

## کاربردهای فناوری سنجش از دور و تصاویر چندطیفی ماهواره ای در اکتشافات مواد معدنی

میثم داودآبادی فراهانی<sup>۱</sup>، کمیل روستایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار مدعو موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی حکمت قم.

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی سنجش از دور، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی حکمت قم.

نام نویسنده مسئول:

کمیل روستایی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱۵

تاریخ چاپ: ۲۰ اردیبهشت ماه

چکیده

شناسایی کردن معادن مواد معدنی از روی تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک بالا به علت دغدغه‌های منع تکثیر در طی سال‌های اخیر اهمیت چشمگیری یافته است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که شناسایی این معادن با بهره‌گیری از روش‌های سنجش از دوری که تنها از امضای طیفی استفاده می‌کنند کاری دشوار می‌باشد. در این رابطه، رویکردی را پیشنهاد می‌کنیم که صرفاً بر امضای فضایی تجهیزات بکار رفته در فرایند استخراج به عنوان یک جایگزین متکی است.

در مطالعه قبلی که توسط مؤلفان این مقاله انجام و بطور خلاصه در قالب مقاله‌ای ارائه شد ما روشی را برای متمایز ساختن معادن بر مبنای امضای فضایی تجهیزات پیشنهاد کردیم. علاوه بر مشخصه‌هایی که برای تفکیک این معادن از آنها استفاده کردیم، ما به سراغ ابعاد تجهیزات معمول مورد استفاده در هر دو فرایند می‌رویم و از آن برای تقویت روش طبقه‌بندی خود استفاده می‌کنیم.

**واژگان کلیدی:** معادن مواد معدنی، امضای فضایی، تابع تشخیص.

## مقدمه

بشر از بدو آفرینش، پیوسته برای ادامه حیات به زمین و مواد تشکیل دهنده آن نیازمند بوده است. به همین جهت کانی‌های موجود در پوسته زمین بیشتر مورد توجه انسان بوده و تلاش برای یافتن کانسارهای جدید و یا گسترش هر چه بیشتر از کانسارهای موجود همچنان ادامه دارد.

روش‌های شناسایی و اکتشافی سنجش از دور، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی روش‌هایی هستند که نسبت به روش‌های حفاری بسیار ارزانتر و کم هزینه‌تر می‌باشند، بنابراین انجام این روش‌ها قبل از حفاری در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری و هزینه عملیات اکتشافی می‌شود.

بررسی‌های سنجش از دور به دلیل دید وسیع و یکپارچه و محدوده‌های طول موجی مختلف، از بهترین روش‌ها در پی‌جویی کانسارها است. با استفاده از این داده‌ها می‌توان خطواره‌ها، شکستگی‌ها و نیز دگرسانی‌ها را تعیین نمود. البته با توجه به خصوصیت این روش بایستی ویژگی‌های مرتبط با حضور کانسارها در سطح زمین رخنمون داشته باشد.

روش‌های ژئوفیزیکی نیز یکی از روش‌های مفید در اکتشاف کانسارها هستند که می‌توان آن‌ها را در زمین، دریا و هوا انجام داد. در مناطقی که وسعت زیادی دارند غالباً از روش هوابرد استفاده می‌شود، زیرا این روش خیلی سریعتر و با دقت بیشتری انجام می‌گیرد.

روش‌های ژئوشیمیایی نیز همانطور که گفته شد در مراحل اولیه پی‌جویی کانسارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش با استفاده از نمونه‌های برداشت شده از منطقه و بررسی‌های آماری مناطق بی‌هنجاری تعیین می‌شوند.

## پیشینه تحقیق

در مورد کارهای انجام شده قبلی مرتبط با این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

کروستا (۱۹۸۹)، ساینز (۱۹۹۹)، دایی و همکاران (۱۳۸۵)، امراللهی و همکاران (۱۳۸۵)، معروفی و همکاران (۱۳۸۳)، عسگری و همکاران (۱۳۸۳)، احمدی و همکاران (۱۳۸۳)، آقاجانی و همکاران (۱۳۸۳)، رنجبر و هنرمند (۲۰۰۳)، رنجبر و هنرمند (۲۰۰۴)، راماندان و کونتنی (۲۰۰۴)، هاشمی و مور (۲۰۰۰)، عبدین و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (لندست و آستر) در تعیین مناطق دگرسان شده و مناطق حاوی اکسید آهن استفاده نمود.

محققین مختلف از داده‌های رادیومتری برای مقاصد مختلف اکتشافی و زمین‌شناسی به طرق مختلف استفاده نموده‌اند. لکزایی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از داده‌های رادیومتری هوابرد به مطالعات اکتشافی اورانیوم در منطقه برندق پرداخته‌اند. معصومی و فلاح (۱۳۸۴)، جهت پتانسیل‌یابی منطقه سرچشمه کرمان از داده‌های رادیومتری هوابرد استفاده نموده‌اند. مارتلت و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های رادیومتری هوابرد نقشه زمین‌شناسی، ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه کاین واقع در کشور فرانسه را تهیه نموده‌اند.

شیوز و همکاران (۲۰۰۱) از داده‌های رادیومتری و با استفاده از نسبت  $K/Th$  پیشنهاد نمودند که می‌توان مناطق دگرسانی را مشخص نمود. کوادروس و همکاران (۲۰۰۳) با پیشنهاد فاکتور  $Kd$  نشان دادند که می‌توان از داده‌های رادیومتری می‌توان جهت تعیین مناطق دگرسان شده استفاده نمود.

محققان مختلفی جهت تعیین مناطق بی‌هنجاری مواد معدنی از تلفیق داده‌های اکتشافی مختلف استفاده نموده‌اند، که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

مون و کارتر (۱۹۹۴)، مون (۱۹۹۸)، ونکاترامان و همکاران (۲۰۰۰)، هاشمی تنگستانی و مور (۲۰۰۲) و کوئینگ و همکاران (۲۰۰۵).

## استخراج اطلاعات از تصاویر $ETM^+$ و $ASTER$ جهت اکتشافات معدنی

تاکنون مطالعات دورسنجی بسیاری جهت اکتشاف مواد معدنی انجام شده است. با بررسی این مطالعات می‌توان گفت که به صورت کلی دو رویکرد اصلی جهت اکتشاف مواد معدنی در آن‌ها به کار برده شده است. اول شناسایی سنگ‌های دارای

آلتراسیون‌های هیدروترمالی که ممکن است با توده‌های معدنی همراه باشند و دوم تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و واحدهای سنگی و مطالعه بر روی الگوی شکستگی سنگ‌ها.

