

استفاده از روش‌های تحلیل طیفی بر روی تصاویر ابر طیفی به منظور آشکارسازی نواحی امید بخش کانی‌زایی آهن در محدوده انارک شهرستان ناین

حمیده زندی زاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده

بیشتر تحقیقاتی که در زمینه پتانسیل یابی مواد معدنی توسط سنجش از دور در ایران صورت گرفته، برمبنای استفاده از تصاویر چندطیفی بوده و به ندرت از تصاویر فرا طیفی در این حیطه بهره گرفته شده است. در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی در زمینه ساخت و نصب سنجنده‌های سنجش از دوری نوری، سنجنده‌های فراطیفی با افزایش قابلیت تصویربرداری در صدها باند به هم پیوسته گسترش و ظهور یافته‌اند. در این تحقیق، هدف پیاده‌سازی برخی از روش‌های آشکارسازی و ارزیابی آن‌ها و در نهایت انتخاب بهترین الگوریتم از تصاویر فراطیفی برای برآورد مناطق آهن‌دار و معادن آهن است. در این مطالعه پس از انجام پیش پردازش‌های لازم بر روی یک تصویر فرا طیفی (Hyperion) مربوط به شهر انارک استان اصفهان، با استفاده از یک سری الگوریتم‌های آشکارسازی مانند (ACE)⁽¹⁾، (OSP)⁽²⁾، (MF)⁽³⁾، (MEC)⁽⁴⁾ و (MAS)⁽⁵⁾ به تفکیک کانی‌های مرتبط با آهن پرداخته و سپس نتایج با نقشه زمین‌شناسی و محدوده‌های معادن آهن منطقه مربوطه ارزیابی شده است. نتایج نشان داد از بین الگوریتم‌های ذکر شده الگوریتم‌های CEM, MF دارای عملکرد بهتری هستند و توانایی این الگوریتم‌ها در آشکارسازی مواد معدنی بیشتر است.

کلمات کلیدی: تصویر فرا طیفی، الگوریتم آشکارسازی

۱- مقدمه

قرار گرفته‌اند. برای استخراج اجزای خالص از بهینه‌سازی یک تابع هدف استفاده می‌کنند. روش‌های هندسی از برآزش یک شکل به پیرامون نقاط در برگرفته تمامی بردارهای طیفی در یک فضای چند بعدی و روش‌های آماری در استخراج اجزای خالص از اطلاعات آماری همراه با توابع توزیع پارامتریک خاص استفاده می‌کنند.

۲- ناحیه مورد مطالعه

شهر انارک به طول ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ و عرض ۳۳ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه

تاکنون روش‌های مختلفی برای استخراج اهداف از تصاویر فراطیفی مطرح شده است. برای طبقه بندی تصویر فراطیفی ابتدا بایستی از تعداد و نوع اجزای خالص صحنه تصویر آگاه شد و سپس مقدار حضور هر کدام از آن‌ها را در پیکسل‌های تصویر تخمین زد. به طور کلی یک الگوریتم تعیین اجزاء خالص را زمانی می‌توان کامل در نظر گرفت که بتواند بدون داشتن دانش قبلی، تعداد و نوع اجزای خالص تصویر فراطیفی را مشخص کند. برای دستیابی به این هدف، روش‌های هندسی و آماری مورد بررسی دقیق

مرز بین چندطیفی و فراطیفی دقیقاً مشخص نیست ولی به طور تقریبی می توان سنجنده ای با بیش از ۳۰ باند را به عنوان سنجنده فراطیفی در نظر گرفت.

به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم های آشکارسازی هدف از تصویر سنجنده هایپریون که از منطقه اخذ شده است، استفاده شد. سنجنده هایپریون اولین سنجنده ابرطیفی فضا برد است که بر روی سکوی ماهواره EO-1 قرار دارد. این سنجنده ۲۴۲ باند دارد که فقط ۱۹۸ باند آن کالیبره شده اند و در طول موج های بین ۳۵۶ تا ۲۵۷۷ نانومتر، با توان تفکیک طیفی ۱۰ نانومتر و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برداشت می شوند. این تصویر در ۲۲ دسامبر سال ۲۰۰۴ با ارتفاع پرواز ۷۰۵ کیلومتر و زاویه دید لحظه ای، ۲۰ متر اخذ شده است.

