

بارز سازی زون‌های دگرسانی هیدروترمال با استفاده از روش‌های نسبت بانندی و کمترین مربعات رگرسیون شده در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بافت

امیرمحمد ابهری^۱، حسین حسنی^۲

^۱ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

^۲ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

امیرمحمد ابهری

abhary.m@aut.ac.ir

چکیده

با توجه به ارتباط بین کانی سازی و آلتراسیون ها می‌توان گفت که با شناسایی آلتراسیون ها می‌توان پی به وجود مواد معدنی برد. یکی از روش‌های کم‌هزینه و سریع برای پی‌جویی و اکتشاف مواد معدنی به‌ویژه در نواحی وسیع، استفاده از فن‌های سنجش‌ازدور هست. محدوده اکتشافی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بافت و هدف شناسایی نواحی دگرسانی هیدروترمال در این منطقه است. پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ محدوده موردبررسی در این مطالعه به کمک روش‌های نسبت بانندی (BR) و کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)، صورت گرفت و نقشه فراوانی کانی‌های رسی و اکسید آهن تهیه شد. نتایج به‌دست‌آمده، پاسخ‌دهی مناسب داده‌های سنجنده OLI لندست را درزمینه‌ی شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال و پی‌جویی مواد معدنی را با استفاده از این داده‌ها نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: هیدروترمال، لندست ۸، نسبت بانندی، کمترین مربعات رگرسیون شده، بافت

مقدمه

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی می‌گویند. دگرسانی ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. بهترین روش برای پیدا کردن آلتراسیون‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی حاصل از دگرسانی سنگ‌ها، میزان انرژی منعکس‌شده و یا جذب‌شده در این سنگ‌ها را تغییر می‌دهد، از این‌رو با پردازش داده‌های ماهواره‌ای امکان شناسایی و بررسی حضور و یا عدم حضور کانی‌های شاخص آلتراسیون‌ها نیز میسر می‌گردد. بنابراین آلتراسیون‌ها یکی از بهترین راه‌های اکتشافی هستند که نیاز به دانش بالایی نیز برای تشخیص ندارند. در یک منطقه اکتشافی قبل از تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی که هزینه‌بر هستند، باید نقشه دگرسانی منطقه تهیه شود و تعبیر و تفسیرهای لازم انجام گیرد. مطالعه دقیق آلتراسیون‌ها، محل‌های مناسب برای حفاری را نیز تعیین می‌کند [۱]. امروزه با توسعه روش‌ها و فن‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین وسیع بودن هاله‌های دگرسانی؛ به نقشه درآوردن مناطق مستعد کانی‌سازی به یکی از اهداف اساسی در مطالعات دور سنجی تبدیل شده است. در این‌گونه مطالعات واحدهای سنگی دگرسان شده هیدروترمال مورد توجه هستند [۲].

۱- سنجش‌ازدور

سنجش‌ازدور عبارت از دانش و هنر به دست آوردن اطلاعات درباره یک جسم، ناحیه و یا یک پدیده به‌واسطه تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده توسط ابزار یا وسیله‌ای که در تماس مستقیم با آن جسم، ناحیه و یا پدیده تحت بررسی نبوده است [۳،۴]. امروزه از فن‌های دور سنجی در جهان استفاده‌های بسیاری می‌شود که یکی از کاربردهای مهم آن درزمینه‌ی اکتشاف ذخایر معدنی است. فن‌های دورسنجی امکان شناسایی و اکتشاف مقدماتی یک محدوده وسیع را با دقت و سرعت بالا و هزینه کم میسر می‌سازد. داده‌های ماهواره‌ای به‌صورت رقمی برداشت می‌شوند و این مسئله امکان اعمال برخی روش‌های ریاضی و فن‌های پردازش را به ما می‌دهد. با استفاده از فن‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان عوارض تصویر را واضح و کارایی تصویر حاصله را افزایش داد.

