

## برآورد پارامترهای توزیع پایدار آلفا جهت آشکارسازی کشتی در تصاویر پلاریمتری SAR

محسن قنبری<sup>۱</sup>، صفا خزایی<sup>۲\*</sup>

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

(دریافت: ۹۴/۰۴/۰۳، پذیرش: ۹۴/۰۷/۱۹)

## چکیده

در تصویربرداری رادار با روزه ترکیبی (SAR)، تمایز بین کشتی و دریا در حالت داشتن اطلاعات پلاریمتری نسبت به داده تک کاناله به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد. روش آشکارسازی نرخ هشدار اشتباه ثابت بر اساس مدل توزیع پایدار آلفا روشی مناسب برای کشف کشتی در دریا است. مهمترین مرحله در این روش، تخمین مناسب پارامترهای تابع توزیع پایدار آلفا است که بدین منظور در این تحقیق، روش کیومیولنت‌های لگاریتمی پیشنهاد شده است. نتایج تجربی به دست آمده بر روی دو مجموعه داده پلاریمتری SAR در باندهای L و C که به ترتیب توسط سنجنده‌های AIRSAR و RADARSAT-2 اخذ گردیده‌اند، صحت روش پیشنهادی را تایید می‌کنند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بهترین نتیجه برای تصاویر آشکارسازی در حالت استفاده از داده‌های پلاریمتری span و آنروپی حاصل می‌شود که در این حالات، علاوه بر دقت بالای آشکارسازی نرخ هشدار اشتباه کمتری نیز به دست می‌آید.

## واژگان کلیدی

آشکارسازی کشتی، توزیع پایدار آلفا، نرخ هشدار اشتباه ثابت، روش کیومیولنت‌های لگاریتمی، تصاویر پلاریمتری SAR.

## ۱. مقدمه

دریافت‌گردیده توسط سنجنده، اطلاعات بیشتری از تک کاناله می‌توان استخراج کرد [۳].

روش آشکارسازی نرخ هشدار اشتباه ثابت [۴]، رایج‌ترین روش آشکارسازی اهداف بر اساس مدل‌های آماری در تصاویر SAR می‌باشد. تا کنون مدل‌های آماری بسیاری برای مدل‌سازی پس‌زمینه‌های متفاوت با ویژگی‌های آماری مختلف در تصاویر SAR به کار گرفته شده‌اند [۵]. برخی از این مدل‌ها همانند مدل لاگ-نرمال<sup>۳</sup> و ویبول<sup>۴</sup> بر اساس مدل‌های تجربی مرتبط ارائه شده‌اند [۶]، برخی دیگر نیز مانند مدل K، توزیع گاما<sup>۵</sup>، توزیع  $G^0$  و توزیع گامای وارون یافته<sup>۶</sup> بر اساس مدل ضربی<sup>۷</sup> گسترش یافته‌اند.

به منظور غلبه بر بی‌نظمی‌های پس‌زمینه انواع مختلف آشکارسازهای "نرخ هشدار اشتباه ثابت"<sup>۸</sup> از جمله

در چند دهه اخیر، فناوری رادار با روزه ترکیبی (SAR)<sup>۱</sup> در کاربرد آشکارسازی کشتی اطلاعات مفید و سودمندی برای پایش و نظارت بر عبور و مرور کشتی‌های نظامی و غیرنظامی، آشکارسازی لکه‌های نفتی و ... را در اختیار قرار داده است. این در حالی است که SAR با عدم وابستگی به شرایط نور خورشید و اتمسفر پتانسیل کاربردهای آشکارسازی اهداف را بسیار بالا می‌برد. به علاوه سنجنده‌های رادار پلاریمتری<sup>۲</sup> با افزایش تعداد کانال‌های پلاریمتری، قابلیت تمایز بین اهداف روی زمین را تا حد زیادی افزایش می‌دهد. از این رو برای یک تصویر به دست آمده از یک رادار با روزه ترکیبی تک کاناله، الگوریتم آشکارسازی اهداف ممکن است برخی از کشتی‌های دارای کنتراست و مغایرت کم با دریا را آشکارسازی نکند [۲-۱]، در حالی که برای یک تصویر به دست آمده از داده رادار پلاریمتری حاوی چهار کانال پلاریمتری مختلف برای هر یک از حالات امواج فرستاده شده و

<sup>3</sup> Log-Normal<sup>4</sup> Weibull<sup>5</sup> Gamma<sup>6</sup> Inverse-Gamma<sup>7</sup> Product model<sup>8</sup> Constant False Alarm Rate (CFAR)<sup>1</sup> Synthetic Aperture Radar<sup>2</sup> Polarimetric SAR (PolSAR)

معادلات با امکان حل بالاتر نسبت به روش معمول ممان‌ها ارائه می‌دهد و همچنین این روش در مقایسه با روش ممان‌ها قابلیت به‌کارگیری برای تعداد کمتری نمونه را داراست؛ این در حالی است که روش بیشینه شباهت در بسیاری از موارد به صورت مستقیم غیرقابل به‌کارگیری است [۱۶].

روند ادامه این مقاله به این صورت است که در بخش دوم، روش AS-CFAR تشریح می‌شود. سپس در بخش سوم روش پیشنهادی تخمین پارامترهای تابع توزیع پایدار آلفا با استفاده از MoLC به همراه مرحله پس‌پردازش آن جهت حذف هشدارهای اشتباه احتمالی توضیح داده می‌شود. در بخش چهارم نیز نتایج اعمال الگوریتم بر روی دو مجموعه داده رادار پلاریمتری در باندهای C و L تشریح می‌شوند و در نهایت در بخش پنجم مقاله، نتایج و یافته‌های اصلی این تحقیق به همراه پیشنهادات برای تحقیقات بعدی ارائه می‌شوند.

## ۲. آشکارسازی کشتی با روش AS-CFAR

### ۲-۱. روش CFAR

یکی از ویژگی‌های اصلی کشتی‌ها در تصاویر SAR میزان بازپراکنش بالای آن‌ها نسبت به پس-زمینه دریا می‌باشد. میزان بازپراکنش واقعی یک هدف به عواملی چون اندازه، نوع ماده و به طور کلی به وجود و یا عدم پراکنش‌گرهای متالیک<sup>۱۰</sup> (دووجهی<sup>۱۱</sup> و یا سه‌وجهی<sup>۱۲</sup>) بستگی دارد [۱۷]، بنابراین به نظر می‌رسد که با استفاده از کنتراست بین کشتی‌های هدف و پس‌زمینه، به عنوان یک ویژگی تمایزگر بین این دو می‌توان استفاده کرد؛ این مورد ایده بسیاری از مقالات ارائه شده در بحث آشکارسازی اهداف می‌باشد [۲۰-۱۸]. بسیاری از این الگوریتم‌ها یک تست آماری نسبت احتمال را بین هدف و پس‌زمینه تعیین کرده و با ثابت نگه داشتن احتمال آشکارسازی و یا هشدار اشتباه و تعریف یک تابع توزیع مشخص برای بی‌نظمی پس‌زمینه، یک حدآستانه کلی را به‌دست می‌آورند [۲۱]. در صورتی که توزیع هدف معلوم نباشد تست آماری با از قبل مشخص کردن یک تابع چگالی احتمال برای پس‌زمینه دریا و یک هشدار اشتباه ثابت تعریف می‌شود که از این تست با نام "نرخ هشدار اشتباه ثابت" و یا CFAR یاد می‌شود. لازم به‌ذکر است که به‌منظور در نظر گرفتن تغییرات سطح دریا، پارامترهای تابع توزیع و - به صورت کلی - روند الگوریتم نرخ هشدار اشتباه ثابت به‌صورت محلی انجام می‌شود.

