

تلفیق روش‌های آشکارسازی طیفی - مکانی تصاویر فراطیفی به منظور تفکیک بهتر بام‌های دارای پوشش خاص در مناطق شهری

داود اکبری^{۱*}، عبدالرضا صفری^۲، سعید همایونی^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور - گروه مهندسی نقشه برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
davoodakbari@ut.ac.ir

^۲ دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
asafari@ut.ac.ir

^۳ استادیار گروه جغرافیا- دانشگاه اوتاوا- کانادا
saeid.homayouni@uottawa.ca

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۱، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۳)

چکیده

ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های داده‌های حاصل از سنجنده‌های فراطیفی باعث شده است که روش‌های نوین و پیشرفته‌تر آنالیز تصاویر سنجش از دور به منظور استخراج اطلاعات دقیق‌تر و کامل‌تر از داده‌های فراطیفی مورد توجه قرار گیرند، یکی از آنالیزهایی که بر روی تصاویر فراطیفی انجام می‌شود، آشکارسازی هدف است. روش‌های آشکارسازی هدف در تصاویر فراطیفی، معمولاً بر اساس ویژگی‌ها و اطلاعات طیفی صورت می‌گیرد. در این پژوهش برای بهبود دقت آشکارسازی طیفی ساختمان‌هایی با پوشش خاص در مناطق شهری، دو استراتژی ترکیب الگوریتم‌های آشکارسازی به کمک روش (ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System و آشکارسازی طیفی- مکانی بکار گرفته شد. در آزمون‌های صورت گرفته بر روی دو تصویر فراطیفی مختلف، ابتدا شش الگوریتم آشکارسازی (SAM (Spectral Angle Measure)، SCS (Spectral Correlation Similarity)، SID (Spectral Information Divergence)، JMD (Jeffries-Matusita Distance)، CEM (Constrained Energy Minimizing) و CMFM (Covariance-based Matched Filter Measure) پیاده‌سازی گشته سپس با استفاده از روش ANFIS و به صورت یکجا، نتایج آشکارسازی با هم ترکیب گردید. سپس تاثیر داده‌های وابستگی مکانی پیکسل-ها، در کنار داده‌های طیفی آنها، روی شش الگوریتم آشکارسازی طیفی بررسی گردید و عمل ترکیب الگوریتم‌ها در این حالت نیز تکرار شد. نتایج ارزیابی‌های کمی و کیفی آزمون‌ها بر روی دو تصویر فراطیفی نشان داد که استفاده از دو استراتژی فوق به صورت همزمان مقدار ضریب کاپا را به میزان ۶/۳ درصد برای تصویر اول و ۹/۶ درصد برای تصویر دوم در مقایسه با الگوریتم آشکارسازی SAM بهبود داده است.

واژگان کلیدی: تصاویر فراطیفی، آشکارسازی هدف، آشکارسازی طیفی و مکانی، ادغام اطلاعات

۱- مقدمه

فن آوری سنجش از دور فراطیفی، در دو دهه گذشته شاهد پیشرفت چشمگیری بوده است. این پیشرفت در طراحی و ساخت سنجنده‌ها و همچنین در توسعه و پیاده‌سازی روشهای پردازش داده، بسیار مشهود بوده است [۱]. به دلیل حساسیت بالای سنجنده‌های فراطیفی، معمولاً سیگنال‌های ناشناخته زیادی در تصاویر ثبت می‌شوند که هیچگونه اطلاعات قبلی درباره آنها وجود ندارد [۲]. هر چند، توانایی تولید داده‌هایی با خصوصیات طیفی، مکانی و رادیومتریکی بالا، منجر به تجزیه و تحلیل بهتر و شناسایی موفقیت‌آمیز اهداف زمینی می‌شود، ولی مشکلاتی نیز پدید می‌آید که در مقایسه با داده‌های چندطیفی تجربه جدیدی است. اولین مشکل حجم نسبتاً زیاد این داده‌ها است، این حجم قابل توجه از داده، نیاز به سخت‌افزار و نرم‌افزارهای ویژه‌ای جهت پردازش دارد. زمان مورد نیاز برای پردازش این نوع داده‌ها، از مشکلات دیگر پیش رو است [۳].

روشهایی که در پردازش داده‌های فراطیفی استفاده می‌شوند، همگی جزء گروه‌های مختلف روشهای شناسایی الگو^۱ قرار می‌گیرند. بر این اساس و با توجه به سطح دانش به کار رفته، به روشهایی چون کشف، طبقه‌بندی، شناسایی و تفکیک اشیاء می‌توان اشاره کرد. فضاهای بازنمایی این داده‌ها برای محاسبات عبارتند از فضای تصویر، فضای طیفی و فضای ویژگی. در این رابطه بسته به اینکه از کدام فضای محاسباتی استفاده شود، الگوریتم‌های مختلف محاسباتی جهت استخراج اطلاعات از این داده‌ها به کار گرفته می‌شود [۲].

همانطور که اشاره گردید، یکی از آنالیزهایی که بر روی تصاویر فراطیفی انجام می‌گیرد، آشکارسازی طیفی هدف است. در این تحقیق به آشکارسازی ساختمان‌هایی با پوشش خاص به عنوان هدف، در یک محیط شهری پرداخته شده است. از آنجائیکه یک محیط شهری دارای ویژگی‌های پیچیده‌ای از نظر فیزیکی، هندسی و عناصر به کار گرفته شده در ساختمانهاست، داده‌های فراطیفی کمک موثری به شناسایی، استخراج و تولید نقشه از عناصر سازنده یک محیط شهری می‌کنند [۴]. شناسایی ساختمانها در محیط‌های شهری، اهمیت زیادی در

کاربردهای گوناگون، چون ارتباطات تلفن‌های همراه، واقعیت مجازی، معماری و مدلسازی شهری، برنامه‌ریزی و مدیریت شهرها دارد [۵].

