

ترکیب اطلاعات طیف و مشتق منحنی طیفی به منظور آشکارسازی کانیه‌های دگرسانی هیدروترمال (منطقه مطالعاتی: گناباد)

سحر دهنوی^{۱*}، یاسر مقصودی^۲، محمدجواد ولدانزوج^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
dehnavi.kntu@gmail.com

^۲ استادیار دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ymaghsoudi@kntu.ac.ir

^۳ استاد دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
valadanzouj@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۴، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۵)

چکیده

آشکارسازی اهداف جزء پیکسل با بهره‌مندی از تصاویر ابرطیفی، تاکنون رشد چشمگیری داشته است به نحوی که انواع متفاوتی از روشهای مبتنی بر فضاهای ویژگی، طیف یا پدیده در مطالعات متعدد ارائه شده‌اند. اهداف معدنی، با توجه به گستره حضور آنها که معمولاً کمتر از سطح کامل یک پیکسل تصویری است، از انواع تارگتهایی هستند که آشکارسازی آنها بر مبنای تصاویر ابرطیفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی در این کار پژوهشی، ارائه یک روش آشکارسازی جدید مبتنی بر ترکیب اطلاعات طیف و مشتق منحنی طیفی است که در یک منطقه معدنی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این کار ابتدا، یکی از مراتب مشتق به عنوان مرتبه مناسب در آشکارسازی به عنوان دانش اولیه به مدل وارد می‌شود. با توجه به اینکه استفاده از طیف مشتق ماهیتاً موجب از بین رفتن اجزاء فرکانس پایین طیف می‌شود. لذا، اگر بتوان به طریقی اطلاعات طیف معمولی را نیز در کنار مزیت‌های موجود در طیف مشتق به نحوی به فرآیند پردازش اطلاعات اضافه کرد، به این ترتیب می‌توان ادعا کرد که به صورت همزمان از اکثریت اطلاعات موجود در منحنی طیفی یک تارگت استفاده شده است. بنابراین در این کار پژوهشی، از ترکیب اطلاعات طیف مرتبه صفر و طیف مشتق منتخب، جهت آشکارسازی تعدادی هدف معدنی استفاده شد. نتایج این مطالعه، نشان داد که ترکیب اطلاعات طیف و مشتق در آشکارسازی تمامی نمونه‌های مورد مطالعه بهبود چشمگیری ایجاد کرده است. به نحوی که این بهبود به ترتیب در نمونه‌های آلونیت، کانولینیت، هماتیت و اپیدوت برابر با ۲۸٪، ۲۴٪، ۲۶٪ و ۱۶٪ برآورد شده است.

واژگان کلیدی: مشتق منحنی طیفی، داده‌های ابرطیفی، ترکیب اطلاعات طیف، آشکارسازی اهداف

۱- مقدمه

زمین‌شناسی اقتصادی مطالعه بخشی از مواد سازنده زمین را شامل می‌شود که می‌توانند برای مقاصد اقتصادی و یا صنعتی به کار روند. این مواد شامل عناصر پایه و قیمتی، کانی‌های غیرفلزی، سنگ‌های ساختمانی، نفت، ذغال و آب می‌شوند که معمولاً به آنها ذخیره یا نهشته می‌گویند. از عمده‌ترین فعالیتهای مورد توجه در این حوزه، اکتشاف منابع معدنی مهم براساس کانیهای نمادی است. انجام مطالعات زمین‌شناسی و شناسایی مواد معدنی و نشانه‌های آن به روشهای سنتی، یکی از مراحل زمانبر و پرهزینه در بخش پی‌جویی اولیه و شناسایی نشانه‌های معدنی در پروژه‌های اجرایی مربوطه می‌باشد. استفاده از روشهای سنجش از دوری، به منظور کاهش هزینه‌های گزاف این پروژه‌ها، سالهاست که توسط محققین متعدد مورد استفاده قرار گرفته است [۱].

مطالعات در خصوص سنجنده‌های چندطیفی مثل SPOT، ASTER و Landsat نشان داده است که داده‌های چندطیفی قابلیت تفکیک نوع گروه کانی (مثلاً گروه کانیهای آهن‌دار) را دارند، اما نمی‌توانند نوع دقیق کانی (مانند هماتیت) را تشخیص دهند [۱-۳]. علت این موضوع با توجه به مطالعه انجام شده در [۴] روشن شده است. چراکه براساس این مطالعه نشان داده شد که پهنای باندهای جذبی کانیها معمولاً، در حدود ۲۰ تا ۴۰ نانومتر است، در صورتیکه سنجنده‌های چندطیفی قابلیت اخذ داده‌های طیفی با گستردگی ۱۰۰-۲۰۰ نانومتر هستند [۵].

توسعه تکنولوژی تصویربرداری ابرطیفی و اخذ داده‌هایی که توانایی بازسازی علائم طیفی پدیده‌ها را به خوبی کتابخانه طیفی اجسام مهیا نموده [۶]، امکان استفاده از تکنیکهایی را در این تصاویر فراهم آورده است که اغلب در تصاویر چندطیفی کارایی نداشته است. به این ترتیب حل بعضی از مسائل مطرح در تصاویر چندطیفی، تنها با بهره‌مندی از تصاویر ابرطیفی امکان‌پذیر است [۲، ۷]. با روی کار آمدن تصاویر ابرطیفی، مسئله حل ابهام اختلاط طیفی در پیکسل‌های مختلط^۱ و دستیابی به دقت‌های جزءپیکسل^۲ مطرح

شد. چراکه تارگتهای جزء پیکسل، دارای حد تفکیک مکانی کمی هستند و معمولاً بصری‌سازی آنها با دشواری انجام می‌گیرد. بنابراین روشهای توسعه یافته در تصاویر ابرطیفی، تارگت-مبنا^۳ یا جزء پیکسل هستند، درحالیکه تصاویر چندطیفی و آنالیز آنها بیشتر به صورت الگو-مبنا^۴ و در سطح پیکسل دنبال می‌شود [۸، ۹]. به طور کلی روشهای متفاوتی از آنالیز داده‌های ابرطیفی، توسط پژوهشگران متعدد ارائه شده و به منظور آشکارسازی اهداف معدنی مورد استفاده قرار گرفته که در مراجع متفاوت به آنها اشاره شده است. از آن جمله می‌توان به روشهایی مثل باقیمانده‌های تصویری (یا image residuals) [۱۰]، لگاریتم باقیمانده‌های تصویری (یا Log residuals) [۱۰]، استاندارد AIG [۱۱]، لگاریتم معکوس بازتابندگی (جذب) [۱۲]، روشهای انطباق طیفی [۱]، تطابق باندهای جذبی [۱۳]، طبقه‌بندی براساس معیارهای شباهت طیفی نظیر دیورژانس اطلاعات طیفی، زاویه طیفی، دیورژانس تصویر به فضای قائم، و معیارهای مبتنی بر فواصل، مثل فاصله اقلیدسی، TD (Tchebyshev Distance)، و JMD (Jefferis-Matusita Distance) [۱۴]، تکنیکهای آماری نظیر روش kriging نشانگر [۱۵]، روشهای غیرپارامتریک زمین آمار [۱۶] و روشهای مبتنی بر تست نسبت شباهت تعمیم یافته یا Generalized Likelihood (Ratio Test (GLRT) [۱۷]، فیلترهای تطابقی ترکیبی [۱۳]، ترکیب آنالیزهای شکل منحنی طیفی در نواحی جذبی و استفاده از ماتریسهای ابهام جهت تصمیم‌گیری نهایی در خصوص کلاس داده‌ها [۱۸]، کدینگ باینری [۱۹] و کدینگ مشتقی [۷]، استفاده از روشهای ترکیب طبقه‌بندی‌کننده‌ها نظیر روشهای میانگین، حاصلضرب، ماکزیمم و مینیمم [۲۰-۲۲] اشاره کرد.

داده‌های ابرطیفی با توجه به ماهیتی که در اخذ اطلاعات به صورت باندهای طیفی پیوسته دارند، امکان پیاده‌سازی روشهایی مثل اسپکتروسکوپی مشتقی را فراهم آورده‌اند [۲۳]. در تکنیکهایی مثل اسپکتروسکوپی جذبی که در شیمی تحلیلی استفاده می‌شود، سیگنال مورد نظر معمولاً شامل نویز پس‌زمینه و سایر سیگنالهای نامطلوب است [۲۴]. بعلاوه حضور نمونه‌هایی از مواد که دارای

^۳ Target-based
^۴ Pattern-based

^۱ Mixed pixels
^۲ sub-pixel

باند‌های جذبی نزدیک به باند‌های تحلیلی نمونه مورد نظر هستند موجب تداخل در سنجش آنها می‌شود [۶].