۲- خصوصیات لندست ۸

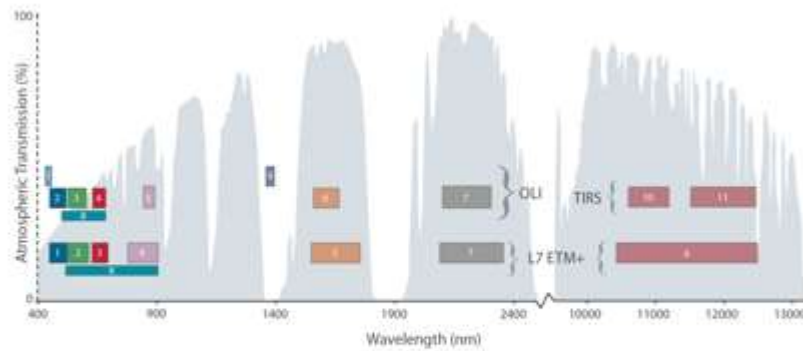
نسل جدید سری ماهواره‌های لندست؛ ماهواره لندست ۸ هست که در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ پرتاب شده است. این هشتمین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست و هفتمین ماهواره‌ای است که با موفقیت در مدار قرار گرفته است. این ماهواره که در اصل (LDCM) نامیده می‌شود، محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده (USGS) است. با اتمام مأموریت لندست ۵ در اوایل سال ۲۰۱۳، ماهواره لندست ۷ به‌عنوان تنها ماهواره موجود از سری ماهواره‌های لندست بر روی مدار وجود داشت و لندست ۸ اخذ مستمر داده و در دسترس بودن داده‌های لندست را با استفاده از دو سنجنده، یکی سنجنده تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI) و دیگری سنجنده مادون‌قرمز حرارتی (TIRS) تضمین نمود. این دو سنجنده به ترتیب، اطلاعات تصویری نه باند موج‌کوتاه و دو باند حرارتی را جمع‌آوری می‌کنند. طراحی این ماهواره تقریباً ۵ سال طول کشیده است، با این حال این ماهواره سوخت کافی برای انجام عملیات به مدت بیش از ده سال را دارد.

قابلیت‌ها و مزایای سنجنده OLI نسبت به سنجنده ETM+ لندست ۷، موارد زیر می‌باشند [۵]:

- ۱) قدرت تفکیک طیفی بهتر با محدوده‌های باندهای باریک‌تر و ۲ باند طیفی بیشتر (اخذ اطلاعات در ۹ باند طیفی).
 - ۲) افزایش چهار برابری دقت ثبت ژئودتیک مطلق تصاویر
 - ۳) تغییر هندسه تصویربرداری از Whisk broom به Push Broom و در نتیجه اخذ ۱۵۰ صحنه اطلاعاتی بیشتر در روز (۴۰۰ تصویر در روز)
 - ۴) بهبود قدرت تفکیک رادیومتریک از ۸ بیت به ۱۲ بیت و امکان توصیف بهتر پوشش زمین
 - ۵) افزایش نسبت سیگنال به نویز (SNR)
- ۷ باند از ۹ باند سنجنده OLI با سنجنده های TM+ و ETM+ که بر روی ماهواره‌های لندست قبلی قرار داشتند؛ یکسان هست که این عمل علاوه بر سازگاری با داده‌های قدیمی لندست و تداوم آن‌ها، قابلیت‌های اندازه‌گیری را نیز بهبود داده است.

دو باند طیفی جدید، یعنی باند ساحلی/ آتروسول در محدوده طول‌موج آبی و باند سیروس در محدوده مادون‌قرمز موج‌کوتاه، به متخصصان امکان می‌دهد تا کیفیت آب‌وهوا را اندازه‌گیری کرده و همچنین ابرهای مرتفع و نازک لایه را تشخیص دهند.