در خصوص آشکارسازی طیفی هدف از دو دهه اخیر تاکنون تحقیقات مستمر و متعددی صورت پذیرفته است. Chang در سال ۲۰۰۳ میلادی روش‌های فاصله Mahalanobis و فیلتر انطباقی را به عنوان روشهای آشکارسازی آنامولی مطرح کرد و آنها را بر روی تصاویر فراطیفی AVIRIS پیاده‌سازی نمود [۲]، نکته حائز اهمیت این است که روش‌های مطرح شده بر اساس خصوصیات ماتریس‌های کواریانس و کورولیشن بوده و در سطح زیرپیکسل به آشکارسازی می‌پردازند، نتایج بدست آمده در این تحقیق حاکی از دقت بیشتر این روش‌ها نسبت به الگوریتم‌های در سطح پیکسل می‌باشد. در همین سال Bakker با استفاده از تکنیک فیلتر لبه و الگوریتم‌های فاصله و زاویه طیفی به آشکارسازی لبه‌ها بر روی تصویر فراطیفی HYMAP پرداخت [۶]. همایونی و Roux در سال ۲۰۰۳ میلادی سه روش آشکارسازی طیفی زاویه، همبستگی و کمینه‌سازی مقید انرژی را مورد ارزیابی قرار دادند [۳]. نتایج بدست آمده حاکی از موفقیت نسبی روش کمینه‌سازی مقید انرژی نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۴ میلادی توسط Du و Chang بر روی تصویر AVIRIS و با استفاده از الگوریتم‌های زاویه طیفی و دیورژانس اطلاعات طیفی و همچنین ترکیب آنها جهت آشکارسازی طیفی انجام گرفت [۷]. در سال ۲۰۰۶ میلادی نگهبانی در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود بر اساس اهداف full-pixel و sub-pixel به بررسی بعضی از الگوریتم‌های آشکارسازی هدف پرداخت، وی الگوریتم‌های خود را بر روی تصاویر بدست آمده توسط سنجنده Hymap از منطقه Cuprite در NEVADA جهت آشکارسازی مواد معدنی پیاده‌سازی نمود و از منحنی‌های ROC به منظور ارزیابی عملکرد آشکارسازها استفاده کرد. آفری و امامی در سال ۲۰۰۷ میلادی با استفاده از روش‌های طبقه بندی مبتنی بر پیکسل شامل روش اندازه‌گیری زاویه طیفی و بیشترین شباهت و همچنین روش تجزیه طیفی (زیرپیکسل) به طبقه‌بندی تصویر AVIRIS مربوط به یک منطقه کشاورزی پرداختند [۸].

جدول ۱- الگوریتم‌های آشکارسازی طیفی [۲]

توضیحات	فرمول	نام کامل	الگوریتم
استفاده از ضرب داخلی و محاسبه زاویه طیفی بین دو بردار پیکسل	$SAM = \cos^{-1}(s_i \cdot s_j / \ s_i\ \ s_j\)$ $= \cos^{-1}(\sum_{l=1}^L s_{il} s_{jl} / [\sum_{l=1}^L s_{il}^2]^{1/2} [\sum_{l=1}^L s_{jl}^2]^{1/2})$ s_i و s_j منحنی طیفی مربوط به دو بردار پیکسل L تعداد باندهای تصویر	Spectral Angle Measure	SAM
استفاده از همبستگی پیرسون بین دو بردار پیکسل	$\rho = \frac{1}{n-1} \left(\frac{\sum_{l=1}^L (s_{il} - \mu_{s_i})(s_{jl} - \mu_{s_j})}{\sigma_{s_i} \sigma_{s_j}} \right)$ s_i و s_j منحنی طیفی مربوط به دو بردار پیکسل μ میانگین، σ انحراف معیار، L تعداد باندهای تصویر	Spectral Correlation Similarity	SCS
استفاده از اختلاف توزیع احتمال بدست آمده از منحنی‌های طیفی بین دو بردار پیکسل	$SID = \sum_{l=1}^L p_l \log(p_l / q_l) + \sum_{l=1}^L q_l \log(q_l / p_l)$ p_l و q_l احتمال مولفه طیفی s_{il} و s_{jl} مربوط به دو بردار پیکسل، L تعداد باندهای تصویر	Spectral Information Divergence	SID
استفاده از اختلاف توزیع احتمال بدست آمده از منحنی‌های طیفی بین دو بردار پیکسل	$JMD = \sqrt{\sum_{l=1}^L [\sqrt{p_l} - \sqrt{q_l}]^2}$ p_l و q_l احتمال مولفه طیفی s_{il} و s_{jl} مربوط به دو بردار پیکسل، L تعداد باندهای تصویر	Jeffries-Matusita Distance	JMD
استفاده از یک فیلتر به منظور شناسایی برداری با جهت خاص در بین بردارهای مختلف در فضا و مینیمم کردن اثر سایر بردارها بدون داشتن هیچ گونه اطلاعات راجع به آنها	$y_i = \sum_{l=1}^L w_l r_{il} = w^T r_i \cdot w = \frac{R_{L \times L}^{-1} d}{d^T R_{L \times L}^{-1} d}$ r مجموعه تصاویر ورودی، y تصویر نهایی w فیلتر، d بردار هدف، L تعداد باندهای تصویر R ماتریس خودهمبستگی تصاویر ورودی	Constrained Energy Minimizing	CEM
اندازه‌گیری میزان انطباق بین دو منحنی طیفی بعداز حذف میانگین کلی	$CMFM = (s_i - \mu)^T K_{L \times L}^{-1} (s_j - \mu)$ s_i و s_j منحنی طیفی مربوط به دو بردار پیکسل K ماتریس کواریانس، μ میانگین کلی L تعداد باندهای تصویر	Covariance-based Matched Filter Measure	CMFM

پایاده‌سازی شد. در بین الگوریتم‌های مطرح شده، شش الگوریتم اندازه‌گیری زاویه طیفی (SAM) و تشابه همبستگی طیفی (SCS) از دسته اندازه‌گیری‌های قطعی، دیورژانس اطلاعات طیفی (SID) و فاصله Jeffries-Matusita (JMD) از دسته اندازه‌گیری‌های آماری، کمینه-سازی مقید انرژی (CEM) و اندازه‌گیری فیلتر انطباقی مبتنی بر ماتریس کواریانس (CMFM) از دسته اندازه-گیری‌های زیرپیکسل به بهترین نتایج دست یافتند (جدول ۱).