در سنجش از دور نیز آشکارسازی پدیده‌های زمینی با استفاده از اسپکتروسکوپی بازتابی متأثر از سیگنال‌های پس زمینه و سهم سایر تارگتها در زاویه دید سنجنده است [۲۵]. بعلاوه در سنجش از دور زمین‌شناسی، تغییر در ابعاد ذرات و حضور سایر نمونه‌های کانی در آشکارسازی اجزای مطلوب اختلال ایجاد می‌کند [۱۳]. این اثرات را می‌توان با استفاده از نسبت‌های باندی و روابط تفاضلی در طول موجهای مختلف از بین برد [۲۳].

به‌همین دلیل در سنجش از دور، نسبت‌های باندی^۱ و شاخصهای طیفی مرتبط با آنها بسیار مفیدتر از داده‌های باند‌های منفرد هستند [۲۳]. با توجه به مطالعات گذشته همانند [۲۴]، شاخصهای مشتق طیفی نیز (که براساس اطلاعات مشتق طیفی تعریف می‌شوند)، در مقایسه با شاخصهای پهن‌باند (یا همان نسبت‌های باندی)، دارای برتریهای بسیاری هستند [۲۵].

یکی از اثرات مهم مشتق‌گیری تفکیک طیفهای همپوشانی‌دار است [۲۵]. این مسئله در مطالعات زمین‌شناسی با استفاده از روشهای سنجش از دوری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا در یک پیکسل مختلط، ممکن است تعدادی تارگت معدنی موجود باشند که منحنی طیفی آنها دارای همپوشانی در برخی از باند‌های طیفی باشند. در چنین شرایطی دامنه نسبی طیف مشتق با پهنای باند باریکتر، بیشتر بوده و با افزایش تعداد دفعات مشتق‌گیری، این شدت بیشتر نیز می‌شود و در نهایت تفکیک و شناسایی این نمونه‌ها بر مبنای طیف مشتق آنها ساده‌تر خواهد بود [۲۶]. این موضوع موجب نمایش بهتر اجزا در طیف مشتق نسبت به طیف مرتبه صفر آن می‌گردد. تعدادی از مطالعاتی که تاکنون در خصوص بهره‌مندی از طیف مشتق انجام گرفته است در ادامه ذکر شده است.

در مطالعه‌ای که توسط [۲۷] انجام گرفته، از مشتق مرتبه دوم به منظور انتخاب باند‌های طیفی بهینه در شناسایی اهداف استفاده شده است. در این مطالعه که بر روی گیاهان انجام گرفته بود، داده‌های طیفی اندازه‌گیری شده به صورت میدانی به پاسخ طیفی سنجنده مورد نظر نمونه-برداری مجدد شدند، پس از آن مشتق مرتبه دوم از طیف

برای انتخاب باند‌های بهینه مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه دیگری که توسط [۲۸] انجام گرفت، طیف ناحیه مرئی و مشتق مرتبه دوم از آن، به منظور شناسایی دو کانی هماتیت و گئوتیت به صورت طبیعی و ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت. در هر دو نمونه کانی معرفی شده، الگوی مشتق مرتبه دوم از طیف الکترومغناطیس متمایزکننده آنها بود. در این مطالعه مقدار کمینه در طول موج ۴۲۳ نانومتر و بیشینه موجود در طول موج ۴۴۷ نانومتر، از مشتق مرتبه دوم از منحنی طیفی جهت برآورد مقدار فراوانی کانی گئوتیت در یک ترکیب از آن با کائولینیت مورد استفاده قرار گرفته است. [۲۹، ۳۰] در مطالعه خود به منظور تفکیک نمونه‌های معدنی هیدروترمال که دارای منحنی طیفی مشابه هستند، از مشتق منحنی طیفی در دو مرتبه استفاده کرده است. نتایج حاصل از این پژوهش که به صورت آنالیزهای طیفی انجام گفته است، نشان داده است که طیف مشتق مرتبه اول دارای قابلیت مناسبتر جهت تفکیک نمونه‌های با امضای طیفی مشابه در مخلوطهای پیچیده است. در مطالعه‌ای که توسط [۳۱] انجام گرفت، استفاده از تکنیک اسپکتروسکوپی مشتقی در شناسایی اجزای تشکیل دهنده آب در مطالعات اقیانوس شناسی پیشنهاد شده است، چراکه بهره‌مندی از طیف مشتق در تقویت پدیده‌های طیفی^۲، و شناسایی باند‌های جذبی مربوط به رنگدانه‌های موجود در آب بسیار موثر معرفی شده و طیف مشتق به مقدار کمتری تحت تاثیر نوسانات شرایط نوردی خورشید قرار می‌گیرد. در مطالعه دیگری که توسط [۳۲] انجام گرفت، از شاخصی که براساس آنالیز مشتق مرتبه چهارم طیف تعریف شده است، به منظور تشخیص شکوفه‌های سمی جلبکهای دریایی استفاده می‌شود، هرچند که این مطالعه نیز براساس اندازه‌گیریهای میدانی طیف ابرطیفی بوده است. در [۳۱]، به منظور بررسی قابلیت طیف مشتق و داده‌های حاصل از سنجنده‌های ابرطیفی در تشخیص فیتوپلانکتونها، از نوعی شبیه‌سازی مدل انتقال تابش در اقیانوس استفاده شده است. در این کار از روش آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA)^۳ طیف مشتق مرتبه دوم و بر مبنای فاصله کسینوسی^۴ استفاده شده است. در [۳۳] همبستگی بین مقدار بین رسوبات معلق^۵ با مشتق

^۲ Enhancing spectral features

^۳ Hierarchical cluster analysis (HCA)

^۴ Cosine distance

^۵ Suspended sediment concentration (SSC)

^۱ Band ratios

بازتابندگی طیفی در دو حالت آزمایشگاهی و میدانی (در دریا) اندازه‌گیری شد، که به ترتیب دارای تغییرات محیطی کم و زیاد بودند. مقدار همبستگی بین این دو پارامتر با R^2 های منفی $0/98$ و $0/83$ به ترتیب در اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی و میدانی مشاهده شد.

با وجود اینکه می‌توان اطمینان داشت که طیف مشتق دارای اطلاعات بیشتری از جزئیات منحنی طیفی نسبت به طیف مرتبه صفر است، اما انتخاب بهترین مرتبه از مشتق منحنی طیفی که تفکیک‌پذیری بیشتری نسبت به سایر مراتب آن حاصل می‌کند نیز از اهمیت زیادی برخوردار است [۳۴]. از طرف دیگر، با وجود آنکه نتایج آشکارسازی در [۳۵، ۳۶] نشان داده است که طیف مشتق دارای قابلیت بیشتری در آشکارسازی اهداف است، اما یکی از نکاتی که باید به آن توجه ویژه داشت آن است که استفاده از طیف مشتق ماهیتا موجب از بین رفتن اطلاعاتی از طیف می‌شود که دارای فرکانسهای پایینی هستند. به همین دلیل با وجود آنکه جزء فرکانس پایین طیف دارای اطلاعات کمی است، ولی بازهم به نوعی از بین بردن اطلاعات است [۳۷]. بنابراین اگر بتوان به طریقی اطلاعات فرکانس پایین طیف را نیز در کنار مزیت‌های موجود در طیف مشتق به نحوی به فرآیند پردازش اطلاعات اضافه کرد، به این ترتیب می‌توان ادعا کرد که به صورت همزمان از اکثریت اطلاعات موجود در منحنی طیفی یک تارگت استفاده شده است.

استفاده از مفهوم تلفیق در حل مسائل گوناگون همواره مورد توجه محققین علوم مختلف قرار گرفته است. به این ترتیب که در صورت مستقل بودن هریک از طبقه‌بندی‌کننده‌ها و وجود مقدار مشخص احتمال خطا در هریک از آنها، ترکیب طبقه‌بندی‌کننده‌ها دارای دقت بالاتری نسبت به هریک از طبقه‌بندی‌کننده‌ها خواهد بود. با توجه به این مطلب، یکی از راهکارهای ممکن برای بهبود نتایج حاصل از آشکارسازی و استفاده از نقاط قوت هر دو طیف مرتبه صفر و مشتق منحنی طیفی (به خصوص در مرتبه بهینه آن به ازای هر نمونه)، ترکیب نتایج آشکارسازی آنها به هریک از روشهای متداول ترکیب نتایج است [۲۲].

به عنوان مثال در [۳۸] با توجه به ماهیت نویزی داده‌های طیفی از یک قاعده تصمیم‌گیری تلفیقی استفاده شده و تصمیم نهایی براساس روش رای گیری اکثریت^۱ بوده

است. نتایج حاصل از ترکیب تصمیم‌گیریها در طیفهای مراتب مختلف نشان داده است که شناسایی اهداف براساس روش رای گیری اکثریت، مناسبتر از روش ساده تصمیم‌گیری براساس الگوریتم زاویه طیفی^۲ بوده است. مزیت استفاده از این روش آن است که در مقایسه با الگوریتمهای متداول مشابهت طیفی که اطلاعاتی نظیر شیب منحنی طیفی را در نظر نمی‌گیرند، این اطلاعات وارد فرآیند تصمیم‌گیری شده است. به این ترتیب امکان تفکیک نمونه‌هایی با منحنیهای طیفی مشابه به مقدار بیشتری فراهم شده است [۳۸].

