

روشی جدید جهت ارزیابی قابلیت تفسیرپذیری تصاویر پلاریمتری راداری در کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف

صفا خزائی^{۱*}، امیر آقابالائی^۲

^۱ دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

skhazai@ihu.ac.ir

^۲ استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

remotesensing@ihu.ac.ir

(دریافت: مهر ۱۴۰۲، تصویب: آذر ۱۴۰۲)

چکیده

با ارزیابی میزان قابلیت تفسیرپذیری تصاویر سنجش‌ازدور می‌توان مشخصات تصویر مناسب برای کاربردهای مختلف آشکارسازی و تشخیص هدف را برآورد نمود. در این راستا، تصاویر تمام پلاریمتری راداری با قابلیت اطلاعات غنی‌تر نسبت به تصاویر تک پلاریمتری راداری منبع داده بسیار سودمندی هستند. در این تحقیق، یک روش تلفیقی جهت ارزیابی میزان قابلیت تفسیرپذیری تصاویر پلاریمتری راداری در کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف ارائه گردیده است. در روش پیشنهادی، ابتدا میزان عملکرد سنجنده راداری بر اساس پارامترهای سنجنده در مدل STAR محاسبه می‌شود. سپس، برای هر یک از تصاویر مربوط به کانال‌ها و پارامترهای پلاریمتری، میزان عملکرد آشکارسازی هدف با محاسبه معیار کارایی (MoP) که احتمال آشکارسازی را با نرخ هشدار اشتباه مرتبط می‌سازد، تعیین می‌شود. نهایتاً، با تلفیق اطلاعات بدست آمده از معیار MoP و مدل STAR میزان تفسیرپذیری تصاویر پلاریمتری راداری محاسبه می‌شود. همچنین، کارایی روش پیشنهادی بر روی یک نمونه تصویر تمام پلاریمتری راداری سنجنده AIRSAR مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تجربی این تحقیق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش مرسوم که در آن تنها از پارامترهای سنجنده راداری استفاده می‌شود، احتمال آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف را به‌طور میانگین به میزان ۳۰ درصد بهبود می‌دهد.

واژگان کلیدی: تفسیرپذیری، آشکارسازی هدف، تصاویر پلاریمتری راداری، معیار NIIRS، مدل STAR.

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

به طور کلی سنجنده های سنجنش از دوری تحت تأثیر عواملی مختلفی همچون شرایط آب و هوایی، نور خورشید و ساعت اخذ تصویر، هندسه تصویربرداری و نیز شرایط خصوصیات هدف می باشد. این عوامل که عموماً به طور مخرب تصویربرداری را تحت تأثیر خود قرار می دهند، شرایط عملکرد^۱ نامیده می شوند. شرایط عملکرد را می توان به سه دسته کلی تقسیم بندی کرد: سنجنده، هدف و محیط [۱، ۲]. بسیاری از شرایط عملکرد مربوط به سنجنده را می توان در طراحی سنجنده و یا با تغییر در هندسه تصویربرداری کنترل کرد. در مقابل متغیرهای مربوط به هدف و محیط تصویربرداری دارای چالش های بیشتری بوده و سطوح آشکارسازی^۲، تشخیص^۳ و شناسایی^۴ هدف را با مشکل مواجه می سازند. لازم به توضیح است که در سطح آشکارسازی هدف، وجود یا عدم وجود شیء مشخص می شود؛ در حالیکه در سطح تشخیص، کلاس شیء آشکار شده بر اساس یک سری ویژگی های خاص، تعیین می شود. همچنین در سطح شناسایی هدف، شیء تشخیص داده شده بر مبنای ویژگی های خاص آن شیء نام گذاری می شود.

قابلیت اخذ داده بدون تأثیر از شرایط زمانی و آب و هوایی و نیز قابلیت آشکارسازی هدف از فواصل قابل ملاحظه، برخی از مزایای سنجنده های راداری نسبت به سنجنده های تصویربرداری نوری می باشند. تاکنون روش های بسیاری برای آشکارسازی هدف از طریق به کارگیری سنجنش از دور راداری توسعه و نتایج آن ارائه گردیده است [۳-۶]. در این میان اصولاً رادارهای پالسی مراقبت زمینی یا نشانگر اهداف متحرک (MTI)^۵ برای آشکارسازی اهداف متحرک، و تصاویر رادار با روزه مجازی (SAR)^۶ برای آشکارسازی اهداف ثابت بکار گرفته شده اند. علاوه بر این تصاویر پلاریمتری راداری (PolSAR)^۷ با داشتن اطلاعات پلاریمتری از کانال ها و پارامترهای مختلف پلاریمتری، قدرت تفکیک و تمایز بیشتری از اهداف را ارائه می دهند.

اصولاً سنجنش کارایی استنتاج شده (PDS)^۸ با مفهوم سنجنش و ارزیابی تصاویر سنجنش از دوری در کاربردهای

مربوط به تصمیم گیری یاد می شود [۷]. منظور از تصمیم گیری این است که برای کاربردهای مختلف آشکارسازی هدف چه تصویری مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین مفهوم اصلی PDS حصول اطمینان از این موضوع است که تصویر اخذ شده توسط سامانه تصویربرداری، ملزومات کاربر و تجزیه گر و در نتیجه کاربردهای آشکارسازی هدف را برآورده نماید. اگر برآورد دقیقی از عملکرد سامانه تصویربرداری برای هر سنجنده و کاربرد خاص صورت گیرد، می توان به طور موفقیت آمیزی سنجنده و تصویر مناسب را برای کاربرد تعیین شده به کار گرفت. به منظور برآورد دقیق PDS بایستی یک معیار مناسب برای کمی سازی عملکرد سامانه تصویربرداری و همچنین یک مدل برای پیش بینی دقیق معیار به کارگیری شده بر اساس پارامترهای سنجنده و شرایط اخذ داده داشت. معیار اصلی برای ارزیابی سنجنده، کیفیت تصویر می باشد. یک معیار مناسب از کیفیت تصویری می تواند مقایسه دقیقی از روش های مختلف ارائه دهد تا کاربرد تعیین شده به بهترین نحو انجام گیرد.

برای کاربردهای بازدید مقدماتی و شناسایی هوشمند، به طور متداول، مقیاس ملی ارزیابی تفسیرپذیری تصویر (NIIRS)^۹ به عنوان یک معیار مورد استفاده قرار می گیرد [۸]. معیار NIIRS در یک قالب کلی، مباحث تفسیرپذیری و پتانسیل اطلاعات تصویری موجود را شامل شده و بنابراین یک معیار مناسب برای مدیریت و طبقه بندی مجموعه ای از تصاویر بر اساس کاربردهای مختلف آشکارسازی، اندازه گیری میزان عملکرد سامانه ها و نیز انجام ارزیابی در طراحی سامانه های تصویربرداری آتی می باشد. باین حال، استفاده از معیار NIIRS در کاربردهای خودکار سازی فرآیندها چالش هایی را به دنبال دارد [۹، ۱۰]. از جمله این چالش ها می توان به این مورد اشاره کرد که فشردگی تصاویر SAR به اندازه قابل توجهی، کاهش NIIRS را در پی دارد (فشردگی به نسبت ۱۰۰ به ۱ کاهش می یابد به میزان ۰/۱ در NIIRS راداری در پی خواهد داشت [۱۱]).

