

تلفیق تصاویر پلاریمتری راداری و ابرطیفی جهت بهبود آشکارسازی اهداف پوشش دار در جنگل با استفاده از امضاهای پلاریمتری و طیفی

محسن جعفری^{۱*}، علی سرکارگر اردکانی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۲- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۹۳/۰۵/۲۳، پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۴)

چکیده

هدف اصلی این مقاله ارائه یک روش جدید برای استفاده هم‌زمان از دو منبع داده پلاریمتری راداری و ابرطیفی به منظور بهبود آشکارسازی اهداف پوشش دار در جنگل می‌باشد. مبنای روش پیشنهادی استفاده هم‌زمان از امضای پلاریمتری و امضای طیفی و همچنین روش‌های مطابقت در یک آشکارساز می‌باشد. تلفیق دو روش SCM برای تعیین میزان تشابه ساختاری و SAM برای تعیین میزان تمایز شدت و بزرگی دو امضا برای روش پیشنهادی انتخاب شده است. نتایج روش پیشنهادی با دو دیدگاه ارزیابی شده است. نخست خروجی آشکارساز پیشنهادی با تلفیق دو منبع داده با خروجی هریک از منابع ابرطیفی و پلاریمتری در آشکارسازی اهداف مخفی مقایسه شده است. تعداد اهداف اشتباه آشکار شده در این روش‌ها به ترتیب ۳، ۹ و ۱۲ هدف می‌باشد. سپس خروجی آشکارساز به صورت کمی به کمک منحنی ROC در برابر روش‌های ACE در داده ابرطیفی و CFAR در داده پلاریمتری ارزیابی شده است. مساحت زیر این منحنی در این روش‌ها به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۱ و ۰/۶۹ می‌باشد. مطابق این نتایج روش پیشنهادی ضمن کاهش تعداد اهداف اشتباه در آشکارسازی اهداف مخفی در آشکارسازی کل اهداف نیز می‌تواند دقت مناسبی را ارائه دهد.

واژگان کلیدی

آشکارسازی اهداف پوشش دار، داده پلاریمتری SAR، داده ابرطیفی، امضای پلاریمتری، امضای طیفی، جنگل.

۱. مقدمه

استفاده قرار بگیرد. تصاویر سنجش از دور یکی از منابع مهم، گسترده و نسبتاً کم‌هزینه برای بررسی پدیده‌های زمینی می‌باشند [۴-۶].

نوع داده متناسب با هدف و محیط انتخاب می‌گردد. از میان داده‌های مختلف سنجش از دوری استفاده از داده‌های رادار با روزه ترکیبی^۲ (SAR) به واسطه عدم وابستگی به خورشید و شرایط جوی بسیار مورد توجه می‌باشد. طول موج بلند امواج ماکروویو در داده SAR باعث افزایش نفوذپذیری این امواج می‌شود از این رو برای شناسایی اهداف در مناطقی با پوشش جنگلی بسیار مناسباند [۷]. استفاده از اطلاعات پلاریمتری، مشاهدات راداری را به هندسه هدف حساس تر می‌کند [۸]. داده‌های SAR در فرکانس کمتر می‌تواند در جنگل نفوذ

آشکارسازی هدف^۱ به معنای متمایز ساختن یک هدف خاص از پس‌زمینه می‌باشد [۱]. با توجه به تغییرات پویای محیط و همچنین نیاز بشر به کشف هدف‌هایی خاص در محیط در سال‌های اخیر موضوع آشکارسازی اهداف در تصاویر سنجش از دوری مورد توجه بسیار قرار گرفته است [۲-۳]. اهدافی همچون چشمه‌های نفتی، گونه‌ی گیاهی خاص و یا شیء خاص می‌تواند در بحث آشکارسازی مطرح گردد. شناسایی هدف در کاربردهای گوناگون مانند کشف تجهیزات، تشخیص عوارض موجود در منطقه و..... می‌تواند مورد

* رایانامه نویسنده پاسخگو: mohsen.jafari@mail.kntu.ac.ir

^۱ Target detection

^۲ Synthetic Aperture RADAR

کند اما مهم‌ترین مشکل این داده از دست دادن مجموعه‌ای از هدف‌های ابعاد کوچک در زیر پوشش‌های جنگلی است. داده‌های راداری در فرکانس‌های بالاتر اگرچه می‌توانند اهداف جزئی‌تر را شناسایی کنند اما قابلیت نفوذ خود در شاخ و برگ گیاهان را از دست می‌دهند [۹].

داده ابرطیفی دارای قابلیت ثبت تغییرات طیفی عوارض مختلف در تعداد باندهای زیاد با پهنای بسیار کم می‌باشد. این داده کوچک‌ترین تغییرات طیفی را حس می‌کند [۱۰-۱۲]. از این رو به نظر می‌رسد این داده نیز در کشف اهداف زیر جنگل اطلاعات بسیار مناسبی را در اختیار قرار دهد. این داده اگرچه پیچیدگی‌ها و ابهامات داده پلاریمتری را ندارد اما عدم نفوذ کافی در هدف و همچنین عدم موفقیت در پوشش‌های متراکم باعث کاهش موفقیتش در کشف اهداف پوشش‌دار می‌شود [۱۳-۱۴].

مک دونالد^۱ و همکاران سال ۱۹۹۷ در مقاله‌ای به بررسی نقش داده راداری در شناسایی اهداف داخل جنگل پرداخته‌اند. هرچند نتایج حاکی از موفقیت داده SAR در کشف هدف‌های اختفاء شده است اما همراه شدن با اطلاعات پلاریمتری مطمئناً این نتایج را بهبود خواهد بخشید [۴]. بانرجی^۲ و همکاران سال ۱۹۹۹ در مقاله‌ای به بررسی شناسایی هدف در مناطقی با پوشش‌های جنگلی پرداخته است، نتایج نشان می‌دهد که عبور امواج ماکروویو از شاخ و برگ درختان می‌تواند هدف زیر پوشش جنگلی را حس کند. آن‌ها روش CFAR^۳ را برای آشکارسازی اهداف بهبود بخشیدند و از توزیع بتا^۴ برای پس‌زمینه استفاده کردند [۱۵]. ریچارد^۵ در تحقیقی به نقش اطلاعات پلاریمتری در پوشش مشکلات داده SAR در آشکارسازی اهداف موجود در پوشش‌های متراکم پرداخته است. مطابق نتایج این تحقیق اگرچه داده‌های SAR با امواج ماکروویو قابلیت نفوذ به پوشش‌های گیاهی و جنگلی را دارد اما متأسفانه در پوشش‌های متراکم بی‌نظمی‌های زیادی در بازپراکنش دریافتی دیده می‌شود که موجب عدم قطعیت در خروجی آشکارساز می‌گردد. وجود اطلاعات پلاریمتری در کانال‌های مختلف کمک می‌کند تا کیفیت خروجی بهبود یابد. در این تحقیق روش‌های مختلف استفاده از داده پلاریمتری در بهبود آشکارسازی پوشش‌های متراکم بررسی شده است [۱۶].

آنچه در تحقیقات اخیر آمده است، نشان می‌دهد داده‌های پلاریمتری SAR و ابرطیفی هر یک منابعی قدرتمند جهت آشکارسازی هدف هستند. این داده‌ها مزایا و معایبی دارند که هر یک می‌تواند در کاربردی خاص مورد استفاده قرار گیرد. در تحقیقات مختلف آشکارسازی که به قسمتی از آن‌ها در بالا اشاره شد استفاده از امضای پلاریمتری^{۱۵} به‌عنوان منشأ اطلاعات فیزیکی و پلاریمتری در پایه پلاریزاسیون‌های مختلف توجهی نشده است. یکی از نوآوری‌های این تحقیق ارائه روشی جدید در آشکارسازی اهداف به کمک داده پلاریمتری است. آشکارساز پیشنهادی در داده پلاریمتری بر مبنای امضای پلاریمتری و استفاده از روش‌های مختلف مطابقت^{۱۴} برای تعیین میزان تشابه امضای مرجع و امضای پیکسل‌های مختلف است. این روش در واقع مشابه روش متداول در داده ابرطیفی و استفاده از امضای طیفی و روش‌های تعیین مطابقت طیفی^{۱۷} در آشکارسازی هدف می‌باشد. با این مشابهت‌سازی زمینه نوآوری دوم این تحقیق یعنی تلفیق دو منبع داده پلاریمتری SAR و ابرطیفی در بهبود آشکارسازی اهداف پوشش‌دار در جنگل فراهم می‌گردد.

