



شناسایی مناطق امیدبخش کانی سازی پلی متال طلا به وسیله سنجش از دور در ناحیه جانجا استان سیستان و بلوچستان

محمد ابدالی (نویسنده مسئول)^۱، اردشیر هزارخانی^۲

^۱ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران mohammadebdali@aut.ac.ir

^۲ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ardehez@aut.ac.ir

چکیده

به منظور شناسایی مناطق امید بخش در پهنه جانجا، در وهله نخست، ویژگی های زمین شناسی و کانی سازی در محدوده معدنی جانجا مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعات، کانه زایی رگه ای هیدروترمالی پلی متال طلا- نقره- مس- سرب و روی در این محدوده شناسایی شد که همراه با رگه های سیلیسی رخ داده است. کانه های اصلی شناسایی شده شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و کالکوسیت می باشد. داده های ماهواره ای منطقه مورد مطالعه عبارتند از داده های سنجنده استر که دارای ۱۴ باند طیفی بوده که به سه گروه تقسیم می شوند، ۳ باند با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر (VNIR)، ۶ باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر (SWIR) و ۵ باند با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر (TIR) که در این مطالعه از ترکیب ۹ باند VNIR و SWIR برای تعیین نواحی آلتراسیونی مرتبط با کانی سازی استفاده شده است. لازم به ذکر است از تصاویر ماهواره ای اسپات، جهت بالا بردن رزولوشن زمینی بهره گرفته شده است. نواحی دارای پتانسیل کانی سازی پلی متال در ناحیه جانجا به روش های گوناگون مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت در قالب تعدادی نقشه ارائه شد.

واژه های کلیدی

جانجا، دورسنجی، کانی سازی پلی متال، نواحی آلتراسیونی.



۱. مقدمه

مهندسی اکتشاف معدن شامل سلسله مراتبی از طراحی نمونه برداری اکتشافی، تجزیه و تحلیل داده ها تا مدلسازی و ارزیابی ذخیره و شناسایی یک کانسار با ارزش اقتصادی است [۱]. این مراحل در سه مرحله مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی انجام می شود [۲]. در هر یک از این مراحل، با در نظر گرفتن میزان احتمال کشف مواد معدنی، ارزیابی هزینه ها و پیش امکان سنجی فعالیت معدن در آینده از نظر اقتصادی، در مورد ادامه کار اکتشاف تصمیم گیری می شود [۳] [۴]. مراحل اکتشاف مشتمل بر روش های گوناگونی است از جمله روش های زمین آماری، مطالعات ژئوشیمیایی، مطالعات ژئوفیزیکی و روش های هوشمند [۵] [۶]. در نهایت مطالعات اکتشافی منجر به شناسایی مناطق امیدبخش معدنی خواهد شد [۷].

هدف از انجام این پژوهش، شناسایی مناطق امیدبخش کانی سازی پلی متال طلا در ناحیه جانجا می باشد. در این مطالعه از داده های مربوط به این کانسار در جهت شناسایی الگوی کانی زایی و الگوی طیفی در تحلیل تصاویر ماهواره ای استفاده شده است. بر اساس تقسیم بندی ساختاری ایران، محدوده ی مورد مطالعه در زون ساختاری شرق ایران قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه بخشی از زیر پهنه زابل- زاهدان- سراوان است. این زیر پهنه قسمتی از حوضه فلیشی شرق ایران است که عموماً به نام کوه های شرق ایران از آن یاد می کنند [۸]. این بخش استان دارای یک پی سنگ اقیانوسی است که با توالی ضخیمی از نهشته های فلیش گونه به سن کرتاسه پسین- اولیگوسن پوشیده شده است. پیدایش حوضه یاد شده حاصل از یک اشتقاق درون قاره ای بین بلوک لوت (در غرب) و بلوک افغان (در شرق) دانسته شده که با فرایندهای اقیانوس زایی و تشکیل مجموعه های افیولیتی همراه بوده است. اگرچه بخش زیادی از این پوسته در زون های فرورانش از بین رفته، ولی بقایای آن به ویژه در امتداد گسل های ژرف و طولی ناحیه نظیر گسل نهبندان رخنمون دارد [۹].

سنجش از دور به عنوان تکنولوژی و علمی تعریف می شود که به وسیله آن می توان بدون تماس مستقیم مشخصه های یک شی یا پدیده را تعیین، اندازه گیری یا تجزیه و تحلیل کرد. به عبارت دیگر سنجش از دور علم و هنر به دست آوردن اطلاعات در مورد هر موضوع تحت بررسی به وسیله ابزاری است که در تماس فیزیکی با آن نباشد [۱۰]. مزیت برتر اطلاعات ماهواره ای نسبت به سایر منابع اطلاعات، پوشش تکراری آنها از نواحی معین با فاصله زمانی مشخص است.

شناسایی و تعیین نواحی دارای پتانسیل معدنی و مطالعه گونه هایی از کانی سازی از کاربردهای عمده و مهم سنجش از دور در زمینه اکتشاف کانی هاست. سال ها است که پردازش تصاویر ماهواره ای TM با بکارگیری روش هایی چون نسبت گیری باندی و آنالیز مؤلفه اصلی برای تعیین موقعیت زون های دگرسانی هیدروترمال وابسته به کانی سازی های فلزی به کار برده می شود [۱۱]. با ظهور سنجنده استر که دارای ۱۴ باند با قدرت تفکیک طیفی بالاتری نسبت به داده های ماهواره ای TM است، دسترسی به اطلاعات طیفی در بخش مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) طیف الکترومغناطیس را به نحو چشمگیری افزایش داده است [۱۲]. بکارگیری روش آنالیز مؤلفه انتخابی در رابطه با داده های ماهواره ای استر نتایج مطلوبی از کاربرد این روش را در رابطه با داده های چند طیفی به دست می دهد [۱۳]. از طریق این نتایج می توان نواحی امیدبخش را در محدوده های مورد مطالعه تعیین نمود.