۳-۲- داده های نقشه ای

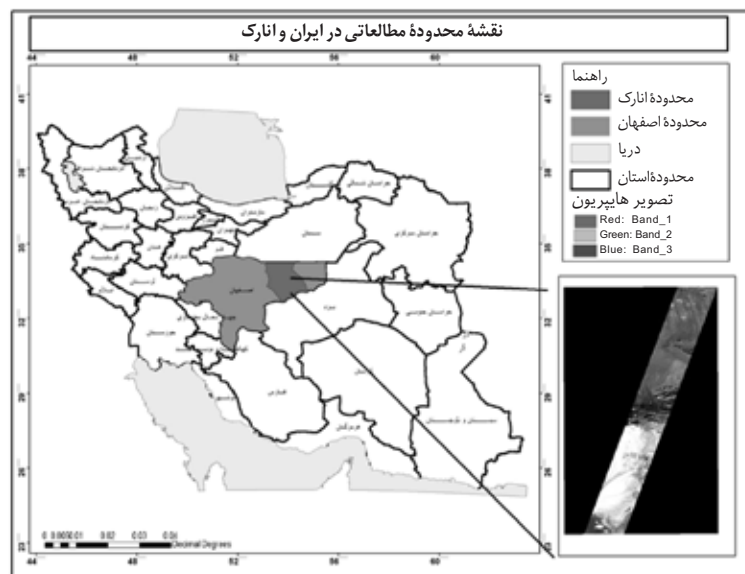
داده های نقشه ای در این تحقیق، نقشه زمین شناسی منطقه انارک است که نشان دهنده پراکندگی عوارض زمین شناسی، شامل انواع مختلف سنگ ها و گسل ها است. یک نقشه زمین شناسی معمولاً بر روی یک نقشه معین (نقشه پایه) چاپ می شود تا در پیدا کردن موقعیت مکانی کمک کند. نقشه پایه با رنگ های روشن چاپ می شود تا برای

شمالی از خط استوا و در استان اصفهان قرار دارد. فاصله آن تا مرکز شهرستان ۷۲ کیلومتر و تا مرکز استان (اصفهان) ۲۲۰ کیلومتر است و به واسطه جاده ترانزیتی طریق الرضا که از شرق می گذرد به استان خراسان و از مسیر راه بندر عباس (که در آینده احداث خواهد شد) تا استان سمنان ادامه می یابد و بدین صورت با شمال و جنوب ارتباط پیدا خواهد کرد. از لحاظ تقسیمات زمین شناسی، جزو ایران مرکزی است. متالوژنی آهن ناحیه انارک شامل کانسارهای آهن منگنز ترکمنی، کوه دم، گرگاب شرقی، گرگاب غربی، محمدآباد، خالوحیدر، پیوک، پاکوه، چاه سفید، تکاب، نشانه معدنی آبریزان و نشانه معدنی غربی کوه دم است.

۳- مواد تحقیق

۳-۱- داده های ماهواره ای

به لحاظ طیفی، سنجنده ها به دسته های مختلفی تقسیم می شوند. مبنای این تقسیم بندی معمولاً تعداد باندهای سنجنده است. سنجنده های تک باندهای، پانورامیک نامیده می شوند و یک دامنه وسیع طیفی را برداشت می کنند. سنجنده هایی که تعداد باندهای آن کم ولی بیش از یکی است را سنجنده های چند طیفی می نامند. سنجنده هایی با تعداد باندهای زیاد سنجنده های فراطیفی نامیده می شوند.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و تصویر اخذ شده توسط سنجنده هایپریون

مشاهده عوارض زمین‌شناسی بر روی آن، تداخلی ایجاد نشود. عوارض زمین‌شناسی نیز با استفاده از رنگ‌ها، خطوط و نمادهای ویژه‌ای در نقشه زمین‌شناسی نمایش داده می‌شود.

روش Image to Image با کمک نرم‌افزار ENVI ۴/۷ با خطای ۰/۳۴ متر استفاده شد.