CA-CFAR<sup>۱</sup>، GO-CFAR<sup>۲</sup>، SO-CFAR<sup>۳</sup> و همچنین OS-CFAR<sup>۴</sup> پیشنهاد شده است. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خود را دارند. روش CA-CFAR که بر اساس توزیع نرمال بوده برای پس‌زمینه همگن به‌خوبی عمل می‌کند [۹]. این روش با داشتن حالت قرارگیری چند هدف در کنار هم ممکن است عملکرد مطلوبی نداشته باشد. روش‌های SO- و GO-CFAR برای حل کردن مشکل لبه پس‌زمینه طراحی گردیدند [۱۰] و همچنین روش OS-CFAR نیز برای حالتی طراحی گردید که وجود چندین نوع هدف در پس‌زمینه تخمین آماری پس‌زمینه را دچار مشکل می‌کند؛ این روش بر اساس تکنیک فرایند مرتب‌سازی در پردازش تصاویر عمل می‌کند [۱۱].

روش AS-CFAR<sup>۵</sup> که روشی مطرح و متداول جهت آشکارسازی کشتی در دریا است بر اساس مدل آماری پایدار آلفا (AS<sup>۶</sup>) استوار است [۷-۸]. مدل آماری پایدار آلفا که بر اساس نظریه حد مرکزی عمومی‌سازی شده<sup>۷</sup> توسعه داده شده است [۱۲]، به خوبی به بی‌نظمی‌های پس‌زمینه دریا مطابقت داده می‌شود. با در نظر گرفتن هر مدل آماری در روش CFAR، مساله به خودی خود تبدیل به یک مساله برآورد پارامتر آن مدل آماری می‌شود، بنابراین می‌توان بیان نمود که مرحله برآورد پارامتر در روش آشکارسازی CFAR مهم‌ترین نقش را در مدل‌سازی هر چه دقیق‌تر پس‌زمینه و در نتیجه آشکارسازی با دقت بالاتر اهداف بر عهده دارد. یکی از چالش‌های به‌کارگیری مدل آماری AS در کاربردهای مختلف این است که توزیع AS یک عبارت صریح برای تابع چگالی احتمال بر حسب پارامترهای آن نداشته و بدین ترتیب برآورد پارامتر و در نتیجه یافتن حدآستانه را در CFAR دچار مشکل می‌نماید [۱۳]. برآورد پارامتر تابع توزیع AS به روش‌های مختلفی چون روش بیشینه شباهت، روش ممان‌های از درجه منفی<sup>۸</sup> پیشنهاد و به‌کار گرفته شده است. این روش‌ها علاوه بر عددی بودن راه حل‌ها، وقت‌گیر، دارای محدودیت از نظر حداقل تعداد نمونه‌ها و در اغلب موارد غیر قابل به‌کارگیری می‌باشد [۱۴]. به‌عنوان نوآوری اصلی تحقیق حاضر، پیشنهاد شده است که از روش کیومبولنت‌های لگاریتمی (MoLC<sup>۹</sup>)، برای برآورد پارامتر توزیع پایدار آلفا استفاده شود [۱۵]. اخیراً نشان داده شده است که روش برآورد پارامتر MoLC، یک سیستم

<sup>1</sup> Cell-Averaging CFAR

<sup>2</sup> Greatest of CFAR

<sup>3</sup> Smallest of CFAR

<sup>4</sup> Order-Statistic CFAR

<sup>5</sup> Alpha-stable (AS) CFAR

<sup>6</sup> Alpha-Stable

<sup>7</sup> Generalized central limit theorem

<sup>8</sup> Negative-order moments

<sup>9</sup> Method of Log-Cumulants

<sup>10</sup> Metallic reflector

<sup>11</sup> trihedral

<sup>12</sup> dihedral

$$p(X_{ij} > T_G) = 1 - \phi. \quad (۳)$$

به دست آید که در آن  $p$  احتمال و  $\phi \in [0, 1]$  یک مقدار تجربی است و نسبت پیکسل‌ها پس‌زمینه را به پیکسل‌های کل تصویر نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر  $\phi$  نشان‌دهنده درجه اطمینان برچسب زدن هدف به یک پیکسل خاص می‌باشد. هر چه تصویر SAR تحت هشدار اشتباه آشکارسازی بزرگ‌تر باشد  $\phi$  بزرگ‌تر بوده و در نتیجه احتمال هدف بودن یک پیکسل دلخواه پایین می‌آید. حال اگر  $F$  تابع توزیع تجمعی به دست آمده از هیستوگرام تصویر باشد، (۳) به صورت زیر درمی‌آید:

$$1 - F(T_G) = 1 - \phi. \quad (۴)$$

بنابراین  $T_G$  را می‌توان به راحتی و از طریق هیستوگرام توسط (4) به دست آورد. با اعمال  $T_G$  می‌توان یک تصویر شاخص ساخت که در آن هر پیکسل دارای مقدار بیش‌تر از  $T_G$  به عنوان هدف احتمالی شناخته شده و در محاسبات CFAR برای مدل‌سازی آماری پس‌زمینه در نظر گرفته نمی‌شود.

## ۲-۲. روش AS-CFAR

توزیع پایدار آلفا به خاطر نداشتن یک شکل صریح برای تابع چگالی احتمال، توسط تابع ویژگی<sup>۱</sup>ش که تبدیل فوریه تابع چگالی احتمال است، بیان می‌شود. با توجه به تعریف توابع ویژگی توسط تبدیل فوریه به صورت:

$$\Phi_x(v) = F[p_x(u)](v) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{jvu} p_x(u) du. \quad (۵)$$

برای توابع توزیع تعریف شده روی  $\mathbb{R}^+$  تابع ویژگی توزیع پایدار آلفا به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\Phi(v) = e^{j\mu v - \gamma |v|^\alpha (1 - j\beta \operatorname{sgn}(v) \tan \frac{\pi\alpha}{2})} \quad (۶)$$

$$-1 \leq \beta \leq 1 \quad 0 \leq \alpha \leq 2, \alpha \neq 1$$

که در آن  $\operatorname{sgn}(\cdot)$  تابع علامت<sup>۲</sup> بوده و این‌گونه تعریف می‌گردد:

$$\operatorname{sgn}(v) = \begin{cases} 1, & v > 0 \\ 0, & v = 0 \\ -1, & v < 0 \end{cases}$$

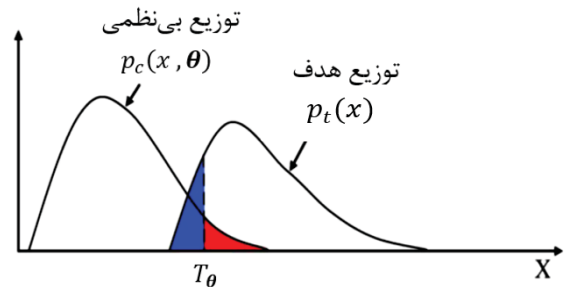
همان‌طور که در رابطه (۶) مشاهده می‌شود،  $\Phi(v)$  به چهار پارامتر بستگی دارد:  $\alpha$ ، پارامتر معرف ویژگی<sup>۳</sup> که ضخامت دنباله تابع چگالی را بیان می‌کند، (به‌گونه‌ای که با کاهش  $\alpha$  بخش انباشته‌ای دنباله اندازه بزرگ‌تری خواهد داشت)؛  $\beta$  چولگی<sup>۴</sup> توزیع

