

دوین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی نقشه برداری

۱۳۹۵ دی ماه ۲۹

بهبود روش کمینه‌سازی انرژی مقید به منظور آشکارسازی کانی‌های دگرسانی هیدرولرمال

فرهاد دهقان^{۱*}، محمدجواد ولدان‌زوج^۲، یاسر مقصودی^۳، سحر دهنوی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- استاد دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- استادیار دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۴- دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

آشکارسازی اهداف جزء پیکسل با استفاده از تصاویر ابرطیفی، تاکنون رشد چشمگیری در روش‌های مختلف داشته است. اهداف معدنی، با توجه به گستره حضور آن‌ها که معمولاً کمتر از سطح کامل یک پیکسل تصویری است، از انواع اهدافی هستند که آشکارسازی آن‌ها با استفاده از تصاویر ابرطیفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اخیراً روش کمینه‌سازی انرژی مقید (CEM) در این زمینه نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. با این حال، این روش بسیار به نویز حساس بوده و از آنجایی که ماتریس همبستگی در این روش با استفاده از کل فضای تصویری به دست می‌آید و عملیات آشکارسازی با استفاده از این ماتریس صورت می‌گیرد، نویزهای موجود در تصویر، در ایجاد این ماتریس تأثیرگذار بوده و به شدت نتایج آشکارسازی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. بنابراین در این کار پژوهشی، روشی برای بهبود مشکل حساسیت به نویز، در روش کمینه‌سازی انرژی مقید، مورد بررسی قرار گرفته است. روش پیشنهادی با نام "کمینه‌سازی انرژی مقید با استفاده از k نزدیک‌ترین همسایگی (KNN-CEM)" معرفی شده است. در این روش، برای آشکارسازی یک پیکسل خاص، به منظور ایجاد ماتریس همبستگی (R) به جای استفاده از تمام پیکسل‌های تصویر، فقط از k نزدیک‌ترین همسایگی پیکسل مورد نظر، از نظر ویژگی، استفاده می‌شود. در واقع برای هر پیکسل از تصویر، یک ماتریس همبستگی یکتا ایجاد شده و پیکسل مورد نظر آشکارسازی می‌شود. در حالی که در روش کمینه‌سازی انرژی مقید (CEM)، برای آشکارسازی همه پیکسل‌ها تنها از یک ماتریس همبستگی استفاده شده است. بنابراین در این کار پژوهشی، از روش پیشنهادی (KNN-CEM) به منظور آشکارسازی تعدادی از اهداف معدنی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که ایجاد ماتریس همبستگی، به منظور آشکارسازی یک پیکسل، با استفاده از پیکسل‌های همسایه‌ی پیکسل مربوطه، بهبود چشمگیری را برای آشکارسازی اهداف ایجاد کرده است.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی اهداف، داده‌های ابرطیفی، کمینه‌سازی انرژی مقید (CEM)، k نزدیک‌ترین همسایگی در کمینه‌سازی انرژی مقید (KNN-CEM)

نویسنده مکاتبه‌کننده: فرهاد دهقان

آدرس پستی: تهران، استادمعین، خیابان ۲۱ متری جی، کوچه محمدی پور، بن‌بست بهار، پلاک ۱، طبقه اول

تلفن: ۰۲۱۶۶۰۴۳۰۱۰

آدرس پست الکترونیک: f.dehghan@email.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

پوسته جامد زمین از ترکیبات خاصی به نام کانی تشکیل شده است. شناسایی و پی جویی کانی‌ها، بخصوص کانی‌های مهم اقتصادی، از جمله مسائلی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. بنابراین ارائه روش‌هایی جامع، که آشکارسازی این اهداف را در مناطق وسیع ممکن می‌نماید، نه تنها موضوع امروزه عده‌ی کثیری از محققین سنجش از دور می‌باشد، بلکه در سطح اقتصاد صنعت و معدن نیز از اهمیت فوق العاده زیادی برخوردار است. در مطالعات زمین‌شناسی، از روش‌های سنتی مانند روش‌های غیر مخرب پراکنش‌سنج اشعه ایکس [۱]، روش‌های مقاطع نازک و صیقلی [۲]، روش الکترون میکروپروروب، روش اسپکترومتری [۳] و ... برای شناسایی و تعیین اجزای تشکیل‌دهنده نمونه‌های سنگی استفاده می‌شود. این دسته از روش‌ها در مجموع زمان بر و پرهزینه بوده و روند اجرایی پروژه‌های سازمانی را به تأخیر انداخته و همچنین مشکلات زیادی را برای نیروی اجرایی به همراه دارد. بعلاوه این روش‌ها، امکان ارائه اطلاعات در مناطق وسیع را فراهم نمی‌کنند. لذا لزوم استفاده از روش‌های سنجش از دوری، به منظور تعیین محل مطالعات میدانی، اکتشاف برخی از کانی‌ها با استفاده از تفسیر تصویری، شناسایی نوع لیتولوژی و ساختار صخره‌ها در مقیاس‌های بزرگ، کاملاً روشی است.

در روش‌های سنجش از دوری، تا سال ۱۹۹۰ از سنجنده‌هایی استفاده می‌شد که قابلیت اخذ تعداد باندهای محدود (پهن‌باند) را داشتند [۴]. پژوهشگران و محققین با هدف تولید نقشه از کانی‌ها از روش‌های متنوعه مانند گرادیان‌های طیفی [۵]، نسبت‌های باندی [۶، ۷]، آنالیز اجزای اصلی [۸]، آنالیز اجزای اصلی انتخابی [۹]، آنالیز اجزای اصلی استاندارد [۹]، روش کمترین فاصله و برش طیفی [۱۰]، شاخص‌های طیفی [۱۱]، روش‌های معمول طبقه‌بندی داده‌های چندطیفی مثل روش‌های بیشترین شباهت [۸] استفاده کردند؛ اما خروجی تمامی این روش‌ها در سطح پیکسل بود و در برخی موارد، فقط قابلیت دستیابی به اطلاعاتی از ساختار لیتولوژی مناطق مورد مطالعه را فراهم می‌کردند [۴، ۶].