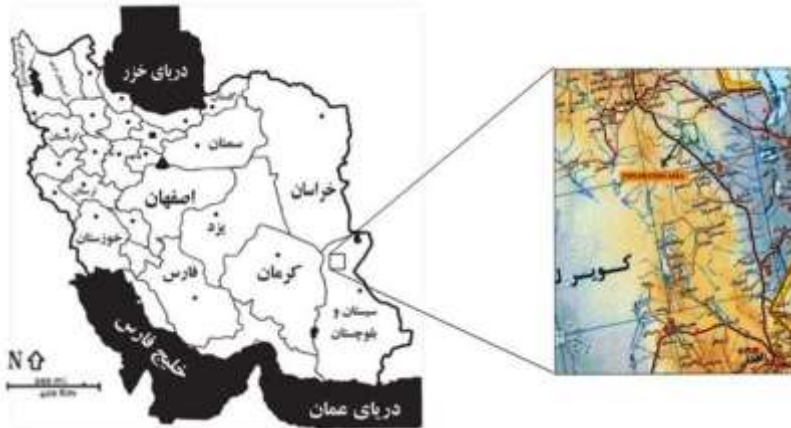
۲. موقعیت جغرافیایی

پهنه جانجا از نظر جغرافیایی در بخش صابری، شهرستان نیمروز در استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. شهرستان نیمروز از نظر جغرافیایی در ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان در جنوب شرق ایران و در شمال غرب شهرستان زاهدان واقع شده است. این شهرستان از شمال، شرق و جنوب غربی به شهرستان زابل، از جنوب به شهرستان زاهدان و از غرب به قسمتی از شهرستان نهبندان محدود می شود.



دو راه دسترسی به این پهنه وجود دارد (شکل ۱):

- ✓ راه زابل-بندان که از میل نادر عبور کرده و به طول ۷۵ کیلومتر تا محدوده می باشد.
- ✓ از طریق جاده آسفالت زاهدان-نهبندان که طی مسیر حدود ۲۰۵ کیلومتر در این جاده، پس از عبور از روستای سفیدابه به این محدوده منتهی می شود. تنها منطقه مسکونی واقع در این پهنه، روستای ماده کاریز می باشد.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان، ناحیه جانجا

۳. زمین شناسی ناحیه ای

بر اساس تقسیم بندی ساختاری ایران، محدوده مورد مطالعه در زون ساختاری شرق ایران قرار گرفته است. زون زمین درز سیستان در شرق ایران دارای گسترش ۱۰۰ در ۵۰۰ کیلومتر مربع می باشد که کمربند کوهزایی کرتاسه-ترشیری با روند شمالی-جنوبی بین بلوک های قاره ای ایران مرکزی و افغان قرار گرفته است [۱۴]. این زون از سه عنصر اصلی تشکیل شده است:

- ۱) کمپلکس راتوک در شرق که شامل فلیش کرتاسه، واحدهایی با مرز گسلی با حداکثر ۱۵ کیلومتر مواد افیولیتی و یک ملانژ دگرگونی است.
- ۲) کمپلکس نه به سمت غرب که شامل فلیش های کرتاسه پسین تا ائوسن و برخی مواد افیولیتی است [۱۵].
- ۳) حوضه سفیدابه که بر روی کمپلکس های راتوک و نه به صورت غیردگرشیب قرار می گیرد و متشکل از رسوبات پیش کمانی غیر دگرگون ماستریشتین تا ائوسن می باشد [۱۶].

۳.۱. ویژگی های سنگ شناسی و کانی زایی پلی متال در محدوده معدنی جانجا

کمپلکس راتوک قدیمی ترین بخش زون زمین درز سیستان است و فاز اولیه بسته شدن به وسیله فرورانش با جهت شرق در زیر بلوک افغان را نشان می دهد. کمپلکس جوان تر نه، یک توسعه و گسترش بعدی فرورانش به سمت شرق را نشان می دهد که بعد از مهاجرت زون فرورانش به یک موقعیت غربی تر بوده است [۱۶]. بسته شدن اقیانوس سیستان قبل از ۱۲۵ میلیون سال پیش (اوایل کرتاسه) روی داده است [۱۷].

به طور کلی رخنمون سنگی این محدوده شامل سنگ های رسوبی و سنگ های آذرین درونی می باشد. سنگ های رسوبی آن شامل ماسه سنگ و شیل سازند شمشک، سنگ آهک های ژوراسیک و شیل های مارنی به اضافه رسوبات کواترنری است. سنگ های آذرین خروجی منطقه نیز شامل داسیت و توف های لایه ای می باشند [۱۸]. همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، یکی از موارد مهم در کل محدوده جانجا، حضور گسترده رسوبات بادی در منطقه است که ناشی از وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در منطقه است و اصولاً عملیات نمونه برداری را با مشکل مواجه می کند.



