

بهبود دقت طبقه‌بندی با استفاده از تلفیق الگوریتم‌های تشخیص هدف در تصاویر ابرطیفی

سید علی سیدین^۱، محمد جواد ولدان زوج^۲، یاسر مقصودی^۳، میلاد جانعلی پور^{۴*}

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور - دانشکده نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
s.a.sayedain@gmail.com

^۲ دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
valadanzouj@kntu.ac.ir

^۳ استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ymaghsoudi@kntu.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
m_janalipour89@yahoo.com

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۳)

چکیده

تصاویر ابرطیفی با قدرت تفکیک طیفی بالا باعث پیشرفت‌های وسیعی در حوزه‌های مختلف سنجش از دور شده‌اند. یکی از مهمترین کاربردهای این تصاویر در حوزه کشاورزی و جنگل می‌باشد. هدف از این تحقیق بهبود طبقه‌بندی گونه‌های مختلف گیاهی در منطقه Botswana با استفاده از تلفیق الگوریتم‌های تشخیص هدف در تصویر ابرطیفی می‌باشد. در گام اول الگوریتم‌های تشخیص هدف بر روی تصویر ابر طیفی پیش‌پردازش شده پیاده‌سازی شد. در گام دوم، اطلاعات الگوریتم‌های تشخیص هدف با استفاده از روش پیشنهادی تلفیق گردید. نتایج حاصل از روش تلفیق پیشنهادی برای ابعاد پنجره مختلف پیاده‌سازی شد. بهترین دقت کلی روش تلفیق مربوط به پنجره با ابعاد ۳ در ۳ برابر ۹۶/۱۶٪ بود که دقت کلی نسبت به الگوریتم‌های تشخیص هدف تقریباً حداقل ۸٪ و حداکثر ۲۰٪ بهبود یافته است.

واژگان کلیدی: تصاویر ابرطیفی، الگوریتم‌های تشخیص هدف، گیاهان، تلفیق الگوریتم‌های تشخیص هدف

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

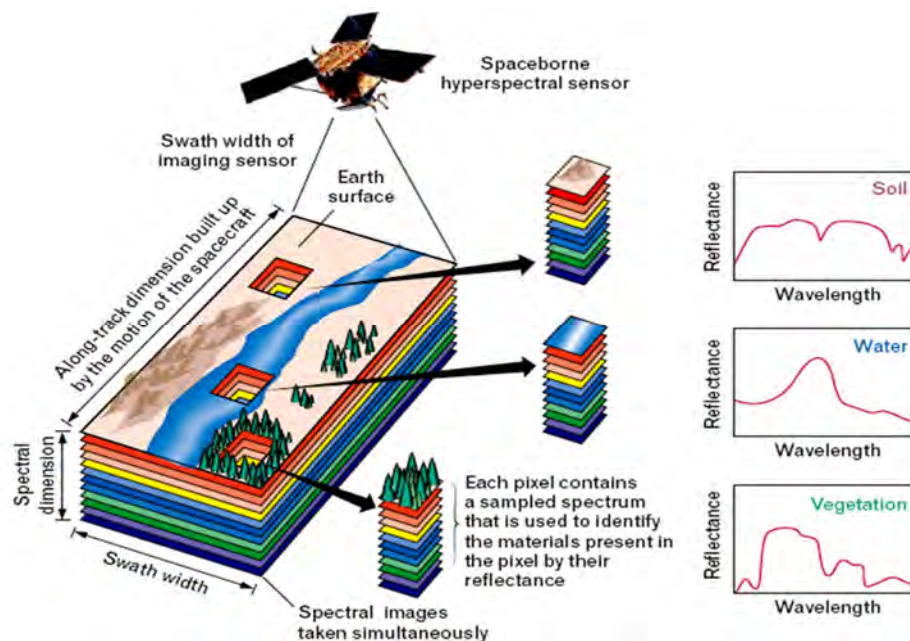
ماهیت زمین در طول زمان ثابت نبوده و در حال تغییر و تحول است و شناسایی بهینه یک سرزمین و بهره‌برداری از مواهب طبیعی آن از دیرباز دارای اهمیت بوده است. استفاده از اراضی سطح زمین بایستی بر پایه شناخت کامل محیط طبیعی و نوع استفاده از آن استوار باشد. به عبارت دیگر ارتباط متقابل و تعامل بین انواع اراضی و استفاده از آن همواره باید مد نظر قرار گرفته و در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورد توجه باشد. پوشش اراضی به ترکیب و ویژگی‌های عوارض روی زمین اشاره دارد. نحوه استفاده از زمین به عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وجود اطلاعات کاربری و پوشش اراضی یکی از ابزارهای مهم برای برنامه‌ریزی‌های آتی کاربری اراضی می‌باشد. نقشه‌های کاربری اراضی که نمایان‌گر شرایط فعلی و توزیع جغرافیایی انواع پوشش‌های گیاهی، فعالیت‌های کشاورزی، جنگلداری و ... هستند، نقش مهمی را در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و زیست محیطی ایفا می‌کنند [۱]. نظارت بر محصولات کشاورزی و گونه‌های گیاهی نقش بسیار مهمی در تأمین مواد غذایی مورد نیاز جامعه جهانی و سلامت محیط زیست دارد. متأسفانه به علت بی‌توجهی به مسائل اصولی توسعه، با افزایش جمعیت و توسعه اقتصاد و صنعت، کمیت و کیفیت زمین‌های کشاورزی و گونه‌های گیاهی به سرعت رو به کاهش است که این موضوع در کشورمان نیز وجود دارد. در همین ارتباط، اندازه‌گیری دقیق انواع گونه‌های گیاهی از اهمیت مهمی در حفظ محیط زیست برخوردار است. فن‌آوری سنجنش از دور می‌تواند اطلاعاتی با ارزش و به موقع درباره انواع گونه‌های گیاهی، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و پتانسیل رشد گونه گیاهی خاص را در اختیار تصمیم‌گیران در بخش کشاورزی قرار دهد [۲]. تصاویر ابر طیفی با دارا بودن قدرت تفکیک طیفی بالا موجب پدید آمدن پیشرفت‌های چشم‌گیری در حوزه‌های مختلف سنجنش از دور مانند علوم نظامی، محیط زیست، زمین‌شناسی، علوم معدن و کشاورزی شده‌اند. از کاربردهای این داده می‌توان به مواردی چون شناسایی و پاک‌سازی مناطق جنگلی آلوده، عملیات جستجو و نجات، شناسایی

ادوات نظامی پنهان، برآورد دقیق محصولات کشاورزی، مطالعه گونه‌های مختلف پوشش گیاهی، آفات و استرس-های گیاهی، زمین‌شناسی و اکتشاف معدن، مطالعات منابع آب و آشکارسازی آلودگی‌ها، پایش زیست محیطی، آشکارسازی اهداف، تصویربرداری پزشکی و تشخیص عدد اشاره نمود [۲].

سنجنده‌های ابرطیفی تصاویری با قدرت تفکیک طیفی بالا و در تعداد زیادی باند گسسته و باریک با پهنایی در حدود چند نانومتر را جمع‌آوری می‌کنند. این سنجنده‌ها محدوده‌های طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه را شامل می‌شوند و یک طیف تقریباً پیوسته را برای هرکدام از پیکسل‌های موجود در صحنه به‌وجود می‌آورند.

هر ماده موجود در صحنه تصویر به دلیل داشتن ترکیب و ساختار مولکولی مخصوص به خود، اثر طیفی منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد که این مطلب در شکل (۱) نشان داده شده است. این مطلب اساس کار شناسایی و آشکارسازی مواد مختلف از طریق فن‌آوری سنجنش از دور می‌باشد. بنابراین استفاده از تصاویر ابرطیفی و به‌کارگیری الگوریتم‌های آشکارسازی در آن‌ها می‌تواند امکان شناسایی مواد مورد نظر بر روی زمین را از راه دور فراهم کند [۳].