مطالعات در خصوص سنجنده‌های چندطیفی مثل Landsat و SPOT نشان داده است که داده‌های چندطیفی قابلیت تفکیک نوع گروه کانی (مثلاً گروه کانی آهن‌دار) را دارند، اما نمی‌توانند نوع دقیق کانی (مانند آلونیت) را تشخیص دهند [۴، ۶، ۱۲]. علت این موضوع بر اساس مطالعات انجام شده در [۱۳] روش شده است؛ چراکه در این مطالعه نشان داده شد که پهنه‌ای باندهای جذبی کانی‌ها، معمولاً در حدود ۲۰ تا ۴۰ نانومتر است، در صورتیکه سنجنده‌های چندطیفی قابلیت اخذ داده‌های طیفی با گستردگی ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر را دارند. توسعه تکنولوژی تصویربرداری ابرطیفی و اخذ داده‌هایی که توانایی بازسازی علائم طیفی پدیده‌ها را به خوبی کتابخانه طیفی اجسام مهیا نموده، امکان استفاده از تکنیک‌هایی را در این تصاویر فراهم آورده که اغلب در تصاویر چندطیفی کارایی نداشته است. با روی کار آمدن تصاویر ابرطیفی، مسئله حل ابهام اختلال طیفی در پیکسل‌های مختلط^۱ و دستیابی به دقت‌های جزء پیکسل^۲ مطرح شد. چراکه اهداف جزء پیکسل دارای حد تفکیک مکانی کمی هستند و معمولاً بصری سازی آن‌ها با دشواری انجام می‌شود. بنابراین روش‌های توسعه یافته در تصاویر ابرطیفی، تارگت-مبنا^۳ یا جزء پیکسل هستند، در حالیکه تصاویر چندطیفی و آنالیز آن‌ها بیشتر به صورت الگو-مبنا^۴ و در سطح پیکسل دنبال می‌شود [۱۴، ۱۵]. به طور کلی روش‌های متفاوتی از آنالیز داده‌های ابرطیفی، توسط محققین 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 [۱۶]، استاندارد AIG [۱۷]، تطابق باندهای جذبی [۱۸]، طبقه‌بندی بر اساس

¹ Mixed pixel

² Sub-pixel

³ Target-based

⁴ Pattern-based

معیارهای شباهت طیفی نظیر دیورژانس اطلاعات طیفی، زاویه طیفی، دیورژانس تصویر به فضای قائم، و معیارهای مبتنی بر فواصل، مثل فاصله اقلیدسی [۱۹]، استفاده از روش‌های ترکیب طبقه‌بندی کنده‌ها [۲۰-۲۲] و ... اشاره کرد.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

۲-۱- داده‌ی تصویری

در این مطالعه از داده‌ی تصویری سنجنده هایمپ^۱ استفاده شد. این تصویر در تاریخ ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۶ م. اخذ شده است. سنجنده هایمپ، به عنوان یکی از سنجنده‌های تجاری هوابرد ابرطیفی است که یکی از منابع تصویری مدرن در زمینه سنجش از دور به حساب می‌آید. این سنجنده در محدوده طیفی ۴۵/۰ تا ۲/۵ میکرومتر، در ۱۲۸ باند طیفی با پهنای باند ۱۵ نانومتر و با نسبت سیگنال به نویز ۸۰۰، تصویربرداری می‌کند [۳۹]. به دلیل وجود نویز و یا محدوده پوششی مشابه در برخی باندها، شرکت سازنده این سنجنده باندهای ۱، ۲۱ و ۳۲ را از مجموعه ۱۲۸ باند طیفی حذف نموده و درنتیجه ۱۲۵ باند طیفی در اختیار کاربران قرار گرفته است. ارتفاع پرواز این سنجنده از سطح منطقه ۴۰۲۵/۸۸ متر بوده و متناسب با آن ابعاد پیکسل زمینی در منطقه ۴/۹ متر می‌باشد.