شکل ۲. مورفولوژی منطقه و حضور گسترده رسوبات بادی در منطقه

بر اساس مطالعات صورت گرفته، به طور کلی کانی سازی های شاخص در سه دسته طبقه بندی می گردد:

- (۱) کانی های شاخص کانی سازی طلا شامل طلای ناتیو و سینابر (شکل ۳ الف).
- (۲) کانی های شاخص کانی سازی مس: مس ناتیو، مالاکیت (شکل ۳ ب).
- (۳) کانی های شاخص کانی سازی پلی متال: سرب، سروزیت، میمیتیت، پیرومورفیت، وانادینیت و وولفنیت (شکل ۳ ج)

همچنین در طی اجرای کنترل آنومالی در این محدوده، رخنمون های متعدد رگه های سیلیسی دارای کانه زایی پلی متالیک مشاهده گردید که اکثرا توسط معدن کاران باستانی مورد استخراج قرار گرفته اند (شکل ۳ د).



ب



الف



د



ج

شکل ۳. الف: کانی سازی طلا شامل طلای ناتیو و سینابر. ب: محصولات اکسیداسیون سرب و روی همراه با مالاکیت در یک رگه سیلیسی پلی متال. ج: بافت برشی و محصولات اکسیداسیون سرب و روی در حاشیه یک رگه سیلیسی پلی متال. د: رخداد رگه سیلیسی که سولفیدها شستشو شده اند و قالب آنها با محصولات اکسیداسیون سرب و روی باقیمانده اند.



۴. تحلیل تصاویر ماهواره ای

تصویرپردازی بخش مهمی از بیشتر عملیات دورسنجی را دربرمی گیرد. همه تصاویر رقومی باید به نوعی پردازش شوند تا در کارهای زیادی بتوانند مورد استفاده قرار گیرند. پردازش تصویر می تواند به دو مرحله مشخص و متمایز تقسیم شود. پردازش اولیه تقریباً در کلیه موارد با استفاده از تصاویر رقومی ضروری می باشد و مرحله دوم (بزرگ کردن تصاویر و استخراج اطلاعات) در همه کاربردهای پیچیده تر لازم می باشد.

تحلیل تصاویر ماهواره ای به منظور تصویرپردازی و شناسایی الگوهای مورد نظر از طریق روش های آماری، زمین آماری و روش های هوشمند نظیر شبکه عصبی مصنوعی و به وسیله نرم افزار های تحلیل تصاویر ماهواره ای مانند ENVI انجام می گیرد [۱۹] [۲۰]. همان گونه که ذکر شد، داده های ماهواره ای منطقه مورد مطالعه عبارتند از داده های سنجنده استر که تصحیحات هندسی و رادیومتری بر روی آنها انجام شده است و همچنین روش باقیمانده لگاریتمی برای حذف اثرات ضریبی جوی به کار گرفته شده است. سنجنده استر دارای ۱۴ باند طیفی بوده که به ۳ گروه تقسیم می شوند، ۳ باند با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر (VNIR)، ۶ باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر (SWIR) و ۵ باند با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر (TIR) که در این مطالعه از ترکیب ۹ باند VNIR و SWIR برای تعیین نواحی آلتراسیونی مرتبط با کانی سازی استفاده شده است. لازم به ذکر است از تصاویر ماهواره ای اسپات جهت بالا بردن رزولوشن زمینی بهره گرفته شده است.

۴.۱. پیش پردازش داده ها

پیش از پردازش داده های سنجنش از دور بایستی یک سری تصحیحات نظیر تصحیح توپوگرافی و فیلتراسیون، روی داده های خام اولیه انجام گیرد تا داده ها جهت پردازش آماده گردند. در این پروژه از باندهای ۱۰ تا ۱۴ استر که در محدوده طول موج های حرارتی هستند، استفاده شده است. برای پیاده سازی داده ها در منطقه، باندهای ۴ تا ۹ که دارای قدرت تفکیک فضایی ۳۰ متر می باشند، با باندهای ۱ تا ۳ که قدرت تفکیک فضایی ۱۵ متر دارند، ترکیب گردیده اند. جهت تصحیح توپوگرافی از نسبت گیری طیفی تمام باندها، به جز باند دوم، بر باند دوم و در نهایت باند دوم به باند سوم استفاده شده است. تصاویری که به این طریق بدست می آیند تصاویر نرمالایز شده می باشند که در آن مناطقی که در تصاویر خام اولیه به خاطر سایه تاریک ظاهر می شوند، روشن تر و به وضعیت واقعی خود نزدیک تر می شوند. در نهایت و به منظور حذف اثرات نسبت گیری طیفی ناشی از انجام تصحیح توپوگرافی از فیلتر هموار ساز مدیان ۳×۳ بر روی باندهای استر محدوده مورد مطالعه استفاده شده است.

۴.۲. پردازش

مرحله اول پردازش داده های ماهواره ای استر تهیه یکسری تصاویر ترکیب رنگی کاذب برای تعیین کیفی زون های آلتره (کانی های رسی، آلبیتی، ایلیت، کلریت، اپیدوت و غیره) است. به منظور بررسی سنگ شناسی محدوده مورد مطالعه از چندین روش استفاده شده است. در اینجا فقط روش های پردازش تصویر نسبت گیری باندی و آنالیز مولفه های اصلی و انتخابی که نتایج بهتری داشته اند، ارائه شده اند. این دو روش امکان ارزیابی کارایی تکنیک سنجنش از دور را در محدوده مورد مطالعه به خوبی فراهم آوردند. استفاده از یک بارز سازی خطی کنتراست^۱ و نیز کاهش اثرات اتمسفری کیفیت تصویر را به حدی رساند که قابل استفاده برای مراحل بعدی بود. فرآیند بارز سازی خطی مقادیر ارزش دیجیتال^۲ باعث شد تصاویر به درستی بارز سازی شده، به گونه ای که به طریقه بصری هم قابل تفسیر بوده اند و واحدهای سنگی به راحتی تشخیص داده شدند. لازم به ذکر است که برای بالا بردن کیفیت کار و تفکیک دقیق تر کانی ها در رابطه با سیستم های هیدروترمال، کنترل های صحرائی لازم صورت گرفت.

