وسیعی از طیف الکترومغناطیسی و ذخیره اطلاعات سطح زمین در سه محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز موج کوتاه و گرمایی و در مجموع ۱۴ باند، شرایط مطلوبی را برای آشکارسازی زون‌های دگرسانی ایجاد کرده است. در این تحقیق، از داده‌های این سنجنده برای تفکیک دگرسانی‌های آرژلیک، سرسیتیک، پروپلیتیک و اکسید آهن مرتبط با کانه‌زایی مس موجود در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سرچاه‌شور که در جنوب‌غربی بیرجند واقع می‌باشد، استفاده شده است. در بررسی حاضر، با استفاده از روش‌های مختلف پردازشی ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه اصلی، مناطق دگرسانی مرتبط با مس پرفیری بارزسازی شده است. نتایج حاصل از پردازش و بررسی‌های صحرایی موجود، نشانگر گسترش مناطق دگرسانی در محدوده مورد مطالعه و دقت مطلوب سنجنده استر است؛ به نحوی که در ۱۳ محدوده- بازدید شده، وجود دگرسانی‌های مورد نظر تأیید شد.

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶

بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۱

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

### کلید واژگان:

مس  
دگرسانی  
دورسنجی  
استر  
بیرجند

\*نویسنده مسئول: مرتضی حسینی

پست الکترونیکی:

[hoseini.mortaza30@yahoo.com](mailto:hoseini.mortaza30@yahoo.com)

## مقدمه

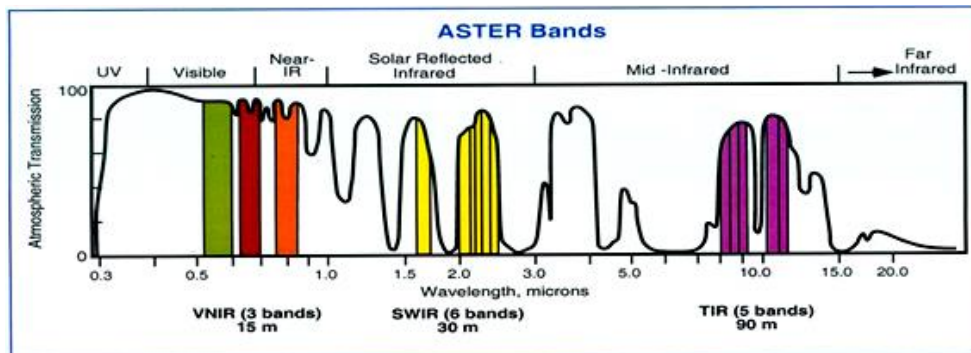
روند فزاینده استفاده از داده‌های دورسنجی، به دلیل مزیت‌های خاص فنی و اقتصادی، همراه با تکامل و پیشرفت چشمگیر ابزار برداشت و روش‌های پردازشی منجر به استفاده از این اطلاعات در زمینه‌های مختلف؛ از جمله اکتشاف کانسارها شده است. تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش منطقه‌ای وسیع، چندطیفی و چندزمانه بودن می‌توانند در شناسایی ایالت‌ها، کمربندها و مکان‌های کانه‌زایی به کار گرفته شوند [۱].

نقش سنجش از دور در اکتشاف کانسارها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد [۱]:

- نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری در طول نواحی که احتمال کانسارسازی وجود دارد.
- نقشه‌برداری الگوهای ساختاری و شکستگی‌های محلی که ممکن است تشکیل‌دهنده کانسارهای خاص باشند.
- شناسایی نواحی دگرسان‌شده مرتبط با توده‌های کانسار
- تهیه اطلاعات زمین‌شناسی پایه.

بسیاری از کانسارها با سازندها یا واحدهای سنگ‌شناسی خاصی ارتباط دارند. شناسایی این واحدهای سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی با داده‌های سنجش از دور، می‌تواند به اکتشاف کانسارهای موجود در آنها کمک کند. زمین‌شناسان با تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند ارتباط بین کانسارها و ساختارهای خطی ناحیه‌ای را نیز شناسایی کنند. یکی از اهداف اصلی در اکتشاف مواد معدنی، شناسایی مناطق دگرسان شده است که ممکن است در ارتباط با کانه‌زایی در محدوده مورد بررسی باشد.

یکی از مهم‌ترین سنجنده‌های مورداستفاده در اکتشاف از طریق دورسنجی سنجنده ASTER می‌باشد که روی ماهواره تر<sup>۱</sup> نصب شده است [۲]. سنجنده ASTER<sup>۲</sup> که به آن پرتوسنج حرارتی تابشی و بازتابشی فضا برد پیشرفته نیز گفته می‌شود، تصویرگر چندطیفی است که ناحیه وسیعی از طیف الکترومغناطیس را در برمی‌گیرد. استر در ۱۴ باند و سه محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) با طول موج ۰/۵۲-۰/۸۶ میکرومتر و قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، ۶ باند مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) در محدوده طول موج ۱/۶-۲/۴۳ میکرومتر و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و ۵ باند مادون قرمز حرارتی (TIR) در محدوده طول موج ۸/۱۲۵-۱۱/۶۵ میکرومتر و قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر اطلاعات سطح زمین را اخذ می‌کند [۳]. در شکل ۱ محدوده باندهای استر در طیف الکترومغناطیس نمایش داده شده است.