سنجنده TIRS توسط ناسا ساخته شده و امکان تصویربرداری حرارتی و حمایت از برنامه‌های دیگر مانند اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق برای مدیریت آب و مدل‌سازی هیدرودینامیکی سطح دریاها را فراهم می‌آورد. داده‌های TIRS در دو باند مادون‌قرمز حرارتی و با قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی اخذ می‌شوند. مقایسه محدوده طیفی و پهنای باندهای لندست ۷ و لندست ۸ در طیف الکترومغناطیس در شکل ۱ و خصوصیات باندهای طیفی سنجنده OLI و TIRS لندست ۸ در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱- مقایسه محدوده طیفی و پهنای باندهای لندست ۷ و لندست ۸ در طیف الکترومغناطیس [۵].

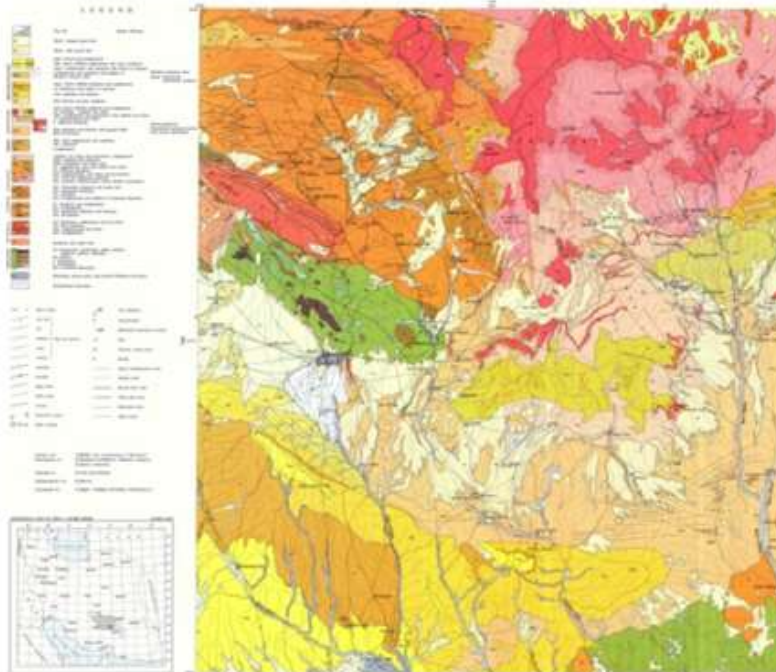
جدول ۱- خصوصیات باندهای طیفی سنجنده های OLI و TIRS لندست ۸ [۵].

نام سنجنده	باند طیفی	طول موج	قدرت تفکیک	عرض تصویربرداری
OLI	باند ۱- باند Coastal/Aerosol	0.433 - 0.453 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۲- آبی	0.450 - 0.515 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۳- سبز	0.525 - 0.600 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۴- قرمز	0.630 - 0.680 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۵- مادون قرمز نزدیک	0.845 - 0.885 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۶- مادون قرمز طول موج کوتاه	1.560 - 1.660 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۷- مادون قرمز طول موج کوتاه	2.100 - 2.300 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۸- Panchromatic	0.500 - 0.680 μm	۱۵ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۹- Cirrus	1.360 - 1.390 μm	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
TIRS	باند ۱۰- مادون قرمز حرارتی	10.30 - 11.30 μm	۱۰۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۱۱- مادون قرمز حرارتی	11.50 - 12.50 μm	۱۰۰ متر	۱۸۵ کیلومتر

به دلیل تغییرات روشنایی صحنه، شرایط جوی، جهت دید سنجنده و خطای روشنایی ناشی از ثبت تصویر توسط سنجنده ای که تصویربرداری می‌کند، پیش از هرگونه پردازش طیفی بایستی تصحیحات رادیومتریکی اعمال شوند، بنابراین به منظور انجام تصحیح رادیومتریکی دو مرحله پی‌درپی تصحیح روی تصویر صورت گرفت. ابتدا جهت حذف اثرات جمعی اتمسفر (پراکندگی) از روش Dark Subtract و سپس جهت حذف اثرات ضربی اتمسفر از الگوریتم Log Residuals استفاده شد. این الگوریتم در حقیقت نوعی روش کالیبراسیون بوده که تأثیرات اتمسفر، اثر سنجنده، توپوگرافی و آلبدو را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد و تصحیح قابل قبولی را بر روی تصویر انجام می‌دهد.