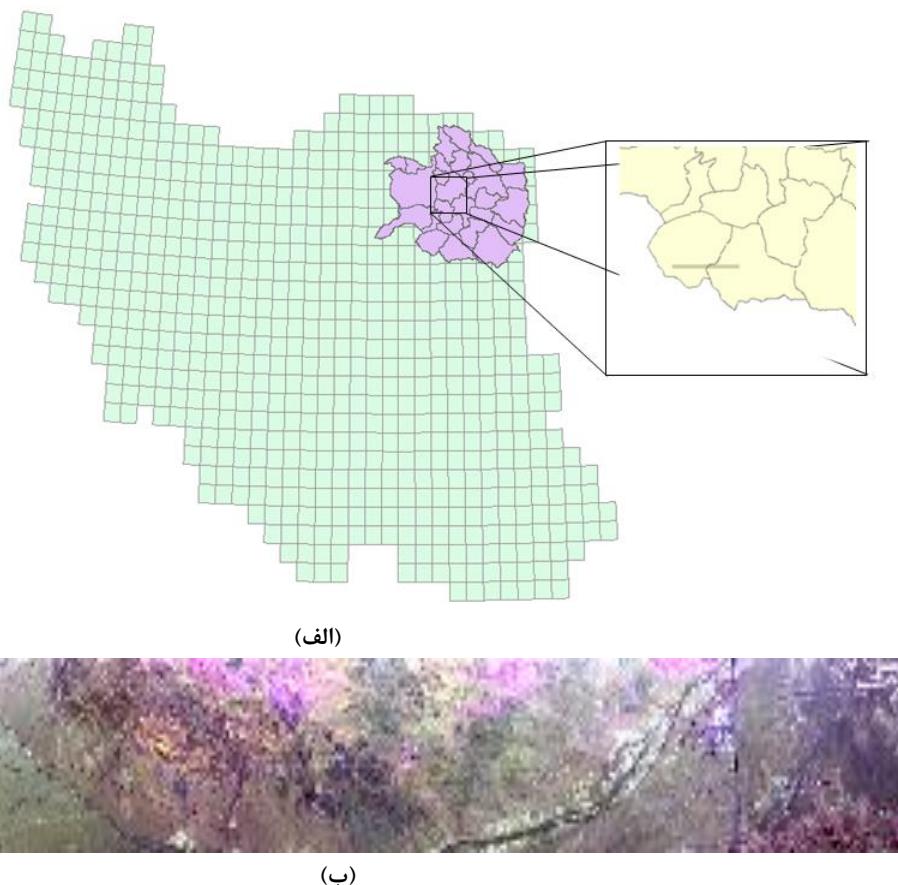
۲-۲- داده‌های طیفی

برای این مطالعه از داده‌های طیف بازتابندگی از نمونه‌های مورد نظر که شامل چهار عضو خالص به عنوان کانی‌هایی که احتمال یافتن آن‌ها در منطقه مورد مطالعه موجود است، استفاده شد. این اعضای خالص شامل آلونیت، اپیدوت، هماتیت و کائولینیت می‌باشند. در منطقه از این چهار ماده نمونه‌برداری و به طریق اسپکترورادیومتری آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده است. این داده‌ها توسط تیمی متشكل از متخصصین زمین‌شناس و محققین سنجش از دور، طی دو روز کاری از منطقه جمع‌آوری شد که در مجموع شامل ۵۳ نقطه نمونه آلونیت، ۵۶ نقطه نمونه اپیدوت، ۴۱ نقطه نمونه هماتیت و ۵۶ نقطه نمونه کائولینیت بود. دستگاه اسپکترورادیومتر استفاده شده برای این امر، در محدوده پوشش ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر و پهنای باند ۲/۵-۱/۵ نانومتر اندازه‌گیری می‌کند.

۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر، واقع در شرق کشور، استان خراسان رضوی، شهرستان گناباد، باموقعیت جغرافیایی تقریبی ۳۴ درجه شمالی و ۵۸ درجه شرقی می‌باشد. این منطقه بنابر نظرات متخصصین زمین‌شناس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافاتمعدنی کشور انتخاب شد. در شکل (۱) نمایی از منطقه مطالعاتی نمایش داده شده است. این منطقه در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار گرفته و از نظر ساختاری، جزئی از پهنه لوت به حساب می‌آید که به دلیل حضور کانی‌های مهم معدنی و همچنین معدن مختلف، به عنوان یک پایلوت کانی شناسی انتخاب شده است. میانگین ارتفاعی منطقه ۱۱۸۷/۶ متر از سطح دریا و دارای اختلاف ارتفاعی ۱۶۲ متر بوده و به دلیل موقعیت بیابانی این منطقه، پوشش گیاهی نیز در آن به نوعی دارای ماهیت بیابانی می‌باشد.

¹ Hymap



شکل ۱: نمایی کلی از منطقه مطالعاتی. (الف) موقعیت منطقه گناباد در نقشه و (ب) تصویر هایی مربوط به این منطقه

۳- روش کار

به منظور حل مسئله آشکارسازی در سطح جزء پیکسل، تاکنون روش‌های متفاوتی ارائه شده است. دسته‌ای از این روش‌ها به دنبال حذف یا کمینه کردن اثر طیف مواد پس زمینه هستند. روش CEM در این دسته از آشکارسازها قرار می‌گیرد. در این مطالعه برای آشکارسازی نمونه‌های معدنی ذکر شده، ابتدا الگوریتم CEM و سپس روش پیشنهادی، با استفاده از داده‌ی تصویری و همچنین طیف‌های مرجع کتابخانه طیفی مربوط به نمونه‌های مورد نظر، پیاده‌سازی شده و در نهایت با استفاده از داده‌های حقیقت زمینی^۱ مورد ارزیابی قرار گرفتند. جزئیات هر یک از این مراحل در ادامه ذکر شده‌اند.

۳-۱- الگوریتم CEM

روش‌های بدون قید و نیمه‌قیدی مثل OSP^۲, SCLS^۳ و NCLS^۴، همگی از مفهوم آنالیز ترکیب خطی طیف استنتاج شده‌اند و درنتیجه نیاز به اطلاعات اولیه از تارگت مورد نظر و همچنین تارگت‌های مزاحم و نامطلوب دارند. اما در واقعیت، دسترسی به این اطلاعات بسیار دشوار و حتی غیر ممکن است؛ به خصوص در تصاویر ابرطیفی که سیگنال‌های ناشناخته زیادی دارند و هرگز نمی‌توانیم ویژگی‌های کل تصویر و یا پس زمینه را به طور کامل استخراج کنیم. در این میان سیگنال‌های مزاحم هم وجود دارند که آشکارسازی اهداف را سخت می‌کند. در این راستا روش

¹ Ground truth

² Orthogonal Subspace Projection

³ Sum-to-one Constrained Least Square

⁴ Nonnegatively Constrained Least Square

CEM، روشی مقید است که اقدام به کمینه کردن انرژی اهداف مزاحم می‌کند. در این روش برای کمینه کردن اثرات تداخلی ناشی از سایر منابع سیگنالی، که با عنوان امضاهای نامعلوم پس زمینه شناخته می‌شوند، از ماتریس همبستگی نمونه‌ها استفاده می‌شود [۱۹].