وقتی یک الگوریتم آشکارسازی هدف روی یک تصویر فشردگی شده اجرا می شود، عملکرد به میزان قابل توجهی کاهش می یابد، که با تجزیه و تحلیل بیشتر می توان به این

۶ Synthetic aperture RADAR

۷ Polarimetric SAR

۸ Performance-driven sensing

۹ National image interpretability ratio scale

۱ Operating conditions

۲ Detection

۳ Recognition

۴ Identification

۵ Moving Target Indicator

موضوع پی برد که این فشرده سازی خصوصیات آماری تصویر را به کلی تغییر می دهد. بنابراین این مورد نشان از ارتباط پیچیده عملکرد آشکارسازی هدف و معیار *NIIRS* دارد [۷]. تاکنون معیارهای مختلفی برای ارزیابی عملکرد آشکارسازی در تصاویر SAR ارائه شده است. این معیارها شامل روش های بر اساس نظریه آشکارسازی سیگنال [۱۲] و یا بر اساس احتمال آشکارسازی، شناسایی و هشدار اشتباه^۱ [۱۳] می باشند. دریگرس و همکاران [۱۴] یک روش برای تخمین عملکرد شناسایی هدف در تصاویر SAR ارائه دادند. در روش آن ها، ابتدا یک تبدیل از *NIIRS* رادار به مادون قرمز و مرئی صورت گرفته، سپس *NIIRS* حرارتی به احتمال تمایز^۲ تبدیل می شود. برای *NIIRS* نوری مدل برآوردی که مطرح شده، معادله کلی کیفیت تصویری (GIQE)^۳ می باشد که کیفیت تصویری را بر اساس پارامترهای سنجنده و شرایط اخذ داده مدل سازی می کند [۱۵، ۱۶]. در تحقیقی دیگر، گوچس و همکاران [۷] یک مدل برآورد برای تصاویر SAR پیشنهاد نمودند. در روش پیشنهادی آن ها دو GIQE معرفی شده است که یکی برای برآورد *NIIRS* رادار و دیگری برای پیش بینی عملکرد تصاویر در شناسایی خودکار اهداف می باشد. نولان و همکاران [۱۷] نیز چالش های توسعه یک GIQE برای *NIIRS* رادار را بررسی و یک GIQE برای SAR معرفی کرده و راهکارهایی را برای مطالعات بعدی ارائه دادند. همچنین کاهلر [۱۸] یک مدل عملکرد شناسایی و ردیابی هم زمان راداری (STAR)^۴ را با در نظر گرفتن متغیرهای مربوط به شرایط عملکرد سنجنده ارائه داد. وی در تحقیقی دیگر [۱۹]، روشی را برای برآورد عملکرد داده راداری در هر یک از کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف از طریق تابعی با عنوان تابع احتمال انتقال هدف^۵ پیشنهاد کرده است. از جمله تحقیقات اخیر در این حوزه نیز می توان به [۲۰-۲۴] اشاره کرد.

در تحقیق پیش رو، روشی برای ارزیابی عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری در شناسایی، آشکارسازی و تشخیص اهداف از طریق تلفیق نتایج مربوط به عملکرد رادار بر اساس مدل STAR و معیارهای ارزیابی کیفیت تصویری ارائه شده است. هدف اصلی در این تحقیق ارائه روشی است که در آن ارزیابی عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری نه تنها بر اساس پارامترهای سنجنده، بلکه بر اساس اطلاعات استخراج شده از

کانال ها و پارامترهای مختلف پلاریمتری صورت گیرد. این همان موردی است که روش پیشنهادی این تحقیق را از روش های فوق الذکر برای به دست آوردن پتانسیل تصاویر راداری متمایز می کند.

در ادامه، ساختار این مقاله به این گونه است که در بخش دوم مفاهیم اساسی شامل مدل برآورد عملکرد داده راداری در آشکارسازی اهداف، مدل برآورد *NIIRS* راداری و مدل برآورد عملکرد شناسایی خودکار اهداف (ATD)^۶، مفاهیم مدل آشکارسازی و ردیابی هم زمان یا همان STAR و در ادامه، توسعه این مدل برای تصاویر راداری ارائه می گردد. در بخش سوم نیز روش پیشنهادی، که تلفیقی از ATD و STAR می باشد، ارائه می شود. همچنین در بخش چهارم پس از توضیحاتی راجع به داده مورد استفاده، نتایج روش پیشنهادی در مقایسه با مدل STAR ارائه گمی گردد. در نهایت، در بخش پنجم به نتایج و یافته های اصلی این تحقیق پرداخته می شود.

۲- مبانی نظری پژوهش

۲-۱- مدل برآورد عملکرد رادار در آشکارسازی اهداف

در این بخش مدلی برای برآورد عملکرد آشکارسازی بر اساس پارامترهای سنجنده و شرایط اخذ داده ارائه می شود. رابطه بین ارزیابی عملکرد آشکارسازی و متغیرهای در نظر گرفته شده توسط این مدل بر اساس یک روش مدل سازی خطی محاسبه شده است. به طور خاص، این مدل تجربی با استفاده از یک مجموعه از تصاویر SAR با سطوح و انواع مختلف قدرت تفکیک، هندسه دید، خصوصیات پس زمینه و سنجنده ها محاسبه شده است. برای محاسبه عملکرد ATD، یک الگوریتم ATD که بر اساس تجزیه و تحلیل هشدار اشتباه برای یک محدوده حاوی پیکسل طراحی شده، ارائه گردیده است [۷]. در این روش عملکرد ATD از طریق مقایسه اهداف آشکارسازی شده توسط الگوریتم با اطلاعات زمینی در دسترس برآورد می شود. معیار ارزیابی عملکرد از طریق رابطه زیر بیان می شود:

$$MoP = \frac{1 + D}{1 + T + FA} \quad (1)$$

۴ Simultaneous tracking and recognition

۵ Target transfer probability function

۶ Automatic target detection

۱ False alarm

۲ Probability of discrimination

۳ General image quality equations

معیارهای مختلف تصویری مورد استفاده در این روش بدین منظور است که ابعاد مختلف کیفیت تصویری (مانند کنتراست، لبه، پس زمینه و ...) را مدل سازی کند. خلاصه ای از این معیارها در جدول (۱) آمده است. سه معیار اول ارتباطی با اطلاعات واقعی هدف ندارند، درحالی که چهار معیار آخر از اطلاعات هدف در یک سری محدوده حاوی پیکسل در تصویر استفاده می کنند.

در رابطه (۱)، D نشان دهنده تعداد اهدافی است که به درستی آشکار سازی شده اند، T تعداد واقعی اهداف موجود در تصویر و FA تعداد هشدارهای اشتباه آشکار سازی شده توسط ATD می باشد. MoP ^۱ نیز عددی بین صفر و یک بوده و احتمال آشکار سازی را با نرخ هشدار اشتباه مرتبط می سازد.

جدول ۱- معیارهای مورد استفاده در برآورد مدل ارزیابی عملکرد ATD.

معیار	توضیح
$\mu_{CFAR-clutter}$	CFAR میانگین برای پیکسل هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده اند
$\sigma_{CFAR-clutter}$	انحراف معیار استاندارد CFAR برای پیکسل هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده اند
PoE	احتمال لبه
$\mu_{CFAR-target}$	CFAR میانگین برای پیکسل های هدف
$\mu_{CFAR-target}$	انحراف معیار استاندارد CFAR برای پیکسل های هدف
μ_{NCC}	همبستگی متقابل نرمالیزه شده بین چیپ های (یک محدوده حاوی پیکسل) هدف و پس زمینه
σ_{NCC}	انحراف معیار استاندارد همبستگی متقابل نرمالیزه شده

همبستگی متقابل بالا، شناسایی هدف با CFAR کم با مشکل مواجه خواهد شد.