اگر در الگوریتم آشکارسازی سنتی CFAR، تابع چگالی احتمال پس‌زمینه برای یک پیکسل خاص پس‌زمینه مانند  $X_c$  با  $p_c(x, \theta)$  نشان داده شده که در آن  $\theta$  بردار پارامترهای تابع توزیع باشد و همچنین یک تابع چگالی احتمال  $p_t(x)$  نیز برای یک پیکسل هدف خاص  $X_t$  در نظر گرفته شود، با توجه به شکل ۱ می‌توان با مدل‌های آماری مختلف و با مقایسه مقدار پیکسل دلخواه مورد تست با حد آستانه  $T_\theta$ ، هدف را از بی‌نظمی پس‌زمینه تمایز داد. با داشتن حد آستانه  $T_\theta$ ، احتمال هشدار اشتباه  $p_{fa}$  برابر با مساحت ناحیه زیر نمودار تابع توزیع  $p_c(x, \theta)$  خواهد شد که برای آن  $x \geq T_\theta$ ، یعنی:

$$p_{fa} = p(X_c \geq T_\theta) = \int_{T_\theta}^{\infty} p_c(x, \theta) dx. \quad (۱)$$

حال با برآورد پارامترهای تابع توزیع پس‌زمینه  $\theta$  از یک پس‌زمینه محلی، در صورتی که برای  $p_{fa}$  برای کلیه بی‌نظمی‌های پس‌زمینه با بردارهای پارامتر مختلف ثابت نگه داشته شود،  $T_\theta$  به دست می‌آید. بنابراین پیکسل مورد ارزیابی در الگوریتم،  $x$ ، با عنوان هدف شناخته می‌شود اگر  $x$  مقدار بزرگ‌تری از  $T_\theta$  داشته باشد. در نتیجه احتمال آشکارسازی مساحتی از ناحیه زیر تابع  $p_t(x)$  بوده که  $x \geq T_\theta$ :

$$p_d = p(X_t \geq T_\theta) = \int_{T_\theta}^{\infty} p_t(x) dx. \quad (۲)$$



شکل ۱. در یک روش معمول آشکارسازی CFAR، حد آستانه  $T_\theta$  بر اساس ویژگی‌های آماری محلی بی‌نظمی‌های پس‌زمینه به‌گونه‌ای محاسبه می‌شود که احتمال هشدار اشتباه (ناحیه به رنگ قرمز) ثابت نگه داشته شود. احتمال آشکارسازی (ناحیه به رنگ آبی) نیز بر اساس این فرض تعیین می‌شود.

همان‌طور که از شکل ۱ می‌توان استنتاج کرد هر چه دو نمودار  $p_c(x, \theta)$  و  $p_t(x)$  از هم دور می‌شوند، احتمال آشکارسازی  $p_d$  افزایش می‌یابد. از آنجایی که بخش دنباله‌ای هیستوگرام تصویر نشان دهنده پیکسل‌های هدف می‌باشد، یک حد آستانه کلی ( $T_G$ ) را می‌توان به صورت انتخابی بر اساس هیستوگرام تعیین کرد. با فرض داشتن مقدار  $X_{ij}$  در یک موقعیت تصویری مانند  $(i, j)$  تحت این شرط که درجه اطمینان هدف بودن یک پیکسل دلخواه  $1 - \phi$  باشد،  $T_G$  می‌تواند از رابطه:

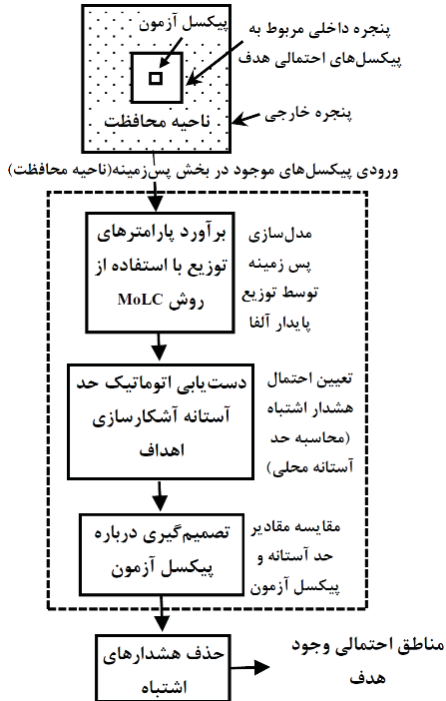
<sup>1</sup> Characteristic function

<sup>2</sup> Sign function

<sup>3</sup> characteristic exponent

<sup>4</sup> skewness

نهایت، پس از انجام اعمال الگوریتم بر روی کلیه پیکسل‌های تصویری عمل حذف هشدارهای اشتباه انجام می‌گیرد.



شکل ۲. دیاگرام روش پیشنهادی آشکارسازی کشتی AS-CFAR.

### ۳-۱ برآورد پارامترهای توزیع پایداری آلفا

توزیع مثبت پایداری آلفا - همان‌طور که ذکر گردید - یک تابع چگالی احتمال دو پارامتری است و چون این توزیع، تابع چگالی

احتمال مشخصی ندارد، می‌توان آن را توسط تبدیل Mellin یا توابع ویژگی نوع دوم<sup>۱</sup> بیان کرد. به‌طور خاص، در روش برآورد پارامتر کیومیولنت‌های لگاریتمی که در این مقاله به‌کار گرفته شده است، تبدیل Mellin به جای تبدیل‌های معمول فوریه و لاپلاس استفاده شده تا بتوان توابع ویژگی نوع دوم را برای یک تابع چگالی احتمال دارای مقادیر مثبت تعریف کرد. به عبارتی برای یک متغیر مثبت،  $u$ ، با تابع چگالی احتمال  $p(u)$ ، تبدیل ملین به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۳]:

$$\Phi_u(s) = \int_0^{+\infty} u^{s-1} p(u) du. \quad (13)$$

این تبدیل با عنوان "اولین تابع ویژگی نوع دوم" یاد می‌شود. "دومین تابع ویژگی نوع دوم" توسط لگاریتم طبیعی  $\Phi_u(s)$  تعریف می‌گردد:

بوده،  $\gamma$  پارامتر مقیاس یا پراکندگی<sup>۵</sup> بوده و در نهایت  $\mu$ ، با عنوان پارامتر موقعیت توزیع نام برده می‌شود [۱۴]. باید خاطر نشان کرد که توزیع پایداری آلفا یک خانواده گسترده از سایر توزیع‌های آماری را شامل می‌شود، مانند گاوسی ( $\alpha = 2$ )، کاپی ( $\alpha = 1, \beta = 0$ )، و توابع توزیع پیرسون ( $\alpha = 0.5, \beta = -1$ ). زمانی که  $\mu = 1$  و  $\beta = 1$ ، در یک شرایط خاص این توزیع با نام توزیع مثبت پایداری آلفا یاد شده و تابع ویژگی آن به صورت:

$$p(x) \leftrightarrow \Phi(v) = e^{-\gamma|v|^\alpha (1 + \text{sgn}(v) \tan \frac{\pi\alpha}{2})} \quad (8)$$

$$0 < \alpha < 1, \gamma > 0$$

ساده‌سازی می‌شود. طبق ویژگی‌های ضرب و جمع در تبدیل فوریه داریم [۲۲]:

$$p\left(\frac{x}{\gamma^\alpha}\right) = p(y) \leftrightarrow e^{-|v|^\alpha}. \quad (9)$$