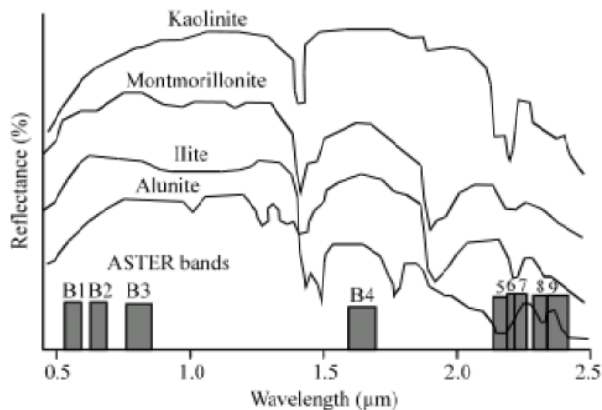
شکل ۱. محدوده باندهای سنجنده استر در طیف الکترومغناطیس [۳]

<sup>1</sup> Terra

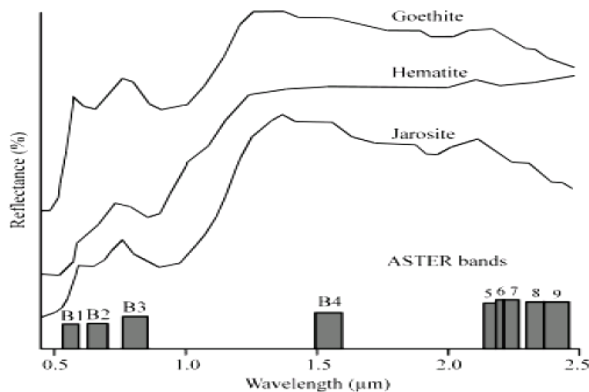
<sup>2</sup> Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer

همانطور که از شکل ۱ پیداست، استر در محدوده مادون قرمز نزدیک دارای ۶ باند است؛ از آنجایی که طیف اکثر کانی‌های مناطق دگرسانی در این محدوده دارای جذب یا انعکاس بالاست؛ از این رو امکان شناسایی آنها با استفاده از داده‌های استر فراهم است. علاوه بر این، قدرت تفکیک رادیومتری خیلی خوب و کیفیت بسیار بالای تصاویر سنجنده ASTER سبب کاربرد گسترده آن در بررسی‌های اکتشافی و زمین‌شناختی شده است. تصاویر استر اطلاعات اولیه کانی‌شناسی و نقشه‌های دگرسانی زمین‌مرجع را با هزینه پایین و دقت بالا فراهم می‌کند [۴].

تفکیک مناطق دگرسانی، مستلزم شناخت طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌های این مناطق که بیشتر در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک، میانی و گرمایی طیف الکترومغناطیس است، می‌باشد. سنجنده استر به خوبی می‌تواند کانی‌های شاخص مناطق دگرسانی گرمایی را که ویژگی طیفی آنها در محدوده‌های یادشده است، شناسایی کند. در شکل‌های ۲ و ۳ طیف جذب و انعکاس کانی‌های مربوط به زون‌های مختلف دگرسانی و موقعیت باندهای استر نشان داده شده است. بر اساس این طیف‌ها، کانی‌هایی مانند ایلیت، آلونیت، مونت‌موریلونیت و کائولینیت که در محدوده باند ۴ استر بازتاب بالا دارند، از کانی‌هایی مانند کلریت و اپیدوت قابل تفکیک هستند.



شکل ۲. کائولینیت، مونت‌موریلونیت، ایلیت، آلونیت و موقعیت باندهای استر [۴]



شکل ۳. اکسیدهای آهن شامل گوتیت، هماتیت و ژاروسیت و موقعیت باندهای استر [۵]

کانسارهای مس پرفیری از سیالات گرمایی مرتبط به ماگماهای غنی از بخار آب، در مناطق فرورانش منشأ می‌گیرند [۶]. تعدادی از کانی‌های مهم که در اکتشاف ذخایر معدنی مس با استفاده از طیف انعکاسی - جذب می‌توان آنها را شناسایی کرد به شرح زیر هستند [۷]:

- زون سرسیت: معمولاً کانی‌های مسکویت دانه‌ریز، کوارتز، پیروفیلیت و ایلیت در زون آلتراسیون سرسیت یافت می‌شوند.
  - زون آرژلیک: کانی‌های شاخص این زون عبارتند از: کائولینیت، هالوزیت و دیکیت.
  - زون آلونیت و ژاروسیت: این کانی‌ها در زون آلتراسیون یا در فرایند اکسیداسیون می‌توانند تشکیل شوند.
  - زون پروپلیتیک: دو کانی مهم و شاخص زون پروپلیتیک عبارتند از: کلریت و اپیدوت.
  - اکسید و هیدروکسیدهای آهن: هماتیت، گوتیت و لیمونیت که در نتیجه اکسیداسیون سولفیدها تشکیل می‌شوند، می‌توانند راهنمای مفیدی در شناسایی مناطق دارای کانی سازی سولفید باشند.
- وجود هر یک از زون‌ها و کانی‌های یاد شده در هر محدوده را می‌توان به‌عنوان یک نشانه از کانی‌زایی مس مورد توجه قرار داد.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های سنجنده استر سطح IB برای تفکیک دگرسانی‌های گرمایی استفاده شده و پردازش داده‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای ENVI4 انجام گرفته است. تصویر استر مورد استفاده با ارائه درخواست به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور خریداری شده است. تصاویر استر با سطح IB معادل داده‌های رادیناس در سنجنده است که با انجام تصحیحات هندسی و رادیومتری توسط شرکت اخذ داده‌ها، داده‌های تصویری با نمونه‌برداری مجدد<sup>۱</sup> تولید شده است [۲]. هر صحنه اطلاعاتی استر، محدوده‌ای به وسعت ۶۰ کیلومتر در ۶۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد؛ بنابراین پس از تبدیل تصاویر به داده‌های انعکاسی، تفکیک باندها و زمین مرجع کردن آنها توسط شرکت PCI Inc, Richmond Hill کانادا، محدوده‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ ایران از هر صحنه برش داده شده و در اختیار متقاضیان قرار می‌گیرد. در مقاله حاضر، پیش‌پردازش داده‌ها با روش میانگین بازتابش نسبی داخلی انجام شده است. روش یاد شده، یک روش کالیبراسیون نسبی و آماری است که در آن طیف میانگین تصویر محاسبه و به عنوان طیف مرجع به طیف‌های هر پیکسل در تصویر تقسیم می‌شود تا بازتاب‌های واقعی و نرمال به دست آید [۸].

هدف اصلی تحقیق پیش‌رو بارزسازی مناطق دگرسانی مرتبط با کانسارهای مس پورفیری و بررسی امکان به‌کارگیری روش‌های مختلف در محدوده جغرافیایی شرق ایران است. محدوده‌های طیفی به‌کار گرفته شده مادون قرمز موج کوتاه و مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد که با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصویر نظیر ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه اصلی، مناطق دگرسانی مرتبط با مس پرفیری بارزسازی شده است.