^۱ Linear Stretching
^۲ Digital Number: DN



۴.۳. تهیه تصاویر ترکیب رنگی SWIR و تصویر رنگ طبیعی (True-color)

از آنجایی که در تصاویر استر، باند آبی وجود ندارد، تصویر رنگ طبیعی را نمی توان با روش های معمول و ساده ترکیب باندها تهیه نمود. لذا برای تهیه این تصویر از یک روش خاص استفاده شده است. مزیت تصاویر فوق در این است که پیکسل های بسیار تیره و یا بسیار روشن متعادل شده و مشخصه های ظاهری ظریف کانی های رسی و آلتراسیون پروپیلیتی بهتر آشکار خواهد شد.

۴.۴. تهیه تصویر کامپوزیت رنگی کاذب^۳ (FCC) جهت نمایش رخنمون واحدهای سنگی مختلف

برای محاسبه همبستگی بین تصاویر، ضرایب همبستگی باندهای مختلف دو به دو محاسبه شد. در ساخت ترکیب رنگی کاذب از فاکتور شاخص بهینه^۴ (OIF) استفاده شده است. هرچه این شاخص بالاتر باشد ترکیب رنگی کاذب جهت تفکیک مناسب تر می باشد. با محاسبه شاخص OIF برای ترکیب های رنگی کاذب ۷،۵،۴ و ۷،۵،۳ و ۵،۳،۱ و ۷،۵،۲ و ۹،۴،۱ و ۶،۳،۱ و ۷،۴،۱ و ۸،۳،۱ و ۹،۳،۱ ترکیب ۶،۳،۱ جهت تفکیک واحدهای سنگی و تشخیص نوع لیتولوژی مناسب تر تشخیص داده شده است.

۴.۵. آنالیز مؤلفه اصلی^۵

آنالیز مؤلفه اصلی که روشی مبتنی بر بردارهای ویژه^۶ است، با استفاده از مقادیر ویژه^۷ و بردارهای ویژه، جهت هایی با حداکثر تغییر پذیری را شناسایی کرده و سپس با تعریف متغیرهای جدید که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند تعداد ابعاد (متغیرها) کاهش داده می شود [۲۱]. با این عمل نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می گردد. متغیرهای جدید که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه هستند، بین خود همبستگی را نشان نمی دهند. این امر آزمودن روش مورد نظر را آسان می کند. بخش عمده ای از تغییرپذیری شار طیفی تابش اندازه گیری شده توسط یک سنجنده، بستگی به اثرات آلبدو (روشنایی نسبی) و سایه دارد. آنالیز مؤلفه اصلی، تکنیک آماری قدرتمندی است که برای جلوگیری از اثرات تابیدگی^۸ که تمام باندها را درگیر می کند، استفاده می شود. آنالیز مؤلفه اصلی، می تواند برای مجموعه داده های چند متغیره از قبیل تصاویر سنجنش از دور چند طیفی و با هدف استخراج پاسخ های طیفی خاص همچون تعیین کانی های دگرسانی هیدروترمال به کار گرفته شود.

۴.۶. روش کروستا^۹

در سال ۱۹۸۹ تکنیکی بر مبنای آنالیز مؤلفه اصلی برای به نقشه در آوردن سنگ ها و کانی های دارای اکسید آهن و نیز کانی های رسی (دارای بنیان هیدروکسیل) به کار گرفته شد [۲۲]. در این روش رابطه بین پاسخ های طیفی کانی های هدف و مقادیر عددی استخراج شده از ماتریس بردار ویژه برای محاسبه تصاویر مؤلفه اصلی (PC) به کار گرفته می شود. با استفاده از این رابطه، قادر به تعیین PC هایی هستیم که حاوی اطلاعات طیفی خاص از کانی های دارای اکسید آهن و نیز کانی های رسی (دارای بنیان هیدروکسیل) هستند و می توان کانی های هدف را با پیکسل های روشن نسبت به سایر پدیده های تصویر نمایش داد.

در این پروژه از ۹ باند VNIR+SWIR مربوط به سنجنده استر برای اعمال روش کروستا استفاده شده است (جدول ۱). به این صورت که زیر مجموعه ای ۴ باندها برای هر کانی هدف تشکیل داده شد. اینکه در هر زیرمجموعه برای شناسایی کانی هدف از چه باندهایی استفاده شود را می توان از نمودار طیفی مربوط به کانی های مختلف تعیین کرد. سپس با بکارگیری آنالیز مؤلفه اصلی، ماتریس بردار ویژه این زیرمجموعه ها برای تعیین اینکه کدام PC در بردارنده اطلاعات کانی هدف است محاسبه شد. شرط انتخاب PC های مناسب این است که

^۳ False Colour Composite

^۴ Optimum Index Factor

^۵ Principal Components Analysis

^۶ Eigenvectors

^۷ Eigenvalues

^۸ Irradiance

^۹ Crosta or selective PCA



در ماتریس بردارهای ویژه، باندهای مربوط به جذب و بازتابش کانی های هدف به طور همزمان دارای بالاترین مقادیر بوده و در ضمن این مقادیر غیر هم علامت باشند.