جایی که با داشتن متغیر  $y$  به‌جای  $\frac{x}{\gamma^\alpha}$ ، متغیر  $v$  در تبدیل فوریه به  $v'$  تبدیل گردیده است. بدین ترتیب متغیر تصادفی  $Y$ ، توسط رابطه زیر حالت استاندارد متغیر تصادفی  $X$  خواهد بود:

$$Y = \frac{X}{\gamma^\alpha}. \quad (10)$$

با توجه به معیار CFAR در رابطه (۳) داریم:

$$\int_{T'}^{\infty} p(x) dx = p_{fa}$$

$$\int_{\frac{T'}{\gamma^\alpha}}^{\infty} p(y) dy = \frac{p_{fa}}{\gamma^\alpha} \quad (11)$$

$$\int_{T'}^{\infty} p(y) dy = p_{fa}.$$

بنابراین چون  $Y$ ، یا به‌صورت معادل  $\frac{X}{\gamma^\alpha}$ ، آماره مورد آزمون در CFAR می‌باشد، آزمون فرض CFAR را می‌توان به‌صورت زیر فرموله کرد:

$$\frac{X}{\gamma^\alpha} \leq T'. \quad (12)$$

### ۳- روش پیشنهادی AS-CFAR

دیاگرام کلی روش پیشنهادی آشکارسازی کشتی در تصاویر پلاریمتری SAR در شکل ۲ نشان داده شده است. به‌طور خلاصه، در این روش با در نظر گرفتن ابعاد پنجره داخلی و خارجی، در پیکسل‌های پس‌زمینه اطراف پیکسل مورد آزمون مدل آماری پس‌زمینه با تابع توزیع پایداری آلفا تخمین زده می‌شود. در تخمین پارامترهای این توزیع از روش برآورد پارامتر MoLC بهره گرفته می‌شود و با توجه به حد آستانه به دست آمده از الگوریتم تصمیم‌گیری راجع به پیکسل مورد آزمون انجام می‌شود. در

<sup>1</sup> Second-kind characteristic function

<sup>5</sup> dispersion

$$\psi_u(s) = \ln \Phi_u(s) \quad (14)$$

مجموعه  $\{x_i\}_{i=1}^n$ ، که اعضای آن از لحاظ آماری از هم مستقل اند، برآورد نمونه‌ای کیومبولنت‌ها از طریق روابط زیر بدست می‌آید [۲۳]:

$$\tilde{k}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i, \quad \tilde{k}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln x_i - \tilde{k}_1]^r. \quad (20)$$

که در آن  $r = 2, 3$ .

### ۳-۲ حذف هشدارهای اشتباه

همواره در نتایج اولیه آشکارسازی، تعدادی هشدار اشتباه وجود دارد که اندازه کوچک‌تر یا بزرگ‌تری نسبت به اهداف واقعی دارند. هدف از این مرحله، پس-پردازش تصویر آشکارسازی خروجی الگوریتم پیشنهادی با یک دانش اولیه از کشتی‌ها، همچون اندازه آن‌ها می‌باشد. فرض کنیم قدرت تفکیک تصویر رادار پلاریمتری در دسترس با اندازه پیکسل تصویری در دو راستای Range و Azimuth به ترتیب با  $R$  و  $A$  بیان شود؛ با در نظر گرفتن  $L$  و  $W$  به ترتیب به عنوان طول و عرض کشتی، به دلیل این که مساحت نشان داده شده توسط پیکسل‌های هدف معمولاً کوچک‌تر از اندازه واقعی هدف است، بیشینه تعداد پیکسل‌های یک هدف خاص و یا اندازه ناحیه مشخص شده هدف توسط روش آشکارسازی CFAR دارای یک بیشینه مقدار به صورت رابطه (۲۱) می‌باشد.

$$S \leq S_{\max} = L \times W / A \times R. \quad (21)$$

بنابراین مرحله پس‌پردازش به صورت جزئی با این روند انجام می‌شود: اول در تصویر خروجی AS CFAR به هر ناحیه که شامل چندین پیکسل هدف است، یک برجسب جداگانه داده می‌شود؛ سپس نواحی که مساحت آن‌ها با محدوده مساحت هدف یعنی  $S_T = \{S | S_{\min} \leq S \leq S_{\max}\}$  مطابقت ندارد، حذف می‌گردد؛ در رابطه اخیر  $S_{\max}$  از (۲۱) و  $S_{\min}$  به صورت تجربی تعیین می‌شود [۲۴].

### ۴. نتایج تجربی

#### ۴-۱. داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، از دو مجموعه داده رادار پلاریمتری و به طور خاص، یک زیربخش از این دو داده که هر کدام یک منطقه دارای پوشش آب و چندین هدف کشتی را نشان می‌دهد، استفاده شده است. تصویر رادار

بدین ترتیب "ممان نوع دوم مرتبه  $m$ "،  $\tilde{m}_r$  و "کیومبولنت نوع دوم مرتبه  $m$ "،  $\tilde{k}_r$ ، همانند تعاریف ممان و کیومبولنت‌های اولیه تعریف می‌شود [۲۳]:

$$\tilde{m}_r = \frac{d^r}{ds^r} \Phi_u(s) \Big|_{s=1} = \int_0^{+\infty} (\ln u)^r p(u) du$$

$$\tilde{k}_r = \frac{d^r}{ds^r} \psi_u(s) \Big|_{s=1}. \quad (15)$$

با توجه به (۱۵)، ممان‌های نوع دوم با عنوان ممان‌های لگاریتمی و به شکلی مشابه، کیومبولنت‌های نوع دوم، کیومبولنت‌های لگاریتمی نامیده می‌شود. از طرفی ممان‌های توزیع پایدار آلفا به صورت مستقیم برای  $0 \leq \alpha \leq 2$  استخراج می‌گردند:

$$m_\nu = \frac{\gamma^\nu \sin(\pi\nu) \Gamma(\nu+1) \left(1 + \left(\tan\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right)\right)^{\frac{\nu}{2\alpha}}\right)}{\alpha \sin\left(\frac{\pi\nu}{\alpha}\right) \Gamma\left(1 + \frac{\nu}{\alpha}\right)}. \quad (16)$$

با تعریف ممان‌ها توسط (۱۶)، تابع ویژگی نوع دوم برای توزیع پایدار آلفا به صورت زیر بدست می‌آید [۱۵]:

$$\phi(s) = \frac{\gamma^{\frac{s-1}{\alpha}} \sin(\pi(s-1)) \Gamma(s) \left(1 + \left(\tan\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right)\right)^{\frac{s-1}{2\alpha}}\right)}{\alpha \sin\left(\frac{\pi(s-1)}{\alpha}\right) \Gamma\left(1 + \frac{s-1}{\alpha}\right)}. \quad (17)$$

به خاطر این که این تابع ویژگی توسط پیوستگی تحلیلی<sup>۱</sup> در یک همسایگی از  $s = 1$  تعریف گردیده است، ممان‌ها و کیومبولنت‌های نوع دوم وجود دارند. به طور دقیق‌تر بنا به (۱۴)، (۱۵) و (۱۷)، کیومبولنت‌های لگاریتمی مرتبه اول و دوم به صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌گردند [۱۵]:

$$\tilde{k}_1 = \frac{(1-\alpha)\Psi(1)}{\alpha} - \frac{\log(\cos(\frac{\pi\alpha}{2}))}{\alpha} + \frac{\log(\gamma)}{\alpha} \quad (18)$$

$$\tilde{k}_2 = \frac{(1-\alpha^2)}{\alpha^2} \Psi(1,1)$$

که در آن  $\Psi(\cdot)$ ، تابع Digamma و  $\Psi(\cdot, \cdot)$  تابع پلی-گاما<sup>۲</sup> می‌باشد. با وارون‌سازی روابط (۱۸) پارامترهای  $\alpha$  و  $\gamma$  به صورت تابعی از کیومبولنت‌های لگاریتمی بیان می‌شوند:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Psi(1,1)}{\Psi(1,1) - \tilde{k}_2}}$$