در این کار پژوهشی، ابتدا یکی از مراتب مشتق به عنوان مرتبه بهینه در آشکارسازی هر نمونه و براساس روش معرفی‌شده در [۳۵، ۳۶] انتخاب شده است. سپس به منظور استفاده همزمان از اکثریت اطلاعات موجود در منحنی طیفی اهداف مورد مطالعه، از یک روش ترکیب آشکارسازها برای ترکیب نتایج آشکارسازی در طیف مرتبه بهینه و طیف مرتبه صفر این اهداف استفاده شده است.

ساختار کلی ارائه مطالب در این مقاله به شرح زیر است: در بخش دوم از این مقاله، داده‌های مورد استفاده، اهداف مورد مطالعه و منطقه مطالعاتی معرفی شده‌اند، در مرحله بعد روش پیشنهادی این مطالعه (شامل روشهای آشکارسازی و ترکیب) ارائه شده است. کلیاتی از نتایج حاصل، بحث و نتیجه‌گیری نیز در بخش انتهایی بیان گردیده است.

۲- معرفی داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در مجموع داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، شامل داده‌های طیف بازتابندگی از نمونه‌های مورد مطالعه، و داده تصویری Hymap است. این داده‌ها و کانیهای مورد مطالعه که با توجه به نظر متخصصین زمین‌شناس شناسایی‌شان حائز اهمیت شناخته شده است در ادامه معرفی شده‌اند.

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

۲-۱-۱- داده‌های طیفی و نمونه‌های معدنی

در مجموع شانزده عضو خالص به عنوان کانیهای که احتمال یافتن آنها در منطقه موجود است، توسط سازمان زمین‌شناسی کشور معرفی شد. با توجه به داده‌های میدانی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه در نهایت چهار نمونه از این کانیها که دارای داده‌های حقیقت زمینی

^۲ Spectral Angle mapper (SAM)

^۱ Majority voting

توسط شرکت Hyvista اخذ شده است، به عنوان داده‌های مورد مطالعه برگزیده شد (شکل ۳).

سنجنده HyMap، به عنوان یکی از سنجنده‌های تجاری هوابرد ابرطیفی است که توسط Integrated Spectronics استرالیا توسعه پیدا کرده و توسط شرکت Hyvista کاراندازی شده است. این سنجنده، یکی از سنجنده‌های مدرن هوابرد در زمینه سنجش از دور محسوب می‌شود و محدوده طیفی ۰/۴۵ تا ۲/۵ میکرومتر را در ۱۲۸ باند طیفی با پهنای باند تقریبی ۱۵ نانومتر با نسبت سیگنال به نویز ۸۰۰، پوشش می‌دهد [۳۹]. با توجه به اینکه باندهای شماره ۱، ۳۱ و ۳۲ از این سنجنده نویزی هستند و یا اینکه دارای محدوده پوشش طیفی مشابهی می‌باشند، این باندها توسط شرکت Hyvista از مجموعه ۱۲۸ باند حذف شده و در کل ۱۲۵ باند طیفی در اختیار قرار گرفته است. ابعاد پیکسل زمینی این سنجنده متناسب با ارتفاع پرواز آن از سطح منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اینکه ارتفاع پرواز از سطح این منطقه ۴۰۲۵/۸۸ متر بوده، ابعاد پیکسل‌های زمینی برابر با ۴/۹ متر می‌باشد.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بنابر نظرات متخصصین زمین-شناس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، واقع در شرق کشور، استان خراسان رضوی، شهرستان گناباد، با موقعیت جغرافیایی تقریبی ۳۴ درجه شمالی و ۵۸ درجه شرقی انتخاب شد. نمایی از منطقه مورد مطالعه در شکل (۳) نمایش داده شده است.

منطقه گناباد در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار گرفته و از نظر ساختاری جزئی از پهنه لوت به حساب می‌آید. میانگین ارتفاعی در این منطقه ۱۱۸۷/۶ متر از سطح دریا بوده و اختلاف ارتفاع منطقه برابر با ۱۶۲ متر می‌باشد. واحدهای سنگی منطقه شامل سنگهای آتشفشانی تراکیت، ریوداسیت، ریولیت، سنگهای آذرواری، توفهای اسیدی-حدواسط و آگلومرا، توده‌های نفوذی و ساب ولکان با ترکیب اسیدی- حدواسط، سنگهای رسوبی و دگرگونی است. واحدهای ولکانیکی و توده‌های ساب ولکانیک^۲ موجود، تحت تاثیر محلولهای هیدوترمالی قرار گرفته دگرسان شده‌اند.

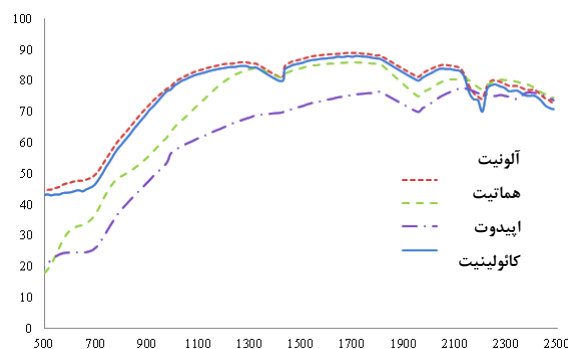
معتبر بودند، در عملیات آشکارسازی وارد شدند و نتایج نهایی این مطالعه نیز براساس این چهار عضو خالص طیفی ارائه شده است. این چهار نمونه کانی معدنی که عملیات آشکارسازی براساس آنها انجام گرفته است، عبارتند از: نمونه آلونیت، کائولینیت، همتایت و اپیدوت.

طیف این نمونه‌ها پس از نمونه‌برداری در منطقه، به طریق اسپکترومتری آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. به این منظور از دستگاه اسپکترومتری آزمایشگاهی SVC^۱ با محدوده پوشش ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر و پهنای باند اندازه-گیری اسمی ۱/۵-۲/۵ نانومتر استفاده شد.

نمایی از طیف این نمونه‌ها و نمونه سنگی آنها که در میدان برداشت شده است در شکل‌های زیر ارائه شده است. موقعیت برداشت نمونه‌های زمینی نیز در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمایی از نمونه‌های سنگی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه، الف) آلونیت، ب) همتایت، ج) اپیدوت، د) کائولینیت



شکل ۲- نمایی از طیف آزمایشگاهی نمونه‌های پودر تهیه شده

۲-۱-۲- داده‌های تصویری

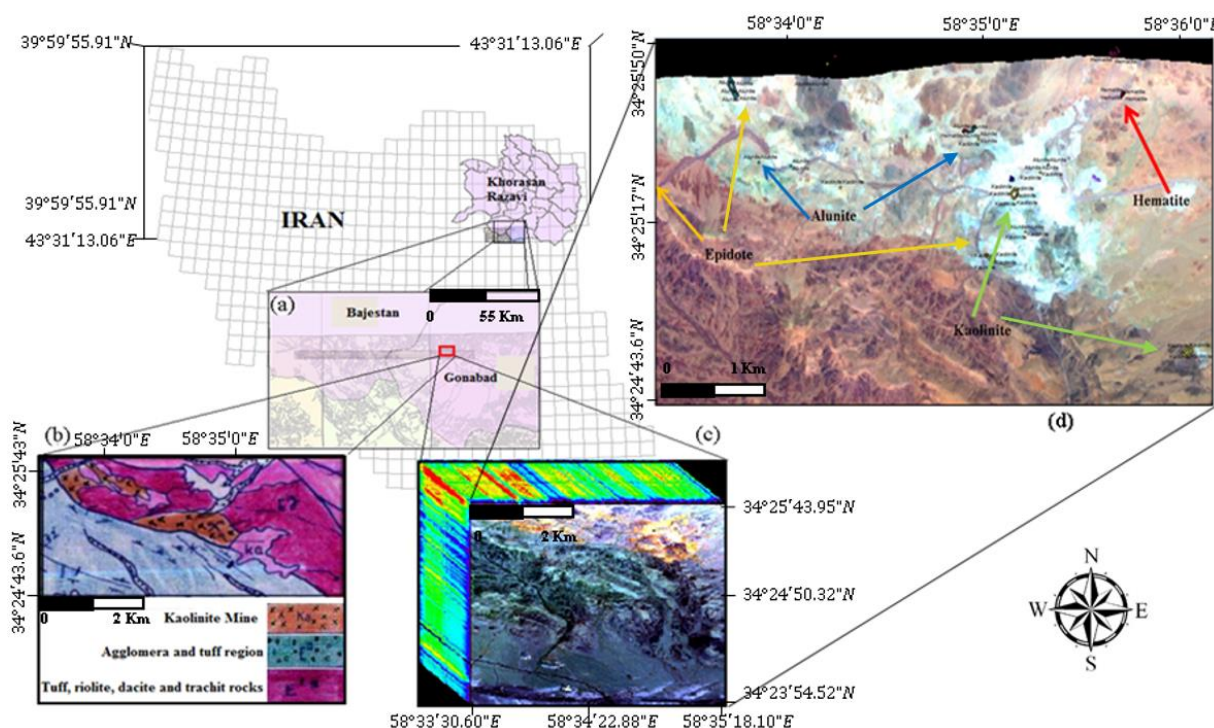
داده‌های ابرطیفی سنجنده هوابرد HyMap که در سال ۲۰۰۶ م. با همکاری سازمان زمین‌شناسی کشور و

^۲ Subvolcanic

^۱ Spectra Vista Corporation (SVC)

این منطقه را افزایش می‌دهند. در ادامه مراحل پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی داده‌های مورد استفاده ارائه شده است.