جدول ۱. باندهای استر محدوده VNIR+SWIR استفاده شده برای تولید نقشه های فراوانی با استفاده از آنالیز مولفه اصلی

کانی های دگرسانی			
آلونیت	ایلیت	کائولینیت + اسمکتیت	کائولینیت
۱	۱	۱	۱
۳	۳	۴	۴
۵	۵	۶	۶
۷	۶	۹	۷

با به کارگیری روش ماتریس بردار ویژه، هر یک از کانی های رسی که برای شناسایی زون های دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری به عنوان کلید های اکتشافی مطرح هستند، مفید می باشد.

۴.۷. طریقه اعمال آنالیز مولفه اصلی انتخابی یا روش کروستا روی ۴ باند استر

در استفاده از باندهای طیفی مختلف، گاهی فقط به اطلاعات خاصی از بعضی باندهای طیفی احتیاج است و نیاز به تحلیل تمام باندها نیست. آنالیز مولفه اصلی انتخابی به همین منظور استفاده می شود؛ یعنی در حین کاهش ابعاد داده های ورودی امکان از دست رفتن اطلاعات مفید به حداقل می رسد و برای نقشه برداری تفاوت های طیفی گوناگون مورد استفاده قرار می گیرد. در واقع اگر مقدار باندهای ورودی کاهش یابد احتمال تعیین یک PC مشخص برای رده کانی خاصی افزایش پیدا می کند [۲۳].

در آنالیز مولفه اصلی انتخابی معمولاً از ماتریس همبستگی برای انتخاب باندها استفاده می شود. باندهای دارای همبستگی پائین تا متوسط برای نقشه برداری تمایز طیفی؛ و باندهای با همبستگی بالا برای کاهش ابعاد داده ها به کار می روند [۲۴].

انتخاب ۴ باند به عنوان ورودی آنالیز مولفه اصلی بر پایه طیف آزمایشگاهی کانی های مرتبط با دگرسانی گرمایی است. برای نقشه برداری آلونیت، ایلیت، کائولینیت- اسمکتیت و کائولینیت به ترتیب از ۴ باند (۷و۳و۱)، (۶و۳و۱)، (۹و۶و۴و۱) و (۷و۶و۴و۱) هر یک از کانی های رسی که برای شناسایی زون های دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری به عنوان کلید های اکتشافی مطرح هستند، استفاده می شود.

۴.۸. آنالیز مولفه اصلی انتخابی روی ۴ باند استر برای نقشه برداری آلونیت

در ابتدا از روش کروستای ۴ باندی از ترکیب باندی (۷و۳و۱) برای تشخیص مناطق آلونیت دار استفاده شده است که باندها براساس ویژگی های طیفی کانی های آلونیتی انتخاب شده اند (جدول ۲). در جدول ۲ مقادیر بردار ویژه برای ترکیب باندی (۷و۳و۱) نشان داده شده است.

جدول ۲. مقادیر بردار ویژه برای ترکیب باندی (۷و۳و۱)

جدول ۲. مقادیر بردار ویژه برای ترکیب باندی (۷و۳و۱)				
باند ۱	باند ۳	باند ۵	باند ۷	
۰,۲۵۲۴۵۸	۰,۲۶۲۸۹۸	۰,۳۲۵۷۲۶	۰,۳۱۸۰۵۲	PC ۰۱
-۰,۵۷۴۰۵	-۰,۴۲۰۵۸	۰,۲۵۹۳۹۱	۰,۱۸۷۵۴۶	PC ۰۳
-۰,۴۰۱۸۷	۰,۲۶۱۲۶۶	-۰,۲۳۵۷۸	۰,۰۰۵۴۷۶	PC ۰۵
۰,۰۶۷۲۵۴	-۰,۱۴۱۵۹	-۰,۱۰۲۲۸	-۰,۲۳۸۹۲	PC ۰۷

همان طور که مشخص است، بیشترین اختلاف در PC ۰۳ وجود دارد و بایستی نقشه سیاه و سفید برای PC ۰۳ رسم شود. نسبت ۱/۵ به صورت کسر منفی می باشد و نقاط تیره مناطق آلونیت دار می باشند.



۴.۹. آنالیز مولفه اصلی انتخابی روی ۴ باند استر برای نقشه برداری ایلیت

تبدیل مولفه های اصلی برای نقشه برداری ایلیت بر روی باند های (۱ و ۳ و ۵) استر در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. مقادیر بردار ویژه برای ترکیب باندی (۱ و ۳ و ۵)

باند ۱	باند ۳	باند ۵	باند ۶	
۰,۲۵۲۴۵۸	۰,۲۶۲۸۹۸	۰,۳۲۵۷۲۶	۰,۳۲۱۵۶۹	PC ۰۱
-۰,۵۷۴۰۵	-۰,۴۲۰۵۸	۰,۲۵۹۳۹۱	۰,۲۱۳۹۳	PC ۰۳ ایلیت
-۰,۴۰۱۸۷	۰,۲۶۱۲۶۶	-۰,۲۳۵۷۸	-۰,۳۷۵۸	PC ۰۵
-۰,۵۱۸۲۸	۰,۵۳۸۸۰۵	۰,۰۸۰۹۰۴	۰,۲۷۹۵۲	PC ۰۶

همان طور که می بینیم اختلاف در PC۰۳ برای باند یک و پنج بیشتر از PC های دیگر می باشد. با توجه به منفی بودن صورت در کسر ۱/۵ مناطق تیره مربوط به مناطق ایلیتی می باشند.

۴.۱۰. آنالیز مولفه اصلی انتخابی روی ۴ باند استر برای نقشه برداری کائولینیت و اسمکتیت

تبدیل مولفه های اصلی برای نقشه برداری کائولینیت و اسمکتیت بر روی باند های (۱ و ۴ و ۶ و ۹) استر در جدول ۴ مشاهده می شود.