بخش دوم، مربوط به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش‌های مورد نیاز آن‌ها می‌باشد. بخش سوم تحقیق روش پیشنهادی برای آشکارسازی در دو منبع داده و تلفیق

تحقیقات زیادی نیز در تصاویر ابرطیفی به بررسی و مقایسه الگوریتم‌های SSP^{۱۰}، LMM^۹، OSP^۸، AMF^۷، ACE^۶، Kelly و

مک دونالد^۱ و همکاران سال ۱۹۹۷ در مقاله‌ای به بررسی نقش داده راداری در شناسایی اهداف داخل جنگل پرداخته‌اند. هرچند نتایج حاکی از موفقیت داده SAR در کشف هدف‌های اختفاء شده است اما همراه شدن با اطلاعات پلاریمتری مطمئناً این نتایج را بهبود خواهد بخشید [۴]. بانرجی^۲ و همکاران سال ۱۹۹۹ در مقاله‌ای به بررسی شناسایی هدف در مناطقی با پوشش‌های جنگلی پرداخته است، نتایج نشان می‌دهد که عبور امواج ماکروویو از شاخ و برگ درختان می‌تواند هدف زیر پوشش جنگلی را حس کند. آن‌ها روش CFAR^۳ را برای آشکارسازی اهداف بهبود بخشیدند و از توزیع بتا^۴ برای پس‌زمینه استفاده کردند [۱۵]. ریچارد^۵ در تحقیقی به نقش اطلاعات پلاریمتری در پوشش مشکلات داده SAR در آشکارسازی اهداف موجود در پوشش‌های متراکم پرداخته است. مطابق نتایج این تحقیق اگرچه داده‌های SAR با امواج ماکروویو قابلیت نفوذ به پوشش‌های گیاهی و جنگلی را دارد اما متأسفانه در پوشش‌های متراکم بی‌نظمی‌های زیادی در بازپراکنش دریافتی دیده می‌شود که موجب عدم قطعیت در خروجی آشکارساز می‌گردد. وجود اطلاعات پلاریمتری در کانال‌های مختلف کمک می‌کند تا کیفیت خروجی بهبود یابد. در این تحقیق روش‌های مختلف استفاده از داده پلاریمتری در بهبود آشکارسازی پوشش‌های متراکم بررسی شده است [۱۶].

مک دونالد^۱ و همکاران سال ۱۹۹۷ در مقاله‌ای به بررسی نقش داده راداری در شناسایی اهداف داخل جنگل پرداخته‌اند. هرچند نتایج حاکی از موفقیت داده SAR در کشف هدف‌های اختفاء شده است اما همراه شدن با اطلاعات پلاریمتری مطمئناً این نتایج را بهبود خواهد بخشید [۴]. بانرجی^۲ و همکاران سال ۱۹۹۹ در مقاله‌ای به بررسی شناسایی هدف در مناطقی با پوشش‌های جنگلی پرداخته است، نتایج نشان می‌دهد که عبور امواج ماکروویو از شاخ و برگ درختان می‌تواند هدف زیر پوشش جنگلی را حس کند. آن‌ها روش CFAR^۳ را برای آشکارسازی اهداف بهبود بخشیدند و از توزیع بتا^۴ برای پس‌زمینه استفاده کردند [۱۵]. ریچارد^۵ در تحقیقی به نقش اطلاعات پلاریمتری در پوشش مشکلات داده SAR در آشکارسازی اهداف موجود در پوشش‌های متراکم پرداخته است. مطابق نتایج این تحقیق اگرچه داده‌های SAR با امواج ماکروویو قابلیت نفوذ به پوشش‌های گیاهی و جنگلی را دارد اما متأسفانه در پوشش‌های متراکم بی‌نظمی‌های زیادی در بازپراکنش دریافتی دیده می‌شود که موجب عدم قطعیت در خروجی آشکارساز می‌گردد. وجود اطلاعات پلاریمتری در کانال‌های مختلف کمک می‌کند تا کیفیت خروجی بهبود یابد. در این تحقیق روش‌های مختلف استفاده از داده پلاریمتری در بهبود آشکارسازی پوشش‌های متراکم بررسی شده است [۱۶].

تحقیقات زیادی نیز در تصاویر ابرطیفی به بررسی و مقایسه الگوریتم‌های SSP^{۱۰}، LMM^۹، OSP^۸، AMF^۷، ACE^۶، Kelly و

^۹ Linear Mixing Model

^{۱۰} Split-Spectrum Processing

^{۱۱} Gaussian Maximum Likelihood

^{۱۲} Full-pixel

^{۱۳} Sub-pixel

^{۱۴} Generalized Likelihood Ratio Test

^{۱۵} Polarimetric signature

^{۱۶} Matching

^{۱۷} Spectral Matching

^۱ MacDonald

^۲ Banerjee

^۳ Constant False Alarm Rate

^۴ Beta

^۵ Richard

^۶ Adaptive Cosine Estimator

^۷ Adaptive Matched Filter

^۸ Orthogonal Subspace Projection

خطاهای دیگر بر روی این داده‌ها وجود دارند که به منظور تبدیل این داده به بازتابندگی سطحی می‌بایست پیش از تصحیح اثرات اتمسفری حذف شوند تا دقت در هنگام پیاده‌سازی الگوریتم‌ها بالاتر رود. برای تبدیل داده هایپریون به واحد انرژی مطلق و واحد مورد استفاده در Flaash کالیبراسیون دوباره انجام می‌گیرد. از میان ۲۴۲ باند سنجنده هایپریون باندهایی با نسبت سیگنال به نویز بالا انتخاب می‌شوند (۱۹۸ باند). باندهای ۷۷ و ۷۸ هم به دلیل پایین بودن نسبت سیگنال به نویز حذف می‌شوند. بین پیکسل‌های ۱۲۸ و ۱۲۹ یک جابه‌جایی به اندازه یک پیکسل وجود دارد که قبل از انجام مراحل بعدی کار باید این جابه‌جایی تصحیح شود (جابه‌جایی نیمه سمت راست باندهای مادون قرمز نزدیک). یکی دیگر از تصحیحات مورد نیاز داده هایپریون تصحیح نوارهایی در تصویر است که اطلاعات را به درستی ثبت نکرده‌اند. همان‌طور که در بخش دوم گفته شد این نوارها شناسایی شده و تصحیح شدند. این تصحیح به صورت میانگین گرفتن از ستون‌های مجاور در فضای تصویر انجام شد. مرحله بعد حذف خطای انحنای طیفی در تصویر می‌باشد که مقدار آن روی باندهای مرئی بیش‌تر است و به منظور دست‌کاری کمتر اطلاعات، تصحیح این خطا فقط روی این باندها اعمال می‌شود. یکی از راه‌های شناسایی و اثبات وجود این خطا در تصویر هایپریون، وجود گرادیان روشنایی در مولفه اول و یا دوم از فضای MNF^۹ می‌باشد. برای استفاده از تصاویر ابرطیفی اعمال تصحیحات اتمسفری به‌عنوان یک فرایند استاندارد برای رسیدن به خروجی مورد نظر باید انجام شود. مزیت تصحیح اتمسفری تبدیل رادیانس به انعکاس می‌باشد. تصحیح جوی تصویر هایپریون و تبدیل رادیانس به بازتابندگی به کمک ماژول Flash در نرم‌افزار ENVI انجام شد. طیف به‌دست‌آمده پس از تصحیح اتمسفری دارای یک‌سری نویز می‌باشد. این نویز در نرم‌افزار ENVI محاسبه و سپس حذف می‌گردد. این مراحل به‌جز