در روش ترکیب رنگی کاذب که یکی از ساده‌ترین روش‌های پردازش است، با اختصاص باندهای با انعکاس بالای پدیده‌ها به یکی از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی امکان بارزسازی آنها با همان رنگ فراهم می‌شود.

نسبت بانندی، یکی از روش‌های رایج در پردازش تصویر است که باعث از بین بردن تأثیرات توپوگرافی و سایه‌ها، کاهش برخی از نویزها و اختلاف بین درجات روشنایی شده و مرزها را مشخص تر می‌کند. نسبت‌گیری بانندی، یک روش رقومی پردازش تصاویر چندطیفی است که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن در تصویر یا باند دیگر است [۹]. در این روش که ارزش‌های رقومی باند با بیشترین انعکاس به باند بیشترین جذب تقسیم

<sup>1</sup> Re-sampled

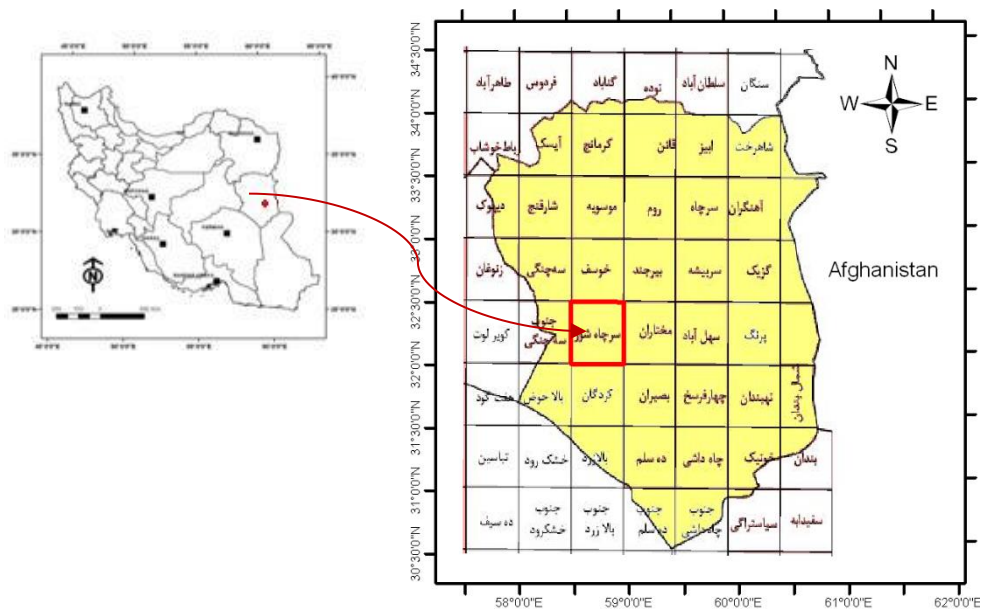
می‌شود می‌توان به‌طور مؤثر برای بارزسازی و شناسایی کانی‌ها استفاده کرد؛ البته بسته به منطقه و نوع کاربرد باید باندهای مناسب را بر هم تقسیم کرد تا بهترین نتایج به‌دست آید [۱].

در روش تحلیل مؤلفه اصلی که برای کاهش اثر تداخلی مواد، به‌ویژه پوشش گیاهی استفاده شده، به‌طور گسترده برای نقشه‌برداری دگرسانی‌ها در ایالت‌های فلززایی نیز به کار برده شده است. در این روش، بردارهای ویژه یک ماتریس واریانس-کواریانس یا یک ماتریس همبستگی محاسبه می‌شود [۱۰]. تبدیل مؤلفه‌های اصلی، روشی برای کاهش دادن اطلاعات تکراری است که با فشرده کردن مجموعه داده‌های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد. با استفاده از این تبدیل می‌توان محورهایی را یافت که در راستای آنها علاوه بر کاهش داده‌ها اطلاعاتی به دست می‌آید که از لحاظ محتوا غنی‌تر از اطلاعات هر کدام از جهت‌های مربوط به باندهای اولیه می‌باشد. در این روش، هدف دستیابی به مؤلفه‌های جدیدی است که در آنها میزان واریانس داده‌ها بیشتر (و بنابراین میزان اطلاعات بیشتر) و وابستگی بین این مؤلفه‌ها کمتر از حالت اولیه تصاویر می‌باشد. اولین مؤلفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مؤلفه‌های بعدی (PC2، PC3، ...، PCn) هر یک دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می‌باشد [۱۱].

هر تصویر مؤلفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند تصاویر نسی، به عنوان تصویر جداگانه سیاه و سفید می‌توانند تحلیل شوند، یا هر سه تصویر مؤلفه اصلی برای تشکیل یک ترکیب رنگی با یکدیگر ترکیب شوند. در این حالت، بیشترین واریانس n باند طیفی در یک تصویر ترکیب رنگی مشاهده می‌شود. این واریانس، بیشتر از واریانس است که در ترکیب رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می‌شود و جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مانند واحدهای سنگی و دگرسانی نمایش می‌دهد؛ لذا به زمین‌شناسان کمک می‌کند تا مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص کنند. همچنین کاربر می‌تواند مناطق کوچکی را که از نظر طیفی کاملاً متفاوت از کل صحنه هستند (مانند مناطق دگرسان‌شده)، مشخص کند [۱].

تحلیل مؤلفه اصلی به‌صورت استاندارد و انتخابی قابل‌اجراست. اختلاف بین تحلیل استاندارد و تحلیل انتخابی مؤلفه‌های اصلی در این است که در تحلیل استاندارد همه باندهای یک تصویر به عنوان داده ورودی در محاسبه مؤلفه‌های اصلی به کار می‌روند؛ در حالی که در تحلیل انتخابی، برحسب نوع هدف، از باندهای مناسب (باندهایی که حاوی ویژگی‌های جذب و انعکاس کانی‌های مورد نظر است) با کمترین همبستگی استفاده می‌شود [۱۱]. در این مقاله، از هر دو روش استفاده شده است.