۲-۴- تصحیح اتمسفری و کالیبراسیون داده‌های پیریون

برای جداسازی بازتابش سطح از مقدار ثبت شده در سنجنده، لازم است که تصحیحات اتمسفری با دقت بالا انجام شود تا اثرات اتمسفر بر روی مقادیر بازتاب ثبت شده در سنجنده حذف و فقط مقدار واقعی بازتابش سطح در تفاسیر و محاسبات دخالت داده شود. به این دلیل از الگوریتم مدل FLAASH^(۱) موجود در نرم‌افزار ENVI استفاده شد که اثرات اتمسفری در طول موج‌های SWIR و VNIR را تصحیح می‌کند. این برنامه به منظور استفاده از مشخصات تشعشعی، مدل MODTRAN^۴ را به کار گرفته است که پارامترهای مداری ماهواره و مواردی از جمله تاریخ و ساعت دقیق تصویربرداری را از کاربر دریافت و بر آن اساس تصحیحات اتمسفری را روی تصویر اعمال می‌کند. همچنین تصویر ورودی این برنامه باید تصویر انرژی تابشی باشد که کالیبراسیون رادیومتریکی بر روی آن صورت گرفته و دارای فرمت BIL و یا BIP باشد. پس از تنظیم پارامترها و معرفی تصویر ورودی مناسب، خروجی این برنامه عبارت است از:

- تصویر بازتابندگی سطح

- تصویر بخار آبی با نام water.dat

- نقشه ابرها با نام cloudmask.dat

- فایل شامل جزئیات پردازش

- فایل الگوی برنامه FLAASH با نام

template.txt

۳-۴- تصحیح توپوگرافی

تصحیح توپوگرافی یا نرمال‌سازی توپوگرافی، در حقیقت تصحیح روشنایی مختلف خورشید است که ناشی از شکل نامنظم منطقه می‌باشد. این اثر موجب تغییرات زیادی در انعکاس دریافتی توسط سنجنده می‌شود، به طوری که در مناطق سایه، انعکاس پایین و در مناطق آفتابی، انعکاس

۳-۳- داده‌های زمینی

داده‌های زمینی محدوده شامل ۵ معدن آهن موجود در شهر انارک است که در یک نوار تصویر هایپریون قرار می‌گیرند. موقعیت معادن توسط بهره‌برداران آن به وسیله GPS دستی تعیین شده است.

جدول ۱- مختصات معادن آهن انارک در سیستم مختصات جغرافیایی

شماره	نام معدن	φ	λ	مساحت
۱	خالوچیدر	۵۳/۷۰۰۱	۳۳/۳۸۳۴	۲۵/۷۳۷۷
۲	معلا	۵۳/۶۶۷۸	۳۳/۳۳۳۵	۲/۵۷۹۵
۳	پیوک	۵۳/۷۳۳۶	۳۳/۳۳۳۸	۲۰/۲۵۳
۴	محمد آباد ۱	۵۳/۷۰۰۴	۳۳/۲۱۷۳	۳۸/۳۴۲۵
	محمد آباد ۲	۵۳/۶۸۳۲	۳۳/۲۱۷۶	

۴- پیش پردازش‌ها

با توجه به کاربرد وسیع تصاویر ابرطیفی و نیاز به کسب اطلاعات از این تصاویر، پیش‌پردازش این تصاویر امری لازم و مفید در آماده‌سازی برای به دست آوردن اطلاعات صحیح از آن‌ها است. با تغییر برخی پارامترها در مراحل مختلف مثل حد‌آستانه و با سعی و خطا می‌توان کیفیت نتایج را بهبود داد. همچنین با داشتن اطلاعات کافی از منطقه و شناخت کامل آن، می‌توان تصحیح اتمسفری را با دقت بیشتری انجام داد، چرا که با رسیدن به یک طیف دقیق با کمترین خطا، می‌توان کیفیت نتایج الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده روی تصویر را بالا برد.

۱-۴- تصحیح هندسی تصاویر

به منظور تصحیح هندسی تصویر و انطباق آن با واقعیت زمینی از باند اول تصویر سنجنده ALI (این سنجنده همراه با سنجنده هایپریون بر روی ماهواره EO-۱ قرار دارد و دارای قدرت تفکیک ۱۰ متر و فاقد خطای هندسی است)، به

1- Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis in Spectral Hyper Cubes