در تمامی این تحقیقات، روشهای مختلف آشکارسازی طیفی هدف توسعه و مورد ارزیابی قرار گرفته است. مشکلی که در اینجا وجود دارد خطای قابل توجه در

در سال ۲۰۱۱ میلادی خزائی و همکاران به کمک روش‌های ماشین بردار پشتیبان به آشکارسازی آنامولی در تصاویر فراطیفی پرداختند [۹]. در تحقیق دیگری تحت عنوان "بررسی روشهای مختلف آشکارسازی تصویر فراطیفی" که توسط اکبری و همکاران صورت گرفت [۱۰]، چهارده الگوریتم آشکارسازی طیفی بر اساس خالص یا مختلط در نظر گرفتن پیکسل‌ها در قالب چهار دسته کلی روش‌های کلاسیک^۱، اندازه‌گیری‌های قطعی^۲، اندازه‌گیری‌های آماری^۳ و اندازه‌گیری‌های زیرپیکسلی^۴

^۱ Classic Method
^۲ Deterministic Measure
^۳ Stochastic measure
^۴ Sub-pixel measure

۲- مبانی تئوریک روش‌های پیشنهادی

در این بخش، ابتدا دو استراتژی پیشنهادی جهت بهبود نتایج آشکارسازی همراه با خصوصیات هریک تشریح می‌شود. سپس کلیات معیار مقایسه و ارزیابی نتایج که توسط ماتریس خطا و منحنی ROC^۱ بر مبنای داده‌های چک ایجاد شده است، تبیین می‌شود.

۲-۱- روش ANFIS جهت ترکیب نتایج آشکارسازی طیفی

روش ANFIS تلفیقی از روش‌های شبکه‌های عصبی و شبکه‌های فازی می‌باشد. این روش با استفاده از یک سری مجموعه داده ورودی و خروجی یک سیستم استنتاج فازی ایجاد کرده، که پارامترهای تابع عضویت آن با استفاده از الگوریتم Back-propagation به تنهایی یا با ترکیبی از روش کمترین مربعات و الگوریتم Back-propagation (روش ترکیبی) تصحیح می‌شود [۱۲]. در روش استنتاج فازی توابع عضویت، قوانین و عملگرهای مربوطه، دستی و به روش سعی و خطا و با کمک یک فرد خبره تنظیم می‌شوند، درحالی‌که در ANFIS به وسیله یک سری داده‌های آموزشی می‌توان به صورت کاملاً خودکار در یک فرآیند بهینه‌سازی، مقادیر بهینه پارامترهای توابع عضویت انتخابی را تعیین و قوانین مناسب را استخراج نمود، بطوریکه نتایج روش استنتاج فازی با داده‌های چک بیشترین انطباق را داشته باشند. روش ANFIS درواقع یک سیستم نوروفازی^۲ است که برای آگاهی بیشتر از مبانی آن توصیه می‌شود به [۱۳] مراجعه شود.

همانطور که بیان شد برای بهبود نتایج آشکارسازی می‌توان با استفاده از تئوری ادغام اطلاعات، ترکیبی از الگوریتم‌های مختلف را در نظر گرفت. بدین منظور به کمک نرم افزار Matlab شش نقشه خروجی بدست آمده از الگوریتم‌های آشکارسازی به صورت یکجا با یکدیگر ترکیب شده، سپس بر روی نقشه نهایی بدست آمده حد آستانه مناسب اعمال می‌گردد. لازم به ذکر است در پیاده‌سازی روش ANFIS، برای قابلیت انعطاف کافی،

آشکارسازی طیفی هدف بوده است که افراد مختلف سعی کرده‌اند با روش‌های آشکارسازی مختلف، این خطا را کاهش دهند. عواملی نظیر حجم بالای اطلاعات غیرمفید ناشی از نویز سنجنده و اتمسفر، وابستگی طیفی، شرایط ایجاد پیکسل‌های مختلط مانند هم‌پوشانی طیفی پدیده‌های زمینی و ناهمگن بودن اکثر پدیده‌ها، و در نتیجه افزایش واریانس داخلی هدف و همچنین در نظر نگرفتن وابستگی‌های مکانی پیکسل‌ها موجب افزایش خطای آشکارسازی در تصاویر فراطیفی خواهد شد [۱۱].

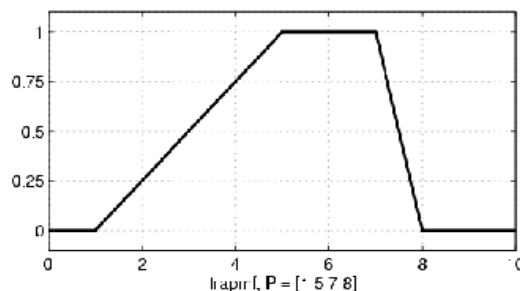
در این تحقیق سعی بر آن است که بتوان با ارائه راهکارهای جدید از میزان خطاهای موجود در آشکارسازی طیفی هدف کاسته شود. بدین منظور دو استراتژی گوناگون مطرح شده و ارزیابی آنها بر اساس شش الگوریتم SAM, SCS, SID, JMD, CEM و CMFM (جدول ۱) صورت گرفت. اولین استراتژی مربوط به ترکیب الگوریتم‌ها است. از آنجا که هر یک از الگوریتم‌های آشکارسازی دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود می‌باشند، از این‌رو جهت حفظ نقاط قوت و رفع نقاط ضعف آنها، شش الگوریتم مذکور به کمک روش ANFIS با یکدیگر ترکیب شده‌اند تا یک تصویر ترکیبی بهینه با بهترین دقت بدست آید. دومین استراتژی پیشنهادی شامل در نظر گرفتن وابستگی مکانی پیکسل‌ها می‌باشد. به کاربردن اطلاعات طیفی به تنهایی منجر به حصول نویز در تصویر آشکارسازی شده، می‌شود. به منظور رفع مشکل فوق، روش‌ها و تکنیک‌های زیادی مورد بررسی و پیاده‌سازی قرار گرفته‌اند. از آن جمله پردازش تصاویر با استفاده از اطلاعات مکانی حاصل از پیکسل‌های مجاور می‌باشد که تا حدودی به رفع این اشکالات کمک می‌نماید.