### شناسایی آلتراسیون‌ها به کمک تصاویر

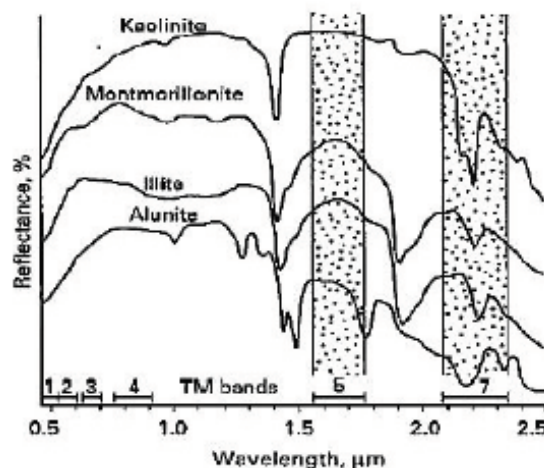
در مناطقی با سنگ بستر نمایان می‌توان تصاویر چند طیفی را برای تشخیص سنگ‌های آلتزه بکار برد. کانی‌های حاوی هیدروکسیل<sup>۱</sup> شامل کانی‌هایی همچون کائولینیت، مونت موریلونیت، ایلیت و دیگر کانی‌های رسی و سیلکات‌های ورقه‌ای از گسترده‌تری محصولات آلتراسیون‌ها هستند، که در زون‌های آلتراسیون فیلک<sup>۲</sup>، آرژیک<sup>۳</sup> و پتاسیک<sup>۴</sup> یافت می‌شوند. اکسیدهای آهن نیز به شکل کانی‌های چون هماتیت، لیمونیت و گوتیت در مناطق آلتراسیون به فراوانی یافت می‌شوند این کانی‌ها علاوه بر آنکه یکی از اجزاء بسیار معمول زون‌های آلتراسیون هستند در زون اکسیداسیون که در بالای تعداد زیادی از توده‌های پرفیری توسعه یافته است نیز به وفور یافت می‌شوند محققین زیادی از بارزسازی کانی‌های حاوی هیدروکسیل و کانی‌هایی اکسید آهن جهت شناسایی آلتراسیون‌های هیدروترمال کمک گرفته‌اند.

### روش نسبت‌های بانندی

نتیجه تقسیم مقادیر درجه روشنایی پیکسل‌ها در یک باند طیفی به باند دیگر را تصویر نسبت بانندی می‌گویند. نسبت‌گیری بانندی برای آشکار ساختن تغییراتی که در تصویر باندهای تک قابل دیدن نیستند به کار می‌روند (علوی‌پناه، ۱۳۸۲). در پردازش تصاویر  $ETM^+$  به صورت معمول از دو نسبت بانندی  $5/7$  و  $3/1$  به ترتیب برای آشکارسازی کانی‌های حاوی هیدروکسیل و اکسیدهای آهن استفاده می‌شود.

### نسبت بانندی $5/7$ تصاویر $ETM^+$

کانی‌های هیدروکسیل‌دار بیشترین بازتابش را در طول موج محدوده باند ۵ سنجنده  $ETM^+$  دارند و یک جذب آشکار در طول موج محدوده باند ۷ سنجنده و  $ETM^+$  دارند.



شکل ۱. نمودار طیف بازتابش بعضی از کانی‌های هیدروکسیل‌دار و محدوده باندهای ۵ و ۷ سنجنده  $ETM^+$

1-Hydroxyl Bearing Minerals

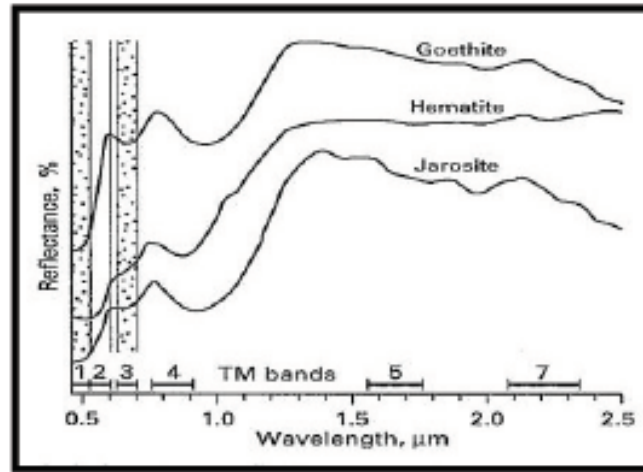
2- Phyllic

3- Argilic

4- Potassic

## نسبت بانندی ۳/۱ تصاویر ETM+

اکسیدهای آهن دیگر کانی‌هایی هستند که در سنگ‌های دارای آلتراسیون اجتماع می‌کنند و بوسیله تصاویر ETM+ قابل شناسایی هستند.



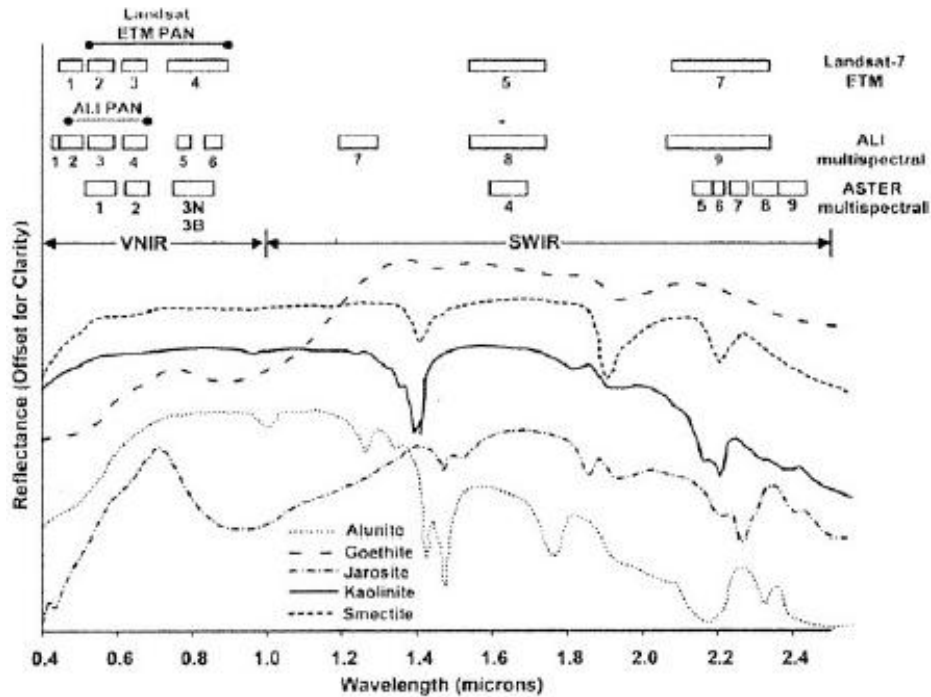
شکل ۲. نمودار طیف بازتابش کانی‌های اکسید آهن و محدوده باندهای ۳ و ۱ سنجنده ETM+

## نسبت‌های بانندی برای تصویر ASTER

بررسی منحنی‌های طیفی سنگ‌های رسوبی در محدوده نور مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی و به کارگیری نسبت ترکیبات رنگی نشان داده است که در سنجنده آستر نسبت بانندی مرکب (B7+B9)/B8 آهن، نسبت بانندی (B6+B8)/B7 دولومیت و نسبت بانندی B2/B1 اکسید آهن را بارز می‌کند همچنین عبدین و همکاران (۲۰۰۱) از ترکیب کاذب رنگی نسبت‌های بانندی ۴/۷ (قرمز)، ۴/۱ (سبز)، ۲/۳ (آبی) و نیز از ترکیب نسبت‌های بانندی ۴/۷ (قرمز)، ۳/۴ (سبز)، ۱/۲ (آبی) سنجنده آستر برای بارزسازی واحدهای لیتولوژیک استفاده کرده‌اند. در جدول ۲، فهرست باندهایی که بیشترین جذب و بیشترین بازتابش را برای برخی کانی‌ها در تصاویر سنجنده آستر نشان می‌دهد.