مدل های مربوط به $NIIRS$ راداری و MoP که برای کمی سازی عملکرد ATD توسعه داده شده اند، در دو حالت در نظر گرفته می شوند: در حالت اول، برآورد تنها بر اساس پارامترهای سنجنده و شرایط اخذ داده انجام می شود. ولی در حالت دوم، علاوه بر پارامترهای مذکور، پارامترهای مربوط به تصویر اصلی نیز به مدل جهت برآورد معرفی می شود. مدل سازی در حالت اول، برای زمان قبل از اخذ تصویر انجام می شود، درحالی که در حالت دوم، یک روش برای کمی سازی عملکرد بعد از اخذ تصویر ارائه می شود. در هر یک از حالات فوق، از طریق یک فرآیند رگرسیون خطی مرحله به مرحله با در نظر گرفتن کلیه متغیرهای مربوطه، مدل توسعه داده شده است [۷]. این مدل ها در بخش های بعدی به تفصیل شرح داده می شوند.

۲-۲- مدل برآورد $NIIRS$ راداری

در این بخش رابطه بین پارامترهای سنجنده و شرایط اخذ داده و سطوح $NIIRS$ ارائه می گردد. لذا، یک GIQE برای تصویر SAR ارائه می شود. پارامترهای مستقل در نظر

آماره نرخ هشدار اشتباه ثابت (CFAR)^۲: تعریف اصلی آشکار سازی با آماره CFAR این مورد را تعیین می کند که مقدار یک پیکسل تفاوت قابل توجهی با مقادیر پیکسل های اطراف دارد [۲۵، ۲۶]. با داشتن یک محدوده پیرامون پیکسل مورد ارزیابی، از عدم شباهت پیکسل هدف در پیکسل های پس زمین و بالعکس آن اطمینان حاصل می شود. در آماره CFAR مورد استفاده در توسعه مدل، توزیع مربوط به پیکسل های هدف و پس زمینه توسط آزمون های آماری T-test یا F-test مورد مقایسه قرار می گیرند.

احتمال لبه (PoE)^۳: برای محاسبه احتمال لبه با ضرب کانولوشن^۴ تصویر با یک فیلتر تفریق گوسین (DoG)^۵ به منظور افزایش وضوح لبه به دست می آید.

همبستگی متقابل نرمالیزه شده^۶: با داشتن اطلاعات واقعی از اهداف می توان همبستگی متقابل نرمالیزه شده پیکسل های موجود در محدوده هدف با پیکسل های پس زمینه در موقعیت های مختلف در تصویر محاسبه کرد. همبستگی متقابل کم، بدین معناست که در موقعیت های پس زمینه مورد نظر، هدف به راحتی قابل شناسایی بوده و CFAR پایینی در پی خواهد بود. در مقابل، با داشتن

^۵ Difference of Gaussian
^۶ Normalized cross correlation

^۱ Measure of performance
^۲ Constant false alarm rate
^۳ Probability of edge
^۴ Convolution

گرفته شده در این مدل شامل قدرت تفکیک (r)، زاویه فرود^۱ (φ)، مربع زاویه فرود و زاویه سکویت^۲ (s) می باشند. قدرت تفکیک از رابطه زیر به دست می آید:

$$r = r_{cr} r_r \sin \varphi \quad (2)$$

در رابطه (۲)، r_{cr} و r_r به ترتیب نشان دهنده قدرت تفکیک در دو راستای برد و آزیموت می باشند.

پس از تجزیه و تحلیل آماری مشخص شده است که نوع پس زمینه و متغیر زاویه سکویت از نظر آماری دارای اهمیت بالایی نیستند [۷]. این موضوع به این دلیل است که در سطح $NIIRS$ فرض می شود که اهداف در یک پس زمینه ساده یا صاف قرار دارند، بطوریکه تغییر در نوع پس زمینه، سطح $NIIRS$ را تحت تأثیر قرار نمی دهد. معادله $GIQE$ در این حالت طبق رابطه زیر بیان می شود [۷]:

$$Radar\ NIIRS = 5.606 - 0.763r + 3.657\varphi - 3.422\varphi^2 \quad (3)$$

پارامترهایی که از لحاظ آماری دارای اهمیت بیشتری بوده و در مدل وارد شده اند، عبارت اند از: میانگین و انحراف معیار $CFAR$ مربوط به هدف، احتمال لبه و انحراف معیار $CFAR$ مربوط به پس زمینه. $GIQE$ برای این مدل به صورت رابطه زیر به دست می آید [۷]:

$$NIIRS = 5.949 - 0.793r - 0.055\sigma_{CFAR\ clutter} + 0.03\mu_{CFAR\ target} + 3.252\varphi - 2.916\varphi^2 \quad (4)$$

۲-۳- مدل برآورد عملکرد ATD

با یک فرایند مشابه، همانند آنچه در بخش مربوط به توسعه مدل $NIIRS$ انجام شد، برآوردی از عملکرد ATD نیز انجام می شود. برای این کار، ابتدا برآورد MoP فقط با در نظر گرفتن پارامترهای سنجنده و شرایط اخذ داده انجام شده و نتایج مربوطه در این بخش نیز با داشتن ۵ متغیر قدرت تفکیک، زاویه فرود، مربع زاویه فرود، زاویه سکویت و نوع پس زمینه محاسبه می شود. ۳ متغیر پس زمینه C_{clear} ، C_{forest} و C_{urban} متغیرهای شاخص بوده به این معنی می باشند که دارای مقدار صفر یا یک هستند. چون مدل

دارای یک المان ثابت می باشد، به دلیل ایجاد یک ماتریس منفرد^۳ هر سه متغیر معرف را نمی توان در معادله قرار داد. بنابراین با در نظر گرفتن مقدار صفر برای متغیر C_{urban} و اینکه متغیرهای زوایای فرود و سکویت از لحاظ آماری دارای اهمیت نمی باشند، معادله عملکرد ATD در این حالت به صورت زیر بیان می شود [۷]:

$$MoP = 0.286 - 0.245r + 0.479C_{clear} + 0.38C_{forest} \quad (5)$$

با افزودن معیارهای تصویری به مدل و یک رگرسیون برای تعیین متغیرهای دارای اهمیت از لحاظ آماری، مدل نهایی عملکرد بر اساس پارامترهای سنجنده، شرایط اخذ داده و اطلاعات تصویری اخذ شده شامل دو معیار تصویری $CFAR$ میانگین و مربوط به پس زمینه $\mu_{CFAR\ clutter}$ و انحراف معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده σ_{NNC} به صورت زیر به دست می آید [۷]:

$$MoP = -0.028 - 0.19r + 2.491\sigma_{NNC} - 0.055\mu_{CFAR\ clutter} + 0.543C_{clear} + 0.454C_{forest} \quad (6)$$

بررسی ها نشان می دهد که با ارزیابی میزان شباهت بین $NIIRS$ و عملکرد ATD ارائه شده به میزان بالایی بوده و یک همبستگی قابل قبول بین ATD و MoP وجود دارد. این همبستگی با در نظر گرفتن نمودار پراکندگی نتایج $NIIRS$ و MoP برای سه مجموعه داده مورد تأیید قرار گرفته است [۷].

۲-۴- مدل عملکرد $STAR$

مدل عملکرد $STAR$ با در نظر گرفتن ۲۳ متغیر مربوط به شرایط عملکرد سنجنده ارائه شده است که از این طریق می توان از برآورد واقع بینانه شرایط اخذ داده اطمینان به عمل آورد [۱۸]. شرایط عملکرد در مدل $STAR$ شامل ۱۴ پارامتر مربوط به هدف می باشد. در جدول ۲ شرایط عملکرد سنجنده راداری که در مدل $STAR$ در نظر گرفته می شود، ارائه گردیده است.