در ادامه، بخش دوم مقاله مروری بر دو استراتژی مطرح شده جهت بهبود آشکارسازی هدف پرداخته، سپس معیار مقایسه و ارزیابی نتایج تشریح می‌شود. در بخش سوم، آزمون‌های متعدد طراحی شده برای دو تصویر فراطیفی مورد نظر ارائه می‌شود. بخش چهارم نیز به بررسی و مقایسه نتایج پرداخته و نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای ادامه تحقیق را بیان می‌دارد.

^۱ Receiver Operating Characteristic

^۲ Neuro-Fuzzy

مشابه شکل ۱ از توابع عضویت دوزنقه‌ای شکل استفاده شده است.



شکل ۱- تابع عضویت دوزنقه ای

مطابق رابطه ۱، برای تعریف تابع عضویت دوزنقه‌ای چهار پارامتر a, b, c, d به صورت خودکار توسط سیستم تنظیم می‌شود.

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (1)$$

همچنین در این تحقیق برای هر متغیر ورودی دو تابع عضویت در نظر گرفته و از آن جایی که هدف، آشکارسازی ساختمان‌هایی با پوشش خاص می‌باشد، متغیر خروجی دارای دو حالت صفر و یک خواهد بود.

۲-۲- آشکارسازی طیفی - مکانی

تنوع اطلاعات قابل کسب توسط سنجنده‌های مختلف، بخصوص در مناطق پیچیده از نقطه نظر ساختاری و طیف رادیومتریکی، سبب کاهش بازدهی روش‌های معمول طبقه‌بندی تصویر شده و لزوم استفاده از تمامی ویژگی‌های یک هدف اعم از خصوصیات طیفی، مکانی، ساختاری، بافت و غیره را بیش از پیش روشن می‌سازد [۱۱]. لذا در آنالیزهای مورد نیاز به دلیل پیچیدگی‌های طیفی و ساختاری منطقه مورد نظر و قدرت تفکیک بسیار بالای تصویر، لزوم استفاده از توصیفگرهای بهینه متناظر با هر هدف، جهت آشکارسازی دقیق آن احساس می‌گردد. در این تحقیق با استفاده از پارامتر آماری میانگین، وابستگی مکانی بین پیکسل‌ها در نظر گرفته شده است. بدین منظور همسایگی 3×3 ای را برای هر پیکسل از تصویر در نظر گرفته، سپس پارامتر آماری

میانگین از روی هشت پیکسل همسایگی پیکسل مورد نظر تعیین می‌گردد. مقدار میانگین محاسبه شده از روی پیکسل‌های همسایگی در هر باند به عنوان اطلاعات مکانی آن پیکسل در نظر گرفته می‌شود. سپس شش الگوریتم آشکارسازی موجود بر روی تصویر جدید با دو برابر تعداد باندهای تصویر اولیه مورد آزمون قرار می‌گیرد و در نهایت نقشه‌های آشکارسازی بدست آمده به صورت یکجا و به کمک روش ANFIS ترکیب می‌گردد.

۲-۳- معیار ارزیابی نتایج آشکارسازی طیفی

جهت ارزیابی نتایج، بایستی نقشه واقعیت زمینی که در آن نواحی یا پیکسل‌های مربوط به هدف مشخص شده است تهیه گردد. سپس نتیجه آشکارسازی با آن مقایسه گشته و ماتریس خطا^۱ بدست می‌آید [۱۴]. در ماتریس خطا، خطای omission و commission برای هدف مربوطه تعیین شده سپس معیار ضریب کاپا (Kappa coefficient) استخراج می‌شود.

