

# آشکارسازی اهداف دریایی با استفاده از تقارن انعکاسی در داده های رادار درجه مجازی پلاریمتریک PoISAR باند X

حامد گروسی، بیژن ذاکری گنتابی، سید مهدی حسینی اندارگلی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق - مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی بابل

۲ و ۳- استادیار گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی بابل

مسئول مکاتبات: حامد گروسی

## چکیده

مطالعه بر روی آشکارسازی اهداف در باند X تصاویر PoISAR اساساً کار ساده و راحتی نمی باشد، خصوصاً این که بازگشتی ها و برگ های حاصل از سطح دریا در باند X بسیار بیشتر از باندهای L و C می باشد. مدل ارائه شده در این مقاله خواص متفاوتی از حالت تقارن اهداف دریایی را مورد مطالعه قرار داده است. تحلیل های نظری نشان دهنده این واقعیت است که برخی از جملات ماتریس های پراکندگی مانند ماتریس کوهرنسی و کواریانس تفاوت های بین اهداف ساخت بشر مانند کشتی ها و سایر اهداف دریایی که غیر متقارن می باشند از کلاترهای طبیعی متقارنی مانند آب و پدیده های اقیانوسی به خوبی نشان می دهند. این مدل قابلیت های مختلف تقارنی اهداف ساخت بشر و سطح دریا را بر روی داده های سنجنده TerraSAR-X تست و بررسی نموده که محاسبات دقیق و درستی را ارائه می دهد. نتایج تجربی بدست آمده کارایی و قابلیت روش پیشنهادی را در تشخیص کشتی ها و سکوها نفتی، ساختمان ها و سایر ساختارهای ساخت بشر در نواحی همگن و غیر همگن به خوبی نشان می دهند.

**کلمات کلیدی:** آشکارسازی اهداف دریایی، تقارن، رادارهای پلاریمتریک باند X، داده های TerraSAR-X.

## مقدمه

سامانه SAR توانایی تصویر برداری با قدرت تفکیک بالا در تمام شرایط آب و هوایی و پوشش ابر را دارد، در عین حال وابستگی به روشنایی نور خورشید ندارد. سنسج از دور بر پایه سامانه SAR مزایای بسیار زیادی دارد از قبیل پوشش وسیع زمانی-مکانی، وضوح بالا، مداومت دریافت داده ها، عدم وجود محدودیت مکانی در تصویر برداری و اطلاعات به روز. سامانه SAR سوار بر یک پایه حرکت کننده رو به جلو و مبتنی بر یک رادار پالسی است که با یک هندسه نگاه کننده به اطراف پالس های الکترو مغناطیسی در پلاریزاسیون های مختلف و با توان بالا ارسال کرده و سیگنال های بازگشتی با پلاریزاسیون های متفاوت را به ترتیب دریافت می کند [۱]-[۳].

قابلیت های ذکر شده در کنار هم قدرت تفکیک مکانی<sup>۱</sup> بسیار خوبی را برای سامانه SAR فراهم کرده و داده های پلاریمتریک SAR را به ابزار مناسبی برای شناسایی<sup>۲</sup> و آشکارسازی اهداف دریایی ساخت بشر بخصوص ساختارهای فلزی تبدیل کرده است. از نظر فیزیکی بازگشت های منسجم و قوی حاصل از امواج تابیده شده به اهداف دریایی به صورت پراکندگی های بازتاب شده از سطوح صاف یا بازتاب های تک وجهی<sup>۳</sup>، بازتاب های دو وجهی<sup>۴</sup> و سه وجهی<sup>۵</sup> مانند بازتاب های ناشی از گوشه ها و زوایا و بازتاب های ترکیبی از کشتی و سطح دریا دریافت می شود که به صورت تک نقطه<sup>۶</sup> یا مجموعه نقاط روشنی در تصاویر SAR مشاهده می شود. البته تکنیک های دیگری نیز مانند مواد و ساختار هدف و مشخصات دستگاه رادار از قبیل زاویه تابش<sup>۷</sup>، فرکانس، پلاریزاسیون، قدرت تفکیک مکانی و نویز لکه ای<sup>۸</sup> در نتایج بدست آمده نقش دارند [۴] و [۵].