در این تحقیق به دنبال بررسی روش‌های تشخیص هدف جهت شناسایی انواع گونه‌های گیاهی با تصاویر ابرطیفی هستیم. این تحقیق بر روی تصویر ابرطیفی Bostwana انجام خواهد شد. در زمینه استفاده از تصاویر ابرطیفی و به‌خصوص طبقه‌بندی تصویر ابرطیفی مربوط به منطقه Bostwana کارهای مختلفی انجام شده است. Jun و Ghosh [۴] با استفاده از الگوریتم یادگیری شبه نظارت شده، روشی به نام GP-EM را برای طبقه‌بندی پوشش زمین بر مبنای آنالیز داده ابرطیفی ارائه دادند. در این تحقیق از داده ابرطیفی منطقه Bostwana استفاده شد. در این تحقیق ارزیابی‌های جزئی نشان داد که چهارچوب ارائه شده نتایج بهتری را نسبت به سایر گزارش‌های ارائه شده قبلی در مورد الگوریتم‌های مختلف پیاده‌سازی شده روی این مجموعه داده دارد.



شکل ۱- نمایی از طیف نمایی تصویری [۳]

منظم شده (RLDA) مقایسه شدند. نتایج بدست آمده تاثیر تکنیک RLDA را تایید کرد.

با توجه به اینکه در این تحقیق هدف استفاده از روش-های تشخیص هدف در شناسایی انواع گونه‌های گیاهی است در ادامه الگوریتم‌های تشخیص هدف در تصاویر ابرطیفی نیز مطالعاتی انجام شده است، بیان خواهد شد. Negahbani [۷] به بررسی و مقایسه الگوریتم‌های Kelly, ACE, AMF, OSP, LMM, SSP و GML در زمینه آشکارسازی هدف‌های معدنی روی تصویر سنجنده HyMap از منطقه cuprite در Nevada پرداخته است. در نهایت الگوریتم‌های Kelly و ACE در کل نتایج بهتری ارائه کرده‌اند.

Moeini Rad [۸] با استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده به بررسی الگوریتم‌های مختلف آشکارسازی در شرایط مختلفی مثل تغییر SNR و شباهت طیفی اعضای خالص پرداخته است. در این تحقیق الگوریتم FCLS بهترین نتایج را داشته است.

Fahimnejad [۹] با استفاده از تصویر سنجنده هایپریون مربوط به جنوب تهران به ارزیابی تفکیک دو محصول گندم و جو پرداخته است. در این تحقیق از الگوریتم‌های پیکسل مبنا مثل MLC و SAM و جزء پیکسل مثل LSU و MTMF استفاده کرده است که الگوریتم‌های جزء پیکسل نتایج بهتری ارائه نموده‌اند.

Erturk و Demir [۵] در تحقیق خود یک الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با دقتی را که برای طبقه‌بندی تصاویر ابرطیفی می‌باشد را ارائه دادند که از الگوهای آموزشی خطی (مرزی) استفاده می‌کند. این تحقیق روی داده ابرطیفی از منطقه Bostwana صورت گرفت. الگوهای آموزشی خطی (مرزی) در دو مرحله متوالی بدست می‌آیند. در مرحله اول با استفاده از داده‌های آموزشی هر کلاس یک خوشه‌بندی انجام می‌شود و مرکز خوشه‌ها به عنوان داده آموزشی اولیه برای SVM انتخاب می‌شوند. در مرحله دوم داده آموزشی کاهش یافته مرکب از مراکز خوشه‌ها در آموزش SVM استفاده می‌شوند و مراکز خوشه بدست آمده به عنوان بردارهای پشتیبان در این مرحله، نزدیک خطوط مرزی صفحات ابرطیفی جایگزین می‌شوند. در نهایت این الگوهای آموزشی خطی (مرزی) در آموزش طبقه‌بندی کننده SVM استفاده می‌شوند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان با این روش پیشنهاد شده دقت طبقه‌بندی با استفاده از SVM را بالا برد.

Bandos و همکاران [۶] در تحقیق خود طبقه‌بندی تصاویر سنجنش از دوری ابرطیفی را با استفاده از آنالیز جداسازی خطی (LDA) در حضور یک نسبت کوچک بین تعداد نمونه‌های آموزشی و تعداد ویژگی‌های طیفی بررسی کردند. در این تحقیق چندین طبقه‌بندی کننده بر مبنای LDA به صورت تئوری و تجربی با LDA استاندارد و

Mehrabi [۱۰] نیز به ارزیابی پتانسیل فن‌آوری سنجش از دور در شناسایی و تخمین سطحی میزان کانی-های صنعتی از جمله کائولونیت پرداخته و الگوریتم‌های آشکارسازی مختلفی را با هم مقایسه کرده است. در این تحقیق الگوریتم MTMF به‌عنوان دقیق‌ترین روش جداسازی اهداف در سطح زیر پیکسل انتخاب شده است. روش‌های تشخیص هدف اینگونه عمل می‌کنند که با معرفی طیف الکترومغناطیسی ماده هدف به این الگوریتم-ها، در تصویر شروع به جستجو کرده و پیکسل‌ها را با توجه به درجه نزدیکی به آن ماده هدف طبقه‌بندی می‌کنند. پس از اعمال این الگوریتم‌ها بر روی تصویر، خروجی هر یک از الگوریتم‌ها یک نقشه سهم^۱ در قالب تصاویر درجه خاکستری از هدف مورد نظر می‌باشد که مقدار هر پیکسل آن تخمینی از فراوانی اهداف ما را مشخص می‌کند. به عبارتی هرچه حضور این مواد در یک پیکسل بیشتر باشد، مقدار مربوط به آن پیکسل نیز بیشتر بوده و در تصویر سفیدتر دیده می‌شود [۱۱، ۱۲].

تصاویر ابرطیفی غالباً مناطق وسیعی را پوشش می‌دهند اما به علت پایین بودن قدرت تفکیک مکانی آن‌ها، طبقه‌بندی و تعیین دقیق کلاس‌ها برای همه مناطق پوشش داده شده در تصویر با مشکل روبرو است. بنابراین یکی از مشکلات مهم ایجاد شده به علت پایین بودن قدرت تفکیک مکانی ظهور پیکسل‌های مختلط در تصویر است [۲]. به همین منظور در این تحقیق استفاده از الگوریتم‌های تشخیص هدف در سطح زیر پیکسل در دستور کار قرار گرفت.