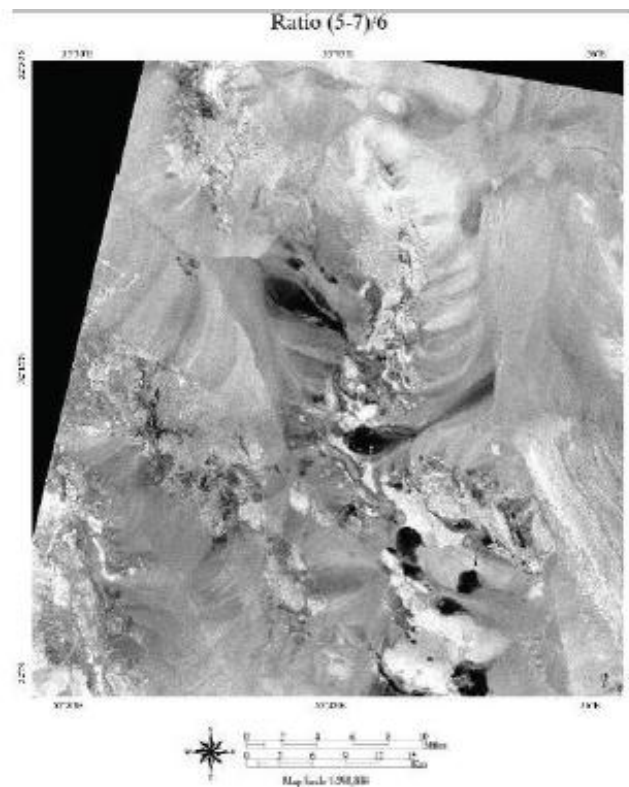
جدول ۱. بیشترین جذب و بازتابش باندهای سنجنده آستر برای برخی کانی‌ها

| نام کانی     | باند بیشترین جذب | باند بیشترین بازتابش |
|--------------|------------------|----------------------|
| کائولین      | ۵                | ۴ و ۷                |
| دیکیت        | ۵ و ۶            | ۴                    |
| پیروفیلیت    | ۵                | ۴                    |
| سرسیت        | ۶                | ۵ و ۷                |
| ایلیت        | ۶                |                      |
| آلونیت       | ۵                |                      |
| کلریت        | ۷ و ۸            | ۶ و ۹                |
| اپیدوت       | ۷ و ۸            | ۶ و ۹                |
| اکسیدهای آهن | ۱                | ۲                    |
| کرینات‌ها    | ۷ و ۸            | ۴                    |
| سیلیس        | ۱۲               | ۱۳                   |

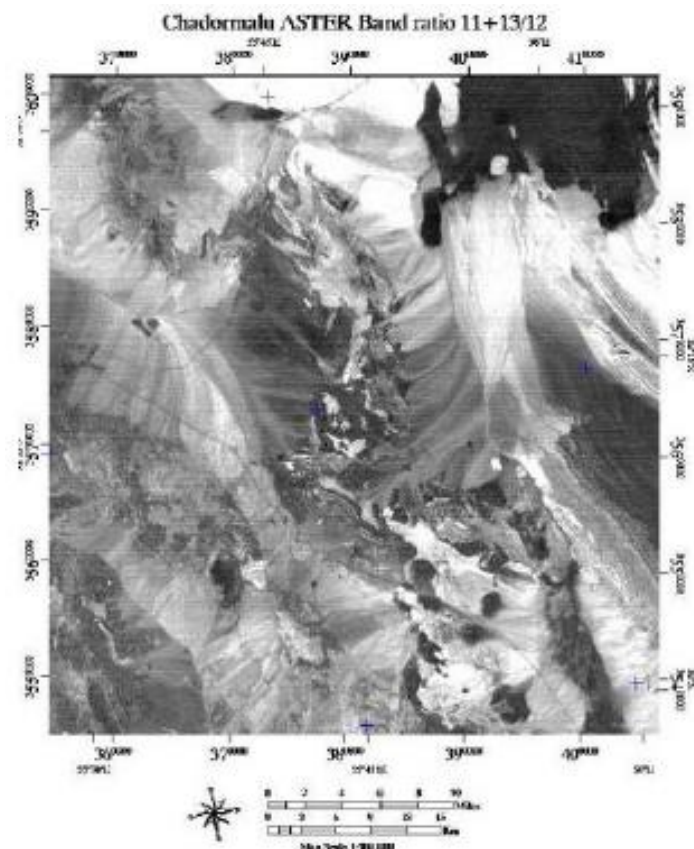


شکل ۳ مقایسه نمودار طیف چند کانی در تصاویر آستر با دیگر سنجنده‌ها (مقتدری و همکاران، ۲۰۰۶)

شکل ۵، نسبت بانندی  $(B5+B7)/B6$  را نشان می‌دهد که جهت تعیین زون فیلیک استفاده شده است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ‌ها، مثل کوارتز و فلدسپات در محدوده طیفی VNIR و SWIR دارای جذب نمی‌باشند ولی در محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی دارای رفتار جذب مولکولی هستند.



شکل ۴. نسبت بانندی مرکب  $(B5+B7)/B6$  جهت بارزسازی زون فیلیک



شکل ۵ نسبت بانندی مرکب  $(B11+B13)/B12$  جهت بارزسازی ماسه سنگ

### تصاویر رنگی کاذب<sup>۵</sup>

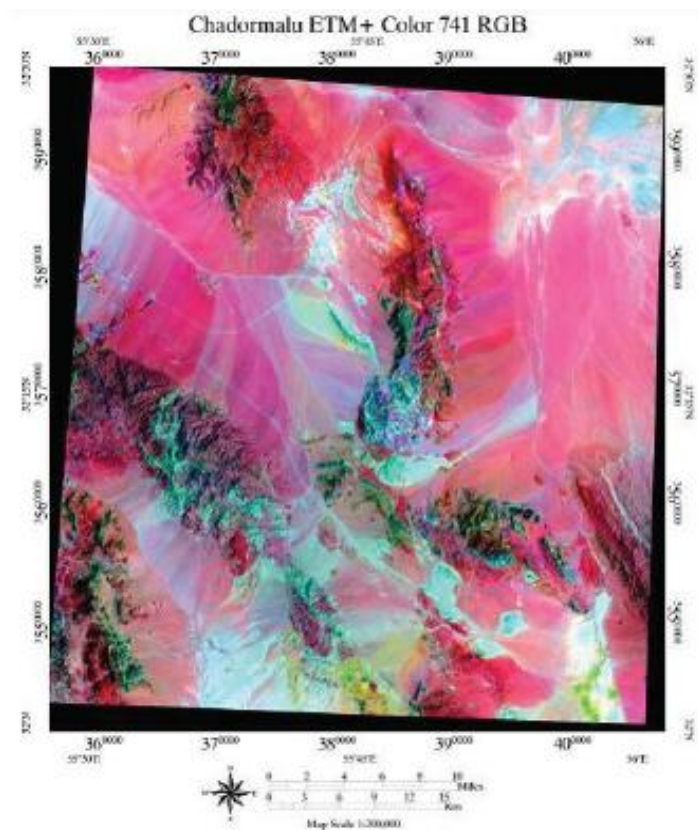
با توجه به اینکه اندر کنش طول موجهای مختلف انرژی الکترومغناطیسی در برخورد با واحدهای سنگی مختلف، متفاوت است و حساسیت چشم انسان به تغییرات جزئی در رنگ بسیار بیشتر از حساسیت آن به تغییرات تن در تصاویر سیاه و سفید است، تصاویر کاذب رنگی باندهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص یک رنگ از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر کدام از آنها، تصویر رنگی کاذب ساخته می‌شود. با ترکیب باندهای مختلف یک سنجنده مثل  $ETM^+$  می‌توان تعداد زیادی تصویر رنگی کاذب بدست آورد. ولی چنین تصاویری که از ترکیب باندهای مختلف بدست می‌آیند بیشتر جهت شناسایی واحدهای مختلف سنگی، گیاهان و غیره به کار می‌روند و برای تشخیص سنگ‌های دارای آلتراسیون کمتر کارایی دارند.