^۳ Singular matrix

^۱ Depression angle

^۲ Squint angle

جدول ۲- شرایط عملکرد سنجنده در مدل STAR [۱۹].

عوامل	شرایط عملکرد
محیط	پس‌زمینه، زبری سطح، پراکنش چندوجهی، تاری تصویر، نزدیکی و مجاورت
هدف	طول، عرض، ارتفاع، دینامیک
سنجنده	فرکانس راداری، اندازه آنتن، عرض باند، زمان سکون ^۱ ، شکل نویز، آزیموت، ارتفاع، اتلاف سیستم، توان فرستنده، قدرت گیرنده آنتن، قدرت تفکیک در راستای برد، نسبت سیگنال به نویز، برد مایل تا هدف

موارد بالا برآوردی از RCS کل هدف در مدل STAR ارائه می‌دهند.

نسبت سیگنال به نویز $(SNR)^2$ با در دست داشتن RCS و پارامتر سنجنده راداری توسط رابطه زیر تعیین می‌شود [۱۹]:

$$SNR = \frac{PG^2\sigma\lambda^2\tau}{(4\pi)^3R^4KTSLF} \quad (7)$$

که در آن، P توان فرستنده رادار، G قدرت گیرنده آنتن، σ متغیر RCS هدف، λ طول موج، τ زمان سکون، R برد مایل تا هدف، K ثابت بولتزمن، T دما برحسب کلوین، SL اتلاف سامانه و F شکل نویز می‌باشد.

احتمال شناسایی هدف با در دست داشتن SNR از رابطه (۷) توسط مدل STAR تعیین می‌شود. احتمال شناسایی هدف توسط رادار برای یک هدف با پراکنش ثابت توسط مارکوم توسعه داده شده است [۲۷]. روش مارکوم بعدها توسط سورلینگ گسترش داده شد تا ۴ پارامتر مربوط به انواع هدف را وارد مدل کند. جدول ۳ شامل حالات مختلف احتمال شناسایی می‌باشد. تقریب احتمال شناسایی بنا بر روش توسعه داده شده توسط مارکوم و سورلینگ بعدها بیشتر مورد بحث و بررسی قرار گرفت [۲۸، ۲۹].

بسیاری از شرایط عملکرد موجود در جدول ۲ برای مدل‌سازی و برآورد سطح مقطع راداری (RCS)^۲ یک هدف زمینی در شرایطی پیچیده می‌باشد. شرایط پس‌زمینه، هدف و RCS مربوط به پراکنش چندوجهی نیز در مدل وارد می‌شود، در پس‌زمینه مدل‌سازی گردیده، نوع عوارض زمینی، زبری سطح، هندسه اخذ داده و فرکانس راداری نیز در نظر گرفته می‌شود. پس‌زمینه‌های مدل‌سازی گردیده می‌تواند شن، علف، بوته بلند، محصولات کشاورزی، درخت سطوح شهری و برف باشد [۱۹].

RCS چندوجهی در مدل STAR از طریق تغییرات فاز در مکانیسم‌های پراکنش مختلف از هدف و محیط پس‌زمینه تعیین می‌شود. پراکنش چندوجهی، از RCS مربوط به مکانیسم پراکنش سطحی هدف و یا پس‌زمینه، ضریب بازتابی از سطح و نیز مقدار تغییر فاز تقریبی در مدل‌سازی STAR استفاده می‌کند.

مکانیسم‌های پراکنش موجود در مدل STAR شامل انرژی بازتابی از سطح زمین به سمت هدف و بازگشتی به سمت رادار، انرژی بازتابی از هدف به سمت سطح زمین و بازگشتی به سمت رادار و نیز انرژی بازتابی از هدف به سمت بخش دیگری از هدف و بازگشتی به سمت رادار می‌باشد. مجموع RCS های مربوط به هر یک از

جدول ۳- حالات مختلف احتمال شناسایی هدف در مدل STAR [۱۹].

عوامل	شرایط عملکرد
سورلینگ ۰	CFAR میانگین برای پیکسل‌هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند
سورلینگ ۱	انحراف معیار استاندارد CFAR برای پیکسل‌هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند
سورلینگ ۲	احتمال لبه
سورلینگ ۳	CFAR میانگین برای پیکسل‌های هدف
سورلینگ ۴	انحراف معیار استاندارد CFAR برای پیکسل‌های هدف
سورلینگ ۰	CFAR میانگین برای پیکسل‌هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند

^۱ Dwell time^۲ Radar cross section^۳ Signal-to-noise ratio

برای سورلینگ ۳ مقدار ۲ و برای سورلینگ ۴ مقدار $2N_p$ را دارا می‌باشد.

با درج SNR از رابطه (۷) در معادله (۸) برای SNR_{ap} و تغییر مقادیر N_p ، P_d و P_{fa} تا بدست آمدن SNR مطلوب، P_d به‌دست‌آمده احتمال شناسایی هدف راداری در مدل STAR می‌باشد.

۲-۵- توسعه مدل عملکرد STAR

مدل عملکرد راداری از طریق STAR دارای سطوح مختلف آشکارسازی و تشخیص و شناسایی می‌باشد. برآورد عملکرد داده راداری در هر یک از کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف از طریق تابع احتمال انتقال هدف (TTPF)^۲ طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

$$P(N) = \frac{\left(\frac{N}{N_{50}}\right)^{a+b\left(\frac{N}{N_{50}}\right)}}{\left[1 + \left(\frac{N}{N_{50}}\right)^{a+b\left(\frac{N}{N_{50}}\right)}\right]} \quad (13)$$

در رابطه بالا، متغیرهای a و b ثابت بوده و به ترتیب دارای مقادیر ۱،۷۵ و ۰،۳۵ می‌باشند. N_{50} تعداد دوایر ممکن در طول هدف مطلوب برای احتمال موفقیت ۵۰ درصد در هر یک از کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی می‌باشد.

رابطه زیر مقدار N تعداد دوایر ممکن در طول هدف را برای سنجنده رادار تعیین می‌کند [۱۹]:

$$N = \frac{BW(l|\cos\psi| + w|\sin\psi|)}{c} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴)، BW عرض باند، l طول هدف، w عرض هدف، ψ زاویه آزمون هدف و c سرعت نور می‌باشد. مقدار N_{50} نیز برای کاربردهای شناسایی، آشکارسازی و تشخیص از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{aligned} N_{50r} &= 3.9|\cos\psi| + 2.9|\sin\psi| \\ N_{50id} &= 4.6|\cos\psi| + 3.9|\sin\psi| \end{aligned} \quad (15)$$

احتمال هشدار اشتباه و احتمال شناسایی با SNR برای کلیه حالات سورلینگ توسط نسبت سیگنال به نویز تقریبی (SNR_{ap}) توسط رابطه زیر به هم مرتبط می‌شوند:

$$SNR_{ap}(db) = SNR_{\infty}(db) + C_{db} \quad (8)$$

متغیر SNR_{∞} نسبت سیگنال به نویز برای یک هدف ثابت (حالت سورلینگ ۰) بوده و از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SNR_{\infty} = \eta \left(\eta + 2\sqrt{\frac{N_p}{2}} + \left(\alpha - \frac{1}{4}\right) \right) \quad (9)$$

$$\begin{cases} \alpha = 0 & N_p < 40 \\ \alpha = \frac{1}{4} & N_p \geq 40 \end{cases}$$

که در آن N_p تعداد پالس‌ها و فواصل بین ۱ و ۱۰۰ می‌باشد. همچنین، پارامتر η از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta = \frac{\sqrt{-0.8 \ln(4P_{fa}(1 - P_{fa}) + \text{sign}(P_d) - 0.5)} \sqrt{-0.8 \ln 4P_d(1 - P_d)}}{\sqrt{-0.8 \ln 4P_d(1 - P_d)}} \quad (10)$$