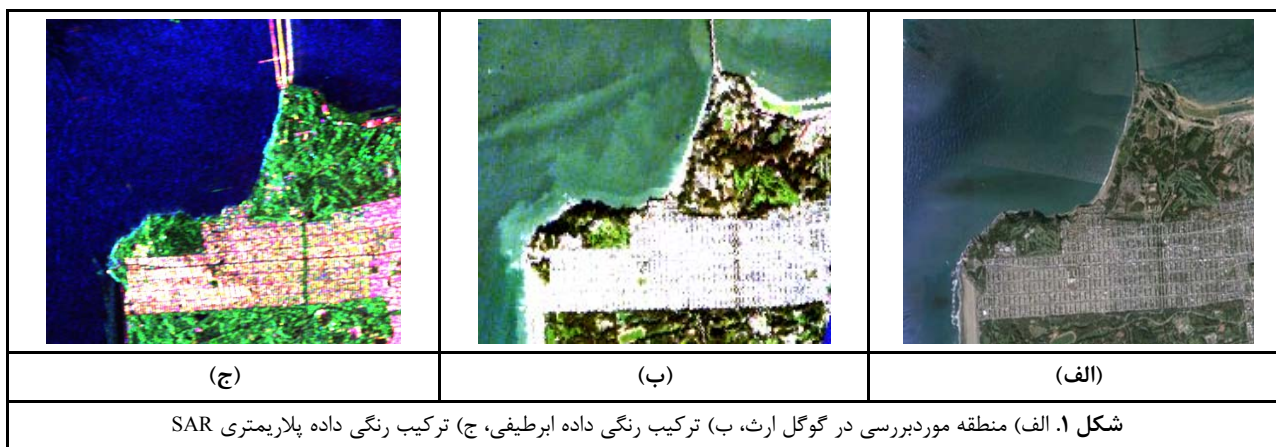
آن‌ها ارائه می‌شود. در بخش چهارم نیز پیاده‌سازی و ارزیابی در دو بخش یکی ارائه خروجی الگوریتم آشکارساز در هریک از منابع داده و مشاهده تغییرات در خروجی آشکارساز تلفیقی و دیگری ارزیابی کمی خروجی آشکارساز حاصل از تلفیق دو منبع داده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات تحقیق در بخش پنجم ارائه می‌شود.

۲. منطقه مورد مطالعه، داده مورد استفاده و پیش‌پردازش

منطقه مورد مطالعه قسمتی از شهر سانفرانسیسکو^۱ می‌باشد. در این تحقیق از داده پلاریمتری SAR سنجنده رادارست-۲^۲ در باند C معادل طول موج ۵/۵ سانتی‌متر در حالت FQ9 و با زاویه فرود ۲۸ تا ۲۹٫۸ درجه استفاده شده است. داده خام و به‌صورت تک منظره مختلط^۳ می‌باشد. دیگر داده مورد استفاده داده ابرطیفی سنجنده هایپریون^۴ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و در ۲۲۰ باند طیفی است.

جهت آماده‌سازی و آنالیزهای اولیه داده پلاریمتری از نرم افزار PoISAR pro.4.2 استفاده شد. مراحل مختلف پیش پردازش عبارت‌اند از: تبدیل شدت دریافتی به سیگمای خنثی (σ^۰)، کاهش نویز اسپکل^۶ با فیلتر Box.car با ابعاد ۳*۳ و در نهایت زمین مرجع سازی و چندمنظره کردن^۷ داده با نرم‌افزار ASF Map ready. برای چندمنظره کردن با وجود امکان ۱۰ متری کردن پیکسل‌های داده پلاریمتری، ابعاد ۳۰ متر انتخاب شد تا با داده ابرطیفی یکسان شوند.

داده سنجنده هایپریون که از طریق سایت زمین‌شناسی آمریکا^۸ در اختیار کاربران قرار داده می‌شود، پردازش تا مرحله سطح یک بر روی آن صورت گرفته است و یکسری از خطاهای موجود حذف شده است و شامل داده رادیانس در دهانه سنجنده می‌باشد. یکسری



⁶ Speckle

⁷ Multilook

⁸ <https://earthexplorer.usgs.gov>

⁹ San Francisco

¹ San Francisco

² RADARSAT-2

³ Single Look Complex (SLC)

⁴ Hyperion

⁵ Sigma-nought

امضای مرجع و امضای هدف در دو منبع داده و ۲- تلفیق میزبان مطابقت حاصل از دو منبع داده.

۳-۱. احتمال کشف هدف در داده پلاریمتری SAR

۳-۱-۱. امضای پلاریمتری

امضای پلاریمتری نمایش سه بعدی اطلاعات پلاریمتری است. دو بعد مربوط به پارامترهای هندسی بیضی: زاویه توجیه بیضی^۳ (φ) و زاویه میزان بیضی بودن^۴ (T). بعد سوم نیز مربوط به پاسخ هدف می باشد [۲۰]. به طور کلی بازپراکنش هدف تابع دو پلاریزاسیون است: پلاریزاسیون ارسالی و پلاریزاسیون دریافتی. اگر پلاریزاسیون موج ارسالی و دریافتی یکسان قرار داده شود، امضای پلاریمتری Co-polarized به دست می آید و در صورتی که این دو پلاریزاسیون عمود بر یکدیگر باشند امضای Cross-polarized به دست می آید. امضای پلاریمتری را می توان از ماتریس پراکنش^۳ (S) به دست آورد اما از آنجایی که پیش پردازش بر روی این ماتریس امکان پذیر نیست، ماتریس همدوسی (T) به جای آن استفاده می شود.

$$S = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \quad (1)$$

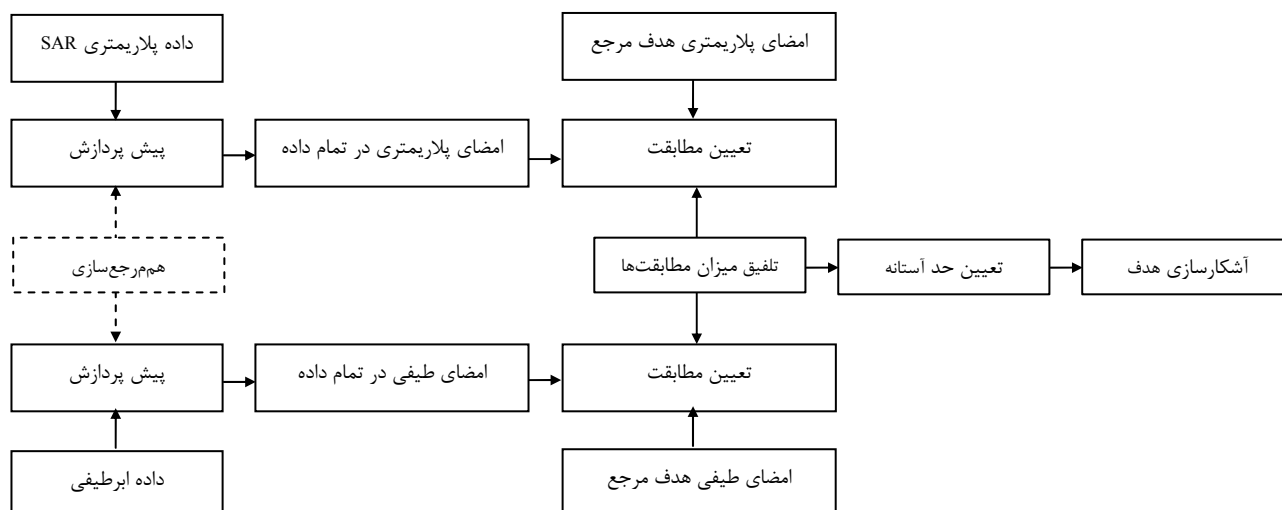
$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{hh} + S_{vv} \quad S_{hh} - S_{vv} \quad 2S_{hv}]^T \quad (2)$$

مرحله تصحیح اتمسفری در افزونه Workshop که قابل دانلود^۱ و اضافه کردن به نرم افزار ENVI می باشد انجام شده است.

شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در گوگل ارث^۲ و ترکیب رنگی داده های پیش پردازش شده را نشان می دهد. به منظور هم مرجع سازی دو داده در حدود بیست نقطه متناظر انتخاب شد و به کمک روش Bilinear در نرم افزار ENVI داده ابرطیفی با دقت ۰/۹۲ پیکسل با داده پلاریمتری هم مرجع گردید.