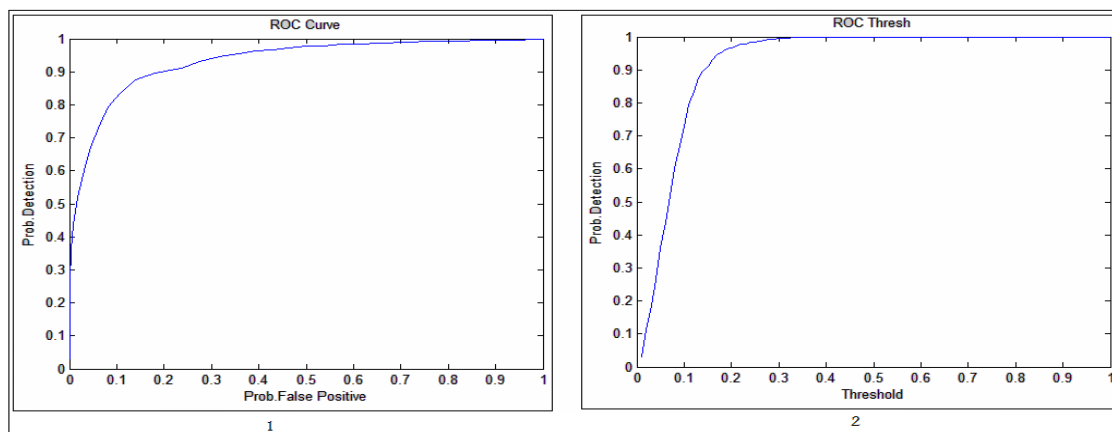
برای بررسی عملکرد الگوریتم‌ها و صحت تصمیم‌گیری آنها در آشکارسازی هدف، علاوه بر ماتریس خطا از منحنی ROC که فراوانی خطای آشکارسازی را روی داده‌های چک نشان می‌دهد استفاده شده است [۱۵]. این منحنی بر اساس مفاهیم احتمال توان آشکارسازی^۲ یا احتمال مثبت^۳ و احتمال تشخیص اشتباه^۴ ترسیم می‌شود. منحنی ROC نتایج آشکارسازی تصویر را برای حد آستانه‌های مختلف با اطلاعات واقعیت زمینی مقایسه می‌کند. در عمل تعدادی حدآستانه بین کمترین و بیشترین مقدار اطلاعات واقعی در نظر می‌گیرند، سپس برای هر حد آستانه می‌توان دو منحنی ROC در نظر گرفت، یک منحنی احتمال آشکارسازی در برابر احتمال تشخیص اشتباه و نیز یک منحنی احتمال آشکارسازی در برابر حدآستانه را نشان می‌دهد (شکل ۲). خروجی هر الگوریتم (تصویر سهم) را می‌توان با در نظر گرفتن مقداری برای احتمال تشخیص اشتباه و با انتخاب یک حدآستانه مناسب از طریق منحنی‌های ROC به تصویری باینری تبدیل کرد.

^۱ Confusion Matrix

^۲ Detection Power

^۳ Positive Probability

^۴ False Alarm Probability



شکل ۲- (۱) منحنی احتمال آشکارسازی در برابر احتمال تشخیص اشتباه (۲) منحنی احتمال آشکارسازی در برابر حد آستانه

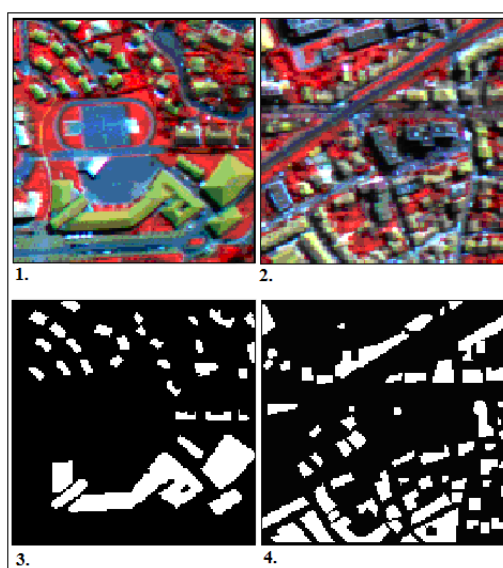
۳- آزمون‌های عملی

در این بخش ابتدا خصوصیات داده‌های مورد آزمون تشریح می‌شود. سپس با توجه به هدف تحقیق، فهرستی از آزمون‌های عملی تعیین شده و نتایج هر آزمون بصورت کیفی و کمی ارائه می‌شود.

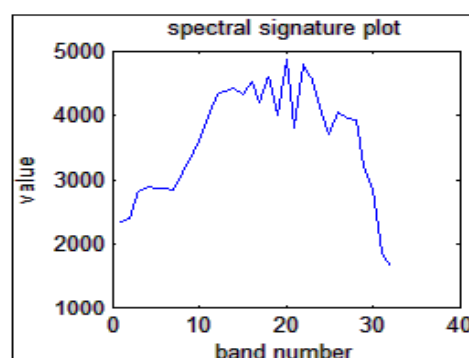
۳-۱- داده‌های مورد آزمون

برای انجام این تحقیق از داده‌های تصویری سنجنده CASI^۱ استفاده شده است. CASI یک سنجنده فراطیفی با قدرت تفکیک طیفی قابل انتخاب با حداکثر تعداد باند ۲۲۸ است که می‌توان بنا به نیاز کاربر این تعداد را تغییر داد. باندهای این تصاویر فراطیفی گستره طیفی ۰.۴ تا ۱ میکرومتر را پوشش می‌دهند. قدرت تفکیک مکانی سنجنده نیز به ارتفاع سکوی حامل، یعنی هواپیما بستگی داشته و از ۱ تا ۱۰ متر می‌تواند متغیر باشد.

تصاویر مورد پردازش در این تحقیق شامل دو تصویر فراطیفی با ۳۲ باند طیفی و قدرت تفکیک مکانی ۲ متر بوده که در دو زمان مختلف از منطقه شهری تولوز واقع در جنوب فرانسه برداشت شده است. از این تصاویر، مناطق مختلفی که شامل اهداف مورد نیاز برای شناسایی بود، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ ترکیب رنگی کاذب از دو تصویر، شامل ۱۲۸ در ۱۲۸ پیکسل را نشان می‌دهند. همانطوری که از این شکل‌ها مشخص است، تصویر دوم (شکل ۲-۳) نسبت به تصویر اول (شکل ۱-۳) از تراکم بیشتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۳- (۱) ترکیب رنگی تصویر اول ($R=0.914, G=0.620, B=0.451$ میکرومتر)، (۲) ترکیب رنگی تصویر دوم ($R=0.948, G=0.675, B=0.456$ میکرومتر) (۳) نقشه واقعیت زمینی تصویر اول (۴) نقشه واقعیت زمینی تصویر دوم



شکل ۴- منحنی طیفی مربوط به پشت‌بام ساختمان‌ها

برای ارزیابی کمی و محاسبه ماتریس خطا، با انجام تفسیر بصری دقیق و مشاهده طیف مواد مختلف، نقشه واقعیت زمینی منطقه حاوی پیکسل‌های متعلق به کلاس هدف یعنی بام‌های ساختمانی برای هر دو تصویر استخراج شد (شکل ۳-۳)

^۱ Compact Airborne Spectrographic Imager

و ۳-۴). نقشه واقعیت زمینی برای تصویر اول (شکل ۳-۱) به کمک تمامی باندهای تصویر و برای تصویر دوم (شکل ۳-۲) توسط سه باند قرمز، سبز و آبی انتخاب گردید. همچنین منحنی طیفی باندهای ساختمانی، برای هر دو تصویر یکسان بوده و به وسیله میانگین‌گیری از طیف پیکسل‌های انتخاب شده به صورت دستی ایجاد شد (شکل ۴).