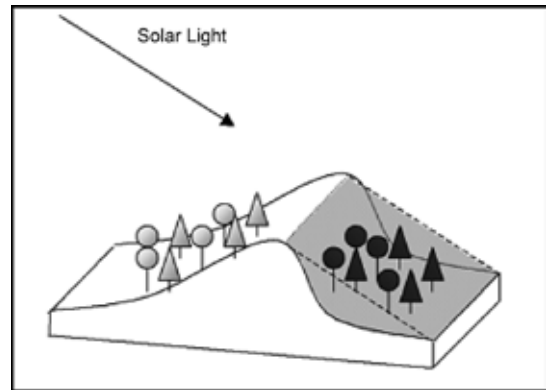
۵-۲- تخمین زیر فضای سیگنالی

حجم بالای داده‌های فراطیفی مورد نیاز، توجه به ارتباطات و ذخیره‌سازی و پردازش این نوع داده‌ها را بیش از پیش نمایان می‌سازد. تحلیل اجزای مستقل (ICA)^(۱) در سال‌های اخیر به دلیل کاربردهایی همچون متعادل‌سازی فرکانس‌ها برای شناسایی صوت، عمگرایی مغناطیسی در تصویربرداری رزونانسی مورد توجه واقع شده است. هدف ICA، بازیافت مولفه‌هایی است که از نظر آماری تا حد ممکن از یکدیگر مستقل هستند و قادر است سیگنال‌ها را با کمینه کردن اختلاف بین تابع توزیع احتمال صحیح سیگنال‌های ترکیبی و مدل ترکیب از منابع مستقل (PDF)^(۲) جداسازی کند. برخی از کاربردهای تبدیل مولفه‌های مستقل در سنجش از دور عبارتند از: کاهش ابعاد، آنومالی و شناسایی هدف، جداسازی عوارض، طبقه‌بندی تصویر، استخراج پیکسل‌های خالص، کاهش نویز و تهیه نقشه‌های فراوانی.

استخراج ویژگی‌ها، از داده‌های تصویری طبیعی به دست آمده از توابع گسور و نمونه‌برداری مجدد ویژگی‌ها نیز با استفاده از تحلیل مولفه‌های مستقل صورت می‌پذیرد. ICA یک روش مناسب را هم برای استخراج ویژگی‌های از تصاویر استریو و رنگی، ایجاد کرده است [۳ و ۴]. برای کم کردن آثار خطاها از ۱۰۰ باند که به روش ICA به دست آمده بود، ۹۴ باند به علت ماهیت نویزی بودن حذف شدند و تنها ۶ باند باقیمانده برای پردازش به کار رفته است.

۵-۳- طبقه‌بندی، کشف و آشکارسازی اهداف

بر اساس قابلیت جداسازی مواد با استفاده از اثرات طیفی و با توجه به انواع جستجوهای طیفی، دو کاربرد اساسی طبقه‌بندی زمینه، کشف و آشکارسازی هدف را می‌توان نام برد. در طبقه‌بندی، هدف اصلی اختصاص دادن پیکسل‌ها به کلاس‌های پوشش زمینی و نتیجه آن تهیه نقشه‌های موضوعی است. تاکنون الگوریتم‌های متعددی برای آشکارسازی طیفی ارائه شده است [۱]. در این تحقیق،



شکل ۳- اثر توپوگرافی بر مقدار انعکاس سطح

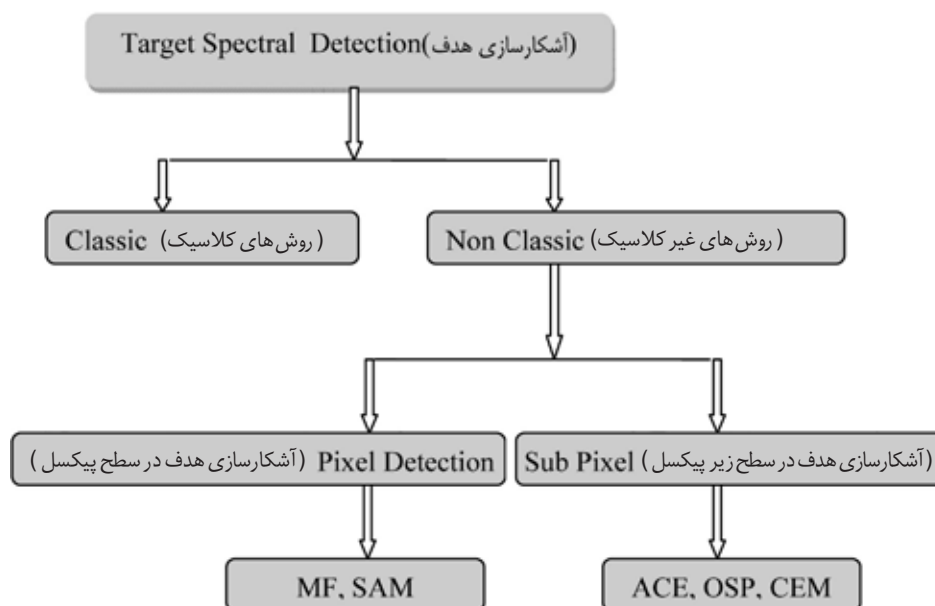
بالایی را داریم (شکل ۳).