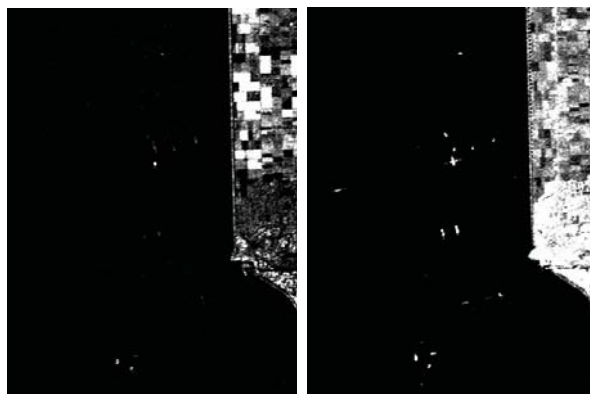
$$\gamma = \quad (19)$$

$$e^{\sqrt{\frac{\Psi(1,1)}{\Psi(1,1) - \tilde{k}_2}} \tilde{k}_1 - \left(1 - \sqrt{\frac{\Psi(1,1)}{\Psi(1,1) - \tilde{k}_2}}\right) \Psi(1) + \log\left(\cos\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\Psi(1,1)}{\Psi(1,1) - \tilde{k}_2}}\right)\right)}$$

بنابراین با به دست آوردن برآوردی از  $\tilde{k}_1$  و  $\tilde{k}_2$  ( $\tilde{k}_2, \tilde{k}_1$ ) می‌توان به راحتی پارامترهای برآورد شده  $\hat{\alpha}$  و  $\hat{\gamma}$  را محاسبه کرد. برای یک

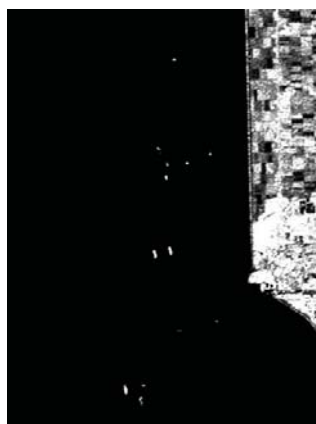
<sup>1</sup> Analytic continuation

<sup>2</sup> Polygamma function



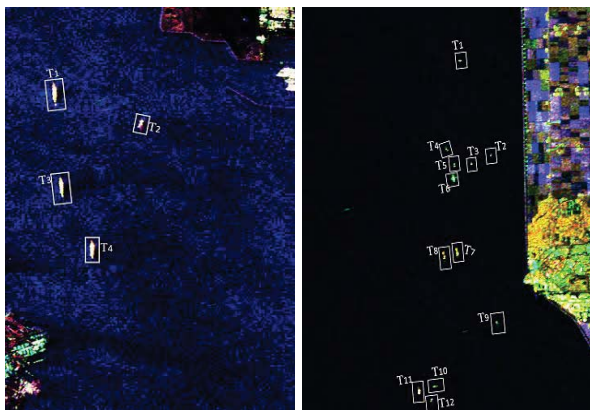
(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۴. تصاویر داده مربوط به کانال‌های پلاریمتری (الف) HH، (ب) HV و (ج) VV

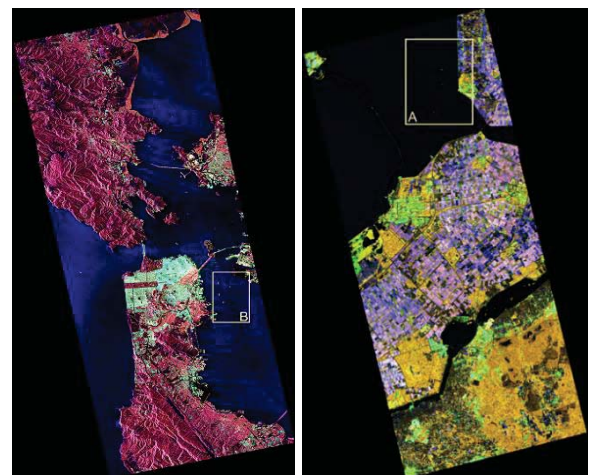


(ب)

(الف)

شکل ۵. تصویر Lexicographic RGB (قرمز: |VV|؛ سبز: |HV|؛ آبی: |HH|) (الف) منطقه A و (ب) منطقه B (کشتی‌ها در دو تصویر برچسب‌گذاری گردیده‌اند).

پلاریمتری اول یک زیربخش  $1200 \times 900$  پیکسل از داده باند-L منطقه فلیوولاند<sup>۱</sup> در کشور هلند می‌باشد که توسط سنجنده AIRSAR، NASA/JPL، اخذ گردیده است. تصویر منطقه در شکل (۳-الف) نشان داده شده و زیربخش انتخابی با برچسب A مشخص گردیده است. تصویر پلاریمتری دوم مورد استفاده یک زیربخش با ابعاد  $800 \times 550$  پیکسل (این زیربخش با برچسب B در شکل (۳-ب) نشان داده شده است) از داده باند C شهر سانفرانسیسکو<sup>۲</sup> در کشور ایالات متحده آمریکا است که چندین کشتی در حال عبور از سطح آب را مشخص می‌کند.



(ب)

(الف)

شکل ۳. تصاویر Lexicographic RGB داده‌های رادار پلاریمتری استفاده شده. (الف) تصویر داده پلاریمتری AIR SAR، NASA JPL، باند-L از منطقه ای در ایالت فلیوولاند در کشور هلند، که زیربخش انتخاب شده با برچسب A در شکل مشخص شده است. (ب) تصویر داده پلاریمتری کامل RADARSAT-2 سانفرانسیسکو و زیربخش انتخابی با برچسب B.

این داده توسط سنجنده رادارست-۲<sup>۳</sup> و - مانند داده باند L فلیوولاند- در حالت پلاریمتری کامل اخذ گردیده است. در این تحقیق پس از استخراج داده‌های ماتریس همدوسی و اعمال یک فیلتر Box-car با ابعاد  $3 \times 3$  بر روی آن، با استفاده از نرم افزار Map-Ready داده در دسترس زمین مرجع شده است (شکل ۳ تصاویر زمین مرجع را نشان می‌دهد). شکل ۴، تصاویر داده‌های باند HH، HV و VV منطقه A را نشان داده و هم‌چنین تصویر Lexicographic RGB (قرمز: |VV|؛ سبز: |HV|؛ آبی: |HH|) ناحیه A و B در شکل ۵ نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Flevoland

<sup>2</sup> Sanfransisco

<sup>3</sup> RADARSAT-2

آشکارسازی و چه از لحاظ نرخ هشدار اشتباه دارای بهترین کارایی می‌باشد.



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۶. نتایج آشکارسازی کشتی برای منطقه A از داده رادار پلاریمتری باند-L با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در هر یک از حالات استفاده از داده‌های (الف) کانال HH، (ب) کانال HV، (ج) کانال VV و (د) پلاریمتری span.

جدول ۱. نرخ آشکارسازی اهداف در منطقه A.

نرخ آشکارسازی	تعداد هدف آشکار شده	نوع داده
۰/۷۵	۹	کانال HH
۰/۷۵	۹	کانال HV
۴۲	۵	کانال VV
۱	۱۲	Span

جدول ۲. نرخ هشدار اشتباه در منطقه A.