۳- موقعیت زمین‌شناسی

برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بافت و موقعیت آن در نمایه برگه‌های زمین‌شناسی ایران در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بافت به همراه موقعیت آن در نمایه برگه‌های زمین‌شناسی ایران [۶].

۴- روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)

فرضیات این روش بر اساس آن است که باندها به‌عنوان مقادیر ورودی، متغیرهای خطی هستند و اطلاعات تخمین زده‌شده بر اساس این مقادیر به‌عنوان خروجی این روش هست. باند تخمینی با استفاده از یک معادله خطی از باندهای ورودی به دست می‌آید. کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و اختلاف جذب و تشعشع خوبی در یک باند خاص نشان می‌دهند با اختلاف مشاهده‌شده بین باند تخمین زده‌شده و باند اصلی قابل تفکیک هست [۷].

با توجه به این‌که باند ۷ دارای شاخص جذب بالایی در کانی‌های دارای بنیان هیدروکسیل هست، به‌عنوان باند مدل و همه باندهای دیگر به‌عنوان باندهای پیش‌بینی کننده انتخاب شدند. تصویر مورد استفاده حاصل از این پردازش، تصویر پیکسل‌های باقی‌مانده (Residual) تیره معرف آلتراسیون آرژیلیکی می‌باشند؛ بنابراین بایستی ارزش عددی پیکسل‌های تصویر معکوس گشته و در نتیجه آلتراسیون آرژیلیک با پیکسل‌های روشن نمایش داده شود. به همین صورت باند ۴ که دارای انعکاس بالا در کانی‌های حاوی اکسید آهن هست، به‌عنوان مدل جهت شناسایی اکسید آهن سه‌ظرفیتی انتخاب گردید.

۵- روش نسبت باندی (BR)

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، روش نسبت باندی است. این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر است. باندی که میزان بازتابش از هدف مورد بررسی در آن بیشتر است در صورت و باند دیگر که پدیده جذب برای همان هدف در آن بالاتر است در مخرج قرار می‌گیرد. با به‌کارگیری این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها در تصویر را از بین برد و اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرد و نیز برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی و تشخیص سنگ‌ها بکار می‌رود [۸].

با شناخت خصوصیات بازتابی پدیده‌های مختلف و با استفاده از روش فوق می‌توان پدیده‌های مختلف را بارز ساخت. خواص بازتابی پدیده‌های مختلف از روی دیاگرام طیفی آن‌ها در کتب مرجع موجود و قابل بررسی هست و ما با توجه به خواص طیفی پدیده‌های مورد نظر، می‌توانیم تصمیم به استفاده یا عدم استفاده از این روش بگیریم [۹].

از این روش می‌توان برای مقاصد زیر استفاده نمود [۱۰]:

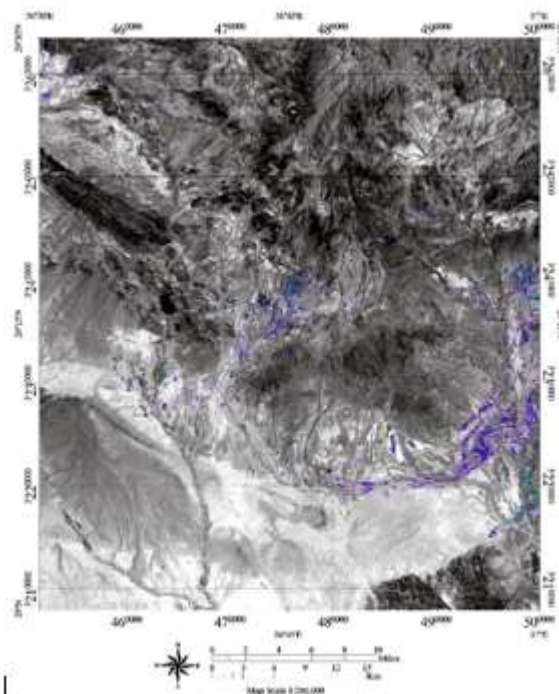
- تهیه نقشه زمین‌شناسی، تفکیک واحدهای سنگی و دگرسانی‌های هیدروترمال
- تعیین شاخص پوشش گیاهی
- بارز کردن تفاوت بین مشخصات بازتاب طیفی از سنگ‌ها و خاک‌های اطراف آن‌ها.