روش‌های تصحیح توپوگرافی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: گروه اول روش‌هایی ساده که بر اساس نسبت بانندی هستند و نیاز به مدل ارتفاعی رقومی و داده‌های ورودی اضافی ندارند و فرض می‌شود که افزایش یا کاهش انعکاس به تناسب دو نسبت بانندی است. بنابراین نسبت بین آن‌ها اثرات توپوگرافی را تصحیح خواهد کرد. گروه دوم بر اساس مدل‌سازی وضعیت روشنایی است که نیازمند DEM با توان تفکیک مکانی برابر با تصویری است. در این تحقیق برای تصحیح توپوگرافی از DEM، ۳۰ متر استفاده شده است.

۵-۵- پردازش‌ها

۵-۱- طیف‌های کتابخانه‌ای

یک راه برای تعیین عضوها، استخراج آن‌ها از کتابخانه‌های طیفی است و نمونه آن کتابخانه‌ای است که معمولاً برای کاربردهای زمین‌شناسی استفاده می‌شود. این کتابخانه شامل طیف عضوهایی است که در آزمایشگاه و یا با عملیات میدانی به دست آمده‌اند. از آنجا که مهم‌ترین کانی‌های موجود در سنگ آهن عبارتند از آهن، لیمونیت، اپلیمنیت، هماتیت و مگنتیت، و سه کانی مگنتیت، هماتیت و لیمونیت در کتابخانه طیفی USGS حضور داشتند، این تحقیق بر پایه حضور این سه کانی صورت گرفت.



شکل ۴- الگوریتم های آشکارسازی طیفی مورد استفاده در تحقیق

روش فرض می شود که یک هدف مطلوب، به طور مثال t_p در میان P هدف $t_1, t_2, \dots, t_p, \dots, t_{p-1}$ وجود دارد و هدف های دیگر، t_1, t_2, \dots, t_{p-1} نامطلوب هستند.

۳-۳-۵ روش آشکارسازی هدف در سطح پیکسل

بیشتر روش های آشکارسازی هدف در سطح پیکسل، امضای طیفی هدف را کاملاً معین فرض می کنند. در عمل امضای طیفی هدف به طور کامل اندازه گیری نمی شود و تغییر پذیری طیفی داریم. الگوریتم های MF و SAM از جمله این روش ها هستند. در الگوریتم SAM فرض می شود که هر دو طیف تصویر و مرجع یا عضو خالص می توانند به عنوان بردارهایی در فضای L بعدی عمل کنند. براساس این الگوریتم، شباهت این دو طیف با محاسبه "زاویه طیفی" بین دو بردار متناظر به دست می آید. در الگوریتم MF فیلترینگ تناظر یافته برای یافتن فراوانی عناصر خالص تعریف شده توسط کاربر، با بهره گیری از یک جداسازی جزئی، استفاده می شود.

۶- ارزیابی نتایج و پیشنهادات

ارزیابی نتایج آشکارسازی، یکی از مراحل مهم پس از

الگوریتم هایی که از سادگی و سرعت در تجزیه و تحلیل این نوع داده ها برخوردارند، مورد توجه قرار گرفته که در شکل ۴ نمایش داده شده اند.

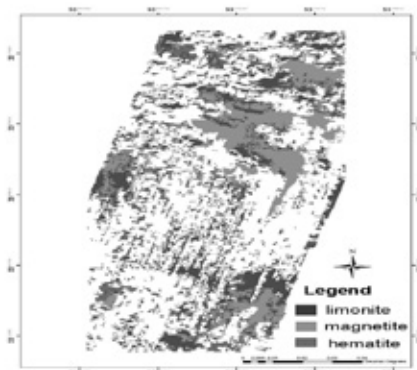
۱-۳-۵ روش های کلاسیک

الگوریتم های برشمرده شده عموماً در تصاویر چندطیفی مورد استفاده قرار می گیرند.