۳. الگوریتم روش پیشنهادی

هدف اصلی این مقاله ارائه روشی برای استفاده هم زمان از داده پلاریمتری SAR و داده ابرطیفی در آشکارسازی اهداف پوشش دار می باشد. مبنای روش پیشنهادی استفاده هم زمان از امضای پلاریمتری و امضای طیفی در یک آشکارساز است. تاکنون در تحقیقات انجام شده در زمینه آشکارسازی هدف در داده ابرطیفی یکی از روش های متداول استفاده از روش های مطابقت برای مقایسه طیف هدف با طیف مرجع بوده است. در این مقاله ضمن استفاده از این روش در داده ابرطیفی برای اولین بار از این روش در داده پلاریمتری نیز استفاده می شود؛ به عبارت دیگر به کمک روش های مطابقت امضای پلاریمتری هدف با امضای پلاریمتری مرجع مقایسه می شود. همچنین نوآوری دیگری که در این تحقیق ارائه می شود استفاده هم زمان از این دو مکانیسم در یک آشکارساز می باشد. مکانیسم آشکارساز پیشنهادی در شکل ۲ آمده است. بر این اساس دو گام مهم در روش پیشنهادی وجود دارد: ۱- تعیین میزان مطابقت



شکل ۲. مکانیسم آشکارساز پیشنهادی برای تلفیق دو داده ابرطیفی و پلاریمتری SAR

¹ <ftp://ftp.eoc.csiro.au/pub/djupp/Hyperion/>

² Google Earth

$$\mathbf{T} = \mathbf{k} \mathbf{k}^t = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^* & (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^* & 2(S_{hh} + S_{vv})S_{hv}^* \\ (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^* & (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^* & 2(S_{hh} - S_{vv})S_{hv}^* \\ 2S_{hv}(S_{hh} + S_{vv})^* & 2S_{hv}(S_{hh} - S_{vv})^* & 4S_{hv}S_{hv}^* \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} 2A_0 & C - jD & H + jG \\ C + jD & B_0 + B & E + jF \\ H - jG & E - jF & B_0 - B \end{bmatrix}$$

۳-۱-۲. آشکارساز پیشنهادی برای داده پلاریمتری

شکل ۳ الگوریتم پیشنهادی برای برآورد احتمال کشف هدف در داده پلاریمتری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص شده است، امضای پلاریمتری برای دو گروه محاسبه می‌شود. یکی برای هدف مرجع و دیگری برای کل داده. با استفاده از میانگینی از ماتریس هم‌دوسی چند هدف مرجع می‌توان امضای پلاریمتری هدف مرجع را محاسبه کرد. از آنجایی که محاسبه امضای پلاریمتری نباید بر روی یک پیکسل باشد از این منظر این اطمینان وجود دارد که امضای هدف مرجع پایدار خواهد بود. برای تمام پیکسل‌های ۳۰ متری داده پلاریمتری که از ۹ پیکسل ۱۰ متری تشکیل شده نیز همین امضای پلاریمتری محاسبه می‌شود.

به منظور تعیین میزان مطابقت امضاهای متناظر در هدف مرجع و پیکسل‌های داده پلاریمتری در این مقاله با بررسی روی روش‌های مختلف مطابقت SCM^2 و SAM^3 انتخاب شدند. یکی از معیارها ارزیابی شکلی و ساختاری دو امضا را بررسی می‌کند و یکی دیگر از معیارها نیز به میزان شدت و بزرگی می‌پردازد. به همین منظور در این تحقیق تلفیقی از دو معیار SAM و SCM استفاده شد. با در نظر گرفتن فاصله‌های یک درجه در پایه پلاریزاسیون‌های مشخص برای $(0 < \varphi < 180)$ و $(-45 < \tau < +45)$ امضای پلاریمتری ماتریس دوبعدی با ابعاد 90×180 است. البته برای کاهش حجم محاسبات می‌توان این فاصله‌ها را ۵ درجه در نظر گرفت که در این صورت ابعاد ماتریس امضای پلاریمتری 37×19 می‌شود. برای ساده‌سازی محاسبات ماتریس دوبعدی را می‌توان به صورت ستونی درآورد که در این صورت برداری با اندازه 7×3 امضای پلاریمتری را نشان می‌دهد. میزان تشابه و همبستگی بین دو امضای پلاریمتری (P_1 و P_2) به کمک رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۲۲].

$$SCM = \frac{n \sum P_1 P_2 - \sum P_1 \sum P_2}{\sqrt{[n \sum P_1^2 - (\sum P_1)^2][n \sum P_2^2 - (\sum P_2)^2]}} \quad (7)$$

در این معادله (h, v) نشان‌دهنده پایه پلاریزاسیون افقی و قائم می‌باشند. همچنین S_{hv}^* مزدوج مختلط S_{hv} می‌باشد. علاوه بر این k^t ترانهاده ماتریس k می‌باشد.

برای تولید امضای پلاریمتری از ماتریس هم‌دوسی ابتدا باید ماتریس کنا^۱ (\mathbf{K}) را به کمک رابطه (۴) به دست آورد [۲۱].

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} A_0 + B_0 & C & H & F \\ C & A_0 + B & E & G \\ H & E & A_0 - B & D \\ F & G & D & -A_0 + B \end{bmatrix} \quad (4)$$

توان بازپراکنش ($P_{\varphi, \tau}$) دریافتی در دو حالت Co-polarized و Cross-polarized به کمک رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$P_{\varphi, \tau} = \mathbf{V}_{re}^T [\mathbf{K}] \mathbf{V}_{tr} \quad (5)$$

در این رابطه \mathbf{V} ماتریس یکه استوکس می‌باشد (رابطه (۶)). tr نشان‌دهنده ماتریس استوکس ارسالی و re نشان‌دهنده ماتریس استوکس دریافتی می‌باشد.

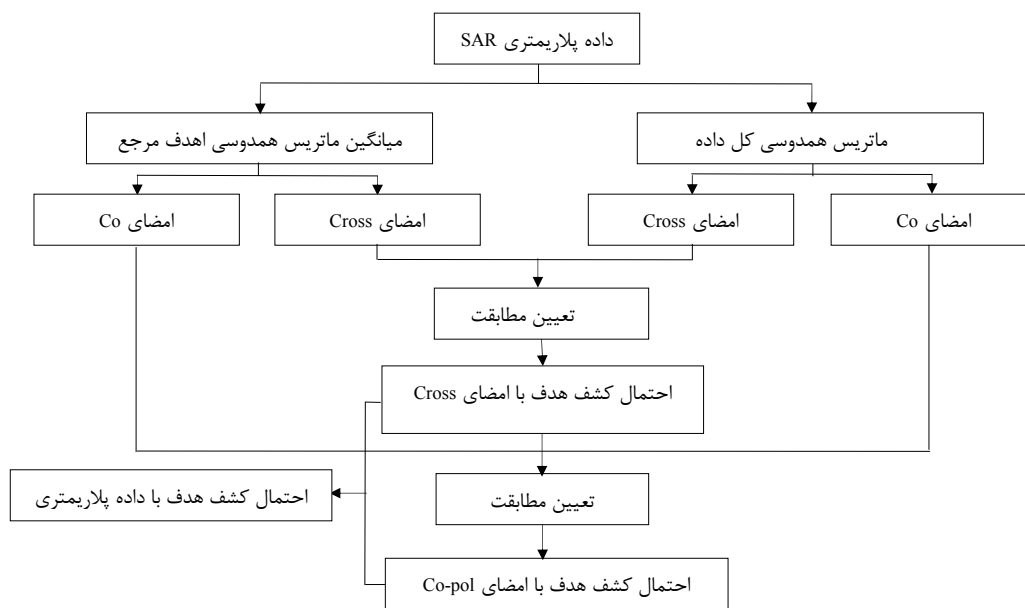
$$\vec{V} = \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\tau \cos 2\varphi \\ \cos 2\tau \sin 2\varphi \\ \sin 2\tau \end{bmatrix} \quad (6)$$

برای محاسبه امضای Co-polarized ($V_{re} = V_{tr}$) و برای امضای Cross-polarized ($V_{re} = V_{tr}^\perp$) قرار می‌دهیم. بازه تغییرات پارامترهای هندسی بیضی برای دستیابی به امضای پلاریمتری (0° to 180° for φ and -45° to $+45^\circ$) می‌باشد.