نرخ هشدار اشتباه	تعداد هشدار اشتباه	نوع داده
۰	۰	کانال HH
۰/۰۰۳	۱۰	کانال HV
۰/۰۰۴	۱۲	کانال VV
۰	۰	Span

در اینجا لازم به توضیح است که چون  $RSC^1$  کشتی‌ها به فرکانس رادار و نحوه جابجایی کشتی بر اساس رابطه زیر

$$\sigma = 52f^{1/2}D^{1/2}. \quad (22)$$

بستگی دارد، بنابراین رفتار بازپراکنش سطح دریا بین دو داده باند-L و باند-C متفاوت خواهد بود. در (۲۲)،  $\sigma$  نشان دهنده RSC در متر مربع،  $f$  فرکانس رادار و  $D$  نشان دهنده جابجایی به نسبت جرم آن در واحد کیلوتن می‌باشد. از این رو تست الگوریتم پیشنهادی با دو داده باند-L و باند-C می‌تواند ارزیابی کاملی را از روش پیشنهادی داشته باشد.

در این تحقیق، داده  $span = |HH| + |HV| + |VV|$  و پارامتر آنترپوی<sup>۲</sup> مربوط به دو داده رادار پلاریمتری نیز استخراج گردید.

پارامتر آنترپوی با توجه به این که بی‌نظمی‌های بازپراکنش از روی سطح را مدل می‌کند به منظور نشان دادن قابلیت‌های تفکیک از لحاظ ویژگی‌های بازپراکنش که یک داده پلاریمتری کامل نسبت به داده تک‌کاناله راداری فراهم می‌کند، استفاده شده است.

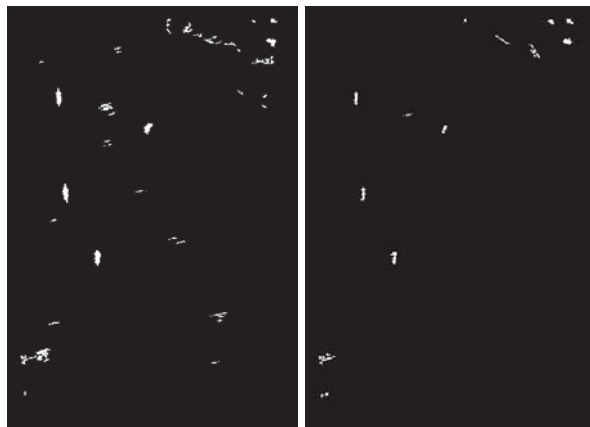
#### ۴-۲. ارزیابی روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی، تحت شرایطی اعمال گردید که ابعاد پنجره داخلی در CFAR (که مربوط به ناحیه هدف بوده)  $37 \times 37$  و ابعاد ناحیه محافظت (که تضمین می‌کند پیکسل‌های این ناحیه، مربوط به پس‌زمینه بوده و پیکسل‌های مربوط به هدف در مدل‌سازی آماری بی‌نظمی پس‌زمینه دخیل نباشند [24])،  $55 \times 55$  می‌باشد. با در نظر گرفتن این ابعاد برای پنجره داخلی و ناحیه محافظت این مورد تضمین می‌شود که اندازه پنجره داخلی نسبت به ابعاد اهداف کشتی بزرگ‌تر بوده و هیچ پیکسلی از اهداف در ناحیه محافظت قرار نمی‌گیرد و همچنین این مورد که تعداد نمونه‌ها در برآورد پارامترهای تابع توزیع پایدار آلفا در هر ناحیه محلی، به اندازه کافی بوده و در نتیجه مدل‌سازی بی‌نظمی پس‌زمینه با دقت هر چه بیشتر انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که آشکارسازی CFAR، در یک هشدار اشتباه ثابت به اندازه  $p_{fa} = 0.1$  انجام شد.

ارزیابی در منطقه A: شکل ۶ نتایج آشکارسازی کشتی برای منطقه A را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در هر یک از حالات استفاده از داده‌های کانال HH، HV، VV و span را نشان می‌دهد. به منظور آنالیز کمی روش آشکارسازی پیشنهادی نیز، نتایج ارزیابی عددی الگوریتم بر مبنای نرخ‌های آشکارسازی و هشدار اشتباه در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه گردیده است. با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، استفاده از داده span چه از لحاظ نرخ

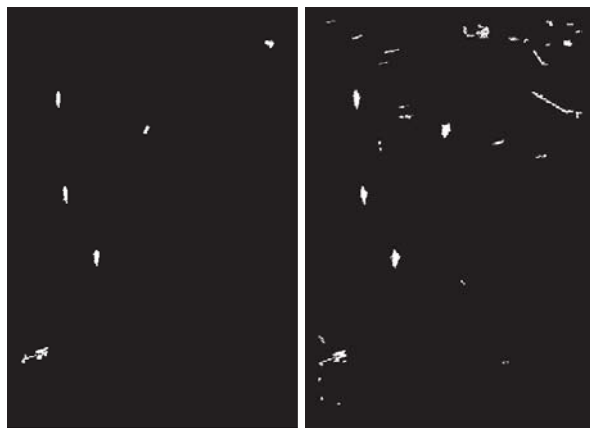
<sup>1</sup> Radar Cross Section

<sup>2</sup> Guard area



(ب)

(الف)



(د)

(ج)

**شکل ۷.** نتایج آشکارسازی کشتی برای منطقه B از داده رادار پلاریمتری باند-C با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در هر یک از حالات استفاده از داده‌های (الف) کانال HH، (ب) کانال HV، (ج) کانال VV و (د) پلاریمتری span.

به صورت بصری نیز همانطور که در شکل ۷ قابل مشاهده است، مشابه نتایج باند L ناحیه A، نتایج باند C ناحیه B نیز آشکارسازی با دقت بالاتر و همچنین هشدار اشتباه بسیار کمتر را در حالت داده پلاریمتری span تایید می‌کند.

**ارزیابی بر اساس داده های پارامتر آنتروپی:** شکل ۸-الف و ۸-ب نتایج آشکارسازی با استفاده از داده‌های پارامتر آنتروپی را برای دو ناحیه A و B نمایش می‌دهد. بر اساس این تصاویر می‌توان هشدار اشتباه کمینه در تصویر نهایی آشکارسازی را با استفاده از این داده پلاریمتری مشاهده نمود، جایی که برای ناحیه B بدون هیچ هشدار اشتباهی اهداف کشتی آشکارسازی گردیده‌اند. لازم به توضیح است که داده‌های پلاریمتری آنتروپی که نشان دهنده تصادفی بودن بازپراکنش می‌باشند با استفاده از مقادیر ویژه حاصل از تجزیه ماتریس هم‌دوسی به دست می‌آیند. بنابراین اطلاعات فیزیکی که این داده از بازپراکنش در اختیار می‌گذارد،

از بین داده‌های سه کانال پلاریمتری، داده‌های کانال HH و HV نسبت به VV دارای نرخ آشکارسازی اهداف بیشتر و نیز نرخ هشدار اشتباه کمتر می‌باشند. همچنین، هرچند کانال‌های HV و HH دارای نرخ آشکارسازی هدف یکسانی هستند اما HH به دلیل نرخ هشدار اشتباه کمتر از کارایی بهتری برخوردار است. از سوی دیگر، با توجه به شکل‌های ۴ و ۶، می‌توان به صورت بصری مشاهده نمود که الگوریتم پیشنهادی در آشکارسازی اهداف در هر ۴ حالت (هر کدام از حالات استفاده از کانال‌های HH، HV و VV و همچنین داده span عملکرد مناسبی را داشته است. در حالت استفاده از کانال HH به دلیل وجود تمایز نسبتاً کم بین اهداف و پس‌زمینه که در شکل (۴-الف) قابل مشاهده است، در تصویر آشکارسازی شکل (۶-الف) چند هدف از جا افتاده و توسط الگوریتم کشف نگردیده است. حالتی مشابه برای داده‌های کانال HV و VV نیز قابل مشاهده است.