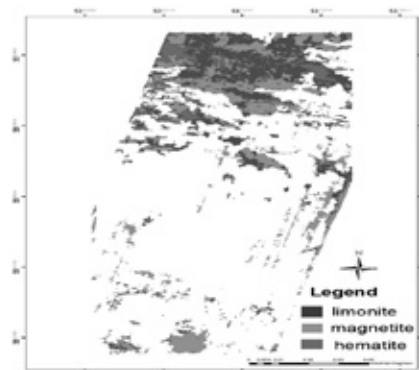
۵-۲-۳ روش آشکارسازی هدف در سطح زیر پیکسل

آشکارسازی یک هدف زیر پیکسلی، یکی از موارد دشوار در زمینه آشکارسازی تصاویر فراطیفی است. به دلیل این که، اندازه هدف کوچکتر از اندازه یک پیکسل است، روش های آشکارسازی به ندرت تنها با استفاده از اطلاعات طیفی انجام می شوند. الگوریتم های ACE، OSP، و CEM نمونه هایی از این روش است.

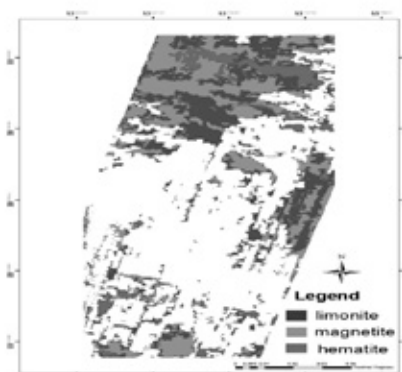
الگوریتم ACE از یک توزیع آماری (توزیع نرمال چندگانه) استفاده می کند. الگوریتم CEM یا کمینه سازی مقید انرژی مشروط، بر اساس مدل اختلاط خطی و با هدف تاکید بر حضور عنصر خالص مطلوب و جلوگیری از حضور عناصر خالص ناخواسته و نویز ساخته شده است. الگوریتم OSP توسط چانگ و هیرسانی^(۱) ارائه شده است [۲]. در این



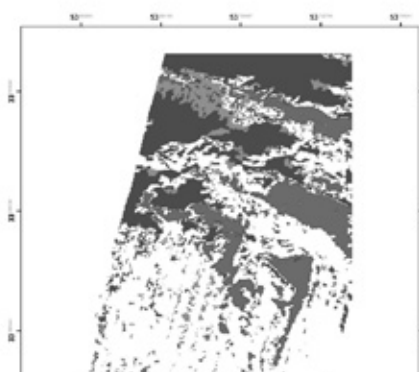
شکل ۶ - نقشه کانی‌های منطقه پس از اعمال الگوریتم ACE



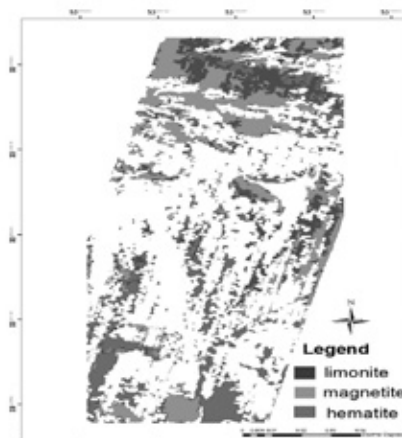
شکل ۵ - نقشه کانی‌های منطقه پس از اعمال الگوریتم CEM