منطقه مورد بررسی که در شکل ۴ موقعیت آن نمایش داده شده است، برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سرچاه شور می‌باشد که در شرق ایران؛ استان خراسان جنوبی و جنوب‌غربی شهرستان بیرجند در محدوده طول جغرافیایی  $58^{\circ}30'$  تا  $59^{\circ}$  و عرض جغرافیایی  $32^{\circ}$  تا  $32^{\circ}30'$  واقع است.



شکل ۴. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه [۱۲]

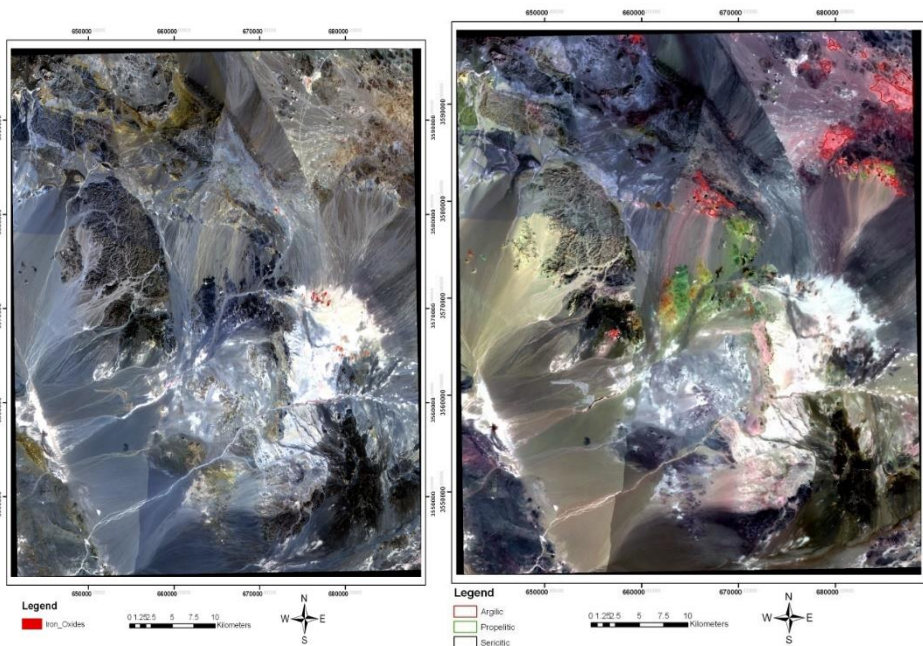
از نظر موقعیت ساختاری، منطقه مذکور به بخشی از شرق کشور تعلق دارد که این بخش در اکثر تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی- رسوبی تحت عنوان ایالت ساختاری سیستان معرفی شده است. شرق ایران و به‌ویژه بلوک لوت به علت وقوع فرورانش در زمان‌های گذشته و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسم، دارای قابلیت بالا برای تشکیل انواع کانی‌سازی‌ها به خصوص مس می‌باشد [۱۳]. در شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه نمایش داده شده است. واحدهای زمین‌شناسی مهم منطقه را سنگ‌های آتشفشانی ائوسن فوقانی- الیگوسن تشکیل می‌دهد که در برخی نقاط، توده‌هایی با بافت پرفیری نیمه‌عمیق اسیدی- حدواسط کالک آلکالن در آن نفوذ کرده است. سنگ‌های آذرین، بیشتر از نوع داسیت، دیوریت، گرانیت، دایک‌های دولریتی، دیاباز، گابرو و اولیوین بازالت است. سنگ‌های رسوبی نیز از نوع شیل و ماسه سنگ، آهک‌های اوولیتی، آهک و کنگلومرا و رخساره‌های دگرگونی شامل گنایس متاگابرو و متادیا باز، آمفیبولیت شیست، کلریت شیست و فیلیت است. بالاآمدگی توده‌های نفوذی نیز در قسمت‌هایی از محدوده باعث دگرگونی سنگ‌های مجاور از درجات پایین تا بالا شده است [۱۴].

به لحاظ ساختمانی، غالب لیتولوژی‌های منطقه دارای چین‌خوردگی‌هایی از نوع تاقدیس و ناودیس می‌باشند. عمده‌ترین تراکم گسل‌ها و درزه‌ها و چین‌ها در قسمت شمال و شمال‌شرقی منطقه جای دارند [۱۴]. بیشتر سنگ‌های موجود در شمال‌شرقی نقشه تحت تأثیر آلتراسیون متوسط تا شدید قرار گرفته‌اند. از جمله نشانه‌های معدنی مس در محدوده مورد مطالعه می‌توان به اندیس‌های چاه تونی، همیچ و فسون اشاره کرد [۱۲].

## بحث و نتیجه‌گیری

### روش ترکیب رنگی کاذب

آنالیزهای تجربی نشان داده‌اند که تصویری با ترکیب  $RGB=468$  مناسب‌ترین ترکیب رنگی برای شناسایی مناطق دگرسانی در کنسارهای مس پرفیری با استفاده از تصاویر استر می‌باشد [۱۵]. در این تصویر، مناطق شمال شرقی ناحیه که در بردارنده دگرسانی آرژیلیک، پروپلیتیک و سرستیک است، به ترتیب به رنگ‌های صورتی، سبز تا پسته‌ای و کرم متمایل به سفید بازسازی می‌شوند (شکل ۵). این مسئله به علت بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و مسکوویت در باند ۴ (شکل ۲) نسبت به باندهای ۶ و ۸ و اختصاص باند ۴ به رنگ قرمز می‌باشد. ترکیب رنگی  $RGB=321$  مناطق دارای دگرسانی اکسید آهن را با رنگ قرمز بازسازی می‌کند. اکسید آهن (لیمونیت) به صورت حلقه یا هاله در اطراف مناطق دگرسانی ظاهر می‌شود [۱۶]. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، غالب مناطق مذکور، در مسیر آبراهه‌ها واقع می‌باشد که بیانگر ثانویه بودن این نوع دگرسانی است.