مشاهده اهداف دریایی مانند کشتی ها، توربین های بادی نصب شده در دریا و سکوها نفتی به دلیل اهمیت استراتژیکی و اقتصادی آن ها و همچنین آسیب پذیری بالای آن ها در قبال حوادث امری حیاتی و حساس می باشد. شیوه های ارائه شده برای مشاهده اهداف در دریا براساس داده های تک پلاریزاسیون

<sup>1</sup> Spatial resolution

<sup>2</sup> Identification

<sup>3</sup> Single bounce

<sup>4</sup> Dihedral

<sup>5</sup> Trihedral

<sup>6</sup> Single point

<sup>7</sup> Incidence angle

<sup>8</sup> Speckle

SAR و مبتنی بر پردازش تصویر، هم به دلیل حضور نویز لکه‌ایی که تفسیر تصویر SAR را مخدوش می‌سازد و هم به خاطر حضور مشکلات طبیعی همچون سرعت و جهت باد یا نواحی گذار بین شرایط جوی مختلف، تغییرات در شرایط جوی که باعث پدید آمدن هشدارهای کاذب<sup>۹</sup> می‌شوند، برای استخراج موثر و بهتر اهداف دریایی همیشه مناسب نبوده و کاری بس دشوار است. در مراجع [۴]-[۱۰] روش‌های بسیار گسترده‌ای در این زمینه مطرح شده‌است که برای صرفه‌جویی در فضای مقاله برای مطالعه بیشتر به منابع ارجاع داده شده‌اند.

در سال‌های اخیر استفاده از شیوه‌های پلاریمتریک برای آشکارسازی اهداف دریایی مورد توجه قرار گرفته است، در مراجع [۴]، [۸] الی [۱۳] شیوه‌های فیزیکی متعدد پلاریمتریک برای استخراج ویژگی‌ها و آشکارسازی بهتر اهداف ارائه شده است. اخیراً در مراجع [۷] و [۱۴] الی [۱۶] راهکارهای موثرتری از شیوه‌های پلاریمتریک ارائه شده که بر پایه تقارن انعکاسی استوار است، تقارن انعکاسی مفهوم جامع و مستحکم‌تری دارد که در زمینه‌های علمی دیگری مانند کوانتوم و کریستال‌شناسی نیز قابل اجراست، تقارن انعکاسی برای اغلب ساختارهای طبیعی صادق است ولی به ندرت برای ساختارهای بشر صدق می‌کند [۱۷].

در این مقاله، از قدرمطلق<sup>۱۰</sup> میانگین فضایی<sup>۱۱</sup> جمله  $T_{33}$  ماتریس کوهرنسی برای آشکارسازی استفاده شده‌است. قسمت‌های عمده اهداف ساخت بشر مانند ساختارهای حجمی و سه وجهی‌ها از تعداد زیادی مراکز اسکرینینگ قوی با موقعیت و جهت‌های متفاوت تشکیل شده‌اند که دارای بازتابش متقارن نمی‌باشند، لذا تقارن انعکاسی در این موارد صادق نمی‌باشد. بر همین اساس، داده‌های SAR مربوط به مناطق مختلف که در باند X بدست آمده‌اند جهت تست روش پیشنهاد شده بکار رفته و نشان دادند که روشی پیشنهادی دارای عملکرد موثری در راستای مشاهده اهداف فلزی ساخت بشر در دریا دارد. مشاهده اهداف دریایی در باند X خیلی پیچیده تر از مشاهده در باندهای L و C است. در باند X احتمال رخ دادن بازگشت‌هایی با انسجام بالا و (و بنابراین مثبت‌های منفی)<sup>۱۲</sup> بسیار زیاد است. بنابراین لازم است این شیوه در رابطه با شرایط خاص تست و بررسی شود. پس یک تکنیک ساده و موثر جهت مشاهده کشتی‌ها در دریا مطرح شده و براساس داده‌های TerraSAR-X ارائه شد. لذا روش پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف دریایی مانند کشتی‌ها، مخازن و سکوها نفتی و سایر اهداف ساخت بشر مناسب می‌باشد.

## ۲. سیستم‌های پلاریمتریک

سیستم‌هایی که براساس قطبیت کار می‌کنند بر پایه‌ی حالت H-V عمل می‌کنند، یعنی از طریق ارسال یک موج قطبی شده به صورت H و دریافت به صورت H و پلاریزاسیون V، المان‌های  $S_{HV}$  و  $S_{HH}$  اندازه‌گیری می‌شوند. دوضرب باقیمانده یعنی  $S_{VV}$  و  $S_{VH}$  در گام دوم و با ارسال یک موج پلاریزه شده به صورت V و دریافت در H و V اندازه‌گیری می‌شوند. زیرنویس‌های h و v نشانگر حالت افقی و عمودی پلاریزاسیون مربوط به ارسال و دریافت می‌باشد.