با فرض وجود N پیکسل $\{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ ، با مشخصه طیفی $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iL}\}$ که در آن L تعداد باندها می‌باشد، و نیز p هدف با مشخصه‌های طیفی $d = \{d_1, d_2, \dots, d_p\}$ ، مقصود طراحی یک فیلتر به همراه یک بردار وزن (w) به منظور کمینه کردن انرژی خروجی فیلتر با توجه به شرط (۱) است [۲۳-۲۶].

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

ثابت ۱ در شرط (۱)، می‌تواند با هر عدد اسکالاری همچون c جایگزین شود.

فرض می‌کنیم y_i انرژی خروجی از فیلتر طراحی شده برای بردار پیکسلی ورودی r_i است. به این ترتیب y_i به صورت رابطه (۲) زیر نمایش داده می‌شود.

$$y_i = \sum_{l=1}^L w_l r_{il} = w^T r_i = r_i^T w \quad (2)$$

بنابراین میانگین انرژی خروجی تولید شده توسط مجموعه داده‌های تصویر S ، و همچنین فیلتر مورد نظر که دارای بردار وزن $w = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_L)^T$ است، با توجه به رابطه (۲) به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N y_i^2] = \frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N (r_i^T w)^2] = w^T \left(\frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N r_i r_i^T] \right) w = w^T R_{L*L} w \quad (3)$$

که $R_{L*L} = 1/N [\sum_{i=1}^N r_i r_i^T]$ به عنوان ماتریس همبستگی $L \times L$ از داده‌های تصویری S می‌باشد. برای مینیمم کردن رابطه (۳) که در واقع همان انرژی خروجی تولید شده از داده‌های تصویر است، با توجه به شرط (۱)، به عبارت زیر می‌رسیم.

$$\min \left\{ \frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N y_i^2] \right\} = \min\{w^T R_{L*L} w\} \quad \text{subject to } d^T w = 1 \quad (4)$$

حل عبارت (۴) منجر به تولید فیلتر مورد نظر برای هدف مطلوب m به صورت یک بردار وزن w^* می‌شود.

$$w^* = \frac{R_{L*L}^{-1} d}{d^T R_{L*L}^{-1} d} \quad (5)$$

استفاده از این فیلتر به این جهت انجام می‌گیرد که واریانس یا انرژی خروجی فیلتر به ازای کل تصویر مینیمم شود، با این شرط که هدف مورد نظر در آشکارسازی در یک جهت خاص در فضا قرار داشته باشد و فقط آن یک جهت خاص از فیلتر عبور کند. در نهایت مقدار انرژی خروجی آشکارساز CEM با استفاده از رابطه (۶) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\delta_{CEM}(r) = (w^{CEM})^T r = (d^T R_{L*L}^{-1} d)^{-1} (R_{L*L}^{-1} d)^T r \quad (6)$$

باید به این نکته توجه شود که R_{L*L} در رابطه (۵)، لزوماً دارای مرتبه کامل نیست و احتمال آن که کمبود مرتبه داشته باشد، وجود دارد. بنابراین محاسبه ماتریس همبستگی R می‌تواند یکی از مشکلات باشد. همان‌طور که پیش‌تر هم گفتیم، CEM به اطلاعات اولیه تارگت مورد نظر بسیار حساس بوده و به اندازه حساسیت آن به نویز مهم است. در حقیقت مختلفی در مورد مشکل حساسیت CEM به اطلاعات اولیه تارگت مطالعات انجام شده است؛ در حالی که برای مشکل حساسیت به نویز در این الگوریتم، مطالعه عمیقی صورت نگرفته است. حساسیت به نویز، بسیار وابسته به مرتبه ماتریسی است که برای محاسبه بردار وزن در رابطه (۵)، استفاده می‌شود [۲۳، ۲۶]. همچنین نویز به طور

مستقیم به ابعاد تصویر ابرطیفی مورد استفاده بستگی دارد. به طور کلی مزايا و معایب الگوریتم کمینه‌سازی انرژی مقید را می‌توان به شرح زیر بیان کرد [۲۶]:

مزايا

- به اطلاعات اولیه زیادی به جز امضای طیفی تارگت مورد نظر نیاز ندارد.
- برای برآیند آشکارسازی، هیچ مدل خطی را برای پیکسل‌های مخلوط در نظر نمی‌گیرد.
- این روش بسیار کارآمد بوده و می‌تواند تارگت‌های کوچک را به خوبی آشکار کند.
- این روش، روش‌های بدون قید خطی برای آشکارسازی پیکسل‌های مخلوط را بهبود بخشیده و در پردازش‌های زمان حاضر قابل پیاده‌سازی است.

معایب

- بسیار حساس به نویز و همچنین اطلاعات اولیه تارگت مورد نظر است.
- فقط می‌تواند یک تارگت را در هر مرتبه اجرا شناسایی کند و نیز قادر به تشخیص تارگت‌های مشابه نیست.
- برای به دست آوردن بهترین نتایج، نیاز به مرتبه کامل ماتریس همبستگی (R) دارد و برای آشکارسازی آن چندین تارگت، تصاویر را از هم جدا می‌کند.

۲-۳ روش پیشنهادی

همان‌طور که در جزئیات روش CEM مشاهده کردیم، برای آشکارسازی بردارهای پیکسلی تصویر از یک ماتریس همبستگی و در نهایت از یک فیلتر (بردار وزن) برای یک تارگت خاص استفاده می‌شود. در واقع ابتدا از کل تصویر یک ماتریس همبستگی ساخته شده و با استفاده از طیف تارگت مورد نظر، فیلتری برای آشکارسازی آن تارگت خاص ایجاد می‌گردد. در این پروسه انرژی اهداف مزاحم کمینه می‌شود؛ بنابراین تمام پیکسل‌های تصویر در ایجاد این فیلتر سهیم هستند. حال لازم است این فیلتر را از دو جنبه مختلف بررسی کنیم.