یکی از مضرات روش‌های طبقه‌بندی این است که هر پیکسل به صورت مجزا از پیکسل‌های همسایه طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین، هنگامی که تعداد زیادی پیکسل در یک منطقه خاص به یک کلاس خاص متعلق هستند، خیلی دور از ذهن است که یک پیکسل در همین منطقه به کلاس دیگری متعلق باشد. این تخصیص اشتباه می‌تواند به علت خطاهای موجود در تصویر ابرطیفی باشد. بنابراین می‌توانیم بهبودی را به الگوریتم‌های تشخیص هدف اعمال کنیم تا شرایط مکانی هر پیکسل را نیز در نظر بگیرد. در این تحقیق، روشی برای در نظر گرفتن این سازگاری مکانی پیشنهاد می‌شود و بر مبنای آن هر پیکسل طبقه-

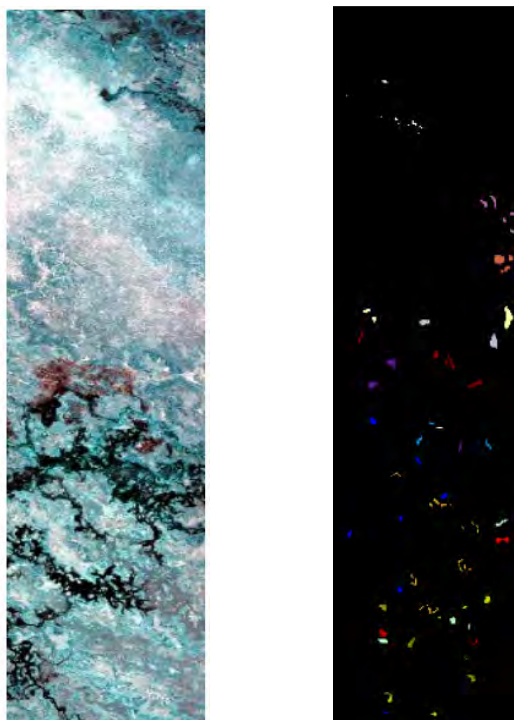
^۱ Abundance map

بندی می‌شود. به این‌صورت که، به ازای هریک از الگوریتم‌های تشخیص هدف، تصویر طبقه‌بندی شده‌ای از منطقه بدست می‌آید که در آن هر پیکسل به صورت مجزا طبقه‌بندی شده و گونه‌های مختلف گیاهی با دقت‌های متفاوتی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. سپس با ترکیب اطلاعات بدست آمده از هریک از خروجی‌های طبقه‌بندی به یک تصویر طبقه‌بندی شده دقیق‌تری از منطقه می‌رسیم که از اطلاعات تمام الگوریتم‌های تشخیص هدف استفاده می‌کند. این روش می‌تواند به عنوان تکنیک‌های پس پردازش تلقی شود.

هدف از این تحقیق طبقه‌بندی گونه‌های مختلف گیاهی در یک منطقه با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص هدف در تصاویر ابرطیفی می‌باشد. با توجه به هزینه‌بر بودن فعالیت‌های زمینی به‌منظور رسیدن به قطعیت بالا در خصوص مساحت تحت پوشش یک گونه گیاهی خاص در یک منطقه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بکار بردن روش‌های سنجش از دوری می‌تواند این هزینه را کاهش داده و قطعیت و دقت را بالا برد. در این راستا یکی از ویژگی‌های استفاده از داده‌های سنجش از دور کاهش مناطق نامناسب است. یعنی می‌توان به راحتی مناطقی را که اصلاً دارای پوشش نیستند و یا به هر دلیلی مد نظر متخصصان نمی‌باشند را کنار گذاشت. بنابراین استفاده از فن‌آوری سنجش از دور، علاوه بر دقت بالا، در وقت و هزینه نیز صرفه‌جویی می‌کند.

در این تحقیق در ابتدا پس از آماده سازی تصویر و انجام پیش پردازش‌های مورد نیاز و با استفاده از داده‌های آموزشی، الگوریتم‌های آشکارسازی هدف، که در قسمت قبل به آن‌ها اشاره شد، روی تصویر پیاده‌سازی می‌شوند. سپس با استفاده از حد آستانه‌های مناسب و استفاده از درخت تصمیم‌گیری برای هر الگوریتم، تصویر را طبقه‌بندی خواهیم کرد و با استفاده از نقاط ارزیابی دقت هر روش آشکارسازی تعیین گردید. سپس به منظور بهبود دقت طبقه‌بندی روش پیشنهادی استفاده از تلفیق اطلاعات بدست آمده از الگوریتم‌های تشخیص هدف پیاده سازی شد. در این مرحله نیز دقت تصاویر طبقه‌بندی شده خروجی با استفاده از داده‌های ارزیابی بدست خواهد آمد و نتایج با دقت تک‌تک روش‌های تشخیص هدف مقایسه خواهد شد. در بخش ارزیابی نتایج، موارد فوق به بحث گذاشته شده است.

پیکسل‌های تعلیمی و ارزیابی تقسیم شدند. در جدول (۱) تعداد پیکسل‌های تعلیمی و ارزیابی در هر کلاس مشاهده می‌شود [۱۳].



شکل ۲- شمایی از تصویر منطقه مورد مطالعه (چپ) و داده‌های تعلیمی آن (راست)

در بخش بعد به تفصیل، به بیان مفاهیم و مدل مفهومی روش پیشنهادی در این مقاله تحت عنوان روش انجام تحقیق اشاره خواهد شد. در بخش سوم داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه معرفی خواهد شد. در بخش چهارم نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم‌ها و روش تلفیق اطلاعات ارائه می‌شود. در نهایت به بیان نتایج خواهیم پرداخت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، تصویر ماهواره EO-1 سنجنده هایپریون از دلتای اکاونگو (Okavango) که در تاریخ ۳۱ می سال ۲۰۰۱ اخذ شده است، می‌باشد. از ۲۴۲ باند این تصویر پس از پیش پردازش‌های مرکز UT تحقیقات فضایی، ۱۴۵ باند به عنوان باندهای با اطلاعات مفید و کم خطا مورد استفاده قرار گرفته است. این منطقه مطالعاتی دارای ۱۴ کلاس مختلف است که داده‌های تعلیمی از این منطقه با استفاده از فعالیت‌های زمینی، تصویر برداری هوایی و تصاویر چندطیفی آیکونوس اخذ شده است. در شکل (۲) تصویر کاذب منطقه و نمونه‌های تعلیمی اخذ شده از منطقه مشاهده می‌شود. برای تعلیم و ارزیابی نتایج، پیکسل‌های تعلیمی در هر کلاس به

جدول ۱- تعداد نمونه‌های تعلیمی و ارزیابی برای کلاس‌های مختلف منطقه مورد مطالعه [۱۳]

شماره کلاس	نام کلاس	تعداد نمونه‌های تعلیمی	تعداد نمونه‌های ارزیابی
۱	آب	۱۳۵	۱۳۵
۲	علف کرگدن	۵۱	۵۰
۳	چمن دشت سیلابی نوع ۱	۱۲۶	۱۲۵
۴	چمن دشت سیلابی ۲	۱۰۸	۱۰۷
۵	نی	۱۳۵	۱۳۴
۶	حریم رودخانه	۱۳۵	۱۳۴
۷	شکاف آتش ^۱	۱۳۰	۱۲۹
۸	نوعی سنگ ^۲	۱۰۲	۱۰۱
۹	زمین جنگلی اقاچیا	۱۵۷	۱۵۷
۱۰	زمین بوته ای اقاچیا	۱۲۴	۱۲۴
۱۱	زمین چمنی اقاچیا	۱۵۲	۱۵۲
۱۲	موپایی ^۳ کوتاه	۹۱	۹۰
۱۳	موپایی مختلط	۱۳۴	۱۳۴
۱۴	خاک روباز	۴۸	۴۲

۱ شکافی است که غالباً در تنه‌ی درختان ایجاد می‌شود

۲ Island interior

۳ نوعی درخت

۲-۲- روش تحقیق

تعلیمی بر روی تصویر اعمال خواهد شد. در گام بعد با اعمال حد آستانه‌هایی توسط درخت تصمیم‌گیری بر روی تصاویر خروجی از روش‌های تشخیص هدف به صورت مجزا، کلاس‌های مختلف استخراج خواهند شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های ارزیابی مورد آزمون قرار خواهند گرفت. در مرحله بعد با استفاده از یک روش جدید اطلاعات کلاس‌های مختلف در روش‌های تشخیص تارگت با یکدیگر تلفیق خواهند شد. در نهایت دقت تصویر تلفیق شده نهایی با استفاده از داده‌های ارزیابی نیز مورد آزمون قرار خواهد گرفت.