با توجه به اینکه باندهای ۱، ۴ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  کمترین همبستگی را دارند و بیشترین تفاوت موجود بین واحدهای تشکیل‌دهنده عکس را نشان می‌دهند ترکیب کاذب رنگی ۱ (آبی)، ۴ (سبز) و ۷ (قرمز) تهیه شد. این تصویر برای تفکیک واحدهای مختلف سنگی مورد استفاده قرار گرفت.

نوع دیگری از تصاویر رنگی کاذب وجود دارند که برای شناسایی آلتراسیون‌ها مزیت‌های خوبی ایجاد می‌نمایند. در این نوع به جای ترکیب تصاویر باندهای مختلف، تصاویر بدست آمده از روش‌هایی چون نسبت‌های بانندی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی ترکیب شده و نتیجه حاصل به تفسیر این تصاویر کمک می‌نماید. در ادامه نمونه‌هایی از این تصاویر رنگی کاذب بررسی خواهد شد.

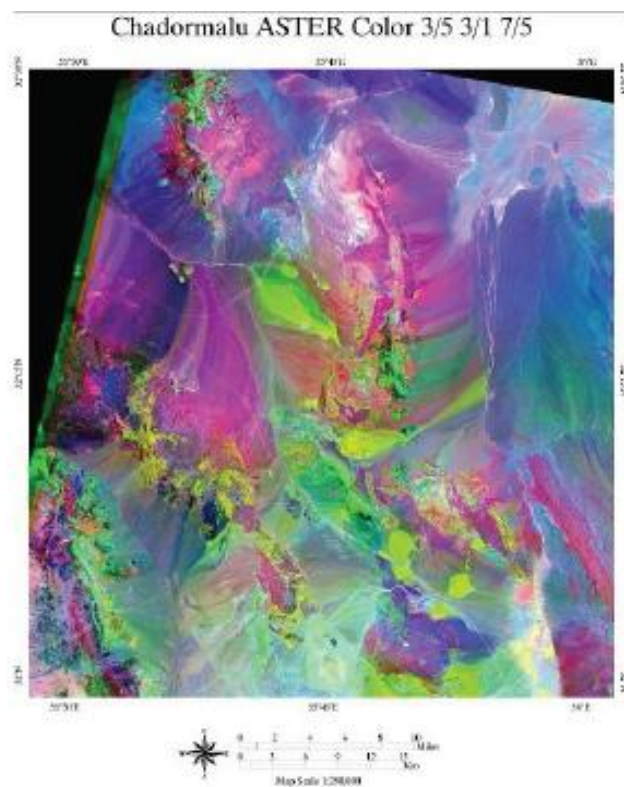
<sup>5</sup>- False Color Composite Image



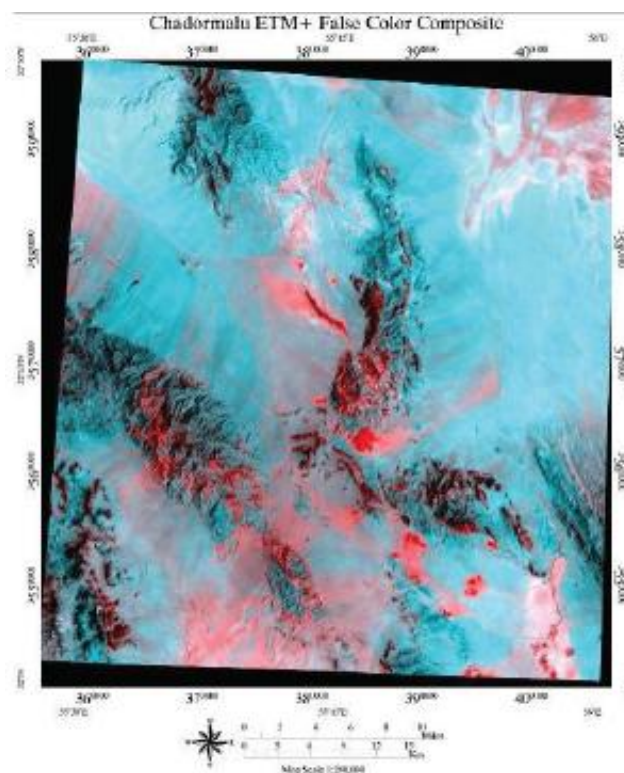
شکل ۶. تصویر رنگی کاذب سنجنده  $ETM^+$  در منطقه مورد مطالعه (RGB=۷۴۱)

### ترکیب تصاویر نسبت‌های بانندی به صورت رنگی

این تصاویر با دادن سه رنگ اصلی به سه تصویر نسبتی مختلف ایجاد می‌شوند. یکی از ترکیب‌های مورد استفاده در این روش در تصویر ASTER ترکیب نسبت‌های بانندی ۳/۵، ۳/۱ و ۷/۵ به ترتیب با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی است. در تصویر حاصل از این روش مناطق آلتراسیون با رنگ‌های پرتقالی و زرد خود را نشان خواهند داد شکل ۸ تصویر رنگی کاذب از این نوع را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. ترکیب رنگی باندهای ۶، ۴ و ۷ نیز مناطق دگرسان شده را با رنگ صورتی نشان می‌دهد



شکل ۷ تصویر رنگی کاذب سنجنده ASTER (RGB = ۳/۵ ۳/۱ ۷/۵) (مناطق دگرسانی به رنگ‌های پرتقالی و زرد)



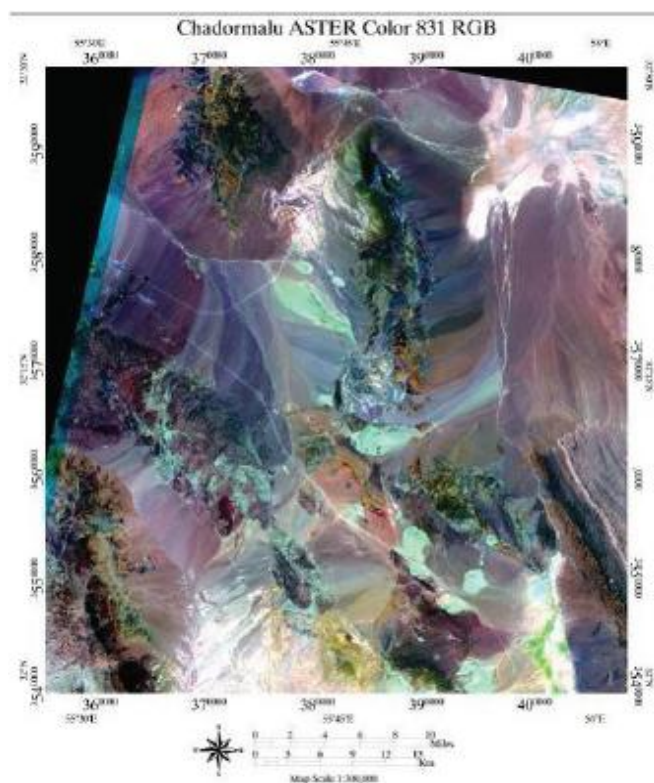
شکل ۸ تصویر رنگی کاذب سنجنده ETM+ در منطقه مورد مطالعه (RGB = ۴ ۶ ۷) (مناطق دگرسان به رنگ صورتی)

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود روند کلی این دگرسانی‌ها مطابق با روند ساختارها و واحدهای آذرین و دگرگونی منطقه در یک نوار شمالی-غربی - جنوب شرقی می‌باشد.