۳-۲- آزمون‌های انجام شده

آزمون‌های انجام شده در این تحقیق شامل سه گروه کلی می‌باشند:

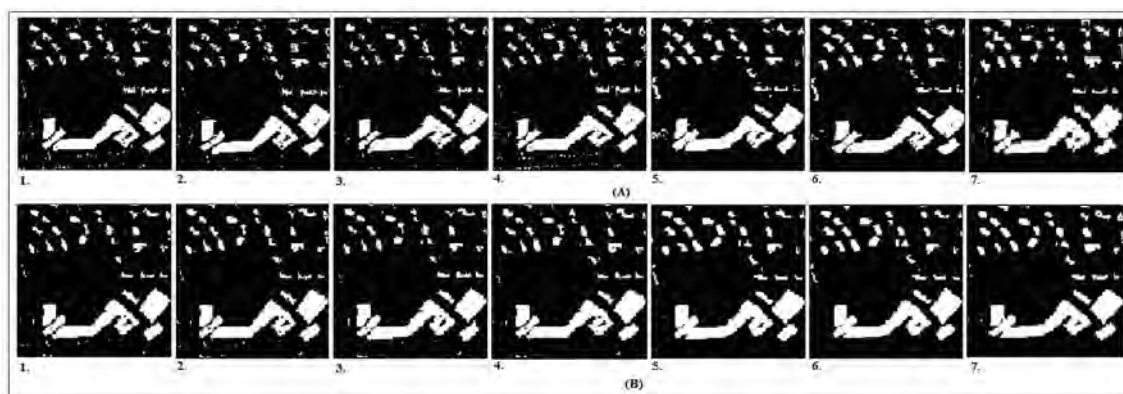
الف) آزمون ارزیابی صحت شش الگوریتم آشکارسازی بر روی دو تصویر فراطیفی

ب) آزمون ترکیب الگوریتم‌ها به کمک روش ANFIS

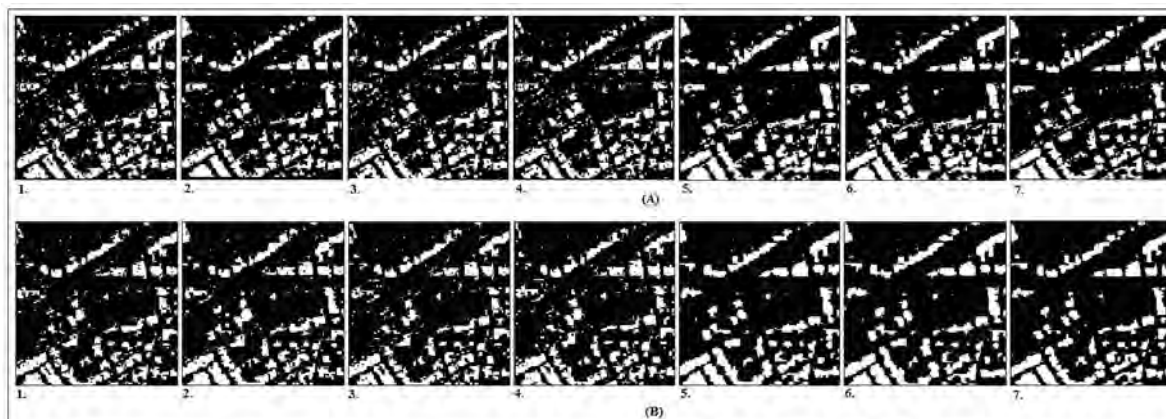
ج) آزمون‌های طیفی- مکانی روی دو تصویر و سپس ترکیب آن‌ها.

هدف از انجام آزمون‌های (الف) بررسی و مقایسه نتایج شش الگوریتم در نظر گرفته شده برای هر تصویر می‌باشد.

هدف از انجام آزمون‌های (ب) ترکیب الگوریتم‌های آشکارسازی و دست یافتن به تصویری با دقت بهینه بوده و به دنبال روشی با حداکثر اتوماسیون است به گونه‌ای که دخالت کاربر برای تنظیم پارامترها در آن حداقل شده و سرعت کار افزایش یابد. از این روش الگوریتم توسط روش هوشمند ANFIS به صورت یکجا با هم ترکیب شده‌اند. هدف از انجام آزمون‌های (ج) در نظر گرفتن وابستگی‌های مکانی در کنار خصوصیات طیفی جهت انجام عمل آشکارسازی است، در این آزمون‌ها بردار پیکسلی علاوه بر درجات خاکستری مربوط به هر پیکسل در هر باند شامل مقدار میانگین درجات خاکستری هشت پیکسل همسایگی همان پیکسل می‌باشد. در این قسمت شش الگوریتم فوق، با در نظر گرفتن شرایط بالا روی دو تصویر، مورد آزمون قرار گرفت و در نهایت خروجی الگوریتم‌ها به وسیله روش ANFIS ترکیب شدند. شکل ۵ نتایج کیفی سه آزمون فوق را برای تصویر اول و شکل ۶ برای تصویر دوم نشان می‌دهد.