در این تحقیق از روش‌های تشخیص هدف برای تشخیص انواع گونه‌های گیاهی استفاده شده است. همچنین یک روش جدید در حوزه پردازش تصاویر ابرطیفی برای تلفیق اطلاعات تمامی روش‌های تشخیص هدف بکار گرفته شده است. شکل (۳) مدل مفهومی روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد. در این روش ابتدا تصویر ورودی مورد پیش‌پردازش قرار خواهند گرفت، سپس روش‌های تشخیص هدف (CEM^۱، MF^۲، MTMF^۳، ACE^۴، OSP^۵، TCIMF^۶، MTTTCIMF^۷) با استفاده از داده‌های



شکل ۳- مدل مفهومی روش این تحقیق

۱ Constrained energy minimization

۲ Matched filter

۳ Mixture tuned matched filtering

۴ Adaptive coherence estimator

۵ Orthogonal subspace projection

۶ Target-constrained interference-minimized filter

۷ Mixture tuned target-constrained interference-minimized filter

۲-۲-۱- پیش پردازش

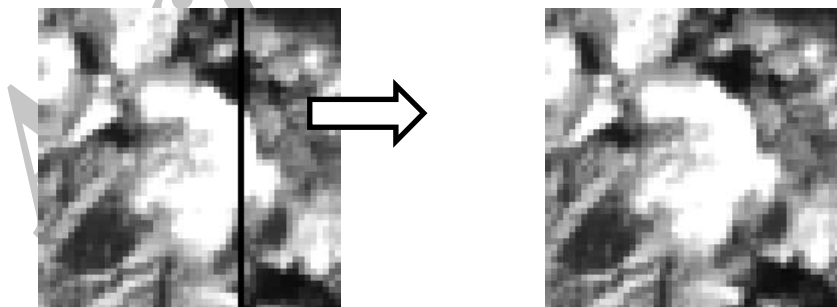
گرفته شود. در صورتی که مقدار S از این حد آستانه بیشتر باشد به معنای آن است که با یک پیکسل غیر عادی مواجه هستیم. بنابراین انتخاب مقدار مناسب این حد آستانه مهم است. به وسیله روش سعی و خطا مقدار مناسب این حد آستانه بین ۲ تا ۲/۲ بدست آمد. مرحله بعد شمارش درصد پیکسل‌های غیرعادی در هر ستون می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{i,k} = \frac{Sb_{i,k}}{St_{i,k}} \quad (2)$$

که در آن، $P_{i,k}$ درصد پیکسل‌های غیر عادی؛ $Sb_{i,k}$ تعداد پیکسل‌های غیر عادی و $St_{i,k}$ تعداد کل پیکسل‌ها در ستون i باند k می‌باشد.

مقدار P می‌تواند نشان دهد که آیا یک ستون غیر عادی است یا خیر. بنابراین باز نیازمند یک حد آستانه هستیم. این حد آستانه با روش سعی و خطا برابر با ۰/۳۵ تا ۰/۴۰ در نظر گرفته می‌شود. یعنی اگر در این حدود پیکسل غیر عادی در یک ستون باشد آن ستون غیر عادی است و باید تصحیح شود.

پس از شناسایی نوارهای بد در تصویر، این تصحیح به صورت میانگین گرفتن از ستون‌های مجاور نوارهای بد در فضای تصویر انجام شد. شکل (۴) نحوه تصحیح این خطا را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- نمایش یک نوار بد در تصویر (چپ) و تصویر تصحیح شده آن (راست)

صورت مبسوط در پیوست مقاله آورده شده است). با مطالعاتی که روی تحقیقات مختلف در حیطه الگوریتم‌های تشخیص هدف انجام شد معمولاً این الگوریتم‌ها نتایج بهتری را داشته‌اند و لذا در این تحقیق از آن‌ها استفاده شد [۹،۱۰،۱۵].

خروجی این الگوریتم‌ها (تصاویر MF score) بصورت تصاویر درجه خاکستری می‌باشد و مقدار هر پیکسل آن

تصویر سنجنده هایپریون مورد استفاده در این تحقیق از ۲۴۲ باند تشکیل شده است که پس از پیش پردازش‌های انجام شده توسط مرکز UT تحقیقات فضایی، ۱۴۵ باند به عنوان باندهای با اطلاعات مفید و کم خطا بدست آمده است. خطای باقیمانده بر روی این داده، وجود نوارهای بد در برخی از باندهای این تصویر می‌باشد. برای شناسایی این نوارها الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد. الگوریتم مورد نظر ما در این تحقیق به صورت زیر می‌باشد [۱۴]:

این روش دارای دو مرحله است. مرحله اول شمارش میل درجه خاکستری پیکسل می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{i,k} = \frac{DN_{(i-1,j,k)} + DN_{(i+1,j,k)} - 2 \cdot DN_{(i,j,k)}}{|DN_{(i+1,j,k)} - DN_{(i-1,j,k)}|} \quad (1)$$

که در آن S میل درجه خاکستری و DN درجه خاکستری در ستون i سطر j و باند k می‌باشد.

پارامتر S به منظور این که آیا پیکسل مورد نظر در مقایسه با دو پیکسل مجاور، یک پیکسل غیرعادی است یا خیر استفاده می‌شود. اگر مقدار S بعد از محاسبه کم باشد نشان دهنده آن است که پیکسل مورد نظر یک پیکسل عادی است و تغییر درجه خاکستری نرم بوده است. بنابراین لازم است تا یک حد آستانه برای آن در نظر

۲-۲-۲- روش‌های تشخیص هدف

در این بخش به بررسی الگوریتم‌های مختلف که جهت شناسایی و برآورد نسبت سهم هدف در پیکسل می‌پردازیم که در نهایت از این روش‌ها در این تحقیق استفاده خواهد شد. این الگوریتم‌ها شامل: CEM، MF، MTMF، ACE، OSP، TCIMF، MTTCIMF می‌باشند (این روش‌ها به

تخمینی از فراوانی هدف ما را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه حضور این مواد در یک پیکسل بیش‌تر باشد، مقدار مربوط به آن پیکسل نیز بیش‌تر بوده و در تصویر سفیدتر دیده می‌شود. این تصاویر از طریق تعیین یک مقدار مرزی مناسب، تبدیل به یک نقشه طبقه‌بندی باینری می‌شوند [۱۵].

الگوریتم OSP در اصل برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده است و ویژگی‌های مدل مختلط را در تجزیه کردن تارگت مورد نظر استفاده می‌کند. همچنین این الگوریتم به اطلاعات و دانش اولیه کامل از تمام تارگت‌ها برای انجام طبقه‌بندی نیاز دارد [۱۵].

الگوریتم CEM بر خلاف روش OSP که به مدل اختلاط خطی و اطلاعات و دانش اولیه کامل از تمام تارگت‌ها نیاز دارد، تنها نیاز به اطلاعات و دانش از تارگت مورد نظر دارد و از ماتریس همبستگی نمونه برای کمینه کردن اثرات مخرب و مزاحم که از منابع سیگنال ناشناخته بوجود می‌آیند استفاده می‌کند [۱۵]، [۱۶].

الگوریتم MF برای یافتن فراوانی اعضای خالص از جداسازی جزئی استفاده می‌کند. این روش واکنش و پاسخ اعضای خالص معلوم و شناخته شده را بالاتر می‌برد و اثر ترکیبات ناشناخته پس‌زمینه‌ها را حذف می‌کند سپس امضای طیفی معلوم را مطابقت می‌دهد. در این روش مواد خالص بر مبنای تطابق آن‌ها با کتابخانه طیفی یا طیف اعضای خالص شناسایی می‌شوند و به دانش در مورد همه اعضای خالص موجود در صحنه تصویر برداری نیاز ندارد [۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹].