در حالت اول درنظر می‌گیریم که در تصویر نویز داشته باشیم؛ در این صورت فیلتر ایجاد شده ناشی از تأثیر همان نویز نیز می‌باشد. حال فرض کنیم که نویزهای تصویر زیاد باشد، در این صورت فیلتر مورد نظر به شدت تحت تأثیر نویزها قرار می‌گیرد و این فیلتر نویزی، بردار وزنی برای آشکارسازی تمامی پیکسل‌های تصویر خواهد بود و در این صورت، عملیات آشکارسازی را مختل می‌کند.

در حالت دوم می‌خواهیم بدانیم فیلتر کمینه‌سازی انرژی خروجی اهداف نامطلوب، در تصویری که تارگت‌های مزاحم متفاوتی در آن وجود دارند بهتر ایجاد شده و عمل می‌کند، یا در تصویری که تقریباً همگن بوده و دارای یک هدف مزاحم و یا اهداف مزاحم شبیه به هم است؟ واضح است که در یک تصویر ناهمگن، فیلتر کمینه‌سازی متأثر از همه تارگت‌های موجود در تصویر می‌باشد و نسبت به زمانی که تصویر همگن باشد و این فیلتر فقط از یک هدف یا اهدافی شبیه به هم ساخته شود، بسیار پیچیده‌تر بوده و در کمینه‌سازی انرژی همه اهداف مزاحم عملکرد کمتری دارد. بنابراین در روش پیشنهادی برای هر پیکسل تصویر، یک فیلتر خاص و فقط در محدوده ویژگی همان پیکسل ساخته می‌شود. به این صورت که یک پیکسل وارد فرآیند آشکارسازی شده، فاصله آن (از نقطه نظر ویژگی) با تمام پیکسل‌های تصویر محاسبه و تعداد k نزدیک‌ترین آن‌ها برای ایجاد فیلتر کمینه‌سازی انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از این پیکسل‌ها، فیلتر مورد نظر برای یک تارگت خاص ساخته شده و آن پیکسل آشکارسازی می‌شود؛ و برای تک تک پیکسل‌های تصویر این عملیات تکرار می‌شود. در نتیجه به تعداد پیکسل‌های تصویر، فیلتر کمینه‌سازی خواهیم داشت.

مراحل روش پیشنهادی به صورت زیر است:

- ۱- وارد کردن تصویر و طیف اهداف مطلوب
 - ۲- انتخاب پیکسل اول برای ورود به فرآیند آشکارسازی
 - ۳- محاسبه فاصله پیکسل انتخاب شده از تمامی پیکسل‌های تصویر
 - ۴- انتخاب k نزدیک‌ترین پیکسل به پیکسل انتخاب شده
 - ۵- ایجاد ماتریس همبستگی با استفاده از این k نزدیک‌ترین پیکسل
 - ۶- ایجاد فیلتر کمینه‌سازی به ازای هر تارگت، با استفاده از ماتریس همبستگی ایجاد شده و طیف تارگت مورد نظر
 - ۷- اعمال فیلترهای ایجاد شده بر روی پیکسل انتخاب شده به منظور تخمین میزان حضور تارگت‌های مورد نظر
 - ۸- انتخاب پیکسل بعد و تکرار مرحله ۲ تا ۷
- ۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی ابتدا روش اصلی CEM و سپس روش پیشنهادی، بر روی داده‌ی تصویری هایمپ^۱، با استفاده از نرم‌افزار متلب^۲ اجرا شده و سپس با داده‌های حقیقت زمینی برداشت شده در منطقه مورد نظر، دو روش فوق مورد ارزیابی قرار داده شد.

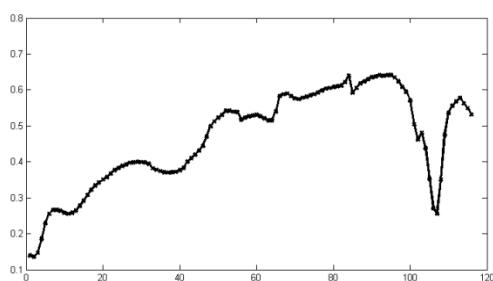
۴-۱- پیاده‌سازی

تصویر اخذ شده از سنجنده هایمپ دارای ابعاد $125 \times 15826 \times 512$ است که با توجه به موقعیت داده‌های حقیقت زمینی قسمتی از آن مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تصحیح اتمسفری، از روش فلش^۳ برای تصویر استفاده شد و در نتیجه‌ی آن و همچنین تصحیحات مربوط به حذف باندهای نویزی، ۹ باند از ۱۲۵ باند تصویر حذف شده و در نهایت تصویر با ۱۱۶ باند طیفی وارد برنامه شد. از طرف دیگر داده‌های طیف آزمایشگاهی تارگت‌های مورد نظر، برای قرار گرفتن در محدوده طیفی تصویر هایمپ، نمونه‌برداری مجدد شده و سپس ۹ باند مخرب ذکر شده، از طیف این تارگت‌ها حذف گردید. پس از اعمال این تصحیحات بر روی طیف آزمایشگاهی، نمودار امضای طیفی تارگت‌های آلوئیت، اپیدوت، هماتیت و کائولینیت به صورت نمایش داده شده در شکل (۲) ارائه شد.

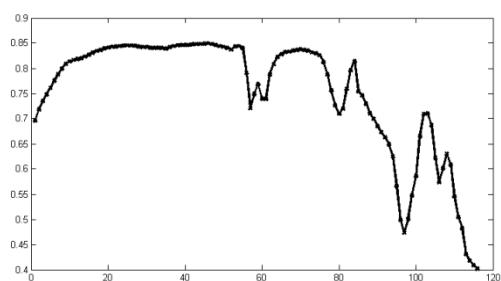
همان‌طور که در بخش قبل دیدیم، روش CEM ابتدا با استفاده از همه‌ی پیکسل‌های تصویر، ماتریس همبستگی (R) و سپس با استفاده از طیف آزمایشگاهی اهداف مورد نظر، فیلتر کمینه‌سازی برای هر تارگت را ایجاد می‌کند. با انجام این روند و اعمال فیلترهای ایجاد شده بر روی پیکسل‌های تصویر، یک بار فرآیند آشکارسازی به روش الگوریتم CEM و بار دیگر با استفاده از روش پیشنهادی انجام شد که نتایج آن به صورت بصری در شکل (۳) قابل مشاهده است.