جدول ۴. مقادیر بردار ویژه برای ترکیب باندی (۱ و ۴ و ۶ و ۹)

باند ۱	باند ۴	باند ۶	باند ۹	
۰,۲۵۲۴۵۸	۰,۳۳۲۲۱۱	۰,۳۲۱۵۶۹	۰,۳۰۸۲۹۶	PC ۰۱
-۰,۲۴۷۷	-۰,۵۱۲۲۷	-۰,۱۰۴۶۷	۰,۲۰۴۹۲	PC ۰۴ کائولینیت و اسمکتیت
-۰,۵۱۸۲۸	-۰,۱۰۸۵۲	۰,۲۷۹۵۲	۰,۲۱۸۰۷۹	PC ۰۶
-۰,۰۲۹۷	-۰,۰۸۳۴۴	۰,۳۷۹۹۷۳	-۰,۰۱۹۴۴	PC ۰۹

همان طور که ملاحظه می شود، اختلاف در PC۰۴ برای باند چهار و نه بیشتر از PC های دیگر می باشد. با توجه به منفی بودن صورت در کسر ۴/۹ مناطق تیره مربوط به مناطق کائولینیت و اسمکتیت می باشند.

۴.۱۱. آنالیز مولفه اصلی انتخابی روی ۴ باند استر برای نقشه برداری کائولینیت

در ابتدا از روش کروسستای ۴ باندی از ترکیب باندی (۱ و ۴ و ۶ و ۷) برای تشخیص مناطق کائولینیت استفاده شده است که باندها براساس ویژگی های طیفی کانی های کائولینیت انتخاب شده اند. در جدول ۵ مقادیر بردارهای ویژه برای ترکیب (۱ و ۴ و ۶ و ۷) نشان داده شده است.

جدول ۵. مقادیر بردار ویژه برای ترکیب باندی (۱ و ۴ و ۶ و ۷)

باند ۱	باند ۴	باند ۶	باند ۷	
۰,۲۵۲۴۵۸	۰,۳۳۲۲۱۱	۰,۳۲۱۵۶۹	۰,۳۱۸۰۵۲	PC ۰۱
-۰,۲۴۷۷	-۰,۵۱۲۲۷	-۰,۱۰۴۶۷	۰,۱۹۶۸۰۷	PC ۰۴ کائولینیت
-۰,۵۱۸۲۸	-۰,۱۰۸۵۲	۰,۲۷۹۵۲	-۰,۱۴۹۴۸	PC ۰۶
۰,۰۶۷۲۵۴	۰,۱۳۶۹۶	-۰,۴۰۵۶۹	-۰,۲۳۸۹۲	PC ۰۷

همان طور که مشخص می باشد بیشترین اختلاف را در PC۰۶ داریم و بایستی نقشه سیاه و سفید را برای PC۰۶ رسم کنیم. نسبت فوق به صورت کسر منفی می باشد و نقاط تیره مناطق دارای کائولینیت می باشند.

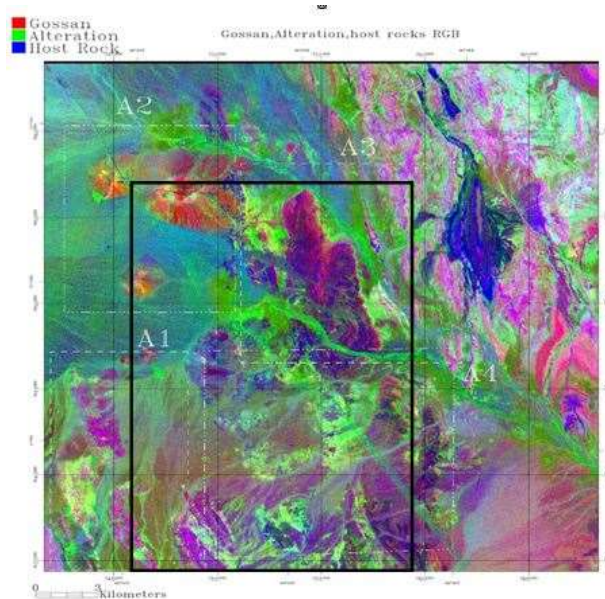


۴.۱۲. تهیه تصویر طبقه بندی شده طیفی

بدین منظور در ابتدا و از طریق آنالیز مولفه های اصلی، اقدام به شناسایی سازندهای اصلی محدوده مورد مطالعه شده است. سپس اقدام به استخراج مناطق مورد توجه^{۱۰} (ROI) گردید. مناطق مورد توجه بخش هایی از تصاویر هستند که یا به طور گرافیکی یا از طرق دیگری مانند حدآستانه انتخاب می شوند و برای استخراج آمارهایی جهت طبقه بندی، ماسک کردن و عملیات دیگر استفاده می شوند. به منظور مشاهده بصری از توزیع طیفی مناطق مورد توجه از نمایشگر n بعدی^{۱۱} استفاده شده است. اگر این پروسه به همراه MNF و PPI به کار برده شود، طبقه بندی دقیقی بر روی پیکسل های حاوی خلوص کامل تر در تصاویر صورت خواهد گرفت. در محدوده مورد مطالعه با استفاده از این پارامتر، ۱۰ کلاس مختلف از هم جدا شده اند و کلاس ها جهت طبقه بندی استفاده شده اند.