شکل ۸ - نقشه کانی‌های منطقه پس از اعمال الگوریتم MF



شکل ۷ - نقشه کانی‌های منطقه پس از اعمال الگوریتم OSP

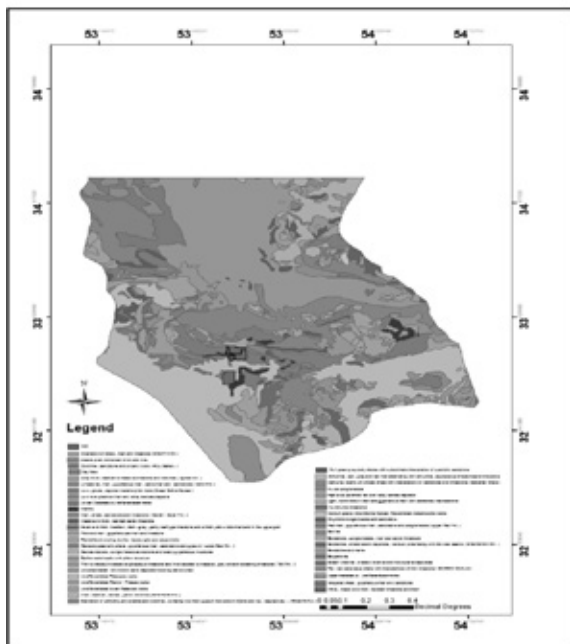


شکل ۹ - نقشه کانی‌های منطقه پس از اعمال الگوریتم SAM

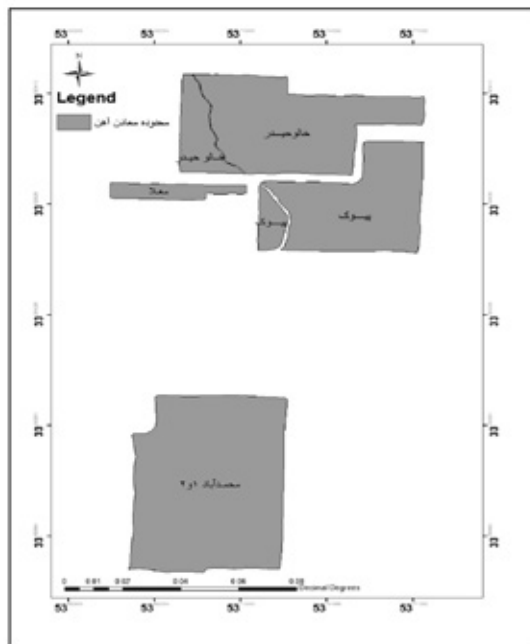
آشکارسازی است. برای ارزیابی هر یک از الگوریتم‌ها، خروجی هر یک از آن‌ها در آشکارسازی با نقشه محدوددهای معدنی (نقشه شماره ۱) و نقشه ۱/۱۰۰,۰۰۰ زمین‌شناسی (نقشه شماره ۲) مقایسه شد.

با بررسی نقشه محدوددهای آهن و نقشه زمین‌شناسی انارک می‌توان نتیجه گرفت که آهن زایی در این منطقه، در سنگ‌هایی با درجه دگرگونی ضعیف (رخساره شیست سبز) صورت می‌گیرد. از این رو برای ارزیابی طیف‌های استخراج شده در نقشه زمین‌شناسی از پلی‌گون‌هایی که حاوی سنگ‌هایی با درجه دگرگونی ضعیف بودند، استفاده شد. تطبیق نتایج حاصله با محدوده‌های معدنی و کانی‌زایی و ارزیابی درستی آشکارسازی، با استفاده از ضریب کاپا که طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند، انجام شد. ضریب کاپا یکی از ساده‌ترین‌های شاخص‌های ارزیابی است که نیاز به عملیات پیچیده برای

محاسبه ندارد و مساحت زیر پوشش کلاس‌های مختلف را نیز در محاسبه وارد می‌کند. مقدار صفر برای کاپا به این معنی است که آشکارسازی بدون هیچ ضابطه‌ای و کاملاً تصادفی انجام شده و مقادیر بالای صفر تا یک، بیانگر میزان دقت



نقشه ۲- نقشه زمین‌شناسی انارک



نقشه ۱- نقشه محدوده‌های معادن آهن انارک

با توجه به جدول شماره ۲، الگوریتم‌های SAM و OSP در ارزیابی نتوانستند ضریب کاپای قابل قبولی را ارائه کنند. به این دلیل در ارزیابی توسط محدوده‌های معدنی، تنها از الگوریتم‌های MF, CEM, ACE استفاده شد. جدول شماره ۳ ضریب کاپا را برای الگوریتم‌های آشکارسازی آهن که توسط نقشه محدوده‌های معدنی آهن ارزیابی شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۳- درصد ضریب کاپا در ارزیابی الگوریتم‌های آشکارسازی آهن توسط محدوده‌های معدنی

محدوده‌های معدنی	ACE	CEM	MF
خالوحیدر	۷۹/۲۵	۸۵/۶۶	۸۰/۴۵
معلا	۷۶/۲۸	۸۲/۴۵	۸۱/۴۱
پیوک	۷۹/۵۵	۸۱/۴۵	۷۸/۷۳
محمدآباد ۱ و ۲	۷۰/۳۳	۷۷/۵۰	۷۴/۶۳

با بررسی و مطالعات انجام شده در راستای پیاده‌سازی الگوریتم‌های آشکارسازی از تصاویر فراترینی برای پیش برد اهداف علمی و کاربردی می‌توان پیشنهادات زیر را مطرح کرد.