زونهای دگرسانی مهم این منطقه شامل محدوده‌های سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سرسیتیک و کوارتز-سرسیت-پیریت هستند که اهمیت مطالعات زمین‌شناسی در



شکل ۳- نمایشی از الف) منطقه مورد مطالعه، ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه، پ) تصویر ابرطیفی خام و ت) داده‌های حقیقت زمینی برداشت شده از منطقه

۳- روش کار

۳-۱-۱- روش آشکارسازی

به منظور آشکارسازی نمونه‌های معدنی مورد مطالعه، ابتدا مراتب بهینه مشتق در آشکارسازی هر نمونه انتخاب شدند [۳۴]، که در نتیجه آن مشتق مرتبه اول در دو نمونه آلونیت و کائولینیت، مشتق مرتبه چهارم در نمونه هماتیت و مشتق مرتبه دوم در نمونه اپیدوت به عنوان مراتب بهینه آشکارسازی برگزیده شدند. سپس طیف مرتبه صفر به روش طیفهای مشتق نمونه‌ها به روش DCEM (Constrained Energy Minimization Derivative) [۴۰] آشکارسازی شدند. جزییات هریک از این روشها در ادامه ذکر شده است.

۳-۱-۱-۱- روش آشکارسازی کمینه‌سازی انرژی مقید (CEM)

روشهای بدون قید و نیمه مقیدی مثل OSP، SCLS، و NCLS، همگی از طول بردارهای پیکسلی استفاده می‌کنند یا اینکه بر روی فراوانیها شرط اعمال می‌کنند و

به طور کلی از مفهوم آنالیز ترکیب خطی طیف استنتاج شده‌اند. از جمله محدودیت‌های الگوریتم OSP نیاز به داشتن اطلاعات اولیه از تارگت مورد نظر در مورد اهداف مزاحم و نامطلوب می‌باشد. به عبارت دیگر باید ماتریس مشخصه‌های طیفی تمام اهداف-ماتریس M- در اختیار باشد. یعنی این روشها کاملاً نظارت شده هستند. اما در واقعیت دسترسی به این اطلاعات و تشکیل ماتریس M دشوار است. به خصوص در تصاویر ابرطیفی که سیگنالهای ناشناخته زیادی دارند و هرگز نمی‌توانیم ویژگیهای کل تصویر یا پس زمینه را به طور کامل استخراج کنیم. از طرفی وجود سیگنالهای مزاحم کار آشکارسازی اهداف را با اختلال روبرو می‌کند. به منظور حل این مشکل می‌بایست به دنبال روشی باشیم که بتوان با استفاده از آن، بدون شناسایی سیگنالهای مزاحم، اثر آنها را در تصویر کمینه کنیم. پس می‌توان از روش مقید دیگری استفاده کرد که اقدام به کمینه کردن انرژی اهداف مزاحم می‌کند. با فرض وجود N پیکسل $\{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ با مشخصه‌ی طیفی $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iL})^T, 1 \leq i \leq N$ ، که در آن L تعداد

طیف گسسته را می‌توان با استفاده از روش تقریب متناهی، از رابطه (۵) بدست آورد:

$$\frac{dS}{d\lambda} \Big|_{\lambda_i} \approx \frac{S(\lambda_i) - S(\lambda_j)}{\Delta\lambda} \quad (5)$$

که در رابطه (۵)، مقدار مشتق مرتبه اول در طول موج λ_i و $\Delta\lambda$ نشان دهنده فاصله بین باندهای مجاور است. به همین ترتیب مشتق مرتبه دوم را می‌توان به صورت (۶) محاسبه نمود.

$$\frac{d^2S}{d\lambda^2} \Big|_{\lambda_j} \approx \frac{S(\lambda_i) - 2S(\lambda_j) + S(\lambda_k)}{(\Delta\lambda)^2} \quad (6)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_j - \lambda_i = \lambda_k - \lambda_j$$

مشتقات مراتب بالاتر از طیف نیز به همین ترتیب قابل محاسبه خواهند بود.

$$\frac{d^n S}{d\lambda^n} \Big|_{\lambda_j} \approx \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{d^{(n-1)} S}{d\lambda^{(n-1)}} \right) \approx \dots \approx \frac{s(\lambda_i) - \dots + s(\lambda_{i+n})}{(\Delta\lambda)^n} = \frac{\sum_{i=i+n}^{i+n} C_k s(\lambda_k)}{(\Delta\lambda)^n} \quad (7)$$

۳-۱-۱-۳ روش آشکارسازی کمینه‌سازی انرژی مقید مشتقی (DCEM)

با توجه به آنچه در خصوص الگوریتم آشکارسازی CEM مطرح شد، روابط ریاضی الگوریتم DCEM، به شرح روابط (۸) تا (۱۰) قابل ارائه هستند.

$$\min\{\nabla w^T \nabla R_{(L-1) \times (L-1)} \nabla w\} \text{ subject to } \Theta^T \nabla w = 1 \quad (8)$$

$$\nabla w^{DCEM} = \frac{\nabla R_{(L-1) \times (L-1)}^{-1}}{\Theta^T \nabla R_{(L-1) \times (L-1)}^{-1} \Theta} \quad (9)$$

$$\delta_{DCEM}(\nabla r) = (\nabla w^{DCEM})^T \nabla r = (\Theta^T \nabla R_{(L-1) \times (L-1)}^{-1} \Theta)^{-1} (\nabla R_{(L-1) \times (L-1)}^{-1} \Theta)^T \nabla r \quad (10)$$

تمامی پارامترهای معرفی شده در این الگوریتم مشابه با پارامترهای الگوریتم CEM در بخش (۳-۵) هستند، با این تفاوت که نماد Θ برای نمایش طیف تارگت هدف در پنج مرتبه مشتق مورد استفاده قرار گرفته و پارامتر ∇ در کنار هر پارامتر به معنای حضور طیف مشتق در شکل‌گیری آن طیف است. لازم به ذکر است که ابعاد بردار R تنها برای یک مرتبه از مشتق منحنی طیفی (یک بعد کاهش یافته)، در روابط (۸) تا (۱۰) نمایش داده شده است.

نتایج آشکارسازی هر دو روش CEM و DCEM در تمامی نمونه‌های معدنی در بخش ۴ آمده است.

باند ها می‌باشد، و نیز p هدف با مشخصه های طیفی $m_1, m_2, \dots, m_p$ ، مقصود طراحی یک فیلتر به همراه یک بردار وزن (w) به منظور کمینه کردن انرژی خروجی فیلتر با توجه به شرط (۱) است.

$$\min\{w^T R_{L \times L} w\} \text{ subject to } d^T w = 1 \quad (1)$$

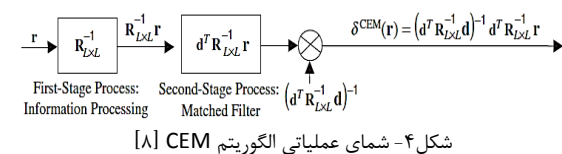
از رابطه اخیر روشن است که تنها یک تارگت مطلوب واقع شده و به جای ماتریس M در فیلتر LCMV از بردار L استفاده کرده‌ایم. آنچنان که دیده می‌شود، در این شرایط بردار قید w هم یک اسکالر تعریف می‌شود. در نهایت پاسخ مساله بهینه‌سازی، بردار وزن مورد نظر به شرح رابطه (۲) است:

$$w^{CEM} = \frac{R_{L \times L}^{-1}}{d^T R_{L \times L}^{-1} d} \quad (2)$$

با جایگذاری مقدار بردار وزن w^{CEM} در آشکارساز LCMV، مقدار انرژی خروجی آشکارساز CEM با استفاده از رابطه‌ی (۳) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\delta_{CEM}(r) = (w^{CEM})^T r = (d^T R_{L \times L}^{-1} d)^{-1} (R_{L \times L}^{-1} d)^T r \quad (3)$$

خروجی این الگوریتم یک اسکالر است و نکته‌ای که در مورد آن لازم است توجه شود، که از جمله نقاط ضعف این روش محسوب می‌شود، حساسیت آن به میزان نویز تصویر است. شکل (۴) روند الگوریتم CEM را به نمایش گذاشته است.