معمولاً برای تعیین میزان تفکیک پذیری طیفی بین جفت ROI های انتخاب شده از شاخص معیار تفکیک پذیری استفاده می شود. دامنه مقادیر تفکیک پذیری از ۰ تا ۲ می باشد و نشان می دهد که چگونه جفت ROI های انتخاب شده از لحاظ آماری به خوبی جدا شده اند. برای محدوده مورد مطالعه پس از انتخاب ROI های مناسب، قابلیت تفکیک پذیری محاسبه شده است و تقریباً نتایج قابل قبولی داده است. پس از اطمینان از صحت انتخاب ROI ها لازم است تا از روش های پیشرفته طبقه بندی تصاویر طیفی با حداقل سهم پارازیت همچون روش MNF^{۱۲} استفاده نمود. این روش به منظور تعیین ابعاد اصلی (ذاتی) تصاویر و جدا کردن پارازیت در داده ها و کاهش محاسبات ضروری در سایر پروسه ها می باشد. مقادیر ویژه MNF برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. در نهایت و به منظور تهیه تصویر طبقه بندی شده محدوده مورد مطالعه، از سه روش متفاوت استفاده شد و نتایج بدست آمده از این روش ها با هم مقایسه شدند و از مقایسه آنها با نقشه زمین شناسی منطقه مشخص شد که روش حداقل فاصله^{۱۳} نتایج بهتری را ارائه داده است.

در نهایت نتایج مطالعات سنجش از راه دور به صورت تصاویر توزیع کانی ها و دگرسانی های شناسایی شده و نیز تصاویر طبقه بندی شده ارائه شده است. در این تصاویر به طور مشخص موقعیت گوسان ها، دگرسانی های رسی، سیلیسی، ایلیتی و دیگر انواع دگرسانی به نمایش در آمده است. به طور مثال، تصویر گسترش گوسان ها در منطقه (شکل ۴)، گسترش دگرسانی ایلیتی (شکل ۵)، و تصویر طبقه بندی شده برای دگرسانی های سیلیسی، گوسان، اکسیدهای آهن و اپیدوتی (شکل ۶) آمده است که انطباق خوبی با زمین شناسی این مناطق و محدوده های کانی سازی شناسایی شده در منطقه دارد.



شکل ۴. گسترش گوسان ها در پهنه جانجا (رنگ قرمز) و محدوده مستعد.

^{۱۰} Region Of Interest

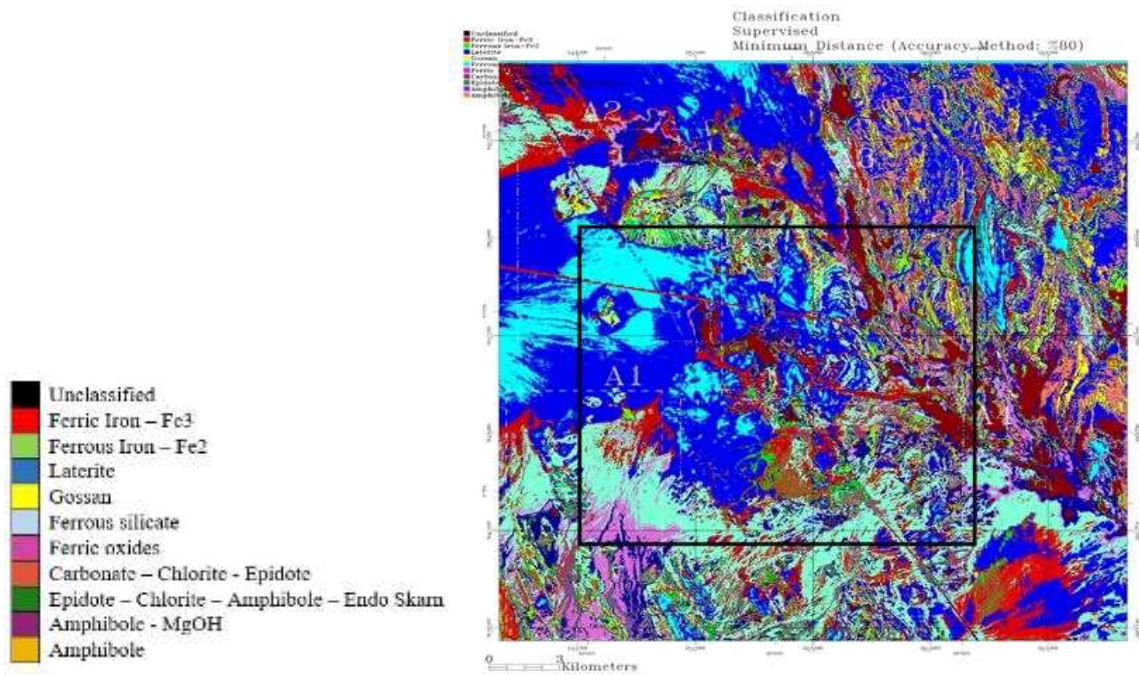
^{۱۱} N-Dimensional Visualizer

^{۱۲} Minimum Noise Fraction

^{۱۳} Minimum Distance



شکل ۵. گسترش کانی ایلیت در پهنه جانجا (بخش های روشن) و محدوده مستعد.



شکل ۶. تصویر طبقه بندی شده برای گسترش انواع دگرسانی در پهنه جانجا و مناطق مستعد.



۵. نتیجه گیری

با توجه به بررسی های زمین شناسی صورت گرفته و تطبیق آن با اطلاعات طیفی، تحلیل تصاویر ماهواره ای انجام شد. مطابق با تصویرسازی های صورت گرفته به روش های ترکیب رنگی، کروستا و زاویه طیفی، مناطق پر پتانسیل از نظر کانی زایی پلی متال طلا مشخص شد. این مناطق امید بخش به صورت نقشه هایی ارائه شد. به منظور اعتبار سنجی لازم است تا از اندیس های موجود در منطقه و تطبیق آن با مناطق امیدبخش ارائه شده استفاده نمود.