شکل ۵- تصاویر حاصله از اعمال الگوریتم‌های (۱) SAM (۲) SCS (۳) SID (۴) JMD (۵) CEM (۶) CMFM (۷) روش ANFIS در ترکیب همزمان SAM، SCS، SID، JMD، CEM و CMFM برای تصویر اول (A) بدون پارامتر مکانی میانگین (B) با پارامتر مکانی میانگین



شکل ۶- تصاویر حاصله از اعمال الگوریتم‌های (۱) SAM (۲) SCS (۳) SID (۴) JMD (۵) CEM (۶) CMFM (۷) روش ANFIS در ترکیب همزمان SAM، SCS، SID، JMD، CEM و CMFM برای تصویر دوم (A) بدون پارامتر مکانی میانگین (B) با پارامتر مکانی میانگین

همانطور که از شکل‌های ۵ و ۶ مشخص است تصاویر مربوط به ترکیب الگوریتم‌ها در هر دو حالت طیفی و طیفی-مکانی دارای یکنواختی بیشتر و نویز کمتر می‌باشند. جدول ۲ مقادیر ضریب کاپای محاسبه شده جهت ارزیابی نتایج آزمون‌های پیاده‌سازی شده بر روی دو تصویر فراتطیفی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر ضریب کاپای محاسبه شده در ارزیابی صحت آزمون‌های مطرح شده

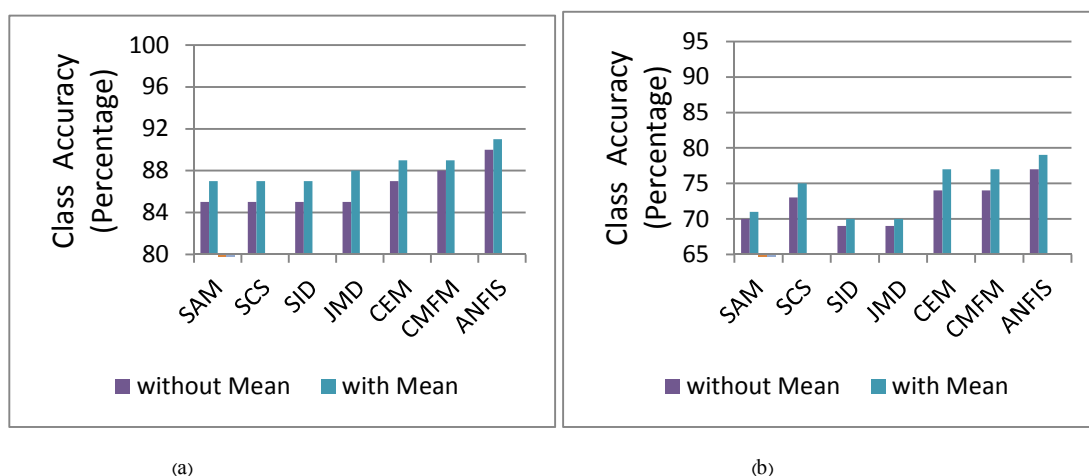
ضریب کاپا	تصویر ۱		تصویر ۲	
	بدون پارامتر میانگین	با پارامتر میانگین	بدون پارامتر میانگین	با پارامتر میانگین
SAM	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۷۰	۰/۷۱
SCS	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۷۳	۰/۷۵
SID	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۶۹	۰/۷۰
JMD	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۷۰
CEM	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۷
CMFM	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۷
ANFIS	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۷۹

شکل ۷ گراف مربوط به مقادیر جدول ۲ را جهت مقایسه بهتر بین آزمون‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطوری که از جدول ۲ و شکل ۷ مشخص است، اجرای روش ANFIS مستقیماً بطور یکجا روی کلیه شش الگوریتم آشکارسازی موجب افزایش اندرکنش نتایج هر الگوریتم با هم شده و ضریب کاپا را تا مقدار ۰,۹ برای تصویر اول و ۰,۷۷ برای تصویر دوم افزایش داده است. همچنین وارد نمودن پارامتر آماری میانگین به الگوریتم‌های آشکارسازی طیفی به طور کلی باعث افزایش ضریب کاپا شده است، در ضمن ترکیب

الگوریتم‌ها در این حالت، ضریب کاپا را تا ۰,۹۱ برای تصویر اول و ۰,۷۹ برای تصویر دوم بهبود داده است.

از آنجایی که نقشه واقعیت زمینی برای تمامی الگوریتم‌ها یکی بوده است اختلاف صحت مشاهده شده ناشی از عملکرد الگوریتم‌ها بوده است. از سوی دیگر علت عدم کسب ۱۰۰٪ در ضریب کاپا به صحت نقشه واقعیت زمینی و توانایی الگوریتم آشکارسازی مورد استفاده برمی‌گردد. همچنین از علل پایین بودن دقت کلی نتایج در تصویر دوم نسبت به تصویر اول می‌توان به پیچیدگی زیاد این تصویر و همچنین پایین بودن دقت نقشه واقعیت زمینی آن اشاره کرد. همان‌طوری که قبلاً بیان گردید نقشه واقعیت زمینی در تصویر دوم بر اساس سه باند و در تصویر اول بر اساس کل تعداد باندها یعنی ۳۲ باند انتخاب گردید.

با توجه به نتایج بدست آمده، هدف از این تحقیق در وهله اول ترکیب الگوریتم‌های آشکارسازی برای کسب نتیجه‌ای بالاترین صحت ممکن می‌باشد. نتایج ترکیب که در شکل‌های A-۷-۶ و A-۷-۵ برای دو تصویر و در فضای طیفی منعکس شده است نشان می‌دهد ترکیب الگوریتم‌ها بطور معنی‌داری نسبت به هر یک از الگوریتم‌های آشکارسازی دارای پاسخ صحیح‌تری هستند. علت این امر در مدلسازی روش ANFIS می‌باشد. هر چند خطا در این روش نیز در بعضی از مناطق که دارای موادی نسبتاً مشابه هستند، زیاد است. با به کارگیری الگوریتم‌های آشکارسازی در فضای طیفی-مکانی و سپس ترکیب آنها (شکل‌های B-۷-۵ و B-۷-۶) میزان نویز و عدم انطباق کمتر می‌شود.