الگوریتم MTMF ترکیبی از بهترین قسمت‌های مدل ترکیب طیفی خطی و مدل فیلتر انطباقی آماری است، در حالیکه اشکالات مربوط به هر کدام را در خود ندارد. در این الگوریتم از توانایی الگوریتم MF در برآورد سیگنال شناخته شده هدف بدون داشتن اطلاعاتی در مورد مشخصه‌های طیفی دیگر اعضای خالص تصویر استفاده شده است که برخلاف مدل‌های مرسوم ترکیب طیفی، نیاز به دانش اولیه در مورد همه اعضای خالص تصویر ندارد. همچنین در این الگوریتم، از مدل ترکیب طیفی، قیدهای مربوط به امکان پذیر بودن جواب‌ها شامل Unit-sum و

مثبت بودن جواب‌ها استفاده می‌شود. در خصوص الگوریتم MTMF یک تصویر امتیاز عدم امکان‌پذیری^۱ نیز بوجود می‌آید که هرچه مقادیر هر پیکسل آن بالاتر باشد به معنای عدم امکان وجود ماده مورد نظر در آن پیکسل می‌باشد [۱۵]، [۲۰].

یکی از روش‌های طراحی سیستماتیک الگوریتم‌های شناسایی هدف استفاده از آشکارسازهای مبتنی بر آزمون نسبت شباهت می‌باشد. این شیوه درحالی‌که ریسک تصمیم‌های نادرست را کمینه می‌کند باعث بیشینه شدن جداسازی بین هدف و پس‌زمینه می‌شود. الگوریتم ACE مستقل از مقیاس نسبی طیف‌های ورودی است و یک نرخ ثابت False Alarm دارد. این کار از طریق یک سیستم پردازشگر CFAR^۲ انجام می‌شود. این سیستم حد آستانه-های آشکارسازی را به گونه‌ای قرار می‌دهد که اثرات نویز و تغییرات پس‌زمینه را کاهش دهد و آشکارسازی را با یک نرخ ثابت False Alarm انجام دهد. الگوریتم ACE همانند الگوریتم‌های MF و CEM به اطلاعات در مورد همه اعضای خالص موجود در صحنه تصویربرداری نیاز ندارد [۱۵]، [۱۹].

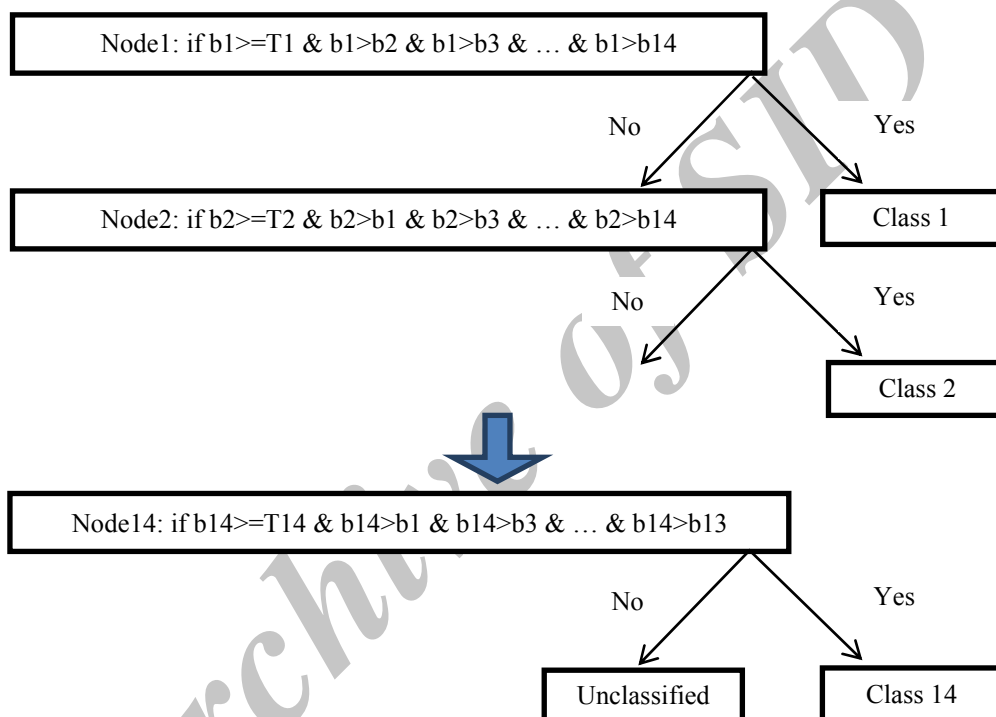
هنگامی که طیف تمام اجزای پس‌زمینه موجود باشند، الگوریتم TCIMF را می‌توان روش توسعه یافته شده‌ای از الگوریتم CEM دانست. این الگوریتم به منظور تشخیص تارگت‌های دلخواه، از بین بردن اجزای پس‌زمینه و کاهش دادن اثر اختلالات در یک عملیات، طراحی شده است. این الگوریتم پاسخ اعضای پس‌زمینه را بجای کاهش انرژی آن‌ها شبیه دیگر اختلالات در CEM از بین می‌برد. این الگوریتم به طیف اعضای پس‌زمینه به منظور طبقه‌بندی نیاز دارد [۱۵].

الگوریتم MTTCIMF ترکیبی از دو روش MTMF و TCIMF می‌باشد. الگوریتم MTTCIMF روش TCIMF را به کار گرفته و یک باند عدم امکان‌پذیری را به نتایج اضافه می‌کند. تصویر عدم امکان‌پذیری برای کاهش تعداد خطایی که معمولاً با استفاده از الگوریتم TCIMF به صورت تنها مشاهده می‌شود استفاده شده است. MTTCIMF تصویر را پس از تبدیل MNF به کار می‌برد. خروجی این الگوریتم شامل یکسری تصاویر TCIMF

^۱ Infeasibility

^۲ Constant False Alarm Rate

مجزا بدست می‌آید، با استفاده از درخت تصمیم‌گیری، شروط و حد آستانه‌هایی را به منظور رسیدن به یک تصویر طبقه‌بندی شده برای هر الگوریتم اعمال خواهیم کرد. برای رسیدن به یک تصویر طبقه‌بندی شده از هر کلاس در هر الگوریتم، مقدار پیکسل در تصویر مربوط به یک کلاس، باید از مقدار همان پیکسل در سایر تصاویر مربوط به کلاس‌های دیگر بیشتر باشد، در غیر اینصورت آن پیکسل به عنوان یک پیکسل طبقه‌بندی نشده شناخته خواهد شد. شکل (۴) درخت تصمیم‌گیری مورد استفاده در این تحقیق را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- درخت تصمیم‌گیری مورد استفاده در این تحقیق با اعمال ۱۴ حد آستانه (T1 تا T14)

رابطه آنها با پیکسل‌های همسایه می‌باشد که این امر باعث ایجاد خطای فلفل و نمک در تصاویر می‌شود. بنابراین استفاده از روشی جهت تلفیق نتایج چندین طبقه‌بندی-کننده و پیکسل‌های اطراف باعث افزایش دقت طبقه‌بندی و کاهش خطای فلفل و نمک خواهد شد. در این تحقیق از روش پس‌پردازش، که توسط مقصودی [۲۱] برای پردازش تصاویر رادار ارائه شد، استفاده می‌شود. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن اطلاعات طبقه‌بندی کننده‌ها برای یک پیکسل، اطلاعات همسایگی آن پیکسل نیز در نظر گرفته می‌شود. برای تلفیق اطلاعات طبقه‌بندی کننده‌ها از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

score و یک مجموعه از تصاویر شامل مقادیر عدم امکان پذیری برای هر پیکسل می‌باشد. پیکسل‌های درست تشخیص داده شده دارای مقادیر بالای TCIMF score و مقادیر پایین عدم امکان پذیری می‌باشند [۱۵].