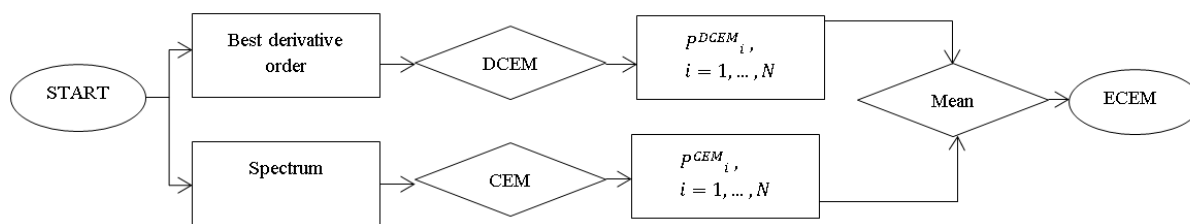


۳-۱-۱-۲ روش برآورد طیف مشتق در داده های ابرطیفی

طیف استخراج شده از داده‌های ابرطیفی - یا مشاهدات آزمایشگاهی- تابعی از طول موج است که می‌تواند به صورت گسسته زیر نمایش داده شود [۲۳، ۲۵، ۳۸، ۴۱].

$$S = [s(\lambda_1), s(\lambda_2), s(\lambda_3), \dots, s(\lambda_n)] \quad (4)$$

که در این رابطه S نشان دهنده طیف بازتابندگی و $s(\lambda_i)$ معرف مقدار بازتابندگی در طول موج λ_i ، مقدار طول موج در باند i -ام، می‌باشد. بنابراین مشتق مرتبه اول از این



شکل ۵- روندنمای پیشنهادی جهت ترکیب نتایج آشکارسازی نمونه های معدنی مورد مطالعه

۳-۱-۱-۴- ژئوکدینگ نقشه‌ها

به طور کلی به منظور مقایسه پیکسل‌های خروجی آشکارسازی شده با داده‌های حقیقت زمینی لازم است که تصویر خروجی را ژئوکد نماییم. به این ترتیب مقایسه و ارزیابی نتایج نهایی امکانپذیر خواهد شد.

سنجنده‌های تصویربرداری هوابرد و اسکنرهای اپتیکی در کاربردهای سنجش از دوری، بسیار پراهمیت هستند. استحکام هندسی این سیستمها از پلتفرمهای فضابرد بسیار کمتر است. این موضوع ناشی از اعوجاجات هندسی است که در اثر تغییر مسیر حرکت پلتفرم و پارامترهای وضعیت (roll, pitch, heading) آن ایجاد می‌شود. این اثر حتی با استفاده از ابزارهای مکانیکی متعادل کننده (stabilizer) که با این هدف بر روی پلتفرم نصب می‌شوند هم قابل حذف نمی‌باشد. این اعوجاجات به خصوص در انواع مطالعاتی که در آنها به دقت‌های در حد پیکسل و زیر پیکسل مورد نیاز است غیر قابل چشم‌پوشی است. مسئله مهم آن است که این دسته از خطاها با بکارگیری مدل‌های ترمیم پلی‌نمیا (Polynomial rectification) قابل حذف نخواهند بود [۳۹، ۴۳]. در واقع روشهای ژئورفرنس سنتی که بر مبنای نقاط کنترل زمینی هستند، در سنجنده‌های هوابرد ناکارآمد هستند. روشهای پلی‌نمیا سنتی که با اصطلاح 'rubber-sheet' شناخته می‌شوند نیازمند تعداد زیادی نقطه گره‌ای هستند تا بتوانند اثر جابجاییهای موجود در پلتفرم را حذف کنند. گرچه حتی به این طریق نیز داده‌های هوابرد به دقت‌های بالایی دست نمی‌یابند.

گرچه حتی استفاده از پلی‌نیمالهای قطعه‌ای (piecewise) پتانسیل خوبی در انجام عملیات ژئورفرنس در داده‌های هوابرد ارائه می‌کند، با این حال این دسته از روشها هم نمی‌توانند اعوجاجات فرکانس بالای موجود در تصاویر هوابرد را حل کنند [۴۳].

در شرکت HyVista که مسئول سنجنده هایمپ است، از مدل هندسی سنجنده جهت تعریف مدل پارامتریک

ژئوکد استفاده شده است [۴۴]. بنابراین خروجیهای ارائه شده توسط این شرکت که در قالب دو مجموعه فایل IGM و GLT هستند، اطلاعات هندسی منطقه مورد مطالعه؛ از DEM گرفته تا موقعیت پیکسل‌های ترمیم شده را ارائه می‌کند [۴۴، ۴۵]. لذا انتظار می‌رود تهیه نقشه از این اطلاعات هندسی، موقعیت ترمیم شده پیکسلها را بر روی DEM منطقه ارائه کند.

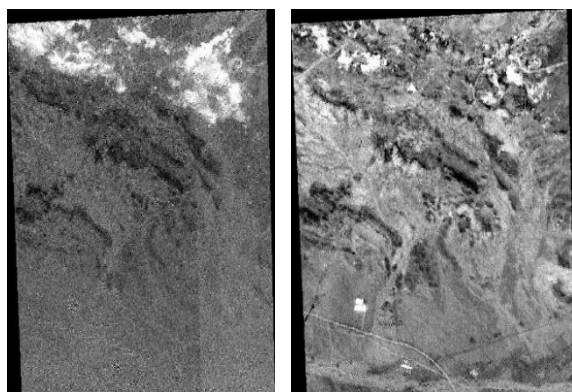
۳-۱-۲- روش ترکیب پیشنهادی

در صورتی که هدف، همراهی استفاده از اطلاعات طیف و مشتق طیف در مرتبه مناسب جهت آشکارسازی تارگتها باشد می‌توان پس از بدست آوردن خروجی هریک از آنها، از یکی از عملگرهای آماری (Max, Min, Product, Mean) جهت ترکیب نتایج در سطح اندازه‌گیری بهره جست. فلوچارتی از این عملیات به ازای هر تارگت در شکل (۴) نمایش داده شده است. با وجود اینکه استفاده از روش بکاربرده در [۳۴]، موجب انتخاب طیفی با بیشترین محتوای اطلاعات برای آشکارسازی هر تارگت می‌شود، اما انجام فرآیند ترکیب فوق از آن جهت صورت می‌گیرد که همزمان از اطلاعات طیف و مشتق منحنی طیفی هر تارگت بهره برده شود.

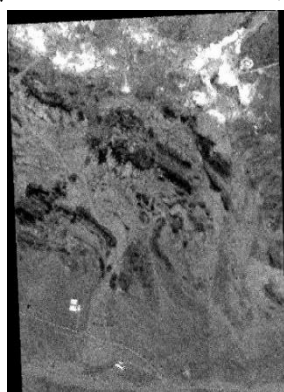
پس از انجام آشکارسازی به دو روش CEM و DCEM، تصمیم‌گیری بر مبنای رای‌گیری ترکیبی بین مقادیر احتمال حضور هر تارگت و به روش ترکیب میانگین انجام گرفت. علت انتخاب این روش، امکان استفاده همزمان از اطلاعات هر دو خروجی آشکارسازی و متداول بودن آن در بین انواع روشهای ترکیب است [۴۲]. رابطه ریاضی ترکیب مورد نظر به شرح رابطه (۱۱) قابل بیان است:

$$p_{t_p}^{ECEM}(i) = \text{mean}(p_{t_p}^{DCEM_i}, p_{t_p}^{CEM_i}) = \frac{1}{2}(p_{t_p}^{DCEM_i} + p_{t_p}^{CEM_i}) \quad (11)$$

متداول بهره برده خواهد شد تا نتایج آشکارسازی با داده‌های حقیقت زمینی مورد مقایسه قرار گیرند.



(ب) (الف)



(پ)

شکل ۶- نمایی از تصویر آشکارسازی (خروجی احتمالاتی) ژئوکد شده از تارگت آلونیت؛ الف) طیف مرتبه صفر، ب) مشتق مرتبه اول، پ) روش ترکیب پیشنهادی

مقایسه بصری نتایج آشکارسازی ژئوکد شده در سایر نمونه‌های معدنی این مطالعه (پیوست ۱- شکل‌های ۱۱ الی ۱۳) و مقایسه آنها با داده‌های حقیقت زمینی در شکل (۳)، نیز تا حد کمی بهبود آشکارسازی را با استفاده از طیف مشتق و روش ترکیبی نشان می‌دهد. اما روشن است که این نتایج بصری به هیچ وجه نمی‌تواند مبنای ارزیابی نهایی این مطالعه باشد. پس از تهیه خروجی احتمالاتی آشکارسازی در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه، به منظور ارزیابی نتایج آشکارسازی از روش متداول ترسیم منحنی ROC^۱ [۴۶، ۴۷] در آشکارساز به صورت کیفی و برآورد سطح زیر نمودار AUC^۲ [۴۶، ۴۷] به صورت کمی بهره برد شد. نتایج این ارزیابی در جداول (۱) تا (۴) و نمودارهای (۷) تا (۱۰)، به ازای تمامی نمونه‌های معدنی مورد مطالعه ارائه شده است.