منابع

- [۱] Böhmer, M., Kucera, M., ۲۰۱۳. Prospecting and exploration of mineral deposits, Vol. ۲۱. Elsevier.
- [۲] Shirazi, A., ۲۰۱۶. Lithology and Economic Geology Surveys of copper in Mesgaran (South Khorasan), Mining and Metallurgical Engineering Department, Amirkabir University of Technology.
- [۳] Gentry Sonald, W., ۱۹۹۲. SME: Mining Engineering Handbook, ۲nd edition, Volume ۱, C۱۹۹۲, "Mine Evaluation and Investment Analysis", Vol. ۱.
- [۴] Brennan, M.J., Schwartz, E.S., ۱۹۸۵. Evaluating natural resource investments, Journal of business, p. ۱۳۵-۱۵۷.
- [۵] Alahgholi, S., Shirazy, A., Shirazi, A., ۲۰۱۸. Geostatistical Studies and Anomalous Elements Detection, Bardaskan Area, Iran, Open Journal of Geology, ۸(۷): p. ۶۹۷-۷۱۰.
- [۶] Shirazi, A., Hezarkhani, A., ۲۰۱۸. Predicting gold grade in Tarq ۱: ۱۰۰۰۰۰ geochemical map using the behavior of gold, Arsenic and Antimony by K-means method.
- [۷] Khakmardan, S., et al., ۲۰۱۸. Copper Oxide Ore Leaching Ability and Cementation Behavior, Mesgaran Deposit in Iran, Open Journal of Geology, ۸(۰۹): p. ۸۴۱.
- [۸] Alavi, M., ۱۹۹۱. Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, ۱۰۳, ۹۸۳- ۹۹۲.
- [۹] محمد حسن نبوی، ۱۳۵۵. دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۴-۱۰۹.
- [۱۰] هوشنگ اسدی هارونی، ۱۳۸۵. کاربرد دورسنجی در اکتشاف ذخایر معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۱۱] اصغر شرقی نمین، سهیلا اصلانی، عباس بحرودی، ۱۳۸۹. شناسایی مناطق دگرسانی هیدروترمال در منطقه طارم استان زنجان با استفاده از داده های ماهواره ای ASTER، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره چهارم.
- [۱۲] امیرهوشنگ احسانی، سحر شهبازی، ۱۳۹۲. ارزیابی کمی کارایی باندهای حرارتی سنجنده Aster در افزایش صحت طبقه بندی اراضی مناطق بیابانی. بیستمین همایش ملی ژئوماتیک.
- [۱۳] عطیه انصاری، سارا درگاهی، محسن آروین، ۱۳۹۴. نقشه برداری زون های آلتراسیون با استفاده از روش آنالیز مولفه اصلی انتخابی در منطقه ساردوئیه، جنوب کرمان. هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه دامغان.
- [۱۴] Agrad, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielnick, B., Spakman, W., Wortel, R., ۲۰۱۱. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. Geological Magazine, ۱۴۸(۵-۶), ۶۹۲-۷۲۵.
- [۱۵] Mohammadi, A., Burg, J. P., Bouilhol, P., Ruh, J., ۲۰۱۶. U-Pb geochronology and geochemistry.
- [۱۶] Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. G., Camp, V. E., ۱۹۸۳. The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Soc. of Amer, Bull, V. ۹۴, PP. ۱۳۴-۱۵۰.
- [۱۷] Fotoohi Rad, G.R., Droop, G.T.R., Burgess, R., ۲۰۰۹. Early Cretaceous exhumation of high-pressure metamorphic rocks of the Sistan Suture Zone, eastern Iran, Geological Journal, ۴۴(۱), pp. ۱۰۴-۱۱۶.
- [۱۸] سید علی آقا نباتی، ۱۳۹۳. زمین شناسی ایران. انتشارات سمر.
- [۱۹] Shirazi, A., Shirazy, A., Saki, S., Hezarkhani, A., ۲۰۱۸. Introducing a software for innovative neuro-fuzzy clustering method named NFCMR, Global Journal of Computer Sciences: Theory and Research, ۸(۲): p. ۶۲-۶۹.
- [۲۰] Shirazi, A., Hezarkhani, A., Shirazy, A., ۲۰۱۸. Exploration Geochemistry Data-Application for Cu Anomaly Separation Based On Classical and Modern Statistical Methods in South Khorasan, Iran, International Journal of Science and Engineering Applications, ۷: p. ۳۹-۴۴.
- [۲۱] Lata, Y. V., Tungathurthi, C., Rao, H., Govardhan, A., Reddy, L., Facial Recognition using Eigenfaces by PCA, Department of Computer Science and Engineering, Gokaraju Rangaraju Institute of Engg&Tech, Jawaharlal Nehru Tech. University.



- [۲۲] Crosta, A. P., Moore, J. McM., ۱۹۸۹. 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 ۹th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, pp. ۱۱۷۳-۱۱۸۷.
- [۲۳] Loughlin, W.P., ۱۹۹۱. Principal Component Analysis for Alteration Mapping, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, ۵۷, ۱۱۶۳-۱۱۶۹.
- [۲۴] Chavez, P., A. Kwarteng, A., ۱۹۸۹. Extracting spectral contrast in landsat thematic mapper image data using selective principal component analysis, Mathematics, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, ۵۵(۳):۳۳۹-۳۴۸.