۳-۲-۲- اعمال شروط و حد آستانه با استفاده از درخت تصمیم‌گیری^۱

پس از بدست آمدن خروجی الگوریتم‌ها که در حقیقت مشخص کننده درصد وجود اهداف در هر پیکسل می‌باشند و به ازای هر الگوریتم، برای هر کلاس یک خروجی

۳-۲-۲- روش تلفیق اطلاعات تمام روش‌های تشخیص هدف

بر این باور هستیم که روش‌های تشخیص هدف دارای اطلاعات متفاوت و مختلف هستند که تلفیق این اطلاعات می‌تواند باعث افزایش دقت طبقه‌بندی شود. علاوه بر این یکی از مشکلات روش‌های طبقه‌بندی در سطح پیکسل (که در این تحقیق از روش‌های تشخیص هدف استفاده شده است) طبقه‌بندی پیکسل‌ها بدون در نظر گرفتن

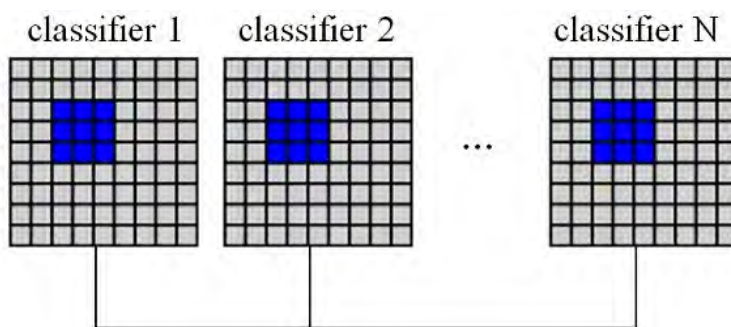
^۱ Decision tree

می‌یابد. $p(x_{lj}|w_i)$ احتمال تعلق پیکسل x_{lj} به کلاس w_i می‌باشد که از فراوانی کلاس‌ها در آن پنجره محاسبه می‌شود. M تعداد کلاس‌ها و n تعداد همسایه‌ها می‌باشد. طبق رابطه (۳) کلاسی که بیشترین مقدار را داشته باشد به پیکسل مرکزی اختصاص می‌یابد. در شکل (۵) فرآیندی که این روش روی تصاویر طبقه‌بندی شده انجام می‌دهد، مشاهده می‌شود.

$$\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^n w(l)p(x_{lj}|w_i) \quad (3)$$

$$= \max_{k=1:M} \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^n w(l)p(x_{lj}|w_k)$$

همان‌طور که در رابطه فوق مشاهده می‌شود از یک پنجره حول پیکسل مرکزی برای پس‌پردازش استفاده می‌شود. ابتدا برای هر پیکسل در پنجره یک وزن $w(l)$ تعریف می‌شود، این وزن با فاصله از مرکز پنجره کاهش



spatially consistent combination rule

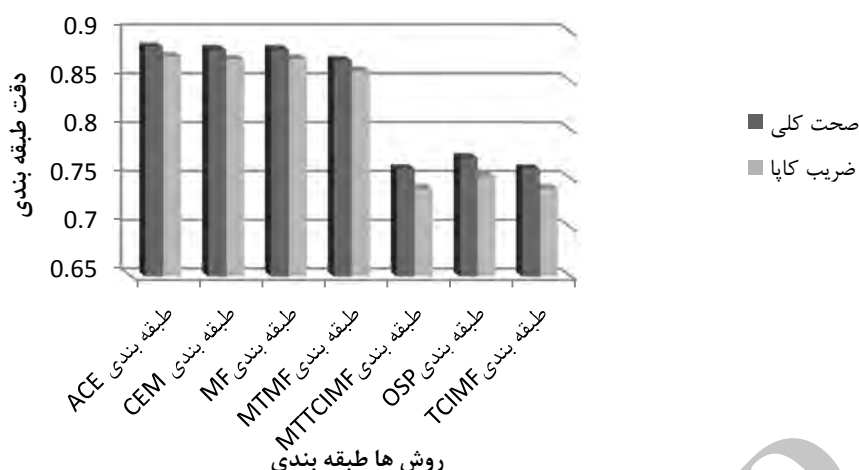
$$\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^n w(l) p(x_{lj}|w_i) = \max_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^n w(l) p(x_{lj}|w_k)$$

شکل ۵- فرآیند تلفیق نتایج چندین طبقه‌بندی‌کننده با استفاده از روش مقصودی [۲۱]

نتایج ارزیابی دقت کلی روش‌های تشخیص هدف برای الگوریتم‌های ACE، CEM، MF، MTMF، MTTCIMF، OSP و TCIMF پس از اعمال حد آستانه‌ها در روش درخت تصمیم‌گیری به ترتیب برابر 0.88 ، 0.88 ، 0.87 ، 0.76 و 0.77 محاسبه گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود برخی از روش‌ها دارای دقتی بالاتر هستند. در برخی از تحقیقات که در زمینه تشخیص هدف انجام شده‌اند برتری برخی از روش‌ها نسبت به روش‌های دیگر را به دلیل برتری خود الگوریتم ندانسته‌اند [۷، ۱۱، ۱۵، ۲۲]. دقت روش‌های تشخیص هدف وابسته به مواد معدنی منطقه، منطقه مورد مطالعه، تعداد نمونه‌های آموزشی، مشخصه طیفی اهداف و ... می‌باشد [۷]. بنابراین نتیجه می‌شود که روش‌های ACE، CEM، MF و MTMF دارای بیشترین دقت در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. به صورت کلی دقت روش‌های تشخیص هدف در منطقه مورد مطالعه با توجه به دقت کلی و ضریب کاپا مناسب ارزیابی می‌شود.

۳- پیاده‌سازی و بحث

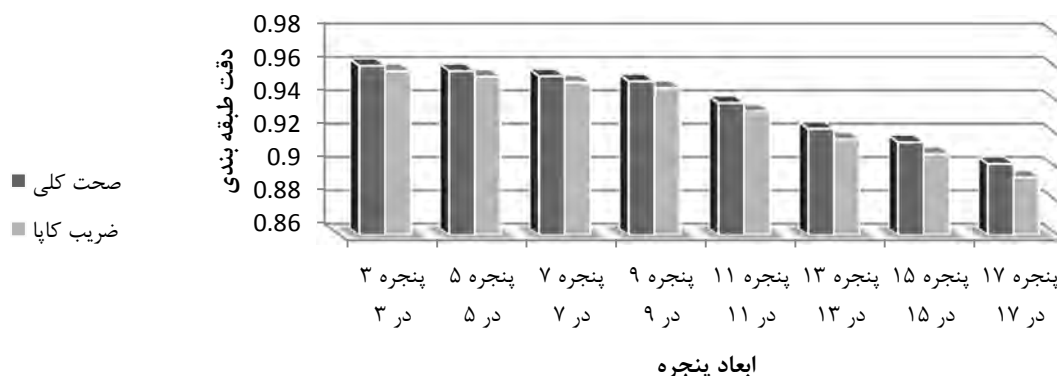
برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی، ابتدا نوارهای بد تصویر منطقه مطالعاتی در نرم افزار ENVI 5 حذف گردید. پس از اعمال پیش‌پردازش بر روی تصویر منطقه مطالعاتی الگوریتم‌های تشخیص هدف MTMF، MF، CEM، ACE، OSP، TCIMF و MTTCIMF بر روی آن اعمال شد. خروجی این روش‌ها برای هر روش تعدادی باند هدف به تعداد کلاس‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد که این باندها وارد یک طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری شدند. برای طبقه‌بندی باندهای هدف در روش درخت تصمیم‌گیری نیاز به تعدادی حد آستانه می‌باشد. این حد آستانه‌ها به صورت سعی و خطا تعیین گردید. نتایج حاصل از درخت تصمیم‌گیری برای هر یک از الگوریتم‌های تشخیص هدف با استفاده از داده‌های ارزیابی مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل (۶) میزان دقت کلی و ضریب کاپای هر یک از این روش‌ها را مشاهده می‌نمایید.