شکل ۵. ترکیب رنگی مجازی ۴، ۶ و ۸ برای

رنگ‌های قرمز، سبز و آبی

شکل ۶. ترکیب رنگی مجازی ۲، ۳ و ۱ برای

رنگ‌های قرمز، سبز و آبی

### روش نسبت بانندی

در تصاویر نسبت بانندی، نتیجه تصویری با مقیاس خاکستری است که با ساخت ترکیب رنگی کاذب از آنها می‌توان تصویری تولید کرد که تفسیر و نتیجه‌گیری از آنها قابل‌اعتماد و کاربردی‌تر باشد [۱۵]. بر اساس شکل ۲ با استفاده از نسبت‌های بانندی ۴/۵، ۴/۶ و ۴/۸ به ترتیب کانی‌های ایلیت و مسکوویت (زون سرستیک)، کائولینیت (زون آرژیلیک) و



کلریت (زون پروپلیتیک) بارز می‌شوند. اختصاص نسبت ۴/۵ به قرمز، ۴/۶ به سبز و ۴/۸ به آبی مجموعه مناطق دارای دگرسانی‌های یاد شده را با پیکسل‌های روشن (سفید) بارز می‌کند (شکل ۷).

### روش تحلیل مؤلفه اصلی

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها تشریح گردید، روش تحلیل مؤلفه اصلی به دو شکل استاندارد و انتخابی قابل اجراست.

۱- PCA استاندارد بر روی ۹ باند استر: همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است، بین ۹ باند مرئی و موج کوتاه همبستگی بالایی وجود دارد، با این حال ۹ باند انتخاب شده سنجنده استر، برای دستیابی با بهترین انطباق و در عین حال کمترین خطا با مناطق دگرسانی مورد استفاده قرار گرفته است [۶]. تحلیل مؤلفه اصلی بر روی این ۹ باند اجرا و نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. مقادیر ضریب همبستگی بین ۹ باند مرئی و مادون قرمز موج کوتاه تصویر استر

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۱								
۲	۰/۹۸	۱							
۳	۰/۹۷	۰/۹۹	۱						
۴	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۱					
۵	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۸	۱				
۶	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۹۹	۱			
۷	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۱		
۸	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۱	
۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱

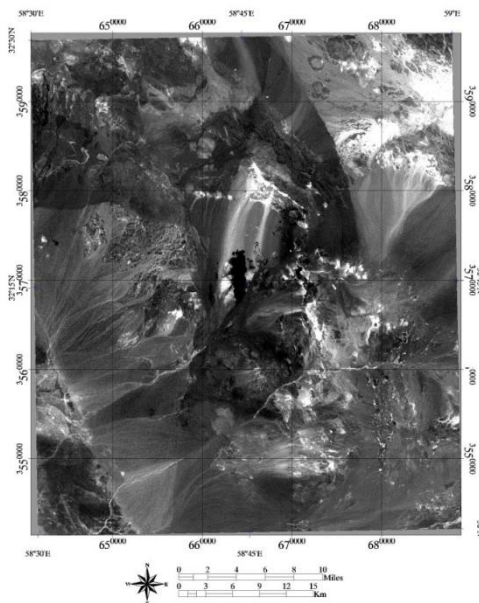
جدول ۲. مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای ۹ باند محدوده مادون قرمز مرئی و موج کوتاه

باند / مؤلفه اصلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۳۶
۲	۰/۳۴	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۱۵
۳	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۶۹	۰/۲۴
۴	۰/۴۴	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۲۳
۵	۰/۵۳	۰/۲۲	۰/۵۴	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۲۹
۶	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۷۸
۷	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۳۰	۰/۶۹	۰/۴۰	۰/۰۱

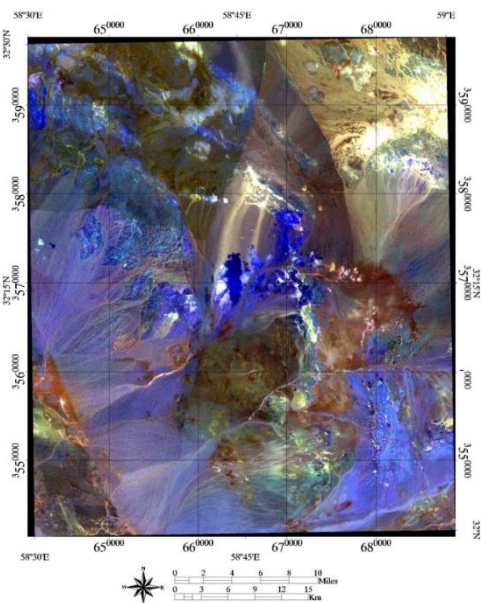
باند / مؤلفه اصلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۸	۰/۰۱	/۲۱	۱۸	۲۱	۵۲	۵۴	۵۳	۱۰	۱۷
۹	۰/۴۷	/۷۵	۳۰	۰۳	۲۸	۱۹	۰۶	۰۹	۰۹
مقدار ویژه	۴/۵۶	/۷۹	۹۸	۵۸	۷۳	۳۱	۴۲	۳۶	۵۴
واریانس	۹/۸۲	/۹۱	/۶۲	۳۰	۱۱	۰۹	۰۵	۰۵	۰۳

اولین مؤلفه اصلی دارای وزن مثبتی از همه باندهاست و شامل ۹۵/۸۲ درصد از کل واریانس داده‌های خام استر است. این مؤلفه در بردارنده خصوصیات طیفی نمی‌باشد و روشنایی کلی تصویر به دلیل همبستگی شدید بین ۹ باند تصویر اولیه است. به عبارت دیگر، سپیدایی کلی به دلیل آلبدو و توپوگرافی می‌باشد [۱].