که در آن، $P_{t_p}^{ECM}(i)$ میانگین آشکارسازی تارگت p -ام در پیکسل i -ام، در حالتی است که $i=1, \dots, N$ برابر با تعداد کل پیکسل‌های تصویری و $\{t_1, \dots, t_p\}$ مجموعه‌ای از p تارگت مورد مطالعه است.

روش ترکیب پیشنهادی با عنوان ECEM (EnsembleConstrained Energy Minimization) معرفی شده است.

پس از انجام این ترکیب، خروجیهای آشکارسازی در تمامی نمونه‌ها به روش Geometric Look Up (GLT) (Table)، [۳۹، ۴۰، ۴۲] ژئوکد شدند. جزییات این بخش از کار در ادامه بیان شده است.

۴- نتایج

نتایج آشکارسازی در کانیه‌های مورد مطالعه در طیف مرتبه صفر (روش CEM)، مشتقات بهینه آنها (روش DCEM) و همچنین روش ترکیب پیشنهادی در شکل‌های (۶) تا (۹) نمایش داده شده است. با توجه به اینکه در خروجیهای تصویری ارائه شده در این بخش، مقدار احتمال حضور هر تارگت معدنی در هر پیکسل با درجات خاکستری نمایش داده می‌شود، بنابراین رنگ روشنتر (سفید) نشان دهنده احتمال حضور بیشتر یک تارگت و رنگ تیره تر (مشکی) نشان دهنده احتمال حضور کمتر از یک تارگت در پیکسل مورد نظر است.

به عنوان مثال نواحی روشنتر در شکل ۶-الف که حاصل از آشکارسازی به روش DCEM است نشان می‌دهد که در ناحیه بالای منطقه مقدار نمونه معدنی آلونیت به مقدار بیشتری شناسایی شده است. در صورتی که خروجی طیفی (شکل ۶-ب)، این تاکید را از نظر احتمال حضور عوارض نشان نمی‌دهد. مقایسه این خروجیها با داده‌های حقیقت زمینی جمع‌آوری شده از منطقه (شکل ۳) نشان می‌دهد که طیف مشتق نسبت به طیف معمولی بهتر عمل کرده است. در مرحله بعد با توجه به آنچه در اهداف اولیه از این مقاله مطرح شد، خروجیهای آشکارسازی شده بر مبنای دو طیف مشتق و طیف مرتبه صفر با روش میانگین در سطح احتمال ترکیب شدند. خروجی این مرحله برای تارگت آلونیت در شکل ۶-پ، نمایش داده شده است. گرچه خروجی بصری این ترکیب، بهبود نتایج آشکارسازی را به طور کامل نمایش نمی‌دهد، اما در ادامه از روشهای ارزیابی کمی و کیفی

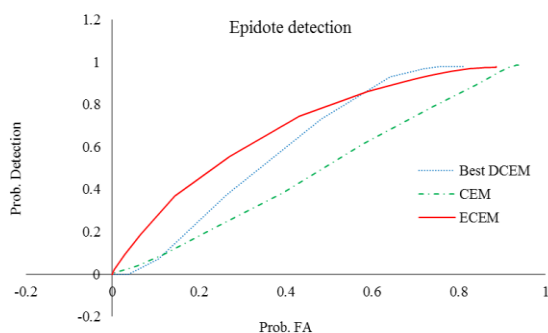
^۱ Receiver Operating Characteristics

^۲ Area Under Curve

جدول ۲- ارزیابی آشکارسازی بر مبنای منحنی ROC و سطح زیر نمودار (نمونه هماتیت)

آشکارسازی	AUC
طیف مرتبه صفر (CEM)	۰/۵
طیف مشتق مرتبه اول (DCEM)	۰/۶۲۹
روش ترکیب پیشنهادی (ECEM)	۰/۷۶۳

در نمونه هماتیت (جدول ۲ و شکل ۸)، استفاده از مشتق مرتبه چهارم از طیف (در روش DCEM)، موجب بهبود ۱۲ درصدی در نتایج آشکارسازی و روش ترکیب پیشنهادی بهبودی ۲۶ درصدی را حاصل نموده است. به نظر می‌رسد ترکیب نتایج در این نمونه معدنی تقریباً برابر با نمونه آلونیت بوده است. این موضوع نه تنها از مقایسه مقادیر AUC در هر سه روش، بلکه از تحذب منحنیهای ROC نیز کاملاً روشن است.

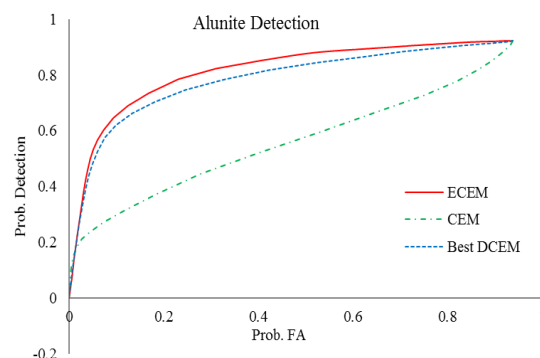


شکل ۹- منحنی ROC در تارگت اپیدوت به ازای هر سه روش مورد مطالعه

جدول ۳- ارزیابی آشکارسازی بر مبنای منحنی ROC و سطح زیر نمودار (نمونه اپیدوت)

آشکارسازی	AUC
طیف مرتبه صفر (CEM)	۰/۶۴۲
طیف مشتق مرتبه اول (DCEM)	۰/۷۴۷
روش ترکیب پیشنهادی (ECEM)	۰/۸۰۶

مقایسه این نتایج در نمونه اپیدوت نیز (جدول ۳ و شکل ۹) به همین ترتیب نشان می‌دهد که روش ترکیب پیشنهادی بهبودی در حدود ۱۶ درصد نسبت به CEM و روش DCEM بهبودی در حدود ۱۰ درصد نسبت به CEM حاصل کرده است.

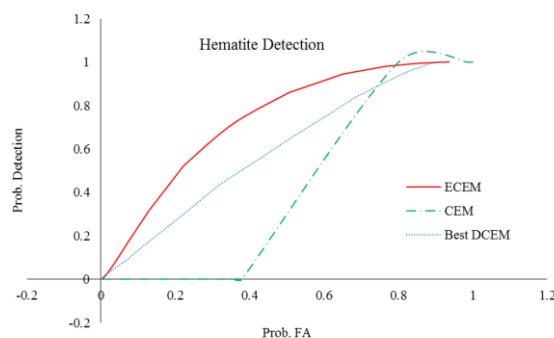


شکل ۷- منحنی ROC در تارگت آلونیت به ازای هر سه روش مورد مطالعه

جدول ۱- ارزیابی آشکارسازی بر مبنای منحنی ROC و سطح زیر نمودار (نمونه آلونیت)

آشکارسازی	AUC
طیف مرتبه صفر (CEM)	۰/۶۱۸
طیف مشتق مرتبه اول (DCEM)	۰/۸۳۳
روش ترکیب پیشنهادی (ECEM)	۰/۸۹۲

آنچنان که از (جدول ۱ و شکل ۷) روشن است، در نمونه آلونیت به ترتیب روش ترکیب پیشنهادی، مشتق مرتبه اول (در روش DCEM) و طیف معمولی (روش CEM) تارگت دارای بهترین نتایج آشکارسازی بوده‌اند. این ارزیابی از مقایسه مقادیر احتمالاتی در هر تصویر با داده‌های حقیقت زمینی آن منطقه حاصل شده است. استفاده از طیف مشتق به تنهایی موجب بهبودی در حدود ۲۲ درصد برای نمونه آلونیت شده و روش ترکیب پیشنهادی در حدود ۲۶ درصد بهبود حاصل کرده است. ارزیابی سایر نمونه‌های معدنی نیز براساس منحنی ROC و همچنین سطح زیر نمودار این منحنی به شرح زیر حاصل شد.