شکل ۶- ضریب کاپا و صحت کلی انواع روش های تشخیص هدف

که تلفیقی از تمام روش های ارزیابی می باشد، محاسبه گردید. شکل (۷) میزان دقت کلی و ضریب کاپا حاصل از تلفیق روش های تشخیص هدف در پنجره با ابعاد مختلف را نمایش می دهد.

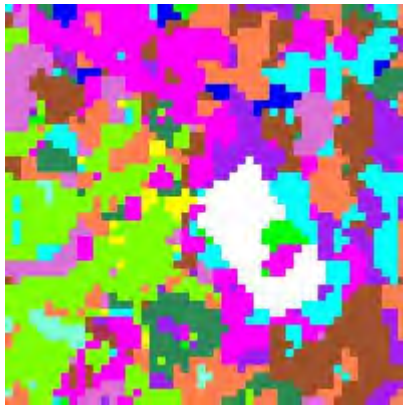
در مرحله بعد روش پیشنهادی، اطلاعات طبقه بندی شده هریک از روش های تشخیص هدف با استفاده از روش پیشنهاد شده با کد نویسی در نرم افزار MATLAB 2010 تلفیق گردید. در نهایت دقت نهایی تصویر طبقه بندی شده



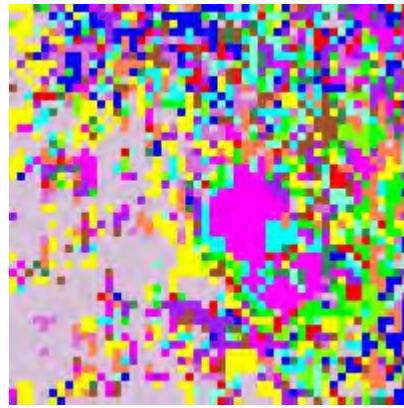
شکل ۷- ضریب کاپا و صحت کلی برای تصاویر تلفیق شده با روش پیشنهادی با ابعاد پنجره مختلف

تلفیق اطلاعات در ابعاد پنجره ۳ بوده است که دقت کلی بهترین روش تشخیص هدف را حدود ۸ درصد افزایش داده است. نکته قابل توجه کاهش دقت کلی با افزایش ابعاد پنجره می باشد. این موضوع به علت نزدیکی کلاس ها در منطقه مطالعاتی می باشد، به عبارت دیگر افزایش ابعاد پنجره باعث خطا در پیکسل های موجود در مرز کلاس ها می شود. در شکل (۸) قسمتی از تصویر طبقه بندی شده به روش پیشنهادی با ابعاد پنجره ۳*۳ به منظور مقایسه بصری با تصویر طبقه بندی شده به روش ACE آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود تغییر کلاس ها در تصویر طبقه بندی شده به روش ACE بسیار فاحش می باشد.

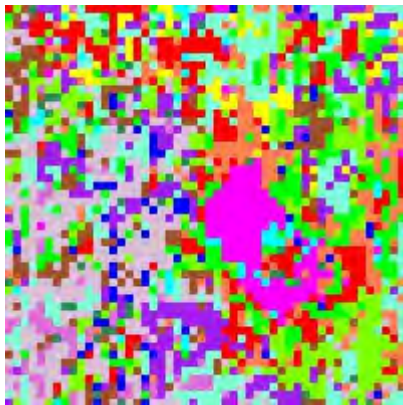
همان طور که مشاهده می شود دقت روش های تشخیص هدف در این تحقیق متفاوت بود. بر این باور هستیم که هریک از روش های تشخیص هدف دارای اطلاعات متفاوت می باشند. برای این که از تمامی اطلاعات استفاده شود یک روش تلفیق اطلاعات روش های تشخیص هدف ارائه شد. تلفیق اطلاعات در ابعاد مختلف پنجره انجام شد. پس از تلفیق اطلاعات، دقت کلی برای تصویر نهایی برای ابعاد پنجره ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷ به ترتیب برابر ۹۶/۱۶٪، ۹۵/۸۵٪، ۹۵/۵۴٪، ۹۵/۲۳٪، ۹۳/۹۳٪، ۹۲/۳۸٪، ۹۱/۵۷٪ و ۹۰/۲۷٪ بود. همان طور که مشاهده می شود دقت تمام روش های تشخیص هدف افزایش یافته است. بهترین دقت در



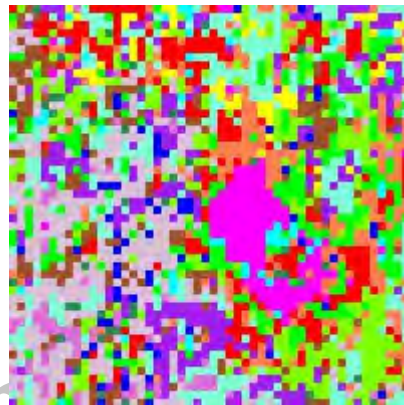
تلفیق الگوریتم‌ها با پنجره ۳*۳



الگوریتم ACE



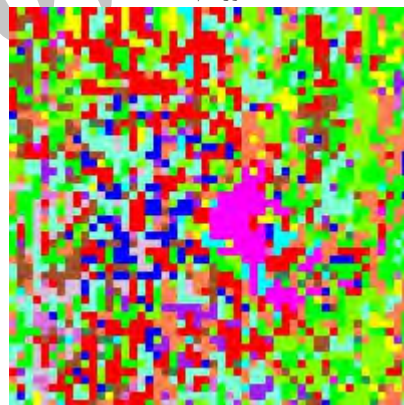
الگوریتم CEM



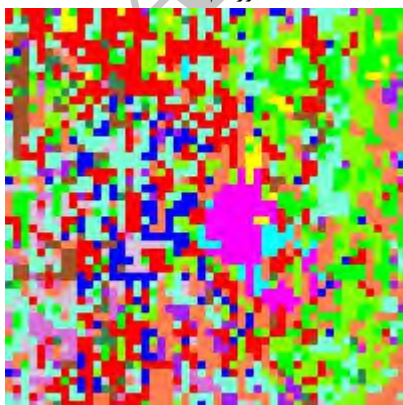
الگوریتم MF



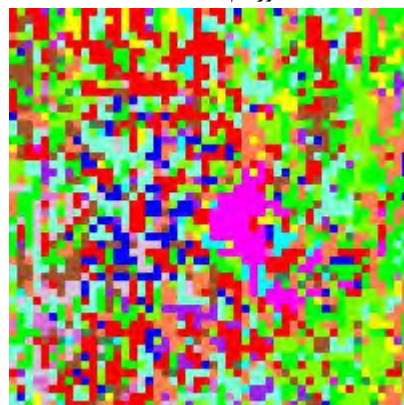
الگوریتم MTMF



الگوریتم MTTClMF



الگوریتم OSP



الگوریتم TCIMF

شکل ۸- نمایش قسمتی از تصویر طبقه‌بندی شده به روش پیشنهادی با ابعاد پنجره ۳*۳ و تصاویر طبقه‌بندی شده به روش‌های تشخیص هدف

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه، تعداد نمونه‌های آموزشی، مشخصه طیفی اهداف و ... وابسته است. با استناد بر دقت طبقه‌بندی روش تلفیق، دقت طبقه‌بندی روش تلفیق نسبت به دقت روش‌های تشخیص هدف بهبود چشم‌گیری داشته است. یکی از نتایج این تحقیق، تاثیر نوع منطقه و مساحت کلاس‌ها بر روی ابعاد پنجره تلفیق بود به طوری‌که لزوماً افزایش ابعاد پنجره باعث افزایش دقت تلفیق نخواهد شد. در این تحقیق بهترین دقت در پنجره 3×3 برای تلفیق روش‌های تشخیص هدف حاصل شد.