## تصاویر کاذب رنگی سنجنده آستر

برای تفکیک لیتولوژی به منظور کمک به تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی تصاویر کاذب رنگی ترکیبات باندی مختلف تهیه شد. از بین تصاویر کاذب رنگی، سنجنده آستر تصویر RGB: ۷-۳-۱، RGB: ۷-۳-۲، RGB: ۸-۳-۱، RGB: ۸-۳-۲ نتایج قابل قبولی ارائه دادند و از بین این تصاویر تصویر RGB: ۸-۳-۱ بهترین را برای تفکیک واحدهای مختلف سنگی نتیجه داد. علت این قدرت بالا در تباین واحدهای مختلف می‌تواند به خاطر تباین در بازتاب واحدهای مختلف سنگی در باندهای مربوطه باشد. همچنین قدرت تفکیک مکانی بالا در باندهای ۱ و ۳ نیز سبب افزایش بارزسازی تصویر می‌شود.



شکل ۹ تصویر کاذب رنگی سنجنده آستر برای تفکیک لیتولوژی (RGB: ۸-۳-۱)

## آنالیز مؤلفه‌های اصلی<sup>۶</sup> برای داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup>

آنالیز مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری چند متغیره است برای پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته بصورتی که تشکیل یک دستگاه مختصات جدید را بدهند. این ترکیبات خطی مؤلفه‌های اصلی<sup>۷</sup> نامیده می‌شوند و دارای دو خاصیت هستند: ۱- بخش اعظم تغییرپذیری توسط تعداد محدودی از متغیرهای جدید توجیه می‌شود یعنی تعداد بعدها کاهش می‌یابد. ۲- متغیرهای جدید که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه هستند بین خود همبستگی نشان نمی‌دهند. آنالیز مؤلفه‌های اصلی در تفسیر داده‌های سنجنده از دور اهمیت زیادی دارد. مهمترین فواید این روش، جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند یا مؤلفه کمتر است. بیشتر تغییرپذیری داده‌ها در مؤلفه‌های اصلی اول توجیه می‌شوند پس می‌توان با صرف نظر کردن از توجیه‌پذیری بخش کوچکی از داده‌ها تعداد ابعاد را کاهش داد. اعمال روش مؤلفه‌های اصلی بر روی تمام باندهای سنجنده ETM<sup>+</sup> یا بخشی از آن‌ها (به صورت انتخابی) جهت آشکارسازی دگرسانی‌ها معمول است، ولی باید دقت داشت که در انتخاب باندها برای اعمال این روش بهتر است باندهایی انتخاب شوند که

6- Principal Component Analysis (PCA)

7- Principal Component

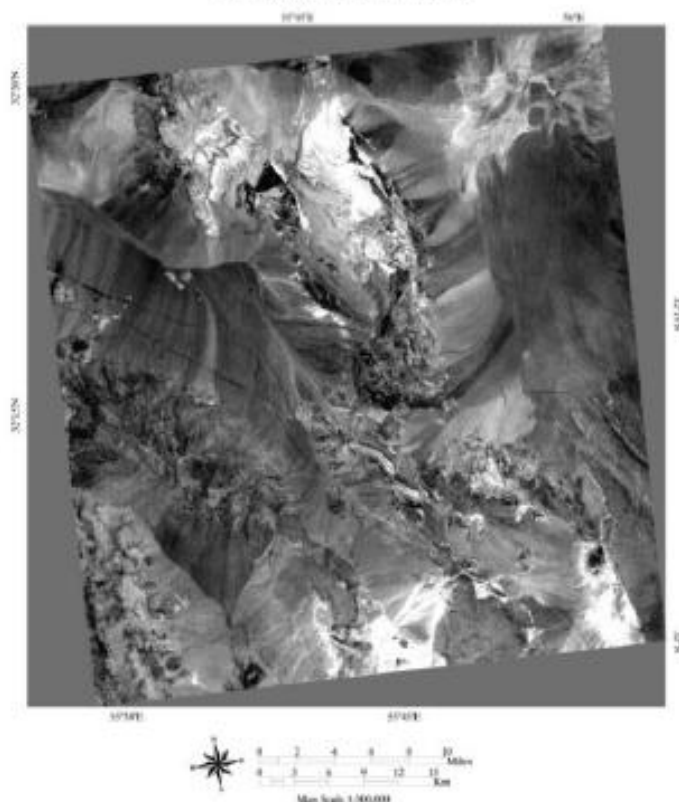
همبستگی کمتری با هم دارند زیرا وجود همبستگی بین باندها نشان دهنده وجود داده‌های مشترک یا به عبارت دیگر تکرار داده‌ها است. بنابراین هر چه میزان همبستگی باندها کمتر باشد ترکیب آن‌ها حاوی اطلاعات بیشتری خواهد بود.

جدول ۲ نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده ETM+ در منطقه مورد مطالعه

| باندهای خروجی | ماتریس بردارهای ویژه |         |         |         |         |         | ٪ واریانس |
|---------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|               | PC1                  | PC2     | PC3     | PC4     | PC5     | PC6     |           |
| ETM + 1       | ۰/۲۶۸۷               | ۰/۰۴۴۱  | -۰/۳۶۳۳ | ۰/۵۹۳۷  | -۰/۴۶۷۱ | ۰/۴۷۲۵  | ۹۷/۱      |
| ETM + 2       | ۰/۲۷۱۳               | ۰/۱۹۳۹  | -۰/۳۶۰۸ | ۰/۳۶۸۳  | ۰/۱۳۶۹  | -۰/۷۷۷۳ | ۲/۶۵۲     |
| ETM + 3       | ۰/۳۴۸۵               | ۰/۳۹۸۸  | -۰/۳۸۸۵ | -۰/۲۶۱۲ | ۰/۵۹۵۱  | ۰/۳۸۲۴  | ۰/۱۷۶     |
| ETM + 4       | ۰/۲۶۳۵               | ۰/۳۶۰۳  | -۰/۱۲۱۷ | -۰/۵۹۶۸ | -۰/۶۳۶۶ | -۰/۱۵۶۵ | ۰/۰۵۳     |
| ETM + 5       | ۰/۳۳۱۲               | ۰/۵۲۰۸  | ۰/۷۳۹۶  | ۰/۲۶۴۳  | ۰/۰۳۴۴  | ۰/۰۳۳۵  | ۰/۰۱۵     |
| ETM + 7       | ۰/۷۴۴۱               | -۰/۶۳۲۸ | ۰/۱۵۸۶  | -۰/۱۳۲۶ | ۰/۰۵۰۲  | -۰/۰۲۵۸ | ۰/۰۰۵     |