## ۳. بردارهای پراکندگی هدف

مفهوم اساسی پلاریمتریک SAR بوسیله یک ماتریس پراکندگی  $2 \times 2$  مختلط یا همان ماتریس S قابل بیان است.

$$\begin{bmatrix} \vec{E}_h^s \\ \vec{E}_v^s \end{bmatrix} = \frac{e^{jk_0 r}}{r} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}_h^i \\ \vec{E}_v^i \end{bmatrix}, \vec{E}^s = \quad (1)$$

در این فرمول  $E^{s(i)}$  بردار جونز دوبعدی پیچیده‌ای از موج پراکنده‌شده (تابشی)، ز واحد موهومی، ضرب  $e^{-jkr}$  که در آن  $k = 2\pi/\lambda$  عدد موج است، بیانگر شیفت فاز و تضعیف یک موج کروی با شعاعی برابر فاصله بین انتشاردهنده و رادار است. r فاصله از رادار تا مرکز جسم توزیع یافته می‌باشد. بردارهای جونز وقتیکه به مؤلفه‌های افقی و عمودی خود تفکیک می‌شوند به صورت زیر در خواهد آمد [۱۶].

$$[S] = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} \quad (2)$$

هر جسم یا ساختار ترکیبی از ماتریس پراکندگی می‌باشد. معادله (۱) مدل پراکندگی همدوس اولیه را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه فرمول جونز قادر به محاسبه وقایع دیپولاریزاسیون<sup>۱۳</sup> نمی‌باشد پس هرگز نخواهد توانست در هنگام توزیع شدن و دیپولاریزه شدن اهداف در مکانشان نیز معتبر و ارزشمند باشد [۱۷]. لذا بهترین و منطقی‌ترین راه جهت بررسی بازگشتی‌های پراکندگی پلاریمتریک از یک هدف پخش شده و دی پلاریزه شده، استفاده از ضرایب مرتبه دوم ماتریس پراکندگی می‌باشد [۱۸]. که در این مقاله نیز برای استخراج اهداف از ماتریس مرتبه دوم، ماتریس کوهرنسی استفاده شده‌است. تا زمانیکه

<sup>9</sup> False alarm

<sup>10</sup> Modulus

<sup>11</sup> Ensemble averaging

<sup>12</sup> Negatives false alarm

<sup>13</sup> depolarization

فقط خطی بودن و روابط متقابل در نظر گرفته شوند، معادله (۳) کلی ترین مکانیزم پراکندگی پلاریزاسیون را بیان خواهد کرد. زمانیکه در مورد سناریوی بحث می کنیم که به طور طبیعی پراکنده (توزیع) شده اند، تقارن انعکاسی بطور کلی ارضاء خواهد شد. با توجه به نتایج ارائه شده در فصل ۳ مرجع [۱۸] ماتریس کوهرنسی بر حسب ماتریس  $K$  و ماتریس پراکندگی  $S$  چنین بدست می آید:

(۳)

$$T_3 = \langle \underline{K} \cdot \underline{K}^{*T} \rangle = \left\langle \begin{bmatrix} |k_1|^2 & k_1 k_2^* & k_1 k_3^* \\ k_1 k_2^* & |k_2|^2 & k_2 k_3^* \\ k_3 k_1^* & k_3 k_2^* & |k_3|^2 \end{bmatrix} \right\rangle =$$

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle |S_{XX} + S_{YY}|^2 \rangle & \langle (S_{XX} + S_{YY})(S_{XX} - S_{YY})^* \rangle & 2\langle (S_{XX} + S_{YY})S_{XY}^* \rangle \\ \langle (S_{XX} - S_{YY})(S_{XX} + S_{YY})^* \rangle & \langle |S_{XX} - S_{YY}|^2 \rangle & 2\langle (S_{XX} - S_{YY})S_{XY}^* \rangle \\ 2\langle S_{XY}(S_{XX} + S_{YY})^* \rangle & 2\langle S_{XY}(S_{XX} - S_{YY})^* \rangle & 4\langle |S_{XY}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$

که در اینجا \* بیانگر مزدوج مختلط،  $T$  عملگر ترانهاده،  $| \cdot |$  عملگر قدرمطلق،  $\langle \cdot \rangle$  عملگر میانگین فضایی و  $k$  بردار هدف بوده و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\underline{k} = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{XX} + S_{YY} \quad S_{XX} - S_{YY} \quad 2S_{XY}]^T \quad (۴)$$

در روابط بالا  $X$  نمایانگر بردار افقی و معرف  $h$  یا همان پلاریزاسیون افقی و  $Y$  نمایانگر بردار عمودی و معرف  $v$  یا همان پلاریزاسیون عمودی می باشد.