با توجه به اینکه تصویری از کشور مطابق منطقه Bostwana در دست نبود، نتوانستیم روش را در منطقه‌ای از ایران آزمایش نماییم، بنابراین پیشنهاد می‌شود این روش در یک منطقه با پوشش متنوع و مناسب آزمایش گردد. پیشنهاد می‌شود از روش‌های دیگر تشخیص هدف نظیر Kelly، LMM، GML و ... در تحقیقات آینده استفاده شود. به دلیل کارایی مناسب روش تلفیق طبقه‌بندی کننده‌ها در این تحقیق، از این روش در تحقیقات آینده استفاده شود. در این تحقیق از طیف کلاس‌ها در تصویر هایپریون استفاده شد، می‌توان طیف کلاس‌ها را از طیف‌سنجی میدانی بدست آورد و از آن‌ها استفاده کرد که در این صورت توصیه می‌شود برخی ملاحظات نظیر تصحیح اتمسفری، همزمانی اطلاعات و ... در نظر گرفته شوند.

در این تحقیق روش‌های تشخیص هدف برای طبقه‌بندی انواع گونه‌های گیاهی در تصاویر ابرطیفی مورد استفاده قرار گرفت. در روش پیشنهادی ابتدا تصویر منطقه مورد پیش پردازش قرار گرفت. سپس تصویر پیش پردازش شده وارد انواع روش‌های تشخیص هدف شد. نتیجه روش‌های تشخیص هدف، تعدادی باند به اندازه کلاس‌های می‌باشد که هر باند مختص به یک کلاس است. باندهای روش‌های تشخیص هدف وارد روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری شدند. نتیجه این بخش کلاس‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت نتایج روش‌های تشخیص هدف با استفاده از روش تلفیق پیشنهادی ادغام شدند و نتایج نهایی حاصل گردید.

در این مطالعه از روش درخت تصمیم‌گیری برای طبقه‌بندی باندهای هدف استفاده شده است. روش درخت تصمیم‌گیری برای طبقه‌بندی تصویر نیازمند حد آستانه‌هایی است که در این تحقیق به صورت سعی و خطا انتخاب شده است. انتخاب حد آستانه مناسب در روش درخت تصمیم‌گیری حائز اهمیت است. به عبارت دیگر حد آستانه‌های نامناسب باعث کاهش دقت طبقه‌بندی خواهد شد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از روش‌های اتوماتیک برای انتخاب حد آستانه استفاده شود. دقت انواع روش‌های تشخیص هدف در این تحقیق متفاوت بود که به عواملی نظیر وابسته به مواد معدنی منطقه، منطقه مورد

مراجع

- [1] A. Sofyanian and L. Karami, "Land-Use Mapping Using Fuzzy Classification," Amayesh sare zamin (Land Use Planning), pp. 95-114, 2011.
- [2] N. Kakhani, "Integration of Neural Network and Fuzzy System to Improve Classification Methods in Hyperspectral Imagery," Faculty of Geodesy and Geomatics K.N.Toosi University of Technology, MS.c thesis, 2012.
- [3] G. A. Shaw and H.-h. K. Burke, "Spectral imaging for remote sensing," Lincoln Laboratory Journal, vol. 14, pp. 3-28, 2003.
- [4] G. Jun and J. Ghosh, "Spatially adaptive classification of hyperspectral data with gaussian processes," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009, 2009, pp. II-290-II-293.
- [5] B. Demir and S. Erturk, "Clustering-based extraction of border training patterns for accurate SVM classification of hyperspectral images," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, vol. 6, pp. 840-844, 2009.

- [6] T. V. Bandos, L. Bruzzone, and G. Camps-Valls, "Classification of hyperspectral images with regularized linear discriminant analysis," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 47, pp. 862-873, 2009.
- [7] S. Negahbani, "Target Detection in Hyperspectral Images with Emphasis on Minerals," Degree of MS.c, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, MS.c thesis, 2006.
- [8] A. M. Rad, "Developing of Mixed Pixel Classification Algorithms with Supervised Method in Hyperspectral Images," Degree of MS.c, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, MS.c thesis, 2008.
- [9] H. Fahimnejad, "Evaluation of crop types classification by remote sensing data(Hyperion hyperspectral sensor)," MS.c thesis, K.N.Toosi University of Technology, MS.c thesis, 2008.
- [10] A. Mehrabi, "Assessment the Potential of Remote Sensing Technique in Detection and Surface Estimation of industrial mineral," Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, MS.c thesis, 2012.
- [11] S. A. Sayedain, "Exploration of Oil Seepages (Hydrocarbon) Using Target Detection Algorithms in Hyperspectral Images," Degree of MS.c, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, MS.c thesis, 2013.
- [12] S. A. Sayedain, M. j. V. zouj, Y. Maghsoudi, and A. Ghafouri, "Exploration of Oil Seepages in Remote Sensing Images," presented at the Geomatics Conference, Tehran, Iran, 2014.
- [13] J. Ham, Y. Chen, M. M. Crawford, and J. Ghosh, "Investigation of the random forest framework for classification of hyperspectral data," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 43, pp. 492-501, 2005.
- [14] H. Li, D. Zhang, Y. Zhang, and Y. Xu, "Research of image preprocessing methods for EO-1 Hyperion hyperspectral data in tidal flat area," in *Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment: Classification of Remote Sensing Images*, 2008, pp. 71471G-71471G-8.
- [15] X. Jin, S. Paswaters, and H. Cline, "A comparative study of target detection algorithms for hyperspectral imagery," in *SPIE Defense, Security, and Sensing*, 2009, pp. 7334W-7334W-12.
- [16] C.-I. Chang, *Hyperspectral data exploitation: theory and applications*: John Wiley & Sons, 2007.
- [17] J. W. Boardman, F. A. Kruse, and R. O. Green, "Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data," 1995.
- [18] J. C. Harsanyi and C.-I. Chang, "Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: an orthogonal subspace projection approach," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 32, pp. 779-785, 1994.
- [19] D. Manolakis, D. Marden, and G. A. Shaw, "Hyperspectral image processing for automatic target detection applications," *Lincoln Laboratory Journal*, vol. 14, pp. 79-116, 2003.
- [20] J. W. Boardman, "Automating spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts," in *Summaries 4th Annu. JPL Airborne Geoscience Workshop*, 1993, pp. 11-14.
- [21] Y. Maghsoudi, "Analysis of Radarsat-2 Full Polarimetric Data for Forest Mapping," Degree of PhD, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, 2011.
- [22] H. Karimi, "Evaluation of spectral analysis techniques of remote sensing data, to define alterations and prospective targets for metallic mineral resources," Degree of MS.c, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tarbiat Moddares, MS.c thesis, 2012.