متغیر C_{db} در رابطه (۸) توسط معادله زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} C_{db} &= C_1 & 0.1 \leq P_d \leq 0.872 \\ C_{db} &= C_1 + C_2 & 0.872 \leq P_d \leq 0.99 \end{aligned} \quad (11)$$

که در آن C_1 و C_2 توسط رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} C_2 &= e^{\frac{27.31P_d - 25.14}{K}} + \left(P_d \left[0.7 \log \frac{10^{-5}}{P_{fa}} + \left(\frac{2N_p - 20}{80} \right) \right] - 0.8 \right) \frac{1}{K} \end{aligned} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲)، K پارامتر ثابت نبودن^۱ متحرک بوده و حالات مربوط به مدل‌های مارکوم و سورلینگ را به هم ربط می‌دهد. K برای هدف ثابت (سورلینگ ۰) ∞ بوده، برای حالت سورلینگ ۱ مقدار ۱، برای سورلینگ ۲ مقدار N_p ،

^۱ Fluctuation

^۲ Target transfer probability function

پارامتر ابهام هدف^۱ از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{RE} = (1 - O_{radar})[l|\cos \psi| + w|\sin \psi|] \quad (۱۶)$$

در رابطه (۱۶)، O_{radar} درصدی از هدف است که در معرض دید نبوده و دارای مقداری بین صفر (کاملاً در معرض دید) تا مقدار یک (کاملاً خارج از دید) می‌باشد. تأثیر مجاورت هدف^۲ نیز با تعیین عامل مجاورت (۷) طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma = \frac{c}{2 BW A_{radar}} \quad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷)، A_{radar} فاصله مجاورت بین هدف موردنظر و نزدیک‌ترین هدف به آن می‌باشد. پارامتر ابعاد بحرانی هدف^۳ (β) در رادار، عامل مجاورت را به صورت رابطه زیر مدل‌سازی می‌کند:

$$\beta = \frac{L_{RE_1}}{L_{RE_1} + \gamma L_{RE_2}} \quad (۱۸)$$

که در آن $0 \leq \beta \leq 1$ ، L_{RE_1} پارامتر ابهام هدف موردنظر و L_{RE_2} پارامتر ابهام نزدیک‌ترین هدف مطلوب می‌باشد. درنهایت، عامل مجاورت β در مقدار N محاسبه شده از رابطه (۱۴) ضرب شده تا تأثیر مجاورت نیز در مدل‌سازی وارد شود.

۳- روش پیشنهادی

به منظور دستیابی به احتمال بالاتری از آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف و به کارگیری اطلاعات کامل سنجنده راداری، شرایط اخذ تصویر، خصوصیات هدف و همچنین اطلاعات تصویری هر یک از تصاویر پلاریمتری راداری (شامل تصاویر کانال‌های HH، HV و VV) و پارامترهای مختلف پلاریمتری (مانند پارامترهای تجزیه هدف^۴)، احتمال محاسبه شده از تلفیق احتمال شناسایی به دست آمده از بخش‌های قبل طبق رابطه زیر بیان می‌شود:

$$P_d = 1 - (1 - P_{d_{radar}})(1 - MoP_{h_{radar}}) \quad (۱۹)$$

در رابطه (۱۹)، $P_{d_{radar}}$ طبق رابطه (۱۳)، که بر اساس مدل STAR راداری است، به دست می‌آید و $MoP_{h_{radar}}$ مقدار عملکرد ATD مربوط به پارامتر پلاریمتری است که بیشترین مقدار MoP را دارا باشد:

$$MoP_{h_{radar}} = \max(MoP_1, MoP_2, \dots, MoP_N) \quad (۲۰)$$

در رابطه (۱۹)، احتمال هر یک از کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی با در نظر گرفتن خصوصیات مربوط به سنجنده و شرایط اخذ تصویر توسط $P_{d_{radar}}$ به دست آمده و از عدد ۱ کم می‌شود. از طرفی، احتمال تشخیص استخراج شده از هر یک از تصاویر پلاریمتری از عدد ۱ کم شده تا مقدار احتمال عدم آشکارسازی با استفاده از اطلاعات تصویری محاسبه شود. سپس، مقادیر احتمال عدم آشکارسازی به دست آمده از دو مورد ذکر شده در هم ضرب شده و مقدار احتمال تلفیقی سطح آشکارسازی (آشکارسازی، تشخیص و شناسایی) به دست می‌آید. درنهایت با کم کردن این مقدار از یک مقدار احتمال تلفیقی هر یک از کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی محاسبه می‌شود.

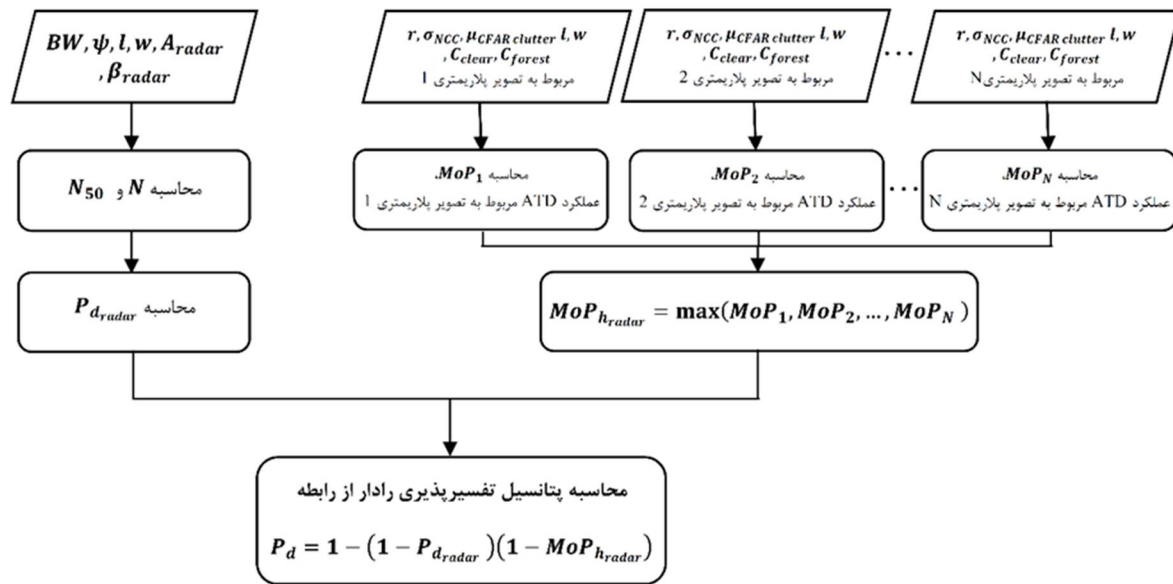
دیگرام روش پیشنهادی این تحقیق در شکل (۱) آورده شده است. با توجه به شکل (۱)، با محاسبه پارامترهای N و N_{50} و با در اختیار داشتن پارامترهای مربوط به خصوصیات سنجنده و شرایط اخذ تصویر، مقدار احتمال هر یک از کاربردهای آشکارسازی، تشخیص و شناسایی محاسبه می‌شود (محاسبه $P_{d_{radar}}$). از طرف دیگر، به تعداد N پارامتر از تصاویر پلاریمتری راداری استخراج شده، عملکرد ATD برای هر یک از تصاویر مربوط به این پارامترها به دست می‌آید. بدین ترتیب با در اختیار داشتن مقدار عملکرد ATD بیشینه مربوط به N تصویر پارامتر، مقدار نهایی پتانسیل تفسیرپذیری تصویر پلاریمتری راداری بر اساس رابطه (۱۹) برای کاربرد موردنظر محاسبه می‌گردد.