¹ MATLAB

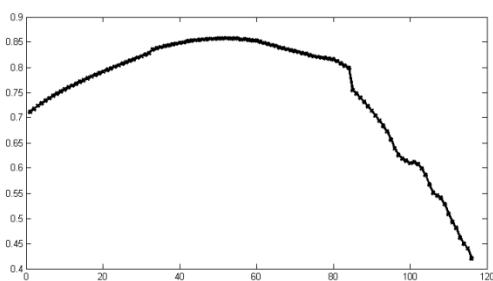
² FLAASH



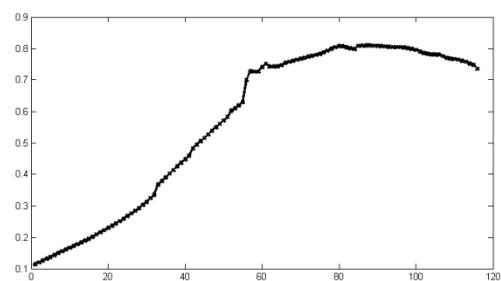
ب



الف

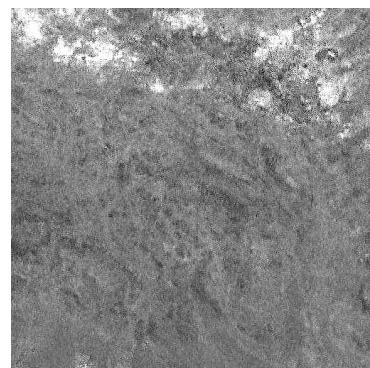
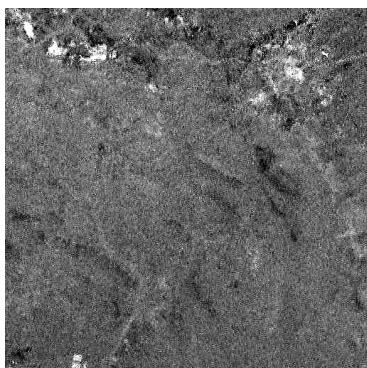


ت

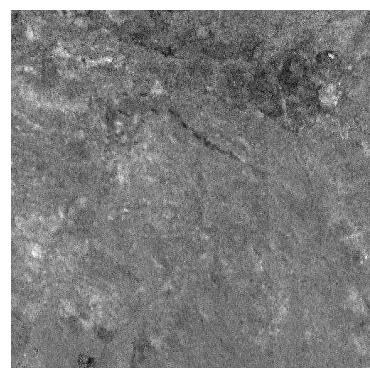
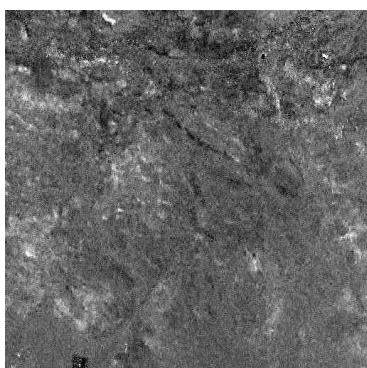


پ

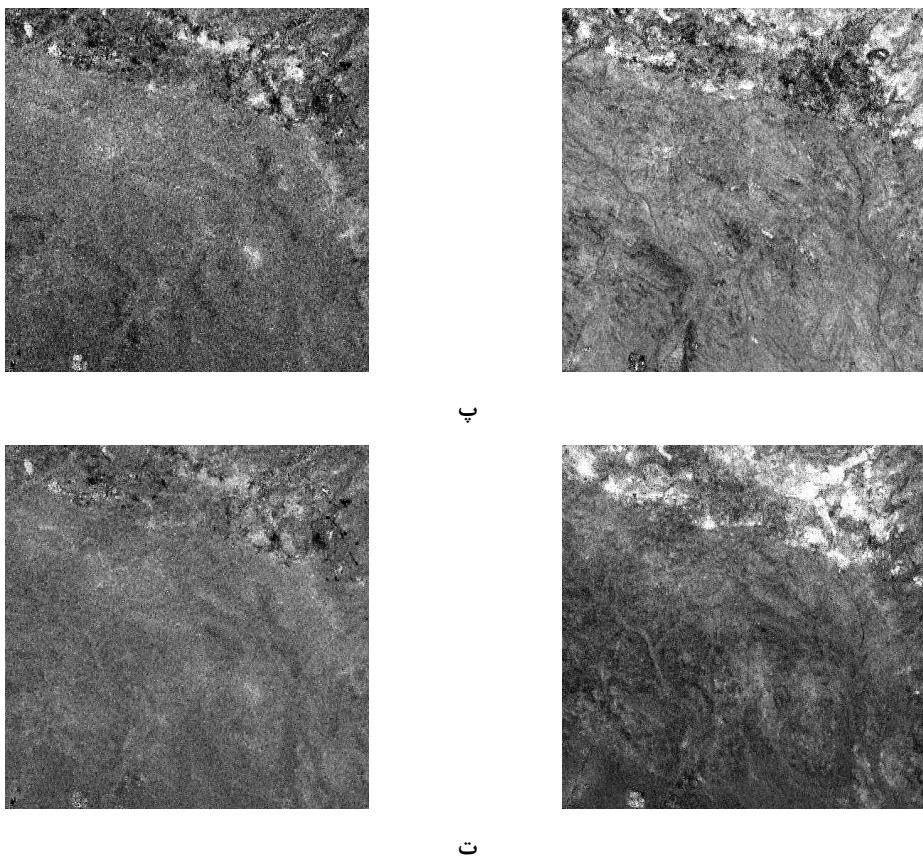
شکل ۲: نمایی از امضا طیفی تارگت‌های مورد استفاده برای آشکارسازی. الف) آلونیت، ب) اپیدوت، پ) هماتیت و ت) کائولینیت