است. در نتیجه مقدار یک به معنی یک آشکارسازی کاملاً صحیح است. مقادیر منفی کاپا نیز ضعف آشکارسازی و نتایج بسیار بد تفسیر می‌شوند. یکی از معروف‌ترین برآوردهای کاپا با استفاده از عناصر ماتریس خطا عبارت است از:

$$\frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_i + x + i}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_i + x + i}$$

$\sum_{i=1}^r x_{ii}$ = مجموع پیکسل‌های قطر اصلی ماتریس خطا

$x_i +$ = مجموع عناصر سطر i ام

$x + i$ = مجموع عناصر ستون i ام

N = تعداد کل پیکسل‌های آموزشی

جدول شماره ۲ ضریب کاپا را برای الگوریتم‌های آشکارسازی آهن که توسط نقشه زمین‌شناسی ارزیابی شده است، نشان می‌دهد.

جدول ۲- درصد ضریب کاپا در ارزیابی الگوریتم‌های آشکارسازی توسط نقشه زمین‌شناسی

اهداف	ACE	CEM	MF	OSP	SAM
هماتیت	۸۳/۳۶	۸۶/۸۸	۸۵/۲۲	۶۹/۵۶	۸۰/۹۹
مگنتیت	۸۱/۳۵	۷۹/۲۲	۸۴/۵۶	۷۸/۵۳	۷۷/۱۲
لیمونیت	۸۴/۸۴	۷۸/۲۱	۸۱/۷۴	۷۶/۲۵	۸۰/۱۴
آهن	۸۰/۴۵	۸۷/۴۴	۸۳/۲۲	۶۳/۲۲	۷۱/۷۸

به الگوریتم SAM است. همچنین از میان الگوریتم‌های آشکارسازی در سطح زیر پیکسل، در رابطه با آشکارسازی هدف هماتیت و آهن، بهترین نتیجه مربوط به الگوریتم CEM است. در رابطه با آشکارسازی اهداف لیمونیت و مگنتیت بهترین نتیجه مربوط به الگوریتم آشکارسازی ACE است. در ارزیابی الگوریتم‌های آشکارسازی به وسیله محدودده‌های معدنی با توجه به جدول شماره ۳، می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم CEM در تمام نقاط کارآیی خوبی داشته است. الگوریتم ACE در محدوده ۳ قوی تر عمل کرده و الگوریتم MF در محدوده‌های ۱ و ۲ و ۴ نتایج قابل قبول تری داشته است. پس می‌توان گفت در این ارزیابی، الگوریتم MF قوی تر از ACE و ضعیف تر از CEM عمل کرده است. به طور کلی نتایج نشان داد از بین الگوریتم‌های ذکر شده الگوریتم‌های CEM, MF دارای عملکرد بهتری هستند و توانایی این الگوریتم‌ها در آشکارسازی مواد معدنی بیشتر است.

- در تهیه تصاویر فراطیفی در مناطقی از کشور که داده‌ها و اطلاعات بیشتری همچون داده‌های حاصل از ژئوفیزیک و ژئوشیمی را هم داشته باشد، الگوریتم‌های استخراج آهن کارآیی بیشتری دارند.

- استفاده از الگوریتم‌ها هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک برای تعیین کانی‌های آهن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل از مدل‌های ترکیب غیرخطی می‌تواند با نتایج مدل‌های ترکیب خطی مورد مقایسه واقع شود. البته پیاده‌سازی این روش‌ها نیازمند داشتن اطلاعات زمینی کامل است.

۷- نتیجه‌گیری

در رابطه با داده سنجنده هایپراسان با ۲۴۲ باند طیفی و الگوریتم‌های آشکارسازی، از بررسی جدول شماره ۲ می‌توان نتیجه گرفت که از میان الگوریتم‌های آشکارسازی در سطح پیکسل در رابطه با آشکارسازی اهداف هماتیت، مگنتیت، لیمونیت و آهن، الگوریتم MF دارای کارآیی بالاتری نسبت

مراجع

- 1- Chang, C. I. (2003). *Hyperspectral Imaging: Techniques for spectral Detection and Classification*, Orlando, FL: Kluwer Academic.
- 2- Harsanyi, J. C., and Chang, C. I. (1994). *Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: an orthogonal subspace projection approach*, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol.32, no.4, pp.779-785.
- 3-Hoyer, P. O., and Hyvarinen, A. (2000). *Independent component analysis applied to Feature extraction from colour and stereo images*.
- 4-Lee, T., and Lewicki, M.S. (2000). *ICA Mixture Models for Unsupervised Classification of Non-Gaussian Classes and Automatic Context Switching in Blind Signal Separation*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.