^۳ Target adjacency

^۴ Target decomposition

^۱ Target obscuration

^۲ Target adjacency



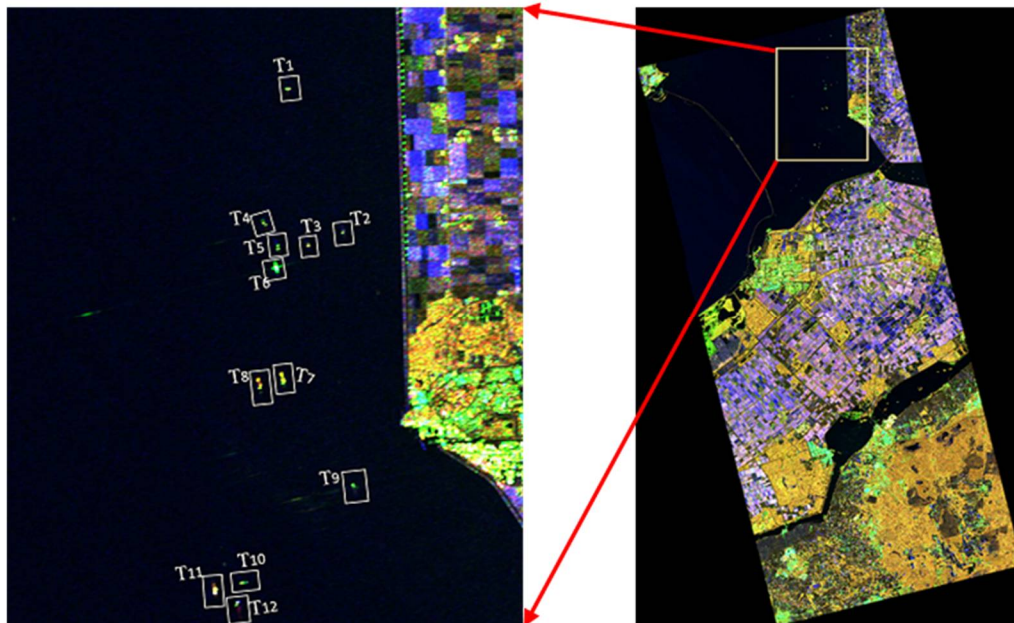
شکل ۱- دیاگرام روش پیشنهادی این تحقیق

پارامترهای پلاریمتری، نتایج روش پیشنهادی جهت برآورد پتانسیل تفسیرپذیری یک تصویر پلاریمتری راداری ارائه می‌گردد. تصویر پلاریمتری راداری مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به منطقه فلیوولاند در کشور هلند بوده و توسط سنجنده AIRSAR در باند L و در سال ۲۰۰۹ اخذ گردیده است. این تصویر به همراه یک زیربخش از آن در شکل (۲) نمایش داده شده است.

۴- نتایج تجربی

۴-۱- داده مورد استفاده

در این بخش، با توسعه روش پیشنهادی به منظور برآورد پتانسیل تفسیرپذیری به عنوان تابعی از متغیرهای مربوط به سنجنده راداری، شرایط اخذ تصویر و معیار تصویری و نیز



شکل ۲- تصویر RGB Lexicographic تصویر پلاریمتری راداری مورد استفاده در این تحقیق (قرمز: |VV|، سبز: |HV| و آبی: |HH|).

در این تصویر، تعدادی هدف کشتی (T1 تا T12) نیز مشخص گردیده‌اند. پارامترهای مربوط به سنجنده راداری نیز در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- پارامترهای سنجنده راداری

پارامتر راداری	مقدار
فرکانس مرکزی	8.7 GH
عرض باند	0.48 MH
قدرت گیرنده آنتن	34.3 db
شکل نویز	1.8 db
اتلاف سیستم	8.9 db
توان انتقال میانگین	350 watts

در بخش اول، با در نظر گرفتن یک هدف با ابعاد ۵ متر در ۱،۹ متر در ۱،۸ متر به عنوان یک کامیونت کوچک در یک سطح نسبتاً صاف، الگوریتم با شرایط عملکرد ارائه شده در جدول (۵) برای سه حالت مختلف اجرا شد. در جدول (۵)، پارامترهای ابهام هدف (O_{radar}) و همچنین فاصله مجاورت بین هدف موردنظر و نزدیک ترین هدف (A_{radar}) و نوع پس زمینه و تراکم هدف در پس زمینه بیان شده است. این پارامترها، برای ۳ حالت با شرایط عملکرد و اخذ داده مختلف با در نظر گرفتن هدف مذکور فرض شده است.

جدول ۵- پارامترهای مربوط به شرایط عملکرد در سه حالت

مختلف

شرایط عملکرد	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳
پارامتر O_{radar}	صفر درصد	۲۵ درصد	۷۵ درصد
مجاورت	۱۰ متر	۲ متر	۰،۵ متر
نوع پس زمینه	خاک/شن	درخت/زمین کشاورزی	ساختمان
تراکم	۱۰	۵۰۰	۱۰۰۰

۴-۲- نتایج MoP

در این بخش، نتایج MoP مربوط به هر یک از تصاویر پلاریمتری در هر یک از حالات ارائه شده است. تصاویر، شامل کانال‌های پلاریمتری HH، HV و VV و پارامترهای تجزیه هدف می‌باشند. با توجه به رابطه (۶)، پارامترهای σ_{NCC} و $\mu_{CFARclutter}$ برای هر تصویر محاسبه و بعد از به دست آوردن نتایج، MoP برای هر یک از حالات مطابق با جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج مربوط به پارامترهای σ_{NCC} و $\mu_{CFARclutter}$ و مقادیر MoP محاسبه شده برای هر یک از کانال‌ها و پارامترهای پلاریمتری

تصویر پلاریمتری	σ_{NCC}	$\mu_{CFARclutter}$	MoP
کانال HH	۱،۰۵۲۷۱	۰،۰۸۶۲۱۸	۰،۲۴۰۰۵۶
کانال HV	۱،۰۶۴۳۹	۰،۰۰۲۷۸	۰،۲۸۰۲۴۴
کانال VV	۱،۰۴۶۲۳	۰،۰۶۹۹۸	۰،۲۳۱۳۱۲
پارامتر Alpha	۱،۰۴۷۹۲	۰،۳۸۶۹۲	۰،۲۱۸۰۹
پارامتر H	۱،۱۶۷۲۶	۰،۱۷۴۲۰	۰،۵۲۷۰۶۵
پارامتر A	۱،۰۷۸۳۴	۰،۶۲۷۴۸	۰،۲۸۰۶۳۵
پارامتر span	۱،۱۴۸۵۴	۰،۰۹۲۵۲	۰،۴۸۴۹۲۶

با توجه به جدول (۶) می‌توان مشاهده کرد که میزان عملکرد پارامتر آنتروپی^۱ که بی‌نظمی‌های بازپراکنش^۲ از روی سطح را مدل می‌کند، از سایر پارامترها بهتر است. این پارامتر دارای قابلیت تفکیک از لحاظ ویژگی‌های بازپراکنش بوده و این مورد نشان‌دهنده برتری یک تصویر تمام پلاریمتری راداری نسبت به یک تصویر تک پلاریمتری راداری می‌باشد [۳۰]. در این میان، پارامتر span نیز که از مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس (مقادیر شدت بازپراکنش مربوط به کانال‌های HH، HV و VV) به دست آمده و به گونه‌ای اطلاعات هر سه کانال پلاریمتری را در خود دارد، مقدار MoP نسبتاً بالایی (بسیار نزدیک به این مقدار مربوط به پارامتر آنتروپی) را فراهم می‌نماید.