PC4 دارای بارگذاری مثبت بالا برای باند ۴ (۰/۷۳) می‌باشد. با توجه به اینکه در باند ۴ کانی‌های مربوط به دگرسانی آرژلیک بازتاب بالایی دارند؛ لذا کانی‌های یاد شده در مؤلفه مورد اشاره به صورت پیکسل‌های روشن ظاهر می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸. تصویر PC4 باند ۴ در روش تحلیل مؤلفه اصلی با ۹ باند



شکل ۷. تصویر نسبت باندی ۴/۵ برای قرمز، ۴/۶ برای سبز و ۴/۸ برای آبی

۲- PCA انتخابی: در استفاده از باندهای طیفی مختلف، گاهی فقط به اطلاعات خاصی از بعضی باندهای طیفی احتیاج است و نیاز به تحلیل تمام باندها نیست. PCA انتخابی در حین کاهش ابعاد داده‌های ورودی، امکان از دست رفتن اطلاعات مفید را به حداقل می‌رساند و برای نقشه‌برداری تفاوت‌های طیفی گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی روی ۶ باند استر برای نقشه برداری هیدروکسیل: با توجه به همبستگی بالا بین باندهای ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ (SWIR) می توان این روش را به کار گرفت [۱۷]. جدول ۳ مقادیر مؤلفه های اصلی برای ۶ باند گفته شده را نشان می دهد. در این جدول، PC1 در بردارنده داده های توپوگرافی و سپیدایی کلی منطقه است. مؤلفه اصلی سوم دارای بارگذاری مثبت از باند ۴ و ۹ (۰/۴۲ و ۰/۶۴) می باشد؛ بنابراین در تصویر PC3، مناطق دارای کانی های آرژیلی نسبت به سایر مناطق (پیکسل های روشن) به صورت پیکسل های تیره آشکار می شود. ساخت تصویر PC3- (شکل ۹) منجر به بارسازی این مناطق با رنگ روشن می شود.

جدول ۳. مقادیر مؤلفه های اصلی برای ۶ باند مادون قرمز موج کوتاه محدوده

باند / مؤلفه اصلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۴	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۴۱
۵	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۷۰	۰/۳۴
۶	۰/۷۶	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۲۱
۷	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۱۰	۰/۳۹	۰/۸۴
۸	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۸۶	۰/۳۱	۰/۱۰
۹	۰/۰۲	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۵۸
مقدار ویژه	۳۳۴/۸۸	۲۸/۲۰	۱۱/۵۹	۴/۳۴	۲/۴۴	۲/۳۶
۵						
واریانس (درصد)	۹۸/۵۶	۰/۸۳	۰/۳۴	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۷

روش تحلیل مؤلفه اصلی روی ۳ باند استر برای نقشه برداری هیدروکسیل: تبدیل مؤلفه های اصلی باندهای ۴، ۵ و ۷؛ ۴، ۶ و ۷ و نیز ۲، ۵، ۸ به ترتیب در جدول های ۴، ۵، ۶ نمایش داده شده است. باندها بر اساس ویژگی طیفی کانی های هیدروکسیلی در محدوده های SWIR و NVIR انتخاب شده اند [۳].

الف- جدول ۴ نشان می دهد که آلونیت به دلیل بارگذاری بالا برای باند ۴ (۰/۵۸)، در PC2 بارسازی می شود. کانی بیان شده در این PC به صورت پیکسل های روشن آشکار می شود.

ب- جدول ۵ نشان دهنده این است که سرسیت و کانی های رسی، به دلیل بارگذاری بالا برای باند ۴ (۰/۶)، در PC2 و به صورت پیکسل های روشن بارسازی می شوند.

ج- محاسبات آماری تحلیل مؤلفه های اصلی جدول ۶ مبین این است که زون پروپلیتیک به دلیل بارگذاری بالا در باند ۲ (۰/۶)، در PC2 نمایان می شود. مشابه دو حالت اخیر پیکسل های روشن نشانگر زون گفته شده است.

جدول ۴. مقادیر مؤلفه های اصلی برای ۳ باند ۴، ۵ و ۷

باند / مؤلفه اصلی	۱	۲	۳
۴	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۸
۵	۰/۸۱	۰/۴۸	۰/۳۲
۷	۰/۰۹	۰/۶۶	۰/۷۴
مقدار ویژه	۱۵۸۸/۳۲	۹/۰۷	۷/۴۴
واریانس (درصد)	۹۸/۹۷	۰/۵۷	۰/۴۶

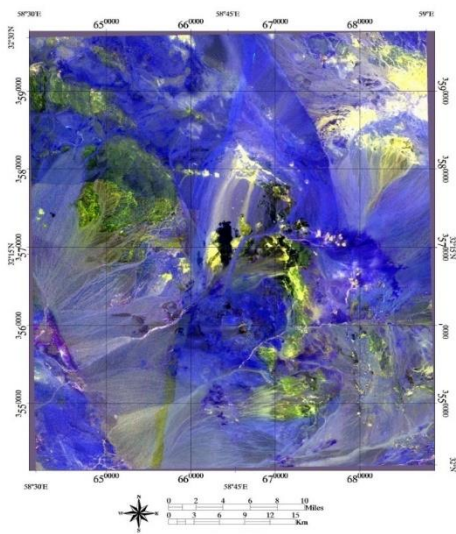
جدول ۵. مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای باند ۳، ۴، ۶ و ۷

باند / مؤلفه اصلی	۱	۲	۳
۴	۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۵۷
۶	۰/۸۲	-۰/۴۷	-۰/۳۱
۷	-۰/۰۹	-۰/۶۴	۰/۷۶
مقدار ویژه	۱۶۵۲/۲۸	۱۰/۰۴	۵/۶۸
واریانس (درصد)	۹۹/۰۶	۰/۶۰	۰/۳۴

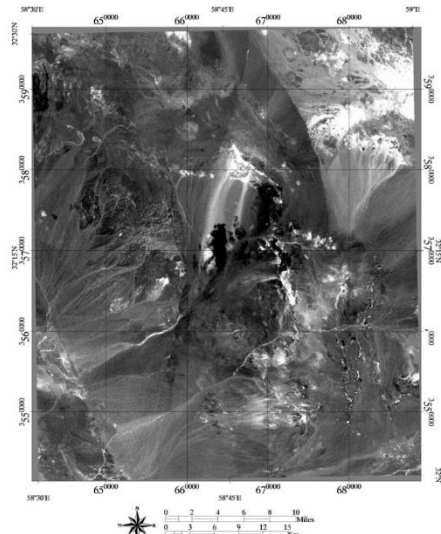
جدول ۶. مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای باند ۳ از SWIR+NVIR محدوده

باند / مؤلفه اصلی	۱	۲	۳
۲	۰/۴۶	۰/۶۰	۰/۶۵
۵	۰/۸۵	-۰/۵۱	-۰/۱۴
۸	-۰/۲۵	-۰/۶۲	۰/۷۴
مقدار ویژه	۱۴۴۰/۳۵	۴۴/۳۰	۱۷/۲۳
واریانس (درصد)	۹۵/۹۰	۲/۹۵	۱/۱۵

در شکل ۱۰ ترکیب رنگی (۴۶۷) PC2، (۴۵۷) PC2 و (۲۵۸) PC2 برای رنگ‌های قرمز، سبز و آبی نمایش داده شده است. مناطق دگرسانی در این تصویر با رنگ زرد متمایل به روشن بارز شده‌اند.