² Spectral Correlation Mapper

³ Spectral Angle Mapper

¹ Kenough



شکل ۳. الگوریتم پیشنهادی برای برآورد احتمال کشف هدف در داده پلاریمتری

مطابق شکل ۳ برای هر یک از امضاها مقادیر مطابقت نرمال شده حاصل از دو معیار SAM و SCM به کمک رابطه (۱۱) تلفیق می شوند.

$$p_{ij} = \frac{(1 - p_{ij}^{NSAM}) + p_{ij}^{NSCM}}{2}, \quad i=1,2,\dots,k \text{ and } j=1,2 \quad (11)$$

در این رابطه p_{ij}^{NSAM} و p_{ij}^{NSCM} به ترتیب میزان مطابقت نرمال شده امضای i ام پیکسل i ام از داده با امضای مرجع به کمک روش های SAM و SCM می باشد. احتمال کشف هدف به کمک امضای i ام می باشد. k تعداد پیکسل های داده پلاریمتری است. با این تلفیق میزان احتمال کشف هدف به کمک هر یک از امضاهای Co-polarized و Cross-polarized محاسبه می شود. برای دستیابی به احتمال نهایی کشف هدف در داده پلاریمتری باید از ظرفیت هر دو امضا استفاده کرد. برای این منظور احتمالات به دست آمده از دو امضا به کمک رابطه (۱۲) با یکدیگر تلفیق می شوند.

$$p_i = \frac{\rho_{i-co} + \rho_{i-cross}}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

در این رابطه p_i احتمال نهایی کشف هدف به کمک داده پلاریمتری می باشد.

۳-۲. احتمال کشف هدف در داده ابرطیفی

در این مقاله امضای طیفی مرجع از داده ابرطیفی پیش پردازش شده استخراج می شود. مطابق آنچه در داده پلاریمتری گفته شد، امضای طیفی هم یک بار برای میانگینی از اهداف مرجع و بار دیگر

$n = 703$ تعداد پایه های پلاریزاسیون می باشد. میزان SCM بین ۱- تا ۱+ متغیر است. میزان ۱+ همبستگی ۱۰۰ درصدی مثبت را نشان می دهد و در مقابل ۱- میزان همبستگی ۱۰۰ درصدی منفی را نشان می دهد. به عبارت دیگر در حالت ۱- دو امضای پلاریمتری کاملاً در مقابل یکدیگرند و کمترین شباهت را دارند. بنابراین در بحث تعیین میزان انطباق امضای پلاریمتری مرجع با امضای سایر پیکسل ها، هر قدر میزان همبستگی بیشتر باشد، میزان انطباق بیشتر است. برای کمک به محاسبات بعدی به کمک تبدیل زیر می توان بازه [۰ ۱] را برای همبستگی به دست آورد.

$$NSCM = 0.5(SCM + 1) \quad (8)$$

مقدار SAM، زاویه بین بردار امضای پلاریمتری مرجع و پیکسل مورد بررسی را به کمک رابطه (۶) نشان می دهد.

$$SAM = \cos^{-1} \left[\frac{\int P_1 P_2}{\left[\int P_1^2 \right]^{1/2} \left[\int P_2^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (9)$$

این زاویه بین ۰ و $\frac{\pi}{2}$ می باشد که می توان مقدار نرمال شده آن را به کمک تبدیل (۱۰) به دست آورد.

$$NSAM = \frac{2 * |SAM|}{\pi} \quad (10)$$

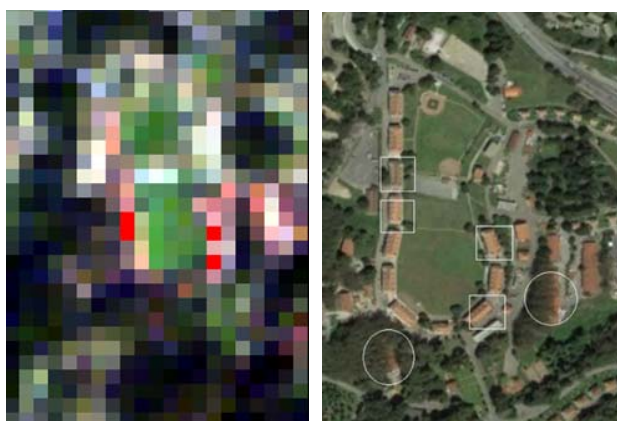
مطابق شکل ۳ برای هر یک از امضاها مقادیر مطابقت نرمال شده حاصل از دو معیار SAM و SCM به کمک رابطه (۱۱) تلفیق می شوند.

به این ترتیب احتمال نهایی حاصل از تلفیق دو منبع داده (α_i) برآورد می‌شود. مقادیر ρ_i و β_i احتمالات حاصله از دو منبع داده به‌تنهایی می‌باشند که در بخش‌های قبل نحوه محاسبه آن‌ها بیان شد.

بنابراین برای تصمیم‌گیری در وجود یا عدم وجود هدف در پیکسل i ام باید بر روی احتمال به‌دست‌آمده در این مرحله حد آستانه تعیین شود. تعیین حد آستانه در این تحقیق به‌صورت سعی و خطا تعیین شد که البته راه‌حل مطمئنی نیست اما چون تمرکز تحقیق بر روی این قسمت نبود بهبود روش در تعیین حد آستانه به تحقیقات آتی موکول شد.

۴. پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا نتایج الگوریتم آشکارسازی پیشنهادی در سه حالت دو منبع داده به‌تنهایی و تلفیق دو داده در آشکارسازی اهداف مخفی با استفاده از ارزیابی خواهد شد. سپس خروجی آشکارساز پیشنهادی در برابر دو روش دیگر ACE^1 و $CFAR^2$ و این بار با در نظر گرفتن تمام اهداف و به کمک منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۳ بررسی می‌شود. محدوده مشخصی از داده‌های معرفی شده در بخش دوم برای پیاده‌سازی در نظر گرفته شد. شکل ۵ قسمت (الف) محدوده مورد استفاده از منطقه برای پیاده‌سازی را نشان می‌دهد. قسمت (ب) این شکل نیز اهداف مرجع انتخابی را در داده ابرطیفی نشان می‌دهد. همین اهداف به‌طور متناظر برای داده پلاریمتری نیز به‌عنوان مرجع انتخاب می‌شود. چهار هدف از خانه‌های منطقه که در داده ابرطیفی و تا حدودی پلاریمتری به‌اندازه کافی متمایز هستند برای به‌دست آوردن طیف هدف در نظر گرفته شد. به‌عبارت دیگر میانگینی از امضای پلاریمتری و امضای طیفی این چهار هدف، به‌عنوان هدف مرجع انتخاب می‌شود.

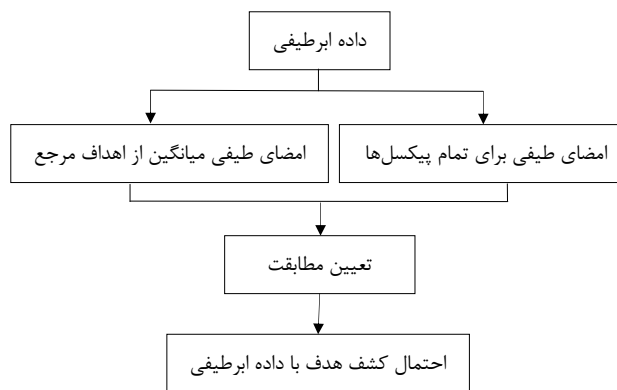


شکل ۸. محدوده پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی. الف) گوگل ارث، دایره‌ها محل قرارگیری اهداف پوشش‌دار و مربع‌ها مکان تقریبی اهداف آموزشی را نشان می‌دهند؛ ب) داده ابرطیفی.

برای تمام پیکسل‌های داده ابرطیفی محاسبه می‌شود. محاسبات برای میزان تطابق به کمک دو معیار SAM و SCM هم مطابق داده پلاریمتری انجام می‌شود. شکل ۴ آشکارساز مورد استفاده در داده ابرطیفی را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۴ تلفیق دو معیار SAM و SCM احتمال کشف هدف را ارائه می‌دهد. رابطه (۱۳) نحوه تلفیق دو معیار مطابقت در داده ابرطیفی را نشان می‌دهد.

$$\beta_i = \frac{(1 - \beta_i^{NSAM}) + \beta_i^{NSCM}}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (13)$$

در این رابطه β_i^{NSAM} و β_i^{NSCM} به ترتیب میزان مطابقت نرمال شده امضای طیفی پیکسل i ام از داده با امضای طیفی هدف مرجع به کمک روش‌های SAM و SCM می‌باشد. β_i نیز احتمال کشف هدف به کمک امضای طیفی در داده ابرطیفی می‌باشد. k تعداد پیکسل‌های داده پلاریمتری است.