الف



ب

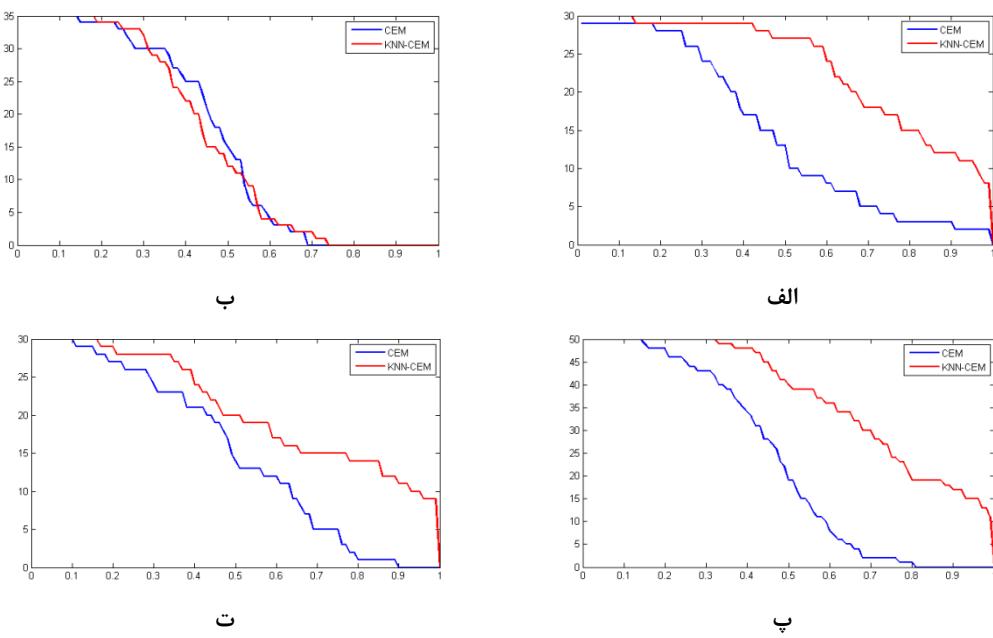


شکل ۳: خروجی روش CEM (سمت چپ) و روش پیشنهادی (سمت راست) برای نمونه‌های (الف) آلونبت، (ب) اپیدوت، (پ) هماتیت و (ت) کائولینیت

مقایسه بصری نتایج آشکارسازی در نمونه‌های معدنی و مقایسه آن با داده‌های حقیقت زمینی، تا حدی بهبود آشکارسازی را با استفاده از روش پیشنهادی نشان می‌دهد. اما واضح است که این نتایج بصری نمی‌تواند مبنای ارزیابی این مطالعه باشد. بنابراین نیاز به ارزیابی با روش‌های عددی و ترسیم منحنی داریم.

۴-۲- ارزیابی نتایج

تصاویر خروجی در روش CEM و همچنین روش پیشنهادی، شامل اعدادی در بازه بین ۰ تا ۱ هستند که این اعداد احتمال حضور نمونه معدنی مورد نظر در منطقه را نشان می‌دهد. برای ارزیابی نیاز به انتخاب یک آستانه و تبدیل تصویر خروجی به یک تصویر باینری داریم. انتخاب این آستانه در نتایج بسیار تأثیرگذار است، بنابراین به منظور ارزیابی نتایج، برای هر نمونه معدنی، عملکرد روش CEM و همچنین روش پیشنهادی را با انتخاب آستانه‌های مختلف بررسی کردیم. به این صورت که در نمودارهای نشان داده شده در شکل (۴) محور عمودی نشان‌دهنده آستانه و محور افقی میزان تشخیص درست دو روش CEM و روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. به این منظور، حد آستانه را از ۰ تا ۱، با گام‌های ۰.۱ تغییر دادیم تا عملکرد دو روش را در همه آستانه‌ها با هم مقایسه کنیم. در این صورت روشی که سطح زیر نمودار آن بیشتر است دارای کارایی بیشتری خواهد بود.



شکل ۴: نمودار ارزیابی و مقایسه روش CEM و روش پیشنهادی برای نمونه‌های معدنی (الف) آلونیت، (ب) اپیدوت، (پ) هماتیت و (ت) کاولینیت

همانطور که ملاحظه می‌کنید، روش پیشنهادی در آشکارسازی نمونه‌های آلونیت، هماتیت و کاولینیت عملکرد بهتری نسبت به روش CEM داشته است. در مورد نمونه اپیدوت نیز روش نیز است که در برخی آستانه‌ها روش پیشنهادی کارایی بهتری داشته، اما در حالت کلی روش CEM بهتر عمل کرده است.

۵- نتیجه‌گیری

آشکارسازی اهداف جزء پیکسل با بهره‌مندی از تصاویر ابرطیفی، تاکنون رشد چشم‌گیری داشته است و روش‌های متعددی به این منظور ارائه شده‌اند. اهداف معدنی، با توجه به این که گستره حضور آن‌ها معمولاً کمتر از سطح کامل یک پیکسل تصویری است، از انواع تارگت‌هایی هستند که آشکارسازی آن‌ها با استفاده از تصاویر ابرطیفی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این کار پژوهشی، یک روش آشکارسازی جدید مبتنی بر استفاده از نزدیک‌ترین همسایگی‌های هر پیکسل به منظور ایجاد ماتریس همبستگی و در نتیجه تولید فیلتر کمینه‌سازی، در روش کمینه‌سازی انرژی مقید، برای آشکارسازی اهداف در پیکسل مورد نظر، ارائه شده است.