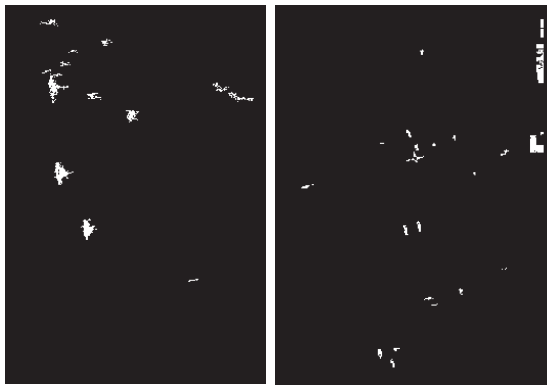
باید خاطر نشان کرد که ارسال و دریافت سیگنال در دو کانال پلاریمتری مجزا و در نتیجه ایجاد تمایز بیشتر هدف-پس‌زمینه در کانال داده کانال HV می‌تواند دلیلی بر ایجاد کنتراست بیشتر هدف-پس‌زمینه برای نتایج کانال HV نسبت به نتایج کانال‌های HH و VV باشد (شکل ۴). همچنین با توجه به شکل (۶-د) می‌توان دریافت که تمامی اهداف در تصویر آشکارسازی مربوط به داده پلاریمتری span آشکارسازی گردیده‌اند. این مورد می‌تواند بر دقت بیشتر آشکارسازی با استفاده از تصویر span در روش پیشنهادی، نسبت به روش آشکارسازی که اخیراً در [۱۳] پیشنهاد شده، صحت بگذارد.

**ارزیابی در منطقه B:** نتایج الگوریتم آشکارسازی برای ناحیه B در حالات مختلف داده، در شکل ۷ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج ارزیابی عددی در هر چهار حالت داده نرخ آشکارسازی هدف صدم درصد می‌باشد. نرخ هشدار اشتباه نیز برای حالت‌های مختلف داده در جدول ۳ ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود در حالت داده پلاریمتری span کمترین مقدار نرخ هشدار اشتباه (صفر) به دست آمده است. همچنین در بین سه کانال پلاریمتری، استفاده از کانال HH نسبت به HV و VV منجر به نرخ هشدار اشتباه کمتر شده است.

**جدول ۳.** نرخ هشدار اشتباه در منطقه B.

نوع داده	تعداد هشدار اشتباه	نرخ آشکارسازی
کانال HH	۳	۰٫۰۳٪
کانال HV	۱۰	۰٫۰۹٪
کانال VV	۱۲	۰٫۱۲٪
Span	۰	۰





(الف) (ب)

شکل ۹. نتایج آشکارسازی کشتی برای روش [۲۴] در منطقه (الف) A و (ب) B با استفاده از داده‌های آنتروپی

### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

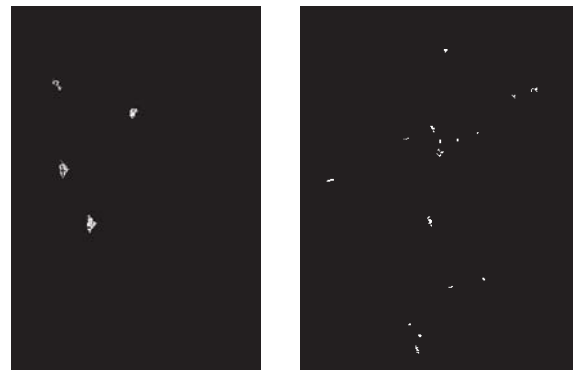
در این مقاله، روش AS-CFAR برای آشکارسازی کشتی بر اساس توزیع پایدار آلفا به‌عنوان مدل آماری بی‌نظمی پس‌زمینه ارائه گردید. در این روش، جهت برآورد پارامترهای معرف ویژگی و مقیاس توزیع پایدار آلفا از روش کیومیولنت‌های لگاریتمی استفاده شد. در مرحله پیش‌پردازش، حذف پیکسل‌های هدف احتمالی از مدل‌سازی آماری بی‌نظمی پس‌زمینه از طریق تعیین یک حد آستانه کلی بر اساس هیستوگرام تصویر انجام شد و همچنین در مرحله پس‌پردازش حذف هشدارهای اشتباه بر اساس یک دانش اولیه از ویژگی‌های اهداف انجام گردید. نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی بر روی دو مجموعه داده رادار پلاریمتری باند-L و باند-C نشان می‌دهد که با استفاده از روش پیشنهادی و داده‌های پلاریمتری span و پارامتر آنتروپی می‌توان نتایج با دقت بالاتری را نسبت به روش‌های آشکارسازی مشابه نظیر [۱۳] که از داده‌های تک‌کاناله پلاریمتری استفاده نموده‌اند، فراهم نمود. به طور خاص، نتایج داده رادار پلاریمتری باند L، نشان می‌دهد که با داشتن داده‌های تک‌کاناله راداری بهترین نتیجه آشکارسازی برای داده‌های کانال HV و HH به‌دست می‌آید؛ علاوه بر این دقت بیشینه آشکارسازی و همچنین هشدار اشتباه کمتر با داشتن داده‌های پلاریمتری span و پارامتر آنتروپی برای هر دو داده باند L و باند C نشان از بهبود نتایج آشکارسازی با داشتن تصویر پلاریمتری دارد.

به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی AS CFAR، با داده‌های با قدرت تفکیک بالاتر و همچنین همراه با روش‌های پس‌پردازش دقیق‌تر همانند آنچه در [۱۳] پیشنهاد گردیده است، می‌تواند مورد تحقیق در مقاله‌های آتی باشد. آشکارسازی اهداف با روش پیشنهادی در پس‌زمینه‌های پوشش گیاهی به خصوص در حالت استفاده از داده‌های پلاریمتری تجزیه هدف همانند آنتروپی نیز می‌تواند موضوع دیگری برای تحقیقات بعدی باشد.

بهبود نتایج آشکارسازی و نرخ هشدار اشتباه (به ویژه در مناطق خشکی) را به دنبال دارد؛ جایی که عمدتاً تفاوت مقدار بی‌نظمی بازپراکنش اهداف کشتی از این مقدار برای پس‌زمینه در بهبود نتایج آشکارسازی موثر می‌باشد.