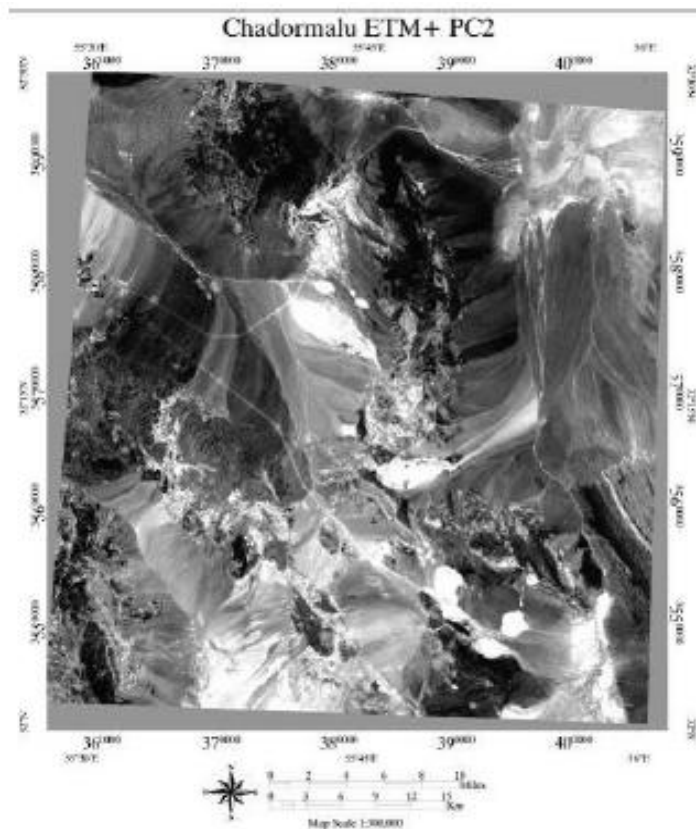
مناطق اکسید آهن و یا کانی‌های هیدروکسیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای معین شد، اما به دلیل بهتر بودن روش مؤلفه‌های اصلی و به جهت جلوگیری از تکرار فقط تصویر این روش آمده است.

Chadormalu ETM+ PC5



شکل ۱۰. تصویر PC5 از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد سنجنده ETM+ (اکسیدهای آهن مناطق روشن)

در PC2 کانی‌های حاوی هیدروکسیل نیز با پیکسل‌های روشن نمایان خواهند شد زیرا که بردار ویژه باند در این PC علامت مثبت دارد و بردار ویژه باند باند ۷ علامت منفی و این کانی‌ها در باند ۵ سنجنده ETM+ بازتابش بالا و در باند ۷ آن جذب بالایی دارند.

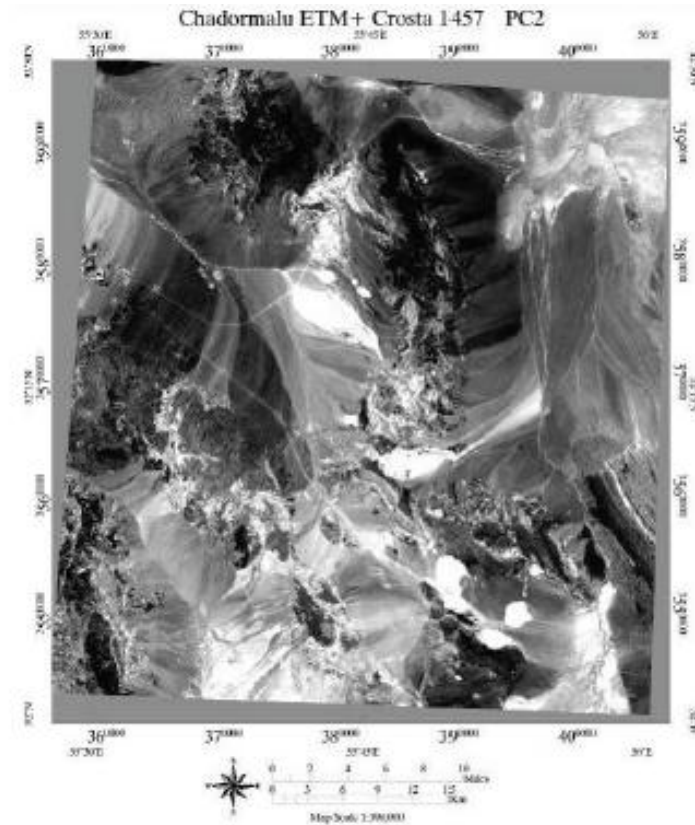


شکل ۱۱. تصویر PC2 از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد سنجنده ETM+ (کانی‌های هیدروکسیل مناطق روشن)

جدول ۳. نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی بر روی ۴ باند ۴، ۵، ۷ و ۱۱ سنجنده ETM+ در منطقه مورد مطالعه

| باندهای خروجی | ماتریس بردارهای ویژه |         |         |         |
|---------------|----------------------|---------|---------|---------|
|               | ETM + 1              | ETM + 4 | ETM + 5 | ETM + 7 |
| PC1           | ۰/۲۹۷۷               | ۰/۲۸۸۳  | ۰/۳۶۲۲  | ۰/۸۳۴۹  |
| PC2           | ۰/۱۱۴۴               | ۰/۴۷۸۸  | ۰/۷۰۴۲  | -۰/۵۱۱۶ |
| PC3           | -۰/۶۲۹۵              | -۰/۵۱۱۴ | ۰/۵۶۳۷  | ۰/۱۵۶۵  |
| PC4           | -۰/۷۰۸۵              | ۰/۶۵۲۸  | -۰/۲۳۴۹ | ۰/۱۲۹۱  |

با توجه به بردارهای ویژه جدول ۴ و همان استدلال‌هایی که در بخش قبل عنوان شد می‌توان پیش‌بینی کرد که در این آنالیز نیز PC1 سپیدی تصویر را نشان خواهند داد. PC2 نیز کانی‌های حاوی هیدروکسیل را با پیکسل‌های روشن بارز خواهد کرد. همانطور که در جدول بالا مشاهده می‌شود بردار ویژه مربوط به باند ۷ در PC2 مقداری نسبتاً بالا و منفی (-۰/۵۱۱۶) و بردار ویژه باند ۵ مقدار بالا و مثبت (۰/۷۰۴۲) دارد. به همین خاطر این PC، کانی‌های حاوی هیدروکسیل را با پیکسل‌های روشن بارز می‌سازد.

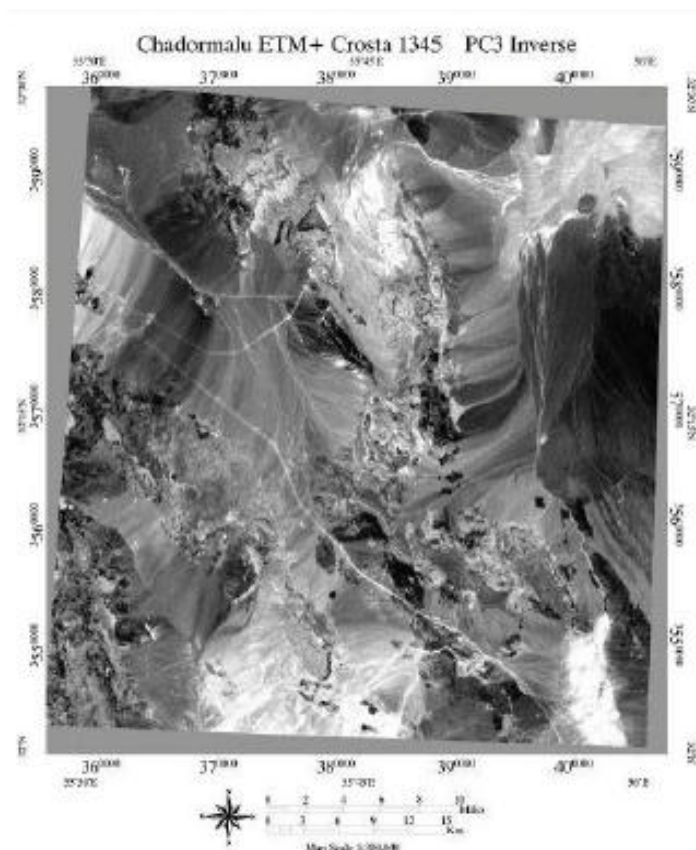


شکل ۱۲. تصویر PC2 از آنالیز PCA باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup> (کانی‌های حاوی هیدروکسیل مناطق روشن)