۴-۳- کارایی روش پیشنهادی

نتایج مربوط به عملکرد سنجنده راداری بر اساس مدل STAR برای هر یک از حالات مذکور در جدول (۵) محاسبه شده و به همراه نتایج احتمال آشکارسازی روش تلفیقی (که در آن احتمال شناسایی تصاویر پلاریمتری راداری با نتایج عملکرد سنجنده راداری بر اساس مدل STAR تلفیق گردیده) در جدول (۷) ارائه گردیده است.

با توجه به جدول (۷)، بهبود میزان عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری در کاربردهای شناسایی، آشکارسازی، و تشخیص با به کارگیری روش پیشنهادی نسبت روش ارزیابی عملکرد بر اساس مدل STAR قابل توجه است. بطوریکه برای هر یک از کاربردهای مذکور، به صورت میانگین به میزان ۳۰ درصد بهبود در روش تلفیقی پیشنهادی نسبت به مدل STAR قابل مشاهده است.

جدول ۷- نتایج عملکرد سنجنده راداری بر اساس مدل STAR به همراه نتایج روش تلفیقی ارزیابی میزان عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری در آشکارسازی، تشخیص و شناسایی برای هر یک از کانال‌ها و پارامترهای پلاریمتری

حالات مختلف	مدل STAR			روش پیشنهادی	
	آشکارسازی	تشخیص	شناسایی	آشکارسازی	تشخیص
حالت ۱	۰,۶۸۶۵۰۵	۰,۵۲۴۰۰۶	۰,۴۳۴۴۲۷	۰,۸۵۱۷۳۸	۰,۷۷۴۸۸۶
حالت ۲	۰,۶۴۰۷۳۷	۰,۴۷۸۵۴۵	۰,۳۹۲۵۷۶	۰,۸۳۰۰۹۲	۰,۷۵۳۳۸۶
حالت ۳	۰,۴۹۵۵۹	۰,۳۴۸۴۴۸	۰,۲۷۸۰۱۵	۰,۷۶۱۴۴۷	۰,۶۹۱۸۵۹

اساس این جدول، در مقایسه با مدل STAR، به کارگیری روش پیشنهادی در کمترین حالت به اندازه ۱۰٪ و در بهترین حالت به میزان ۳۵٪ احتمال آشکارسازی اهداف را افزایش می‌دهد. همچنین، روش پیشنهادی احتمال تشخیص هدف را در کمترین حالت ۲۲٪ و در بهترین حالت ۶۶٪ افزایش می‌دهد. در حالت شناسایی هدف نیز، روش پیشنهادی در کمترین حالت ۳۳٪ و در بهترین حالت ۹۳٪ بهتر از مدل STAR عمل می‌کند. در مجموع، به طور متوسط در سه سطح آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف، روش پیشنهادی نسبت به مدل STAR حدود ۳۵٪ کارایی بهتری دارد.

جدول ۸- نوع و مشخصات فیزیکی اهداف در نظر گرفته شده به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در مقایسه با مدل STAR

هدف نظامی	ابعاد	
	عرض (متر)	طول (متر)
پارامتر <i>Oradar</i>	۱۹,۹	۱۵۸,۵
ناو هواپیمابر USS Langley (CV-1)	۲۸,۳	۲۴۹,۹
ناو هواپیمابر USS Lexington (CV-2)	۳۲,۱	۲۵۹,۱
ناو هواپیمابر USS Saratoga (CV-3)	۲۴,۴	۲۲۲,۵
ناو هواپیمابر USS Ranger (CV-4)	۲۵,۴	۲۳۴,۷
ناو هواپیمابر USS Yorktown (CV-5)	۳,۰	۱۱,۲۵

استفاده از پتانسیل تصاویر پلاریمتری راداری (تصاویر کانال‌ها و پارامترهای مختلف پلاریمتری) در کنار برآورد میزان عملکرد سنجنده راداری بر اساس مدل STAR می‌توان دلیلی بر بهبود روش پیشنهادی نسبت مدل STAT عنوان کرد. لازم به ذکر است که تأثیر مجاورت هدف با یک هدف دیگر و همچنین تأثیر پارامتر ابهام هدف (که نشان دهنده درصدی از هدف است که در معرض دید می‌باشد) را نیز با مشاهده میزان عملکرد در هر یک از حالات مختلف می‌توان دریافت کرد. به عنوان مثال، در حالت ۳ نسبت به حالت ۱، میزان آشکارسازی حدود ۱۹ درصد در مدل STAR و حدود ۹ درصد در مدل پیشنهادی کاهش داشته است.

در این بخش نیز پس از معرفی نوع و مشخصات چند هدف نظامی (ناو هواپیمابر)، به ارائه نتایج مربوط به ارزیابی عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری در حوزه آشکارسازی، تشخیص و شناسایی پرداخته می‌شود. در جدول (۸) ابعاد و عناوین این اهداف نظامی ارائه شده است. در جدول (۹) نیز نتایج مدل STAR به همراه نتایج روش پیشنهادی در محاسبه ارزیابی عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری در سطوح آشکارسازی، تشخیص و شناسایی نشان داده شده است. بر

جدول ۹- مقایسه عملکرد مدل STAR و روش پیشنهادی در آشکارسازی، تشخیص و شناسایی اهداف نظامی

هدف نظامی	مدل STAR			روش پیشنهادی	
	آشکارسازی	تشخیص	شناسایی	آشکارسازی	تشخیص
ناو هواپیمابر USS Langley (CV-1)	۰,۶۰۱۹۴۶	۰,۴۴۱۸۶۴	۰,۳۵۹۵۳۶	۰,۸۱۱۷۴۷	۰,۷۳۶۰۳۸
ناو هواپیمابر USS Lexington (CV-2)	۰,۸۲۳۲۷۵	۰,۶۷۸۸۴۱	۰,۵۸۵۹۴۸	۰,۹۱۶۴۲۱	۰,۸۴۸۱۱۳
ناو هواپیمابر USS Saratoga (CV-3)	۰,۸۴۱۱۵۹	۰,۷۰۱۹۷۸	۰,۶۱۰۰۳۲	۰,۹۲۴۸۷۹	۰,۸۵۹۰۵۵
ناو هواپیمابر USS Ranger (CV-4)	۰,۷۶۷۵۴۲	۰,۶۱۱۶۳۳	۰,۵۱۸۲۸۳	۰,۸۹۰۰۶۳	۰,۸۱۶۳۲۸
ناو هواپیمابر USS Yorktown (CV-5)	۰,۷۹۴۶۵۷	۰,۶۴۳۴۸۸	۰,۵۴۹۹۵۳	۰,۹۰۲۸۸۶	۰,۸۳۱۳۹۳

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، یک روش تلفیقی برای ارزیابی میزان عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری در کاربردهای شناسایی،

آشکارسازی و تشخیص ارائه گردیده است. در روش پیشنهادی، ابتدا میزان عملکرد سنجنده راداری بر اساس پارامترهای سنجنده در مدل STAR محاسبه می‌شود. در مدل راداری STAR، میزان احتمال موفقیت آشکارسازی، تشخیص و

روش‌های پیشین (که یا بر اساس پارامترهای سنجنده بوده و یا بر شرایط خود تصویر پلاریمتری راداری تأکید دارند) بوده که دلیل آن به‌کارگیری پتانسیل تصاویر پلاریمتری راداری در کنار مدلی دقیق برای برآورد عملکرد سنجنده راداری بیان گردید. به‌طور خاص، با به‌کارگیری روش پیشنهادی در ارزیابی عملکرد تصاویر پلاریمتری راداری نسبت به مدل STAR تا میزان ۳۰ درصد احتمال آشکارسازی، تشخیص و شناسایی هدف را بالا می‌رود. برای توسعه روش پیشنهادی این تحقیق پیشنهاد می‌شود، بهبود عملکرد سنجنده راداری از طریق به‌کارگیری تکنیک‌های تلفیق داده‌های الکترواپتیک و داده‌های مربوط به شواهد عینی با داده‌های راداری موردبررسی قرار گیرد.