۶- بحث

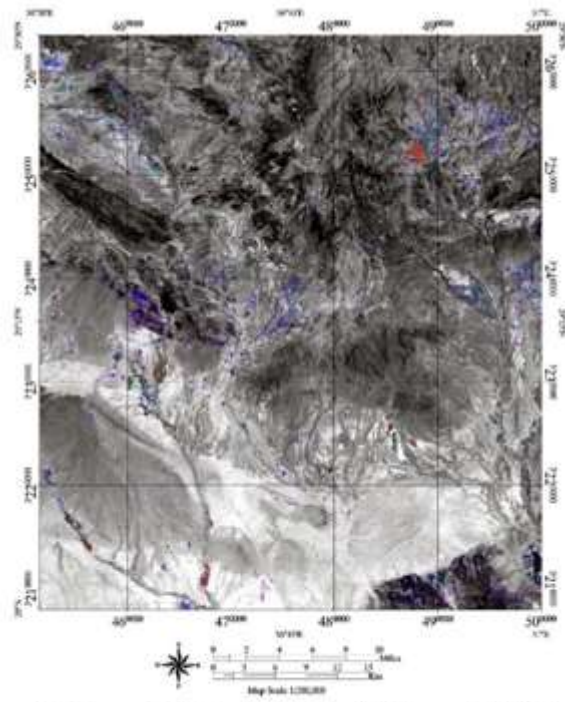
نتایج حاصل از روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit) در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. شایان ذکر است در این پژوهش از تصویر باند ۶ به‌عنوان زمینه برای نمایش بهتر نواحی دگرسانی استفاده شده است. همچنین نتایج روش نسبت بانندی (BR) نیز با توجه به نسبت‌های ارائه شده در جدول ۲، در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- خلاصه نسبت‌های بانندی متداول در پروژه‌های شناسایی زون هیدروترمال (مطالعات قبلی بر اساس سنجنده TM بوده و باندها برای OLI معادل سازی شده‌اند)

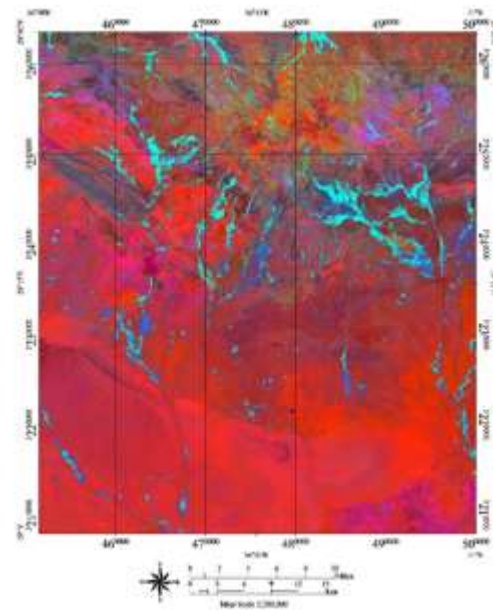
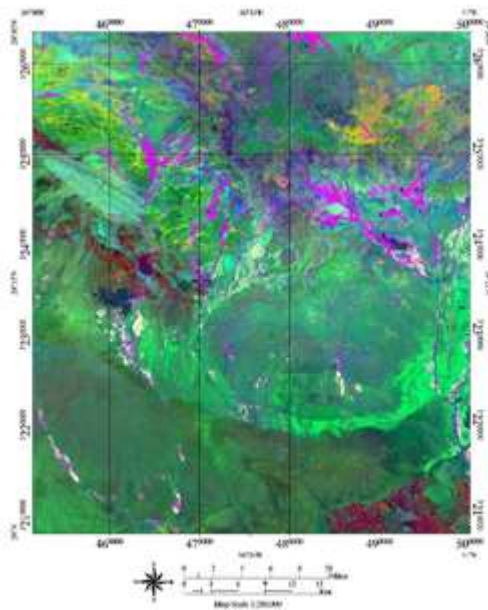
مرجع	سایر توضیحات	باندی متناظر است یا	سبز متناظر است یا	قرمز متناظر است یا	نمایش RGB نسبت‌های بانندی
[۱۱]	مناطق زرد و نارنجی توأمان از رس و FeO غنی هستند		مناطق غنی از FeO	مناطق غنی از رس	$\frac{6}{7} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{5}{6}$
[۱۲]		کاتی‌های حامل OH / H ₂ O- SO ₄ - یا CO-	مناطق با پوشش گیاهی	کاتی‌های شامل یون‌های آهن	$\frac{7}{5} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{6}{7}$
[۱۳]	FeO به رنگ زرد زردآلویی و زمینه به رنگ آبی آسمانی				$\frac{4}{5} \cdot \frac{6}{6} \cdot \frac{6}{7}$
[۱۴]		اکسیدهای فریک	کاتی‌های آهن	کاتی‌های رسی	$\frac{6}{7} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{4}{2}$
[۱۵]	مناطق به شدت دگرسان شده به رنگ آبی تیره تا آبی بنفش				$\frac{4}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot \frac{5}{6}$