شکل ۱۰. ترکیب رنگی قرمز، آبی و سبز (۴۶۷) PC2، (۴۵۷) PC2 و (۲۵۸) PC2



شکل ۹. تصویر PC3 باند ۴ در روش انتخابی با ۶ باند

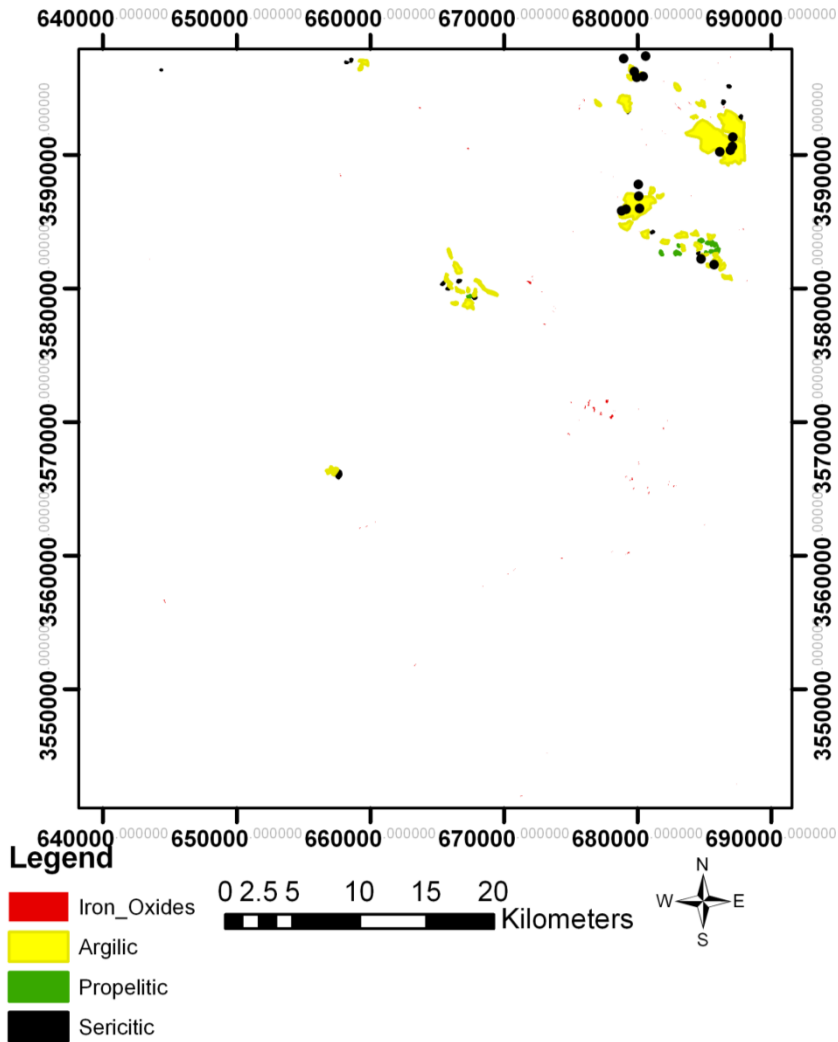
## بررسی‌های صحرائی

مطالعات میدانی انجام شده توسط کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور [۱۸]، بیانگر وجود ۱۶ محدوده دارای آلتراسیون مرتبط با مس در برگه سرچاه‌شور است. مختصات نقطه بازدید شده از هر محدوده در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷. مختصات نقاط دگرسانی در برگه سرچاه‌شور [۱۸]

شماره نقطه	X	Y
۱	۶۷۹,۰۰۰	۳,۵۹۷,۲۰۰
۲	۶۸۰,۶۶۲	۳,۵۹۷,۳۸۰
۳	۶۷۹,۸۰۲	۳,۵۹۶,۲۱۰
۴	۶۸۰,۴۷۳	۳,۵۹۵,۸۵۷
۵	۶۷۹,۹۷۴	۳,۵۹۵,۷۹۵
۶	۶۸۷,۱۶۳	۳,۵۹۱,۲۹۴
۷	۶۸۶,۹۷۹	۳,۵۹۰,۳۳۹
۸	۶۸۷,۱۵۷	۳,۵۹۰,۶۲۰
۹	۶۸۶,۲۰۱	۳,۵۹۰,۲۰۴
۱۰	۶۸۴,۸۱۰	۳,۵۸۲,۲۰۴
۱۱	۶۸۵,۷۸۲	۳,۵۸۱,۷۵۶
۱۲	۶۸۰,۱۰۳	۳,۵۸۷,۷۷۲
۱۳	۶۸۰,۱۳۶	۳,۵۸۶,۸۷۵
۱۴	۶۸۰,۲۰۶	۳,۵۸۵,۹۶۸
۱۵	۶۷۹,۱۹۹	۳,۵۸۵,۹۰۰
۱۶	۶۷۸,۸۴۱	۳,۵۸۵,۷۹۶

در شکل ۱۲ نقشه پراکندگی محدوده‌های دگرسانی به همراه موقعیت نقاط دگرسانی موردبازدید، نمایش داده شده است. همان‌طور که از تصویر مشخص است، ۱۳ نقطه از مجموع ۱۶ نقطه مذکور در محدوده‌های معرفی شده حاصل از مقاله حاضر، واقع است.