شکل ۸- منحنی ROC در تارگت هماتیت به ازای هر سه روش مورد مطالعه

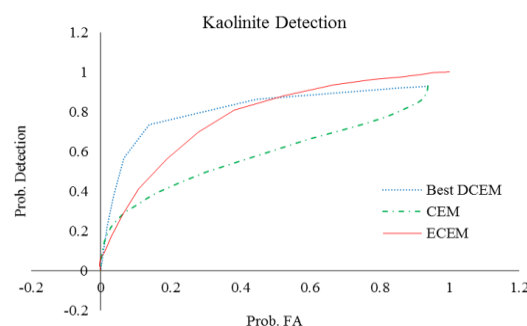
اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی در این کار پژوهشی، ارائه یک روش آشکارسازی جدید مبتنی بر ترکیب اطلاعات طیف و مشتق منحنی طیفی بوده که در یک منطقه معدنی مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج این ارزیابی نشان داده است که ترکیب احتمالات در خروجیهای آشکارسازی سبب بهبود نتایج در آشکارسازی هر چهار نمونه معدنی مورد مطالعه شده است. در واقع نتایج این مطالعه، نشان داد که ترکیب اطلاعات طیف و مشتق در آشکارسازی تمامی نمونه‌های بهبود چشمگیری ایجاد کرده است، به نحوی که این بهبود به ترتیب در نمونه‌های آلونیت، کائولینیت، هماتیت و اپیدوت برابر با ۲۸٪، ۲۴٪، ۲۶٪ و ۱۶٪ بوده است.

گرچه روش ترکیب پیشنهادی در این مطالعه نشان دهنده بهبود در نتایج آشکارسازی بوده است، با اینحال پیشنهاد می‌شود که تعداد بیشتری از نمونه‌های معدنی یا سایر تارگتهای جزء پیکسل بر مبنای روش پیشنهادی در آینده مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. بعلاوه افزایش تعداد نمونه‌های برداشت شده در منطقه نیز میتواند به عنوان یکی از راهکارهای رفع محدودیتهای این مطالعه اشاره نمود.

سپاسگزاری

محققین اثر بر خود لازم می‌دانند از همکاریهای سازمان فضایی ایران، سازمان زمین‌شناسی کل کشور و گروه سنجش از دور و فتوگرامتری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی که در تهیه داده‌های تصویری و انجام مطالعات میدانی از هیچ حمایتی دریغ نکردند، مراتب بالای قدردانی را به عمل آورند.



شکل ۱۰- منحنی ROC در تارگت کائولینیت به ازای هر سه روش مورد مطالعه

جدول ۴- ارزیابی آشکارسازی بر مبنای منحنی ROC و سطح زیر نمودار (نمونه کائولینیت)

آشکارسازی	AUC
طیف مرتبه صفر (CEM)	۰/۶۳۶
طیف مشتق مرتبه اول (DCEM)	۰/۸۴۷
روش ترکیب پیشنهادی (ECEM)	۰/۸۷۴

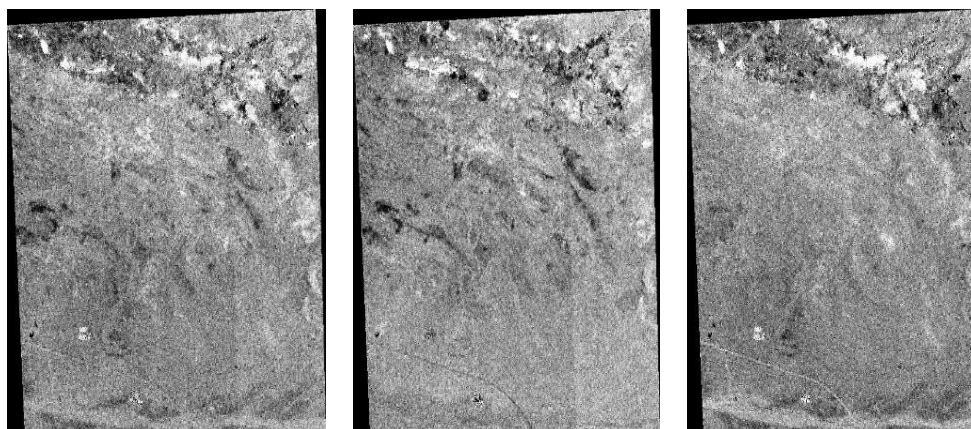
بررسی مقادیر AUC در نمونه کائولینیت از جدول (۴) و شکل (۱۰)، نیز نشان دهنده بهبود عملیات آشکارسازی در روش ترکیب پیشنهادی به اندازه ۲۴ درصد و در حدود ۲۱ درصد در روش DCEM است.

به طور کلی مقایسه نتایج در منحنیهای ROC و همچنین مقادیر AUC در آشکارسازی نمونه‌ها نشان دهنده این مسئله است که طیف مشتق در تمامی تارگتها در مرتبه‌ای خاص (روش DCEM) - که پیشتر به عنوان دانش اولیه معرفی شده است - بهتر از طیف معمولی عمل کرده است. از طرف دیگر، این نتایج نشان داده است که ترکیب اطلاعات طیف و مشتق به صورت همزمان در روش ترکیب پیشنهادی نیز موجب بهبود نتایج آشکارسازی در تمامی نمونه‌ها نسبت به هر دو روش CEM و DCEM شده است.

۵- نتیجه‌گیری

آشکارسازی اهداف جزء پیکسل با بهره‌مندی از تصاویر ابرطیفی، تاکنون رشد چشمگیری داشته است به نحوی که انواع متفاوتی از روشهای مبتنی بر فضاهای ویژگی، طیف یا پدیده در مطالعات متعدد ارائه شده‌اند. اهداف معدنی، با توجه به گستره حضور آنها که معمولاً کمتر از سطح کامل یک پیکسل تصویری است، از انواع تارگتهایی هستند که آشکارسازی آنها بر مبنای تصاویر ابرطیفی از

پیوست ۱

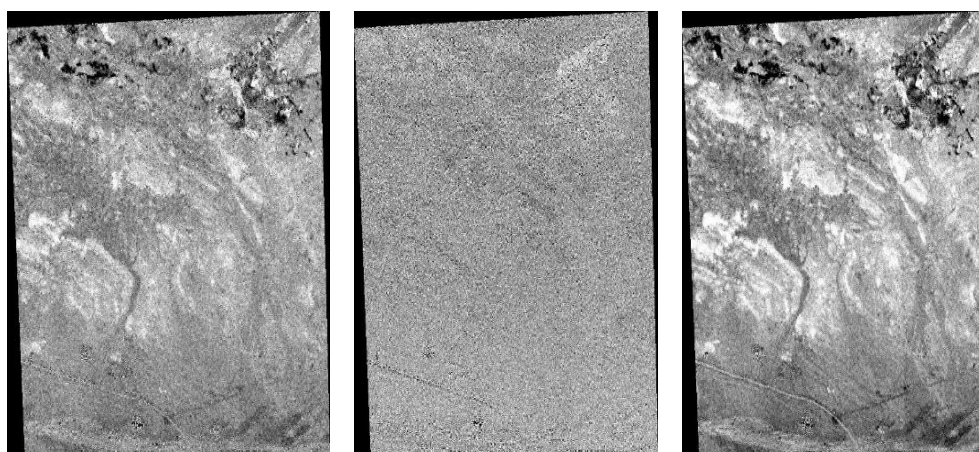


(پ)

(ب)

(الف)

شکل ۱۱- نمایی از تصویر آشکارسازی (خروجی احتمالاتی) ژئوکدشده از تارگت هماتیت؛ (الف) طیف مرتبه صفر، (ب) مشتق مرتبه چهارم، (پ) روش ترکیب پیشنهادی

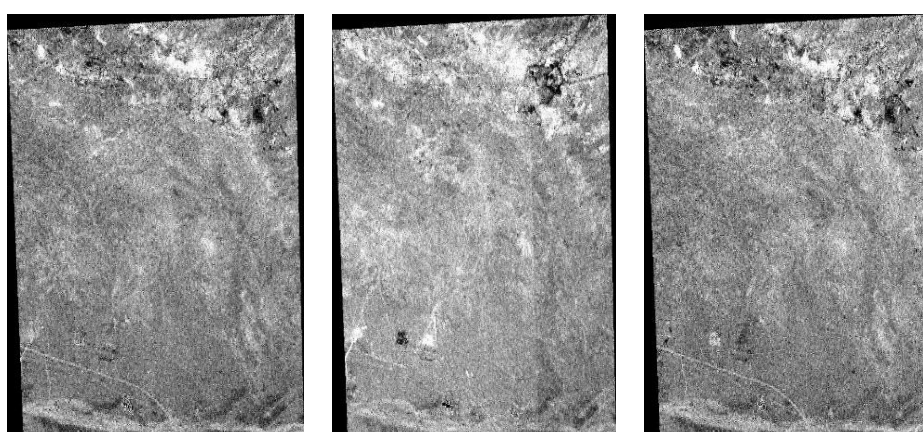


(پ)

(ب)

(الف)

شکل ۱۲- نمایی از تصویر آشکارسازی (خروجی احتمالاتی) ژئوکدشده از تارگت اپیدوت؛ (الف) طیف مرتبه صفر، (ب) مشتق مرتبه دوم، (پ) روش ترکیب پیشنهادی



(پ)

(ب)

(الف)

شکل ۱۳- نمایی از تصویر آشکارسازی (خروجی احتمالاتی) ژئوکدشده از تارگت کانولینیت؛ (الف) طیف مرتبه صفر، (ب) مشتق مرتبه اول، (پ) روش ترکیب پیشنهادی