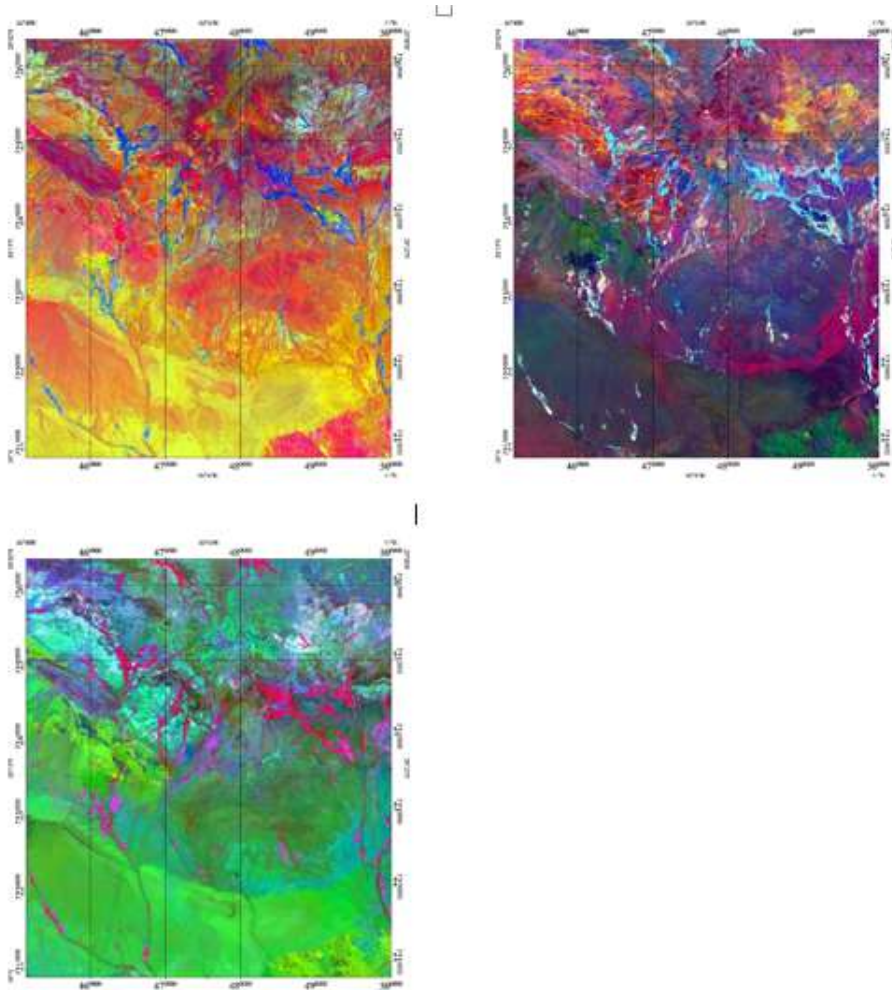


شکل ۳- نمایش اکسید آهن سه‌طرفیتی با استفاده از روش کمترین مربعات رگرسیون شده



شکل ۴- نمایش آتراسیون آرژیلیکی با استفاده از روش کمترین مربعات رگرسیون شده





شکل ۵- نتایج حاصل از پردازش تصاویر به روش نسبت بانندی - بالا چپ: $\frac{5}{6}, \frac{4}{3}, \frac{6}{7}$ ، راست: $\frac{6}{7}, \frac{6}{5}, \frac{4}{6}$

$$\text{پایین چپ: } \frac{6}{7}, \frac{5}{4}, \frac{6}{7} \text{، راست: } \frac{6}{7}, \frac{6}{5}, \frac{4}{2}$$

نتایج حاصل از به‌کارگیری روش نسبت بانندی (BR)، تصاویری به‌صورت تک باند است که به‌تنهایی ملاک و مقیاس مناسبی برای تعیین نواحی هدف در منطقه مورد مطالعه نیست، بلکه تنها مشخص‌کننده نواحی هستند که بیشترین احتمال حضور ماده معدنی مورد نظر و یا به‌طور کلی اهداف مورد جستجو در آن‌ها است. با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب (RGB) می‌توان تصاویری تولید کرد که تفسیر و نتیجه‌گیری بر اساس آن‌ها قابل‌اعتماد و کاربردی‌تر باشد؛ بنابراین با استفاده از ترکیبات RGB مختلف در این پژوهش، مناطق هدف به‌وضوح هر چه بیش‌تر آشکار گردید و بر جذابیت استفاده از روش نسبت بانندی افزوده شد.

آنچه مسلم است روش RGB بیش‌تر حالت کیفی دارد تا کمی، اما روش LS-Fit بر مبنای محاسبات کمی استوار است و نتایج دقیق‌تر و قابل‌اطمینان‌تری جهت موقعیت‌یابی دقیق پیکسل‌های مناطق هدف دارد، بنابراین می‌توان از تصاویر RGB جهت تفسیر بصری و اعتبار سنجی مناطق محتمل کانی‌زایی به‌دست‌آمده در روش LS-Fit استفاده نمود.

۷- نتیجه‌گیری

- ❖ بررسی طیفی تصاویر ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین، متداول‌ترین و درعین‌حال مؤثرترین روش‌ها جهت آشکارسازی مناطق هدف هست.