شکل ۴. الگوریتم پیشنهادی برای برآورد احتمال کشف هدف در داده پلاریمتری

۳-۳. احتمال کشف هدف به کمک تلفیق داده‌های

ابرطیفی و پلاریمتری SAR

استفاده هم‌زمان داده‌های ابرطیفی و پلاریمتری SAR در یک آشکارساز به‌منظور بهبود آشکارسازی اهداف پوشش‌دار در این بخش ارائه می‌گردد. داده ابرطیفی اطلاعاتی از سطوح عوارض ارائه می‌دهد و قادر به شناسایی کوچک‌ترین تغییرات طیفی می‌باشد. همچنین داده پلاریمتری SAR قادر به نفوذ در درختان جنگل می‌باشد و اطلاعات پلاریمتری متناسب با هر هدف را نیز به همراه دارد. علاوه بر این داده پلاریمتری SAR برخلاف داده ابرطیفی مستقل از شرایط جوی می‌باشد؛ بنابراین انتظار می‌رود اطلاعات حاصل از دو داده مکمل یکدیگر باشند. برای تلفیق اطلاعات دو منبع داده، تلفیق در سطح تصمیم‌گیری و به کمک میانگین احتمالات کشف هدف حاصل از دو منبع داده انجام می‌شود.

$$\alpha_i = \frac{\beta_i + \rho_i}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (14)$$

¹ Adaptive Coherence Estimator

² Constant False Alarm Rate

³ Receiver Operating Characteristic (ROC)

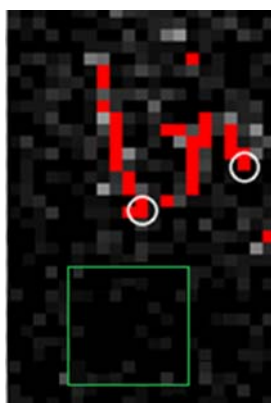
۴-۱. ارزیابی آشکارسازی اهداف مخفی

اختفاء شده در نتیجه مشهود است. این آشکارسازی قطعیت بالایی نیز دارد. به طوری که اهداف پوشش دار تیرگی مناسبی دارند. با توجه به نقاط تیره در محدوده مستطیل سبزرنگ در خروجی می توان گفت داده پلاریمتری به دلیل پایداری کمتر امضای پلاریمتری نسبت به امضای طیفی عملکرد ضعیف تری در تعیین مناطق فاقد هدف دارد. با انتخاب حد آستانه کمینه برای آشکارسازی اهداف مخفی (۰/۸۹) ۱۲ هدف اشتباه انتخاب می گردد. برخلاف داده ابرطیفی در داده پلاریمتری تعداد زیاد اهداف اشتباه از عدم توانایی در درک اهداف مخفی نمی باشد بلکه به ماهیت امضای پلاریمتری و تشابه آن در اهداف مختلف می باشد. در واقع عدم یکتایی در امضای پلاریمتری باعث ابهام در خروجی آشکارساز می شود.

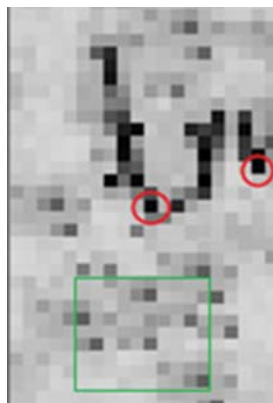
به طور خلاصه می توان گفت هر یک از داده ها یک مزیت و یک عیب مهم دارند. داده ابرطیفی به دلیل تفاوت زیاد در طیف مواد مختلف پوشش زمین به خوبی نقاطی از منطقه که هیچ هدفی وجود ندارد را مشخص می کند. اما این داده به مقدار بسیار کم اهداف زیر جنگل را حس کرده است. داده پلاریمتری در نقطه مقابل قرار دارد و علی رغم نفوذ امواج ماکروویو به داخل شاخ و برگ ها و حس کردن اهداف پوشش دار اما مکان هایی دیگر از منطقه که هیچ هدفی مشابه هدف مرجع وجود ندارد را به عنوان هدف در نظر گرفته است.

آزمایش نهایی تحقیق پیاده سازی آشکارساز پیشنهادی تحقیق با تلفیق داده پلاریمتری و ابرطیفی و بر مبنای امضای پلاریمتری و امضای طیفی است. خروجی الگوریتم آشکارسازی در شکل (۶- ج) آمده است. برای تمایز از دو خروجی قبل، در این شکل نقاطی که روشن ترند احتمال حضور هدف را بیشتر نشان می دهند. همان طور که این شکل نشان می دهد، عدم قطعیت هایی که در خروجی داده

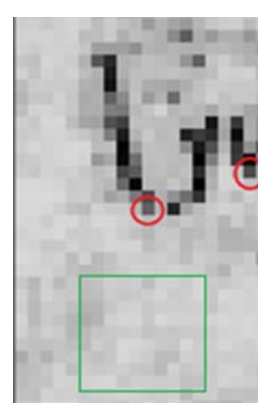
مطابق آنچه در بخش ۳ در مکانیسم آشکارساز پیشنهادی بیان شد، در این بخش سه آزمایش (آشکارسازی اهداف در داده ابرطیفی، داده پلاریمتری و تلفیق دو منبع داده) بررسی خواهد شد. شکل (۶- الف) نتیجه الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی هدف در داده ابرطیفی را نشان می دهد. نقاط تیره تر احتمال وجود هدف را بیشتر نشان می دهد. این در واقع احتمال حاصل از دو معیار SAM و SCM می باشد. همان طور که مشاهده می شود اهداف پوشش دار نقاطی تیره هستند اما در مقایسه با اهداف اختفاء نشده کمتر هستند. این خروجی به خوبی نشان می دهد الگوریتم پیشنهادی در داده ابرطیفی نقاطی از منطقه که خالی از هدف مورد نظر است را به خوبی مشخص کرده است (محدوده مستطیل سبزرنگ). همچنین روش پیشنهادی در این داده اهداف اختفاء نشده را تا حدود زیادی مشخص کرده است. اما نقطه ضعف بزرگ داده ابرطیفی در عدم قطعیت داشتن اهداف پوشش دار است. به طوری که با در نظر گرفتن حد آستانه کمینه برای آشکارسازی اهداف مخفی (۰/۶۳) در داده ابرطیفی ۹ هدف اشتباه آشکار می شود. این حد آستانه با محاسبه میزان تطابق دو هدف مخفی با هدف مرجع و انتخاب کمینه بین آن ها محاسبه شده است. نقاطی که با دایره مشخص شده اند اهداف پوشش دار مورد نظر هستند. این تعداد هدف اشتباه آشکار شده از عدم توانایی داده ابرطیفی در درک اهداف مخفی نشات می گیرد. به عبارت دیگر برای آشکارسازی اهداف مخفی مجبور به کاهش حد آستانه هستیم به طوریکه اهداف اشتباه در خروجی ظاهر می شوند. نتیجه آزمایش بعد یعنی آشکارسازی هدف در داده پلاریمتری در شکل (۶- ب) آمده است. عملکرد بسیار مطلوب این داده در آشکارسازی هدف



در خروجی تلفیق از خطای داده پلاریمتری در مستطیل سبزرنگ کاسته شده است (ج)



نقاط تیره در مستطیل سبز خطای داده پلاریمتری را در این محدوده نشان می دهد (ب)



نقاط روشن در مستطیل سبز عملکرد مطلوب داده ابرطیفی در این محدوده را نشان می دهد. (الف)

شکل ۶. خروجی الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف. الف) خروجی آشکارسازی در داده ابرطیفی؛ ب) خروجی آشکارسازی در داده پلاریمتری؛ ج) خروجی آشکارسازی با تلفیق تصاویر.