شناسایی توسط داده اخذشده توسط سنجنده راداری برای یک هدف با ابعاد و همچنین شرایط فیزیکی مشخص (مانند مجاورت با سایر اهداف و همچنین در معرض دید بودن یا نبودن) محاسبه می‌گردد. سپس، برای هر یک از تصاویر مربوط به کانال‌ها و پارامترهای پلاریمتری، میزان عملکرد ATD با محاسبه MOP مربوطه به دست می‌آید. درنهایت، با تلفیق اطلاعات به‌دست‌آمده از MOP و مدل STAR میزان عملکرد تصویر پلاریمتری راداری محاسبه می‌شود.

با در نظر گرفتن یک هدف مشخص در سه حالت مختلف از نظر پس‌زمینه، نزدیکی به اهداف دیگر، میزان ابهام هدف و ... میزان عملکرد مدل پیشنهادی به دست آمد. آنچه موردتوجه قرار گرفت، بهبود روش پیشنهادی نسبت به

مراجع

- [۱] B. Kahler, E. Blasch, and L. Goodwon, "Operating condition modeling for ATR fusion assessment," in *Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications 2007*, 2007, pp. 119-129.
- [۲] B. Kahler and E. Blasch, "Sensor management fusion using operating conditions," in *2008 IEEE National Aerospace and Electronics Conference*, 2008, pp. 281-288.
- [۳] B. Kahler and E. Blasch, "Impact of HRR radar processing on moving target identification performance," in *2009 12th International Conference on Information Fusion*, 2009, pp. 858-865.
- [۴] B. Kahler, J. Querns, and G. Arnold, "An ATR challenge problem using HRR data," in *Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XV*, 2008, pp. 217-228.
- [۵] R. Schumacher and J. Schiller, "Non-cooperative target identification of battlefield targets-classification results based on SAR images," in *IEEE International Radar Conference*, 2005., 2005, pp. 167-172.
- [۶] R. C. DiPietro, R. P. Perry, and R. L. Fante, "SAR imaging and detection of moving targets," in *Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery V*, 1998, pp. 73-84.
- [۷] D. Gutches, J. M. Irvine, M. Young, and M. S. Snorrason, "Predicting the effectiveness of SAR imagery for target detection," in *Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XVIII*, 2011, pp. 359-370.
- [۸] J. Irvine and R. Driggers, "National imagery intelligence rating scale (NIIRS)," *The Encyclopedia of Optical Engineering*, Marcel Dekker, 2003.
- [۹] R. Eaton, M. Snorrason, J. Irvine, and S. Vanstone, "Advancement in ATD performance prediction," in *Automatic Target Recognition XVIII*, 2008, pp. 22-31.
- [۱۰] J. M. Irvine and E. Nelson, "Image quality and performance modeling for automated target detection," in *Automatic Target Recognition XIX*, 2009, pp. 193-201.
- [۱۱] J. M. Irvine, B. A. Eckstein, R. A. Hummel, R. J. Peters, and R. Ritzel, "Evaluation of the tactical utility of compressed imagery," *Optical Engineering*, vol. 41, pp. 1262-1272, 2002.
- [۱۲] J. M. Irvine, "Assessing target search performance: The free-response operator characteristic model," *Optical Engineering*, vol. 43, pp. 2926-2934, 2004.
- [۱۳] S. K. Ralph, R. Eaton, M. Snorrason, J. Irvine, and S. Vanstone, "Evaluation testbed for ATD performance prediction (ETAPP)," in *Automatic Target Recognition XVII*, 2007, pp. 319-329.
- [۱۴] R. G. Driggers, J. A. Ratches, J. C. Leachtenauer, and R. W. Kistner, "Synthetic aperture radar target acquisition model based on a National Imagery Interpretability Rating Scale to probability of discrimination conversion," *Optical Engineering*, vol. 42, pp. 2104-2112, 2003.
- [۱۵] J. C. Leachtenauer, W. Malila, J. Irvine, L. Colburn, and N. Salvaggio, "General image-quality equation: GIQE," *Applied optics*, vol. 36, pp. 8322-8328, 1997.
- [۱۶] J. C. Leachtenauer, "National imagery interpretability rating scales: overview and product description," in *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meetings*, 1996, pp. 262-272.

- [۱۷] A. R. Nolan, G. S. Goley, and M. Bakich, "Performance estimation of SAR using NIIRS techniques," in *Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XIX*, 2012, pp. 248-258.
- [۱۸] B. Kahler, "Simultaneous tracking and recognition performance model," in *Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XIX*, 2012, pp. 215-227.
- [۱۹] B. Kahler, "Multisource information fusion for enhanced simultaneous tracking and recognition," in *Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XXII*, 2013, pp. 265-282.
- [۲۰] W. Wei, L. Chunyan, S. Tao, Y. Jianfeng, Y. Xiaqiong, and W. Yukuan, "SAR image quality assessment of satellite TH-2-01," *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2022, vol. 51, p. 2508.
- [۲۱] F. Lu, J. Huang, and J. Wang, "Performance prediction of SAR noise jamming using NIIRS," in *International Conference on Optics and Machine Vision (ICOMV 2022)*, 2022, pp. 98-102.
- [۲۲] W. Schwartzkopf, J. Brown, G. Farquharson, C. Stringham, M. Duersch, and J. Heemskerk, "Radar Generalized Image Quality Equation Applied to Capella Open Dataset," in *2022 IEEE Radar Conference (RadarConf22)*, 2022, pp. ۵-۱.
- [۲۳] K. Gromada, B. Siemiątkowska, W. Stecz, K. Płochocki, and K. Woźniak, "Real-time object detection and classification by UAV equipped with SAR," *Sensors*, vol. 22, p. 2068, 2022.
- [۲۴] S. Solaiman, E. Alsuwat, and R. Alharthi, "Simultaneous Tracking and Recognizing Drone Targets with Millimeter-Wave Radar and Convolutional Neural Network," 2023.
- [۲۵] L. M. Novak, M. C. Burl, and W. Irving, "Optimal polarimetric processing for enhanced target detection," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 29, pp. 234-244, 1993.
- [۲۶] L. M. Novak, G. J. Owirka, and C. M. Netishen, "Performance of a high-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system," *Lincoln Laboratory Journal*, vol. 6, 1993.
- [۲۷] J. Marcum, "A statistical theory of target detection by pulsed radar," *IRE Transactions on Information Theory*, vol. 6, pp. 59-267, 1960.
- [۲۸] W. J. Alberhseim, "A closed-form approximation to Robertson's detection characteristics," *Proceedings of the IEEE*, vol. 69, pp. 839-839, 1981.
- [۲۹] D. A. Shnidman, "Approximation to probability of detection for log-normal target fluctuation," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 161-163, 1979.
- [۳۰] M. GHANBARY and S. KHAZAEI, "ESTIMATING THE ALPHA-STABLE DISTRIBUTION PARAMETERS FOR SHIP DETECTION IN POLARIMETRIC SAR IMAGES," 2015.