نتایج ارزیابی نشان داد که استفاده از روش پیشنهادی سبب بهبود نتایج در آشکارسازی نمونه‌های آلونیت، هماتیت و کاولینیت شده است و در نمونه اپیدوت تغییر چندانی در نتایج ایجاد نشده است.

گرچه روش پیشنهادی در این مطالعه موجب بهبود نتایج آشکارسازی برای نمونه‌های مذکور شده است، اما پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده نمونه‌های بیشتری به منظور آشکارسازی وارد روش پیشنهادی شوند و همچنین برای عملکرد بهتر آشکارساز، قبل از ورود داده تصویری به الگوریتم، با استفاده از روش‌های کاهش و همچنین استخراج ویژگی، باندهایی که تأثیری در فرآیند آشکارسازی ندارند و حتی در بعضی موارد تأثیر منفی نیز دارند، حذف گردد.

مراجع

- [1] Jenkins, R. and R.L. Snyder, Diffraction theory. *Introduction to X-ray Powder Diffractometry*, Volume ۱۳۸, ۱۹۹۶: p. ۹۵-۴۷
- [2] Thompson, G.R. and J. Turk, *Introduction to physical geology*. ۱۹۹۸: Brooks/Cole Publishing Company.
- [3] Settle, F.A., *Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry*. ۱۹۹۷: Prentice Hall PTR.
- [4] Sabins, F.F., *Remote sensing for mineral exploration*. *Ore Geology Reviews*, ۱۹۹۹. ۱۴(۳): p. -۱۰۷ .۱۸۳
- [5] Gillespie, A.R., A.B. Kahle, and R.E. Walker, Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and “chromaticity” transformation techniques. *Remote Sensing of Environment*, ۱۹۸۷. ۲۲(۳): p. ۳۶۵-۳۴۲
- [6] Van der Meer, F.D., et al., Multi-and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ۲۰۱۲. ۱۴(۱): p. ۱۲۸-۱۱۲
- [7] Madani, A. and A. Emam, SWIR ASTER band ratios for lithological mapping and mineral exploration: a case study from El Hudi area, southeastern desert, Egypt. *Arabian journal of Geosciences*, ۲۰۱۱. ۴(۲-۱): p. ۵۲-۴۵
- [8] Zhang, X., M. Pazner, and N. Duke, Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ۲۰۰۷. ۶۲(۴): p. ۲۸۲-۲۷۱
- [9] Kenea, N., Principal component analyses for lithologic and alteration mapping: examples from the Red Sea Hills, Sudan. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ۱۹۹۶. ۳۱: p. ۲۷۵-۲۷۱
- [10] Clark, R.N., Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. *Manual of remote sensing*, ۱۹۹۹. ۳: p. ۵۸-۴
- [11] Yamaguchi, Y. and C. Naito, Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands. *International Journal of Remote Sensing*, ۲۰۰۳. ۲۴(۲۲): p. ۴۳۲۲-۴۳۱۱
- [12] Cloutis, E., Review Article Hyperspectral geological remote sensing: evaluation of analytical techniques. *International Journal of Remote Sensing*, ۱۹۹۶. ۱۷(۱۲): p. ۲۲۴۲-۲۲۱۵
- [13] Hunt, G.R., Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals. *Modern Geology*, ۱۹۷۰. 1: p. ۳۰۰-۲۸۳
- [14] Chang, C.-I., *Hyperspectral data exploitation: theory and applications*. ۲۰۰۷: John Wiley & Sons.
- [15] Borengasser, M., W.S. Hungate, and R. Watkins, *Hyperspectral remote sensing: principles and applications*. ۲۰۰۷: CRC press.
- [16] Schowengerdt, R.A., *Remote sensing: models and methods for image processing*. ۲۰۰۶: Academic press.
- [17] Kurse, F., Regional mapping by extending Hyperspectral signatures using multispectral data. *IEEE Xplore*, Big Sky, MT, ۲۰۰۷
- [18] Clark, R.N., et al., Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems. *Journal of Geophysical Research: Planets*, ۲۰۰۳. 108(E.12

- [19] Chang, C.-I., Hyperspectral imaging: techniques for spectral detection and classification. Vol. ۱. ۲۰۰۳: Springer Science & Business Media.
- [20] Ponti Jr, M.P. Combining classifiers: from the creation of ensembles to the decision fusion. in Graphics, Patterns and Images Tutorials (SIBGRAPI-T), ۲۴ ۲۰۱۱th SIBGRAPI Conference on. ۲۰۱۱. IEEE.
- [21] Maghsoudi, Y., Analysis of Radarsat- ۲full polarimetric data for forest mapping. Degree of PhD, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, ۲۰۱۱
- [22] Maghsoudi, Y., Using ensemble classifiers for the classification of hyperspectral images. ۲۰۰۶, Msc Thesis, Geomatics Engineering Faculty, KN Toosi University of Technology, Tehran.
- [23] Zou, Z., et al. Quadratic Constrained Energy Minimization for hyperspectral target detection. in ۲۰۱۵IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). ۲۰۱۵. IEEE.
- [24] Chang, C.-I., et al., Progressive Band Processing of Constrained Energy Minimization for Subpixel Detection. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing :۵۳(۵). ۲۰۱۵ ,p. ۱۶۳۷-۱۶۲۶
- [25].Chang, C.-I., Orthogonal subspace projection (OSP) revisited: a comprehensive study and analysis. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, ۲۰۰۵. ۴۳(۳): p. ۵۱۸-۵۰۲
- [26].Chang, C.-I. and D.C. Heinz, Constrained subpixel target detection for remotely sensed imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, ۲۰۰۰. ۳۸(۳): p. ۱۱۵۹-۱۱۴۴