معیار، به معنای بهترین حالت آشکارسازی است. این منحنی بر اساس مقادیر مختلف آستانه (مقداری که به‌عنوان معیار بودن یا نبودن هدف استفاده می‌شود) در آشکارساز ترسیم می‌شود. این منحنی به‌منظور بررسی هزینه فایده یک تصمیم‌گیری به‌کار برده می‌شود. از آنجایی که خروجی احتمال در آشکارساز در مرحله قبل در بازه [۰-۱] است برای رسم منحنی ROC حد آستانه‌هایی در بازه [۰-۱] با گام‌های ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود و مطابق با خروجی نهایی آشکارساز با در نظر گرفتن هر یک از این حد آستانه‌ها مقادیر FPR^y و TPR^y در هر مرحله محاسبه می‌شود (روابط ۱۵ و ۱۶).

$$TPR = \frac{N_T}{N_i} \quad (15)$$

$$FPR = \frac{N_F}{N - N_i} \quad (16)$$

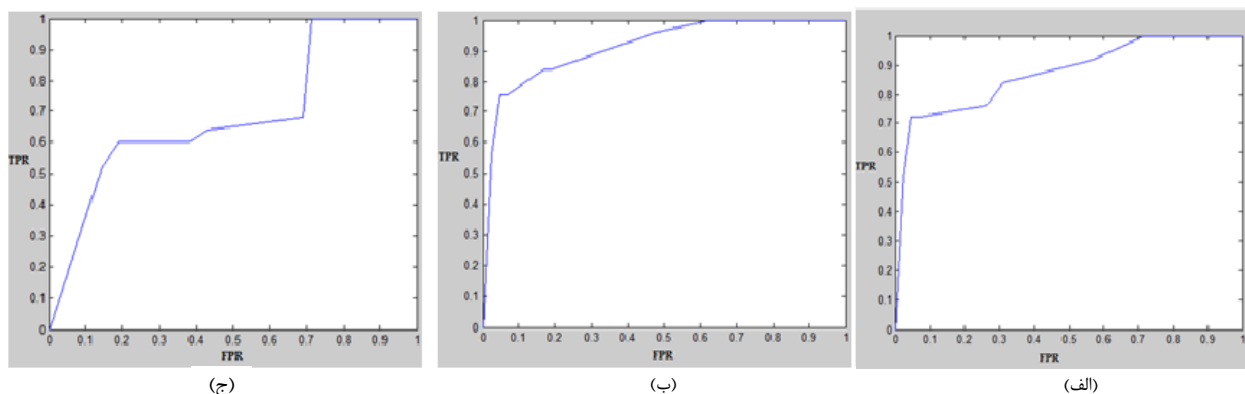
در این روابط N_T تعداد پیکسل‌های نمونه هدف هستند که به‌درستی انتخاب شده‌اند، N_F تعداد کل پیکسل‌هایی هستند که هدف نیستند ولی هدف انتخاب شده‌اند، N_i تعداد کل پیکسل‌های نمونه هدف و N نیز تعداد کل پیکسل‌های نمونه می‌باشند. با در نظر گرفتن روابط فوق، متناظر با هر حد آستانه، یک نقطه در فضای دوبعدی که توسط FPR و TPR تعریف شده‌اند، تولید می‌شود. به این ترتیب منحنی ROC متشکل از این نقاط ترسیم می‌شود.

۶۷ پیکسل معلوم از کل تصویر برای ارزیابی روش پیشنهادی انتخاب گردید. ۲۵ پیکسل از هدف موردنظر و بقیه از پس زمینه تصویر. منحنی ROC مطابق روال فوق برای نتایج آشکارساز پیشنهادی (تلفیق دو منبع داده) در شکل (۷-الف) نشان داده شده است. مساحت زیر این منحنی (دقت آشکارساز) برابر ۰/۸۷ می‌باشد. از آنجایی که روشی تلفیقی برای داده‌های پلاریمتری و ابرطیفی تا کنون ارائه نشده است نتایج روش پیشنهادی با دو روش مجزا در

پلاریمتری مشهود بود کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر تعداد مکان‌هایی که هدف موردنظر وجود نداشت اما داده پلاریمتری هدف تشخیص می‌داد در خروجی تلفیق بسیار کمتر شده است (محدوده مستطیل سبز رنگ). از طرفی اهداف پوشش دار که در خروجی داده ابرطیفی احتمال کمی داشت با بهبود خوبی همراه شده است. نقاط هدفی هم که در خروجی دو داده مشخص شده بودند حفظ شده‌اند. این عملکرد نشان می‌دهد مطابق انتظار اطلاعات حاصل از دو منبع داده مکمل یکدیگرند و به‌خوبی نقاط ضعف یکدیگر را می‌پوشانند. این نتیجه با در نظر گرفتن حد آستانه ۰/۷۶ برای آشکارسازی اهداف مخفی مطابقت دارد. در خروجی آشکارساز پیشنهادی پس از حد آستانه‌گذاری تعداد اهداف اشتباه کمتر از هر دو منبع داده به‌تنهایی و برابر ۳ هدف می‌باشد. تعداد ۳ هدف اشتباه با جبران ضعف داده‌ها توسط یکدیگر حاصل شده است. به‌عبارت دیگر داده ابرطیفی عدم یکتایی امضای پلاریمتری و ابهام آن را جبران کرده است و داده پلاریمتری عدم درک امضای طیفی از اهداف مخفی شده را برطرف کرده است.

۴-۲. ارزیابی آشکارسازی همه اهداف

استفاده از منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۱، به‌منظور نمایش گرافیکی عملکرد الگوریتم‌های آشکارسازی از دیدگاه میزان خطای برآورد و توان آشکارسازی، به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. ترسیم این منحنی اغلب بر اساس احتمال توان آشکارسازی^۲ یا احتمال مثبت^۳، و احتمال آشکارسازی یا تشخیص اشتباه^۴ انجام می‌گیرد. استفاده از معیار نرخ شناسایی^۵، نیز می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد که در آن از مساحت زیر منحنی ROC، به‌منظور تعیین میزان آشکارسازی استفاده می‌شود. مقدار قدرت آشکارسازی یک در این



شکل ۷. ارزیابی آشکارساز با منحنی ROC. (الف) روش پیشنهادی، (ب) روش ACE در تصویر ابرطیفی و (ج) روش CFAR در تصویر پلاریمتری.

⁵ Detection rate

⁶ False Positive ratio

⁷ True Positive Ratio

¹ Receiver Operating Characteristic (ROC)

² Detection power

³ Positive probability

⁴ False alarm probability

با اطمینان بالای اهداف پوشش‌دار می‌باشد. در روش پیشنهادی سعی بر حفظ مزیت‌های دو داده تا حد امکان و حذف معایب آن‌ها بوده است. مطابق نتایج تا حد زیادی این انتظارات برآورده شده است. خروجی آشکارساز پیشنهادی حاصل از داده پلاریمتری راداری و ابرطیفی به لحاظ دقت کلی توانسته بسیار بهتر از داده پلاریمتری و بسیار نزدیک به داده ابرطیفی خروجی را ارائه دهد. همچنین با حفظ برتری مهم داده پلاریمتری توانسته اهداف پوشش‌دار را نیز به خوبی آشکار کند.

۵. نتیجه‌گیری

این مقاله یک روش جدید برای استفاده هم‌زمان از دو منبع داده پلاریمتری راداری و ابرطیفی به‌منظور بهبود آشکارسازی اهداف پوشش‌دار در جنگل بر مبنای امضای پلاریمتری و طیفی ارائه شده است. داده پلاریمتری اطلاعاتی از سطوح زیرین جنگل و ویژگی‌های هندسی هدف ارائه می‌دهد. در مقابل داده ابرطیفی اطلاعاتی از طیف و ماهیت سطحی عوارض را نشان می‌دهد. دو نوآوری مهم در این مقاله ارائه گردید: ۱- آشکارساز بر مبنای امضای پلاریمتری در داده پلاریمتری SAR و ۲- استفاده هم‌زمان از دو داده ابرطیفی و پلاریمتری در یک آشکارساز. پیاده‌سازی و تحلیل نتایج با دو دیدگاه انجام شد. دیدگاه اول مشاهده خروجی الگوریتم پیشنهادی در دو منبع داده به‌تنهایی و تلفیق دو داده برای آشکارسازی اهداف مخفی و در دیدگاه دوم ارزیابی کمی خروجی آشکارساز پیشنهادی در تمام اهداف به کمک منحنی ROC در این سه حالت. با در نظر گرفتن حدآستانه کمینه در دو داده به‌تنهایی برای آشکارسازی اهداف مخفی در داده ابرطیفی و پلاریمتری به‌ترتیب ۹ و ۱۲ هدف اشتباه ظاهر شد. در تلفیق دو داده در آشکارساز پیشنهادی با انتخاب حدآستانه کمینه تعداد اهداف اشتباه به ۳ کاهش می‌یابد. منحنی ROC برای روش پیشنهادی (تلفیق دو تصویر ابرطیفی و پلاریمتری) به‌تنهایی محاسبه شد. مساحت زیر این منحنی‌ها به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۱ و ۰/۶۹ است. خروجی آشکارساز پیشنهادی حاصل از داده پلاریمتری راداری و ابرطیفی به لحاظ دقت کلی توانسته بسیار بهتر از داده پلاریمتری و بسیار نزدیک به داده ابرطیفی خروجی را ارائه دهد. همچنین با حفظ برتری مهم داده پلاریمتری توانسته اهداف پوشش‌دار را نیز به خوبی آشکار کند.