جدول ۵ نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام شده بر روی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ سنجنده ETM<sup>+</sup> از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که برای بارزسازی اکسیدهای آهن بکار گرفته شده است. با توجه به جدول ۵ می‌توان گفت که در این آنالیز، سپیدی تصویر در PC1 و اکسیدهای آهن در PC3 بارز شده‌اند. بردار ویژه باند ۳ در PC3 این آنالیز برابر ۰/۴۹۸۳- و بردار ویژه باند ۱ برابر ۰/۴۵۷۱+ بدست آمده‌اند در نتیجه کانی‌های اکسید آهن در تصویر این PC با رنگ تیره مشخص می‌شوند. با معکوس کردن تصویر PC3 می‌توان تصویری مانند شکل ۱۴ بدست آورد که در آن کانی‌های اکسید آهن به رنگ روشن دیده می‌شود.

جدول ۴. نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی بر روی ۴ باند ۱، ۳، ۴ و ۵ سنجنده ETM<sup>+</sup> در منطقه مورد مطالعه

| باندهای خروجی | ماتریس بردارهای ویژه |         |         |         |
|---------------|----------------------|---------|---------|---------|
|               | ETM + 1              | ETM + 3 | ETM + 4 | ETM + 5 |
| PC1           | ۰/۴۱۹۵               | ۰/۵۷۱۲  | ۰/۴۳۶۷  | ۰/۵۵۴۱  |
| PC2           | ۰/۷۶۵۰               | ۰/۱۲۸۹  | -۰/۱۱۶۸ | -۰/۶۲۰۱ |
| PC3           | ۰/۴۵۷۱               | -۰/۴۹۸۳ | -۰/۴۸۷۸ | ۰/۵۵۲۱  |
| PC4           | ۰/۱۷۲۸               | ۰/۶۳۹۴  | ۰/۷۴۶۸  | -۰/۰۶۰۳ |



شکل ۱۳. تصویر معکوس شده PC3 از آنالیز PCA باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ سنجنده ETM+ (اکسیدهای آهن مناطق روشن)

### نتیجه گیری

در پردازش‌های دورسنجی، در نقاط S7 و S11 آلتراسیون سیلیسی مشاهده شد که در بازدید صحرایی در نقطه S11 آلتراسیون سیلیسی مشاهده شد. نقطه S7 در منطقه با اولویت سوم (رنگ سبز) قرار دارد و نقطه S11 در مناطق اولویت‌دار قرار ندارد. همچنین با توجه به نقشه‌های بی‌هنجاری اورانیوم و تورنیوم و پتاسیم، در نقاط S1، S2، S3، S4، S5، S6 و S9 مقادیر بالایی از شمارش تورنیوم، پتاسیم و اورانیوم وجود دارد و مقادیر سنتیلومتری آن‌ها از 100 CPS تا 250 CPS متغیر می‌باشد و بالاترین سنتیلومتری مربوط به نقطه S9 با مقدار سنتیلومتری 250 CPS بود. از میان این نقاط، نقاط S5 (CPS=200)، S6 و S9 در منطقه با اولویت بالا (رنگ قرمز) قرار دارند. منطقه S8 که مربوط به معدن متروکه سرب سه‌چنگی و نیز منطقه S10 که مربوط به معدن متروکه سرب حوض رئیس می‌باشند صرفاً به دلیل اینکه جزء اندیس‌های معدنی موجود در ناحیه بودند برداشت شدند که در مقایسه با منطقه S9 سنتیلومتری پایینی داشتند و در مناطق اولویت‌دار قرار ندارند. سایر مناطقی که در بخش تلفیق جزء مناطق اولویت‌دار بودند به دلیل عدم امکان مراجعه به آن مناطق برداشت نشدند. در نهایت مشاهدات صحرایی آنچه که در پردازش و تلفیق داده‌ها به دست آمده را تأیید می‌کند.

### جمع‌بندی

در این پژوهش مطالعه و تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک هوایی و داده‌های سنجنده ETM+ و ASTER در منطقه مطالعاتی انجام شد. داده‌های سنجنده استر از روی داده‌های سنجنده ETM+ تصحیح شد و پس از پیش پردازش مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفتند. از روش نسبت‌های باندی، نسبت 7/9 مناطق دگرسان را بارز می‌کند. نسبت‌های باندی 2/1 سنجنده استر و 3/1 سنجنده ETM+ جهت بارز نمودن مناطق دارای اکسیدهای آهن استفاده شدند. برای ظاهر نمودن کانی‌های رسی از جمله کائولینیت از روش نقشه‌برداری زاویه طیفی استفاده شد. با انجام آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های سنجنده

ASTER، مؤلفه اصلی شماره ۵ به عنوان بارزکننده نواحی دگرسانی رسی شناخته شد. مؤلفه اصلی شماره ۴ سنجنده ETM+ نیز برای بارزسازی مناطق دگرسانی رسی مفید واقع شد، مؤلفه اصلی شماره ۳ سنجنده ETM+ برای بارزسازی مناطق دارای اکسیدهای آهن بکار گرفته شد. سه نقشه ژئوفیزیک هوایی شامل نقشه‌های شمارش پتاسیم، شمارش توریم و شمارش اورانیوم به صورت رقومی تهیه گردیدند و مورد پردازش قرار گرفتند و از طریق این نقشه‌ها و با توجه به قوانین ذکر شده در فصل چهارم در خصوص اولویت‌بندی‌ها، مناطق اولویت‌دار تعیین شدند که تعداد ۹ آنومالی با اولویت اول به دست آمد که این آنومالی‌ها بیشتر بر روی واحدهای توف‌های جوش خورده (Eow)، آندزیت پیروکسن (Eap)، داسیت و لایه‌های آذرآواری و کمی آندزیت (Ed) قرار گرفته‌اند. همچنین از نسبت U/Th جهت تعیین مناطق بی‌هنجاری اورانیوم که توریم پایینی دارند و از نسبت Th/K جهت بررسی‌های لیتولوژیکی استفاده شد. با استفاده از فیلترهای بارزکننده پس از بارزسازی خطواره‌ها، تصویر خطوارگی منطقه مطالعاتی به دست آمد. در نهایت چهار لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوفیزیک هوایی، گسل‌ها و خطواره‌ها به روش منطق فازی تلفیق شدند و به محدوده جهت مطالعات بعدی مشخص شد که این محدوده‌ها در غرب، مرکز و شمال منطقه مطالعاتی و بر روی واحدهای داسیت و آذرآواری و کمی آندزیت (Ed)، سنگ‌های آذرآواری با کمی کنگومرا و پرلیت (Et) و توف‌های جوش خورده (Eow) قرار دارند. در ادامه با مطالعات صحرایی درستی آنالیز و تلفیق داده‌ها و در نتیجه درستی نقشه طبقه‌بندی منطقه با روش فازی مورد بررسی قرار گرفت. در ۱۱ نقطه منطقه مورد مطالعه برداشت رادیومتری انجام شد (S۱ تا S۱۱). در نقاط S۷ و S۱۱ با توجه به پردازش‌های دورسنجی، آلتراسیون سیلیسی مشاهده شد. نقطه S۷ در منطقه با اولویت سوم (رنگ سبز) قرار دارد و نقطه S۱۱ در مناطق اولویت قرار ندارد. در نقاط S۹، S۶، S۵، S۴، S۳، S۲، S۱ مقادیر بالایی از شمارش توریم، پتاسیم و اورانیوم وجود دارد و مقادیر سنتیلومتری آن‌ها از CPS ۱۰۰ تا CPS ۲۵۰ تغییر می‌کند. از میان این نقاط، نقاط S۵، S۶ و S۹ در منطقه با اولویت بالا (رنگ قرمز) و بر روی واحد توف‌های جوش خورده (Eow) قرار دارند.