- [1] F. D. v. d. Meer, H. M. A. v. d. Werff, F. J. A. v. Ruitenbeek, C. A. Hecker, W. H. Bakker, M. F. Noomen, et al., "Multi- and Hyperspectral geologic remote sensing: A review," *International Journal of Applied earth observation and geoinformation-ELSEVIER*, vol. 14, pp. 112-128, 2012.
- [2] E. A. Cloutis, "Review article Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, pp. 2215-2242, 1996.
- [3] F. F. Sabins, "Remote sensing for mineral exploration," *Ore Geology Reviews*, vol. 14, pp. 157-183, 1999.
- [4] G. R. Hunt and J. W. Salisbury, "Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals," *Modern Geology*, vol. 1, 1970.
- [5] G. Vane and A. F. H. Goetz, "Terrestrial Imaging Spectroscopy," *REMOTE SENS. ENVIRON.*, vol. 24, pp. 1-29, 1988.
- [6] R. N. Clark, "Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy " *Manual of Remote Sensing*, vol. 3, pp. 3- 58, June 25, 1999 1999
- [7] C. I. Chang, s. Chakravarty, H.-M. Chen, and Y.-C. Ouyang, "Spectral derivative feature coding for hyperspectral signature analysis," *Pattern recognition*, vol. 42, pp. 395-408, July 2008 2009.
- [8] C. I. Chang, *Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications*. University of Maryland: A John Wiley & SONS., 2007.
- [9] M. Borengasser, W. S. Hungate, and R. Watkins, *Hyperspectral remote sensing: principles and applications*. Boca Raton, London, Newyork: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2008.
- [10] R. A. Schowengerdt, *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*, third ed. Department of Electrical and Computer Engineering: Elsevier's Science and Technology, Inc, 2007.
- [11] F. A. Kurse, "Regional mapping by extending Hyperspectral signatures using multispectral data," presented at the IEEE Xplore, Big Sky, MT, 2007.
- [12] Heike Gerighausen, G. Menz, and H. Kaufmann3, "Spatially explicit estimation of clay and organic carbon content in agriculture soils using multi-annual imaging spectroscopy data," *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2012, 2012.
- [13] R. N. Clark, G. A. Swayze, K. E. Livo, R. F. Kokaly, S. J. Sutley, J. B. Dalton, et al., "Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems," *J. Geophys. Res.*, vol. 5, pp. 1-44, 2003.
- [14] C. I. Chang, *Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification: Wiley publication*, 2003.
- [15] F. v. d. Meer, "Indicator kriging applied to absorption band analysis in hyperspectral imagery: a case study from the Rodalquilar epithermal gold mining area, SE Spain," *International Journal of Applied earth observation*, vol. 8, pp. 61-72, 2005.
- [16] F. V. Meer, "Extraction of mineral absorption features from high- spectral resolution data using non-parametric geostatistical techniques," *International Journal of remote sensing*, vol. 15, pp. 2193-2214, 1994.
- [17] D. Manolakis and G. Shaw, "Detection algorithms for Hyperspectral Imaging applications," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 19, pp. 29-43, Jan 2002 2002.
- [18] U. Heidena, K. Seglb, S. Roessnerb, and H. Kaufmannb, "Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data," *REMOTE SENS. ENVIRON.*, vol. 111, pp. 537-552, 2007.
- [19] R. Yousef, "Automatic endmember extrction and unmixing in hyperspectral images," PhD degree, Geodesy and Geomatics Engineering Faculty K.N.Toosi University of Technology, 2010.
- [20] Y. Maghsoudi, "Analysis of Radarsat-2 Full Polarimetric Data for Forest Mapping," phd, Department of Geomatics Engineering, THE UNIVERSITY OF CALGARY, 2011.
- [21] M. Ponti, "Combining Classifiers: from the creation of ensembles to the decision fusion".
- [22] Y. Maghsoudi, "Using ensemble clasfeifers for the classification of hyperspectral images," Msc Thesis, Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, 2006.
- [23] T. H. DemetridesShah, M. Steven, and J. Clarck, "High resolution derivative spectra in remote sensing," *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT* ,vol. 33, pp. 55-64, 1990.
- [24] A. J. Owen, "Uses of derivative spectroscopy, Application note," Germany1995.

- [25] F. Tsai and W. Philpot, "Derivative analysis of Hyperspectral data," REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, vol. 66, pp. 41-55, 1998.
- [26] C. B. O .F. Sanchez Rojas, J.M. Cano Pavon, "Derivative ultraviolet-visible region absorption spectrophotometry and its analytical applications," Talanta, vol. 35, pp. 753-761, 1988.
- [27] B. L. Becker, D. P. Lusch, and J. Qi, "Identifying optimal spectral bands from in situ measurements of Great Lakes coastal wetlands using second derivative analysis," Remote Sensing of the Environment, vol. 97, pp. 238-248, 2005.
- [28] C. S. Kosmos, N. Curi, R. B. Bryant, and D. P. Franzmeier, "Characterization of Iron Oxid Minerals by second-derivative visible spectroscopy," Soil Science Society of America Journal, vol. 48, pp. 401-405, 1984.
- [29] P. Debba, "Abundance Estimation of Spectrally Similar Minerals by Using Derivative Spectra in Simulated Annealing," IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, vol. 44, pp. 3649-3658, 2006.
- [30] P. Debba, "A methodology to unmix spectrally similar minerals using high order derivative spectra," ed, 2009.
- [31] E. Torrecilla, J. Piera, and M. Vilaseca, "Derivative analysis of hyperspectral oceanographic data," in Advances in Geoscience 598 and Remote Sensing, G. Jedlovec, Ed., ed. Spain: InTech, 2009, p. 742.
- [32] S. E. Craig, S. E. Lohrenz, Z. Lee, K. L. Mahoney, G. J. Kirkpatrick, O. M. Schofield, et al., "Use of hyperspectral remote sensing reflectance for detection and assessment of the harmful alga, *Karenia brevis*," APPLIED OPTICS, vol. 45, pp. 5414-5425, 2006.
- [33] Z. Chen, P. J. Curran, and J. D. Hansom, "Derivative Reflectance Spectroscopy to Estimate Suspended Sediment Concentration," Remote Sensing of Environment, vol. 40, pp. 67-77, 1992.
- [34] S. Dehnavi, Y. Maghsoudi, M. J. V. Zoej, and F. Baniadam, "High-order derivative spectrum in hydrothermally altered minerals discrimination," Journal of Applied Remote Sensing, vol. 9, pp. 096086-096086, 2015.
- [35] S. Dehnavi, "Beneficiary of Hyperspectral Images in Minerals' Target Detection (Study Area: Mashhad)," MSc, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, 2014.
- [36] S. Dehnavi, Y. Maghsoudi, M. ValadanZouj, and F. BaniAdam, "Beneficiary of high order derivative spectrum in target detection," in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International, 2014, pp. 4608-4611.
- [37] M. Ojaghloo, "Classification of hyperspectral images using spectrum differentiation," MSc thesis, Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology, 2011.
- [38] Y. Zhang, T. Shao, X. Fan, and Y. Chen, "REFINED TARGET RECOGNITION IN HYPERSPECTRAL IMAGERY BASED ON SPECTRAL REFLECTANCE AND DERIVATIVE INFORMATION," presented at the IGARSS 2010, Australia, 2010.
- [39] T. Cocks, R. Jenssen, A. Stewart, I. Wilson, and T. Shields, "THE HYMAPTM AIRBORNE HYPERSPECTRAL SENSOR:THE SYSTEM, CALIBRATION AND PERFORMANCE," in 1st EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy,, Zurich, 1998.
- [40] S. Dehnavi, "Beneficiary of Hyperspectral Images in Minerals' Target Detection (Study Area: Mashhad)," Msc Thesis, Geodesy and Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, 2014.
- [41] J. Zhang, B. Rivard, and A. Sanchez-Azofeifa, "Derivative spectral unmixing of hyperspectral data applied to mixtures of lichen and rock," IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, vol. 42, pp. 1934-1940, september 2004 2004.
- [42] S. Dehnavi, Y. Maghsoudi, M. ValadanZoej, and A. Bayatani, "Ensemble of target detectors in hydrothermal mineral mapping (study area: Mashhad)," Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, vol. 25, 2016.
- [43] D. Schapfer, "Parametric geocoding orthorectification for airborne scanner data, user manual version3.1," Switzerland2011.
- [44] P. Cocks, "HyMAP Geocoding," S. Dehnavi, Ed., ed. Hyvista Corporation, 2013.
- [45] F. A. Kurse, "ENVI User Guides," ed, 2004.
- [46] H. Goldberg, "A performance characterization of kernel-based algorithms for anomaly detection in hyperspectral imagery," MSc, Maryland, College park, 2007.
- [47] R. S. Kim, "Spectral Matching using Bitmap Indices of Spectral Derivatives for the Analysis of Hyperspectral Imagery," MSc, Ohio State University, 2011.