تصویر پلاریمتری و ابرطیفی مقایسه شد. روش ACE^۱ در تصویر ابرطیفی و روش CFAR^۲ در تصویر پلاریمتری برای این مقایسه انتخاب شدند. شکل‌های ۷ (ب) و (ج) منحنی ROC با داده‌های تست یکسان با روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. مساحت زیر این منحنی‌ها نیز به‌عنوان معیار کمی ارزیابی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مقایسه و ارزیابی خروجی آشکارساز (مساحت زیر منحنی ROC)

آشکارساز	مساحت زیر منحنی ROC
روش پیشنهادی (تلفیق ابرطیفی و پلاریمتری)	۰/۸۷
ACE (تصویر ابرطیفی)	۰/۹۱
CFAR (تصویر پلاریمتری)	۰/۶۹

تمرکز روش پیشنهادی این تحقیق در آشکارسازی اهداف اختفاء شده می‌باشد که دو هدف مخفی شده مورد بررسی، همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد در تصویر ابرطیفی به‌تنهایی قابل آشکارسازی نیست و در مقابل این دو هدف در تصویر پلاریمتری نمایان می‌شوند. اما در ارزیابی کلی روش‌های مورد بررسی در جدول ۱ تمام اهداف موجود بدون در نظر گرفتن اختفاء بودن آن‌ها بررسی شدند. مطابق نتایج در این جدول روش ACE در تصویر ابرطیفی به‌تنهایی نتایج بهتری را نسبت به تصویر پلاریمتری و تلفیق این دو داده (روش پیشنهادی) ارائه می‌دهد. در مقابل روش CFAR در داده پلاریمتری دقت پایین‌تری را نسبت به دو حالت دیگر ارائه می‌دهد. این نتایج با ماهیت دو داده قابل توجیه‌اند. نوع هدف انتخابی به گونه‌ای است که ابهام زیادی با اهداف دیگر در بازپراکنش راداری ایجاد می‌کند. در مقابل این هدف در داده ابرطیفی کاملاً متمایز از پس‌زمینه است. در این بین روش پیشنهادی ضمن حفظ عملکرد تصویر پلاریمتری در آشکارسازی اهداف پوشش‌دار دقت مناسبی را نیز در آشکارسازی کل اهداف تست در منحنی ROC ارائه می‌دهد.

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد روش پیشنهادی سعی در ادغام مزایای دو تصویر ابرطیفی و راداری در آشکارسازی اهداف پوشش‌دار را دارد. خروجی داده ابرطیفی اگرچه در آشکارسازی اهداف مختلف مورد نظر دقت مطلوبی را ارائه می‌دهد اما در آشکارسازی دو هدف مخفی شده در بین شاخ و برگ‌ها کاملاً ناموفق است. در مقابل با توجه به دشواری‌های موجود در نوع هدف مورد بررسی داده پلاریمتری راداری عملکرد خیلی خوبی در آشکارسازی کل اهداف ندارد اما یک مزیت بزرگ خروجی این داده، آشکارسازی

¹ Adaptive Coherence Estimator

² Constant False Alarm Rate

۶. مراجع

- [15] A. Banerjee, P. Burlina, and R. Chellappa, "Adaptive target detection in foliage-penetrating SAR images using alpha-stable models," *IEEE Trans. Geosci. Image Proces.*, Vol. 8, pp. 1823-1831, 1999.
- [16] J. A. Richards, "The Use of Multiple-Polarization Data in Foliage Penetrating (FOPEN) Synthetic Aperture Radar (SAR) Applications," Sand. Natio. Labor. Report, 2002.
- [17] D. Manolakis and G. Shaw, "Detection algorithms for hyperspectral imaging applications," *IEEE Sign. Proces. Magaz.*, Vol. 19, pp. 29-43, 2002.
- [18] H. Kwon and N. M. Nasrabadi, "Kernel RX-algorithm: a nonlinear anomaly detector for hyperspectral imagery," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 43, pp. 388-397, 2005.
- [19] S. S. Chiang, C. I. Chang, and I. W. Ginsberg, "Unsupervised target detection in hyperspectral images using projection pursuit," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 39, pp. 1380-1391, 2001.
- [20] J. J. Zyl, H. A. Zebker, and C. Elachi, "Imaging radar polarization signatures: Theory and observation," *Radio Science*, Vol. 22, no. 4, pp. 529-543, Jul. 1987.
- [21] J. S. Lee and E. Pottier, "Polarimetric radar imaging: from basics to applications," Boca Raton, FL, CRC press: USA, 2009.
- [22] F. Van Der Meer and W. Bakker, "CCSM: Cross correlogram spectral match," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, No. 5, pp.1197-1201, 1997, 2009.
- [1] S. Kuttikkad and R. Chellappa, "Non-Gaussian CFAR techniques for target detection in high resolution SAR images," in *Image Processing, ICIP-94, IEEE International Conference*, pp. 910-914, 1994.
- [2] L. Zhang, J. Zhang, B. Zou, and Y. Zhang, "Comparison of methods for target detection and applications using polarimetric SAR image," *Piers online*, Vol. 4, pp. 140-145, 2008.
- [3] D. Manolakis, C. Siracusa, and G. Shaw, "Hyperspectral subpixel target detection using the linear mixing model," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 39, pp. 1392-1409, 2001.
- [4] D. MacDonald, J. Isenman, and J. Roman, "Radar detection of hidden targets," in *Aerospace and Electronics Conference, NAECON 1997, Proceedings of the IEEE 1997 National*, pp. 846-855, 1997.
- [5] R. Ringrose and N. Harris, "Ship detection using polarimetric SAR data," in *SAR workshop: CEOS Committee on Earth Observation Satellites*, p. 687, 2000.
- [6] L. M. Novak, M. C. Burl, and W. Irving, "Optimal polarimetric processing for enhanced target detection," *IEEE Trans. Aeros. Elec. Sys.*, Vol. 29, pp. 234-244, 1993.
- [7] Y. Maghsoudi, M. Collins, and D. G. Leckie, "Polarimetric classification of Boreal forest using nonparametric feature selection and multiple classifiers," *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, Vol. 19, pp. 139-150, Oct. 2012.
- [8] Y. Maghsoudi, "Analysis of Radarsat-2 Full Polarimetric Data for Forest Mapping," Ph.D. dissertation, Calgary University, Calgary, The Canada, 2011.
- [9] L. M. Novak, G. J. Owirka, and C. M. Netishen, "Performance of a high-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system," *Linc. Labor. Jour.*, Vol. 6, 1993.
- [10] M. T. Eismann, "Hyperspectral remote sensing," SPIE Press: USA, 2012.
- [11] Y. L. Chang, C. T. Chen, C. C. Han, K. C. Fan, K. Chen, and J. H. Chang, "Hyperspectral and sar imagery data fusion with positive boolean function," in *Aerosense*, Vol.5093, pp. 765-776, 2003.
- [12] Gomez-Chova, J. Muñoz-Mari, J. Vila-Francés, and J. Calpe-Maravilla, "Composite kernels for hyperspectral image classification," *IEEE Geosci. Remote Sens. Letters*, Vol. 3, pp. 93-97, 2006.
- [13] D. Landgrebe, "Hyperspectral image data analysis," *IEEE Sign. Proces. Magaz.*, Vol. 19, pp. 17-28, 2002.
- [14] D. Manolakis, D. Marden and G. A. Shaw, "Hyperspectral image processing for automatic target detection applications," *Linc. Labor. Jour.*, Vol. 14, pp. 79-116, 2003.