- ❖ شناسایی و تعیین نواحی پتانسیل معدنی از جمله مطالعه دگرسانی مناطق هیدروترمال یکی از کاربردهای عمده و مهم سنجش‌ازدور درزمینه‌ی اکتشاف کانی‌ها هست.
- ❖ استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ که از قدرت تفکیک طیفی و مکانی خوبی برخوردارند، می‌تواند در تهیه نقشه‌های دقیق از واحدهای سنگی و دگرسانی و ساختارها بسیار مفید و مؤثر باشد.
- ❖ انطباق نشانه معدنی پی‌نگین که در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بافت به‌عنوان اندیس مس پرفیری معرفی شده است بر نواحی معرفی شده به‌عنوان مناطق هیدروترمال مؤید کارایی روش‌های انتخاب‌شده جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه است.
- ❖ فن‌های دورسنجی امکان شناسایی و اکتشاف مقدماتی یک محدوده وسیع را با دقت و سرعت بالا و هزینه کم نسبت به سایر روش‌های اکتشافی چون روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی میسر می‌سازند.
- ❖ استفاده از روش‌ها و سازوکارهای متفاوت در بررسی اهداف اکتشافی می‌تواند خطا را به حداقل رسانده و نقاطی که توسط روش‌های بیش‌تری تأیید شوند، از قطعیت بیش‌تری از جهت حضور کانی‌های موردنظر برخوردارند.
- ❖ با اعمال روش‌های نسبت بانندی و کمترین مربعات رگرسیون شده بر روی داده‌های ماهواره‌ای محدوده اکتشافی، نواحی مختلف دگرسانی هیدروترمال مشخص گردید. شناسایی این مناطق و تمرکز مطالعات و بررسی‌های دقیق‌تر در مراحل بعدی اکتشاف بر روی نواحی معرفی‌شده، می‌تواند از پراکندگی نتایج جلوگیری کرده و در زمان و هزینه نیز صرفه‌جویی مناسبی صورت گیرد. بدون شک تلفیق نتایج حاصله با سایر روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی دیگر از جمله داده‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی می‌تواند در بهینه‌سازی فرآیند اکتشاف نقش به‌سزایی داشته باشد.