**ارزیابی در مقایسه با روش‌های مرسوم:** به‌منظور مقایسه عملکرد روش پیشنهادی نسبت به روش‌های متداول، خروجی الگوریتم آشکارسازی پیشنهادی AS-CFAR با خروجی روش آشکارسازی ارائه‌شده در [۲۴] مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در [۲۴] یک روش بر مبنای CFAR ارائه‌شده که در آن مدل‌سازی آماری بی‌نظمی پس‌زمینه در تصاویر SAR با توزیع گاما انجام گرفته است. توزیع گاما، به‌طور کلی، به‌دلیل قابلیت بالایی که در مدل‌سازی آماری تصاویر SAR دارد در پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر SAR بسیار مورد توجه قرار گرفته است. توزیع گاما، به‌طور کلی، به دلیل قابلیت بالایی که در مدل‌سازی آماری تصاویر SAR دارد در پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر SAR بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نتایج روش [۲۴] بر روی تصاویر آنتروپی دو داده در شکل ۹ نمایش داده شده است. با مقایسه خروجی الگوریتم پیشنهادی و روش [24] در منطقه A (شکل‌های (۸- الف و ۹- الف)،

با مقایسه خروجی الگوریتم پیشنهادی و روش [۲۴] در منطقه A شکل‌های (۸- الف و ۹- الف)، با به‌کارگیری روش پیشنهادی می‌توان به نقشه آشکارسازی کشتی با نرخ هشدار اشتباه کمتر در مقایسه با روش [۲۴] دست یافت؛ جایی که برای روش پیشنهادی به تعداد ۲ هشدار اشتباه و برای روش ارائه‌شده در [۲۴] به تعداد ۴ هشدار اشتباه حاصل شده است. همچنین با مشاهده نتایج دو الگوریتم برای روی منطقه B شکل‌های (۸- ب و ۹- ب)، می‌توان نتیجه‌گیری مشابهی را ارائه نمود، جایی که روش پیشنهادی بدون هیچ هشدار اشتباه است در حالی که روش [۲۴] دارای ۶ هشدار اشتباه می‌باشد.



(الف) (ب)

شکل ۸. نتایج آشکارسازی کشتی روش پیشنهادی در منطقه (الف) A و (ب) B با استفاده از داده پارامتر آنتروپی به‌دست‌آمده از تجزیه هدف.

## ۶. مراجع

- [14] C. Wang, M. Liao, and X. Li, "Ship Detection in SAR Image Based on the Alpha-stable Distribution," *Sensors*, vol. 8, pp. 4948-4960, 2008.
- [15] J. M. Nicolas, "Alpha-stable positive distributions: a new approach based on second kind statistics," in *Proceedings of European Signal Processing Conference*, Toulouse, France, pp. 197-200, Sep. 2002.
- [16] V. A. Krylov, G. Moser, S. B. Serpico, and J. Zerubia, "On the method of logarithmic cumulants for parametric probability density function estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 22, no. 10, pp. 3791-3806, Oct. 2013.
- [17] G. Margarit, J. J. Mallorquí, J. Fortuny-Guasch, and C. López-Martínez, "Exploitation of ship scattering in polarimetric SAR for an improved classification under high clutter conditions," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, 2009.
- [18] K. Ouchi, S. Tamaki, H. Yaguchi, and M. Iehara, "Ship detection based on coherence images derived from cross correlation of multilook SAR images," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 1, 2004.
- [19] A. J. Rye, F. G. Sawyer, and R. Sothianathan, "A workstation for the fast detection of ships," in *Proc. IEEE Geoscience and Remote Sensing Symp.*, IGARSS, vol. 3, 1990.
- [20] A. Marino, "A notch filter for ship detection with polarimetric SAR data," *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, vol. 6, no. 3, pp. 1219-1232, Jun. 2013.
- [21] M. Brizi, P. Lombardo, and D. Pastina, "Exploiting the shadow information to increase the target detection performance in SAR images," in *Int. Conf. Radar Systems, Radar99*, 1999.
- [22] A. Banerjee, P. Burlina, and R. Chellappa, "Adaptive target detection in foliage-penetrating SAR images using alpha-stable models," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 8, no. 12, pp. 1823-1831, Dec. 1999.
- [23] C. Tison, J.-M. Nicolas, F. Tupin, and H. Maitre, "A New Statistical Model for Markovian Classification of Urban Areas in High-Resolution SAR Images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* vol. 42, no. 10, pp. 2046-2057, Oct. 2004.
- [24] G. Gao, L. Liu, L. Zhao, G. Shi, and G. Kuang, "An Adaptive and Fast CFAR Algorithm Based on Automatic Censoring for Target Detection in High-Resolution SAR Images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 6, pp. 1685-1697, Jun. 2009.
- [1] R. L. Paes, J. A. Lorenzetti, and D. F. M. Gherardi, "Ship detection using TerraSAR-X images in the campos basin (Brazil)," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 7, no. 3, pp. 545-548, Jul. 2010.
- [2] S. Brusch, S. Lehner, and T. Fritz et al., "Ship surveillance with TerraSAR-X," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 49, no. 3, pp. 1092-1103, Mar. 2011.
- [3] R. Touzi, "On the use of polarimetric SAR data for ship detection," in *Proc. IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS)*, pp. 812-814, 1999.
- [4] P. P. Gandhi and S. A. Kassam, "Analysis of CFAR processors in nonhomogeneous background," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 24, no. 4, pp. 427-445, Jul. 1988.
- [5] G. Gao, "Statistical modeling of SAR images: A survey," *Sensors*, vol. 10, no. 1, pp. 775-795, Oct. 2010.
- [6] G. S. Kuttikkad and R. Chellappa, "Non-Gaussian CFAR techniques for target detection in high resolution SAR images," in *Proc. Int. Conf. IEEE Image Process.*, Austin, TX, USA, vol. 1, pp. 910-914, Nov. 1994.
- [7] A. Banerjee, P. Burlina, and R. Chellappa, "Adaptive target detection in foliage-penetrating SAR image using alpha-stable models," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 8, no. 12, pp. 1823-1829, Dec. 1999.
- [8] C. C. Wang, M. S. Liao, and X. F. Li, "Ship detection in SAR image based on the alpha-stable distribution," *Sensors*, vol. 8, no. 8, pp. 4948-4959, Aug. 2008.
- [9] M. Weiss, "Analysis of some modified cell-averaging CFAR processors in multiple-target situations," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-18, no. 1, pp. 102-114, Jan. 1982.
- [10] M. Barkat, S. D. Himonas, and P. K. Varshney, "CFAR detection for multiple target situations," *Proc. Inst. Elect. Eng. F-Radar Signal Process.*, vol. 136, no. 5, pp. 193-209, Oct. 1989.
- [11] S. Blake, "OS-CFAR theory for multiple targets and nonuniform clutter," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 24, no. 6, pp. 785-790, Nov. 1988.
- [12] C. J. Nikias, "Signal Processing With Alpha Stable Distribution and Applications," New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 1995.
- [13] B. Hou, X. Chen, and L. Jiao, "Multilayer CFAR detection of ship targets in very high resolution SAR images," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 12, no. 4, pp. 811-815, Apr. 2015.

---

## **Estimating the Alpha-Stable Distribution Parameters for Ship Detection in Polarimetric SAR Images**

**M. Ghanbary, S. Khazaei\***

Imam Hossein University

(Received: 24/08/2014, Accepted: 11/10/2015)

### **Abstract**

In synthetic aperture radar (SAR) imagery, ship-sea contrast can be significantly improved when the polarimetric information is used, compared with information from a single channel SAR. The constant false alarm rate (CFAR) detection algorithm based on the alpha-stable (AS) distribution model is a descent method for ship detection in sea. The most important step in this method is the parameter estimation of the AS probability density function for which the method of log-cumulants (MoLC) parameter estimation is proposed and utilized in this study. Evaluation results of the proposed method on two L- and C-band polarimetric SAR (PolSAR) datasets which are acquired by AIRSAR and RADARSAT-2 sensors confirm the accuracy of the method. Experimental results show that the best results of detection maps are achieved when the polarimetric span and entropy data are used where a high detection accuracy in the latter cases are along with a low number of false alarms.

### **Keywords**

Ship Detection, Constant False Alarm Rate (CFAR), Method of Log-Cumulants, Polarimetric SAR Images.

---

\* Corresponding author E-mail: skhazai@ihu.ac.ir