شکل ۷- گراف مربوط به مقادیر ضریب کاپا بدست آمده برای آزمون‌های مختلف در (a) تصویر ۱ و (b) تصویر ۲

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق دو استراتژی جهت بهبود آشکارسازی طیفی ساختمان‌هایی با پوشش خاص در مناطق شهری مطرح گردید. این استراتژی‌ها عبارتند از ترکیب الگوریتم‌های آشکارسازی و آشکارسازی طیفی- مکانی. برای این منظور جهت ارزیابی استراتژی‌های پیشنهادی شش الگوریتم آشکارسازی طیفی در نظر گرفته شد، که چهار الگوریتم در سطح پیکسل و دو الگوریتم در سطح زیر پیکسل عمل می‌کردند. با توجه به حجم بالای تصاویر فراطیفی، در اکثر الگوریتم‌های انتخاب شده پارامتر سرعت و دقت لحاظ شده است، به طوری که بتوان در کمترین زمان ممکن به دقیق‌ترین نتایج رسید. برای ترکیب الگوریتم‌های آشکارسازی طیفی و طیفی- مکانی از روش هوشمند ANFIS به صورت یکجا استفاده شد. همچنین در آشکارسازی طیفی- مکانی از پارامتر آماری میانگین بدست آمده از پیکسل‌های همسایگی به عنوان ویژگی‌های مکانی استفاده شد. بر اساس نتایج سه آزمون صورت گرفته بر روی دو تصویر فراطیفی در بین روش‌های آشکارسازی طیفی، روش‌های اندازه‌گیری زیر پیکسل به بهترین نتایج و با ضریب کاپای برابر با ۰,۸۸ در تصویر اول و ۰,۷۴ در تصویر دوم برای روش اندازه‌گیری فیلتر انطباقی دست یافته است. همچنین استفاده از ترکیب

روش‌های آشکارسازی طیفی- مکانی به صورت یکجا به کمک روش ANFIS باعث بهبود قابل ملاحظه‌ای در نتایج شده است که این می‌تواند اهمیت استفاده از اطلاعات مکانی را در آنالیز تصاویر فراطیفی نشان دهد.

از این رو در نظر است در تحقیقات آتی تمرکز بیشتری بر روی ویژگی‌های مکانی جهت بهبود آشکارسازی هدف انجام گیرد، بدین منظور می‌توان جهت دخالت همبستگی‌های مکانی به روش‌هایی مانند بخش- بندی بهینه تصویر به نواحی همگون با توجه به مشخصات طیفی و بافتی اشاره کرد تا بر اساس این نواحی همگون بتوان آشکارسازی طیفی را با دقت بالاتری به انجام رسانید و یا با بکارگیری مفاهیم آنالیز حد تفکیک چندگانه مثلاً با استفاده از ابزار موجک به بهبود آشکارسازی طیفی پرداخت. همچنین عواملی که موجب اریب شدن برآوردهای کمترین مربعات در مساله جداسازی طیفی می‌شوند، مانند پارامترهای اضافه و وابستگی طیفی مورد بررسی قرار گیرند.

سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانیم از دکتر Michel Roux به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، تشکر و قدردانی به عمل آوریم.

مراجع

- [1] Varshney, P.K. and Arora, M.K. (2004). "Advanced Image Processing Techniques for Remotely Sensed Hyperspectral Data." Springer Berlin Heidelberg New York.
- [2] Chang, C.-I (2003). "Hyperspectral Imaging: Techniques for spectral Detection and Classification." Orlando, FL: Kluwer Academic.
- [3] Homayouni, S. and Roux, M. (2003). "Material Mapping from Hyperspectral Images using Spectral Matching in Urban Area." IEEE Workshop on Advances in Techniques for analysis of Remotely Sensed Data, NASA Goddard center, Washington DC, USA.
- [4] Chen, Y. and Nasrabadi, N. M. (2011). "Sparse Representation for Target Detection in Hyperspectral Imagery." IEEE Journal of Selected Topics In Signal Processing, Vol. 5, No.3.
- [5] Zou, Z. and Shi, Z. (2013). "Multi-layer filtering approach for hyperspectral target detection." International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging.
- [6] Bakker, W.H. and Schmidt, K.S. (2002). "Hyperspectral edge filtering for measuring homogeneity of surface cover types." ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56, 2002, p. 246– 256.
- [7] Du, Y., Chang C.-I and Ren H. (2004). "New hyperspectral discrimination measure for spectral characterization." Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2004.

- [8] Emami, H. and Afary, A. (2007). "Subpixel Classification on the Hyperspectral Images for Accuracy Improvement of Classification Results." Dep. of Geodesy and Geomatic Eng, K.N.Toosi University of Technology, Tehran-Iran.
- [9] Khazai, S., Homayouni, S., Safari, A. and Mojaradi B. (2011). " Anomaly Detection in Hyperspectral Images Based on an Adaptive Support Vector Method." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 8, No. 4.
- [10] Akbari, D., Saadatseresht, M. and Homayouni, S. (2008). "Evaluation of Different Hyperspectral Image Detection Methods." Presented in the 29th Asian Conference on Remote Sensing, Colombo, Sri Lanka.
- [11] Akbari, D., Saadatseresht, M. and Homayouni, S. (2008). "Hyperspectral Detection Improvement by using Spectral-Spatial feature." presented in the Map Asia 2008 Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [۱۲] Kamarian, S., Yas, M.H., Pourasghar, A. and Daghigh, M. (2013). "Application of firefly algorithm and ANFIS for optimisation of functionally graded beams." Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence.
- [13] Jang, J.-S. R. (1993). "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, pp. 665-685.
- [14] Rosenfield, G.H. and Fitzpatric-Lins, K. (1986). "A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, No. 2, p. 223-227.
- [15] Bradley, A.P. (1997). "The use of the area under the ROC Curve in the evaluation of machine learning algorithms." Pattern Recognition, Vol.30, No.7, p. 1145-1159.