شکل ۱۲: نقشه پراکندگی محدوده‌ها و موقعیت نقاط دگرسانی مرتبط با مس در برکه سرچاه‌شور

به‌منظور کنترل نهایی نتایج و مطالعات صحرایی، بازدید از محدوده‌های دگرسانی آرژیلیک، پروپلیتیک، سرسیتیک و اکسیدهای آهن انجام شد. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ به‌ترتیب دگرسانی پروپلیتیک و اکسیدهای آهن در شمال شرق محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. دگرسانی اکسید آهن در محدوده سرچاه شور (دید به سمت شمال غرب)



شکل ۱۳. دگرسانی پروپلیتیک در محدوده سرچاه شور (دید به سمت شرق)

### نتیجه گیری

محدوده سرچاه شور به دلیل شرایط ویژه زمین شناسی (واقع شدن در مجاورت بلوک لوت و وقوع پدیده فرورانش) دارای قابلیت بالا برای انواع کانه سازی ها به خصوص مس پرفیری می باشد. مطالعات صحرایی و اکتشافات منطقه ای انجام شده روی نشانه های معدنی موجود در محدوده، مؤید دقت مطلوب سنجنده استر و روش های ترکیب رنگی کاذب و مؤلفه اصلی انتخابی با ۹، ۶ و ۳ باند که منجر به بارز سازی اکسید آهن، آرژیلیک، سرسیتیک و پروپلیتیک شده است، می باشد. با توجه به انطباق خوب روش های فوق با واقعیت موجود، مناطق جدید بارز شده (واقع در قسمت های مرکزی منطقه)، قابلیت انجام مطالعات تکمیلی را داراست.

### Reference

1. Honarmand, M. & Ranjbar, H. (2006). «Application of Various ETM+ Image Processing for Exploration of Porphyry and Vein Copper Deposits in Kouh Mamzar- Kouh Pang Region in Kerman Province». *Scientific Quarterly Journal, GEOSIENCES*, 14 (3). 110-127. (in Persian).
2. Kiani, O., Ansari, A., Mojtahedzadeh, SH., & Kouhsari, AH. (2020). «Prospecting Cu-porphyry mineralization using remote sensing data: case study from Aliabad and Darehzereshk porphyry copper deposits, SW of Yazd, Iran». 8<sup>th</sup> Iranian Mining Engineering Conference. Birjand, Iran. (in Persian).
3. Beiranvand Pour, A. & Hashim, M. (2012). «The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits». *Ore Geology Reviews*. 44 (2012). 1-9.

4. Khunsa, F., Khattak, M., Kausar, A., Toqeer, M., Haider, N. & Rehman, A. (2017). «Minerals identification and mapping using ASTER satellite image». *Journal of Applied Remote Sensing*, 11 (4). 105-122.
5. Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., Stern, C.R. & Mazaheri, S.A. (2009). «Hydrothermal Alteration Mapping in SW Birjand, Iran, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Image Processing». *Journal of Applied Sciences*, 9 (5). 829-842.
6. Salehi, T. & Tangestani, M.H. (2020). «Per-pixel analysis of ASTER data for porphyry copper hydrothermal alteration mapping: A case study of NE Isfahan, Iran». *Remote Sensing applications: Society and Environment*, 20 (2020). 1-15.
7. KarimPour, MH, Malekzadeh Shafaroudi, A. & Heidarian Shahri, MR. (2013). «Ore Reserves Exploration; Geological, Geochemical, Remote Sensing and Geophysical Models». fourth edition, University of Ferdowsi Press. (in Persian).
8. Dohuee, M., Nowrouz, Gh., Moeini, H. & Dehjue, M. (2020). «Hydrothermal alteration separation using mixture tuned matched filtering (MTMF) and spectral angle mapper (SAM) in the kodakan area». 8<sup>th</sup> Iranian Mining Engineering Conference. Birjand, Iran. (in Persian).
9. Malekshahi, S., Rassa, I., Rashid Nezhad Omran, N. & Lotfi, M. (2019). «Comparison of the results of satellite image processing for extraction of alterations with mineralogy and field studies in Sarkuh Porphyry Copper Deposit». *Iranian Remote Sensing & GIS*, 10 (4). 1-26. (in Persian)
10. Mousavi, S.S., Honarmand, M., Shahriari, H. & Hosseinjani Zadeh, M. (2019). «Mineral exploration modeling of metallic deposits using ASTER and OLI data for producing mineral potential map in Esfandaghe region, Kerman province». *Scientific Quarterly Journal, GEOSIENCES*, 29 (113). 45-56. (in Persian).
11. Fatemi, SB. & Rezaei, Y. (2018). «Principles of Remote Sensing». second edition, Tehran, Azadeh Press. (in Persian).
12. Eftekharneshad, J., Stocklin, J., Vassigh, H. & Soheili, M. (1975). «Sar-e-Chah-e-Shur 1:100000 map». sheet 7754. Geological Survey of Iran.
13. Kurzawa, T., Brocker, M., Fotoohi Rad, Gh., Berndt, J. & Lisker, F. (2017). «Cretaceous high-pressure metamorphism and low pressure overprint in the MARK Sistan Suture Zone, eastern Iran: Additional temperature estimates for eclogites, geological significance of U-Pb zircon ages and Rb-Sr constraints on the timing of exhumation». *Journal of Asian Earth Sciences*. 147 (4). 332-344.
14. Karimpour, M.H., Zarrinkoub, M.H., Sadeghi, M. (1996). «Project of producing mineral potential map in eastern Iran». Department of Geology, University of Birjand.
15. Abbaszadeh, M. & Hezarkhani, A. (2011). «Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Images in the Rabor area, Kerman». *Scientific Quarterly Journal, GEOSIENCES*, 29 (78). 123-128. (in Persian).
16. Frauenfelder, R. (2020). «Remote Sensing in Geology». Encyclopedia of Geology, second edition. Elsevier Inc.
17. Chaves, P.S. & Yaw Kwarteng, A. (1989). «Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective Principal Component Analysis». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55 (4). 339-348.
18. Isfahani neghad, M., Hossein mard Tarashti, A. & Hemmati, F. (2005). «Report on Systematic Exploration and Identification of Mineral Prospectivity Reigons in Ferdows-Khusf Zone, Project



of Mineral Exploration Using Remote Sensing and Airborne Geophysics Data». Geological Survey of Iran, 278-297. (in Persian).