## منابع و مراجع

- [1] Neville, R.A., Staenz, K., Levesque, J., Truong, Q.S.B., Borstad, G.A., 2001. Hyperspectral Analysis of Imagery of a Uranium mine site, Presentation at the ISSSR conference, Quebec City, Canada.
- [2] SRDP-R269, Commercial satellite imagery and safeguards, January 2000. Further case studies using multi-spectral and radar data, Report for the IAEA, SRDP-R269, JOPAG/01.00-PRG-301, Task JNT D00988.
- [3] Stork, C., Smartt, H., Blair, D., Smith, J., 2006. Systematic Evaluation of Satellite
- [4] Kruse, F.A., Lefkoff. A. B., Boardman. J. W., Heidebrecht. K. B., Shapiro. A. T., Barloon. P.J and Goetz. A.F.H. (1993), The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. Remote sens. Environ.44:145-163.
- [۵] کلاگری، ع.ا.، ۱۳۷۱. اصول اکتشافات ژئوفیزیکی. انتشارات دانشگاه تبریز.
- [۶] لکزایی، احمدرضا، ضیا، افشار، ظریفی، مجید، بیدهدی، نبی، یگانی، فرخشاد، حفیظی، محمدکاظم. ۱۳۸۲. اکتشاف اورانیوم به روش ژئوفیزیک هوایی در فاز شناسایی در منطقه برندق. دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، دانشگاه تهران.
- [۷] لیلساند و کی فر، ترجمه مالمیریان، حمید، ۱۳۸۱، اصول و مبانی سنجش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره های. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- [۸] مجری طرح: کره ای، محمدتقی، مجری فنی: محمدی جوابآبادی، علی، مهدی زاده تهرانی، سیمین، مشاور علمی: سامانی، بهرام،
- [۹] سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۱۰] معروفی نقدی، خسرو، محمدزاده، محمدجعفر، فلاحت، رضا. ۱۳۸۳. بررسی آلتراسیون و انطباق آن با اولین کنفرانس مهندسی TM. ساختارهای خطی و حلقوی در منطقه آلود با استفاده از تصاویر ماهواره ای معدن ایران.
- [۱۱] معصومی، فیض الله، فلاحت، رضا. ۱۳۸۴. تجزیه و تحلیل و تلفیق داد ههای ژئوفیزیکی هوایی با روش آنالیز و تئوری فازی جهت تهیه نقشه پتانسی لیایی منطقه سرچشمه کرمان. دوازدهمین (PCA) مولفه اصلی کنفرانس ژئوفیزیک ایران، دانشگاه تهران.
- [۱۲] معصومی، فیض الله. ۱۳۸۶. تهیه نقشه پتانسیل معدنی در شمال بافت با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [13] Abdeen, M. M., Thurmond, A. K., Abdeslam, M. G., 2001. Application of ASTER band ratio images for geological mapping in arid regions: the Neoproterozoic Allagi Surture, Egypt. GSA Annual Meeting. November, USA.
- [14] Abrams, M., 2000. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. International Journal of Remote Sensing. VOL. 21. 847-859.
- [15] Bradshaw, P.M.D., Lett, R.E.W., 1980. Geochemical exploration for uranium using soils. Journal of Geochemical Exploration. VOL. 13. Issues 2-3.
- [16] Cannon, H. L. 1971. Use of plant Indicators in Ground Water Surveys Geologic Mapping, and M mineral Prospect. Taxon. VOL. 20, 227- 256
- [17] Crosta, A.P., De Souza Filho, C.R., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. INT. J. Remote Sensing, 10 November, 2003, VOL. 24, NO. 21, pp. 4233-4240.
- [18] Crosta, A.P., Moore, J. MCM., 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary (Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan), pp. 1173-1187.
- [19] ENVI Tutorials, September, 2001 Edition. National Space Science Data Center NASA/Goddard Space Flight Center.

- [20] Forster H., and A. Jafarzadeh, 1994. The Bafq Mining District in Central Iran – a Highly
- [21] Hashemi Tangestani, M., Moore, F., 2002. The use of Dempster–Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e- Babak, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* VOL.4. pp 65–74
- [22] Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1962. *Geochemistry in mineral Exploration* Harper And Row. New York, p.415.
- [23] Heier, K.S. and Rhodes, J.M., 1966. Thorium, uranium, and potassium concentrations in granites and gneisses of the Rum Jungle Complex. Northern Territory, Australia. *Econ. Geol.*, 61: 563-571.
- [24] Hirano, A., Welch R., Lang, H., 2002. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. VOL. 57, P 356-370.
- [25] Hitzman, M.W., Oreskes N., and Einaudi M.T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits, *Precambrian Research*. VOL.58, PP. 241-287.
- [26] , Inc., 1998. *Integrated Use of Remote Sensing and GIS for Mineral Exploration*.
- [27] Lally JH, 2004. Uranium deposits of the Northern Territory. Northern Territory Geological Survey. Report 20 (preliminary version).
- [28] Langmuir D., 1978. Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. In: Kimberley, M.M., ed. *Mineralogical Association of Canada Short Course in Uranium Deposits: Their Mineralogy and Origin*. University of Toronto Press, Toronto, Canada, 1978. 17-55.
- [29] Leach, D.L., Puchlik, K.P., Glanzman, R.K., 1980. Geochemical exploration for uranium in playas. *Journal of Geochemical Exploration*, VOL. 13, Issues 2-3.
- [30] Lepeltier, C., 1969. A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation. *Economical Geology* VOL.64. pp. 538-550.
- [31] Moon, Woil M., 1998. Integration and fusion of geological exploration data: a theoretical review of fuzzy logic approach. *Geoscience Journal*, VOL. 2, No. 4, p. 175-183.
- [32] Moon, W. M., Carter, B., 1994. *Uncertainty Management in Integration of Exploration Data Using the Belief Function*. Manitoba Mineral Resources Division.
- [33] Mooney, H.A., Rundel, P.W ., 1979. Nutrient Relations of the Evergreen Shrub, *Adenostoma fasciculatum* , in the California Chaparral. *Botanical Gazette*, 140, 1, 109-113.
- [34] Naslund HR., Aguirre R., Dodds FM., Henriquiz FJ. and Nystrom JO., 2000. The origin,