منابع و مراجع

- ۱) کریم پور، محمد حسن و دیگران. (۱۳۸۴). اکتشاف ذخایر معدنی: مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی (چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- 2) Verdel, C.S; Knepper, D; Livo, K. E; McLemore, V.T; Penn, B, & Keller, R, 2001. Mapping minerals at the copper flat porphyry, New Mexico, using AVIRIS data, Proceedings of the Tenth JPL Airborne Earth Science Workshop, 427-433.
- 3) Lillesand, Thomas M. and Kiefer, Ralph W, (2000), "Remote Sensing and Image Interpretation", John Wiley & Sons, New York, NY, 4th edition.
- 4) Schott, J. R, (2007), "Remote Sensing: The Image Chain Approach and Interpretation", Oxford University Press.
- 5) http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php
- ۶) برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بافت، سازمان زمین‌شناسی کل کشور.
- ۷) دایی جواد، حجت‌الله، (۱۳۸۴) مدل‌سازی اندیس مس - طلای دالی و کاربرد آن در پتانسیل‌یابی نواحی مجاور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ASTER و GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان
- 8) Rouskov, Kalin; Popov, Kamen; Stoykov, Stanislav & Yamaguchi Ysushi, (2005), "SOME APPLICATIONS OF THE REMOTE SENSING IN GEOLOGY BY USING OF ASTER IMAGES", Scientific Conference "SPACE, ECOLOGY, SAFETY" with International Participation, 10-13 June 2005, Varna, Bulgaria.
- ۹) غلامیان ابهری، امیرمحمد، (۱۳۹۴)، مطالعات ژئوشیمیایی و بررسی ژنز مس در پتانسیل معدنی رابر کرمان، پروژه کارشناسی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- 10) Yamaguchi, Y; Kahle, A.B; Tsu, H; Kawakami, T & Pniel, M, (1998), "Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, pp.1062-1071.
- 11) Abrams J. Michael, 1983. Remote Sensing for Porphyry Copper Deposits in Southern Arizona. Economic Geology vol. 78, 1983, pp. 591-604.
- 12) Kaufmann, H, 1988. Mineral Exploration Along the Auaba-Levant Structure by Use of TM-data. Concepts, Processing and Results. Int. J. Remote Sensing, vol. 9, No. 10 and 11, 1639-1658.
- 13) Jingyuan Y, Xucman W, 1991. The Application of Remote Sensing Techniques for Gold Prospecting in the North Fujian Province. Proceedings of 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado, USA, April 29 - May 2, 1991.
- 14) Chica-Olmo M, Abarca F, 2002. Development of a Decision Support System based on remote sensing and GIS techniques for gold-rich area identification in SE Spain. International Journal of Remote Sensing, 23, 22, 4801-4814.
- 15) Abdelhamid G. and Rabba I, 1994. An investigation of mineralized zones revealed during geological mapping, Jabal Hamra Faddan-Wadi Araba, Jordan, using Landsat TM data. Int. J. Remote Sensing, vol. 15, No. 7, 1495 - 1506.