#### ۴. قضیه تقارن بازتابی و استخراج معیار آشکارسازی

با استناد به نتایج مرجع [۱۹]، زمانی که پراکنده گر اصلی از جهت پلاریزاسیون عمودی به صفر درجه می گراید، باید به این نکته اشاره کرد که فاصله اندک از ۰ اساساً به دلیل عدم هماهنگی و تطبیق میان مختصات محوری رادار و محور تقارن صحنه یا همان ناحیه مورد بررسی می باشد. با استفاده از مدلی که کلود و همکاران در مرجع [۲۰] برای اهداف متقارن حتی برای سطوح خشن<sup>۱۴</sup> و دارای براگ<sup>۱۵</sup> مانند سطح دریا ماتریس پراکندگی و ماتریس کوهرنسی را برای یک پیکسل تک-نگاهه<sup>۱۶</sup> را می توان به صورت زیر نوشت:

$$S = \begin{bmatrix} S_{hh} & 0 \\ 0 & S_{vv} \end{bmatrix} \rightarrow T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_{HH} + S_{VV} & \\ S_{HH} - S_{VV} & 0 \end{bmatrix} [S_{HH}^* + S_{VV}^* \quad S_{HH}^* - S_{VV}^* \quad 0] = \begin{bmatrix} A & B & 0 \\ B^* & 2C & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (۵)$$

$A$  و  $B$  و  $C$  در مراجع [۱۹] و [۲۰]، به صورت کامل شرح داده شده اند.

کلاتر مورد نظر ما در این بحث دریا و پدیده های مربوط به آن مانند پدیده براگ و پدیده های اقیانوسی می باشد و اهداف ما ساختارهای حجمی می باشد که غالباً فلزی هستند مانند کشتی ها، سکوها نفتی، توربین های بادی و سایر ساختارهای دست ساخت بشر. بر اساس نتایج بدست آمده در مراجع [۱۱]، [۲۱] - [۲۳] جمله  $T_{33}$  در حالت های انعکاسی متقارن برای پراکنده گرهای سطحی و دو سطحی مقدار صفر دارد ولی برای پراکنده گرهای حجمی حتی در حالت تقارن انعکاسی نیز مقداری غیر صفر دارد، لذا اهداف مورد نظر هیچ راهی برای گریز از شناسایی شدن ندارند حتی در حالتی که دارای ساختار متقارن باشند. از طرفی طبق روابط ارائه شده در مرجع [۲۱] ماتریس کوهرنسی برای حالت های پراکندگی سطحی و دو سطحی ماتریس کوهرنسی به صورت روابط (۶) قابل بیان است.

$$[T]_{surface} = \begin{bmatrix} 1 & \beta^* & 0 \\ \beta & |\beta|^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \therefore \quad [T]_{double} = \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & \alpha & 0 \\ \alpha^* & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (۶)$$

در این رابطه \* بیانگر مزدوج مختلط و  $| \cdot |$  بیانگر قدر مطلق بوده و مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در مرجع [۲۱] به طور کامل بیان شده اند. روابط (۵) و (۶) نشان می دهد که جمله  $T_{33}$  برای هر ساختاری غیر از ساختاری های ذکر شده در بالا مقداری غیر صفر دارد، مثالی از این مقادیر در مراجع [۱۱] و [۲۳] برای ساختارهای هلیکس راست گرد و چپ گرد و ساختار حجمی بیان شده است. رجوع به تجزیه هایین ماهیت جملات ماتریس کوهرنسی را به طور کامل آشکار می کند. در تجزیه هایین ماتریس کوهرنسی بر حسب ماتریس کنوف<sup>۱۷</sup> بیان می شود، ماتریس کنوف برای بیان بازگشتی های پراکندگی استفاده شده و همه جملات ماتریس با استفاده از مقادیر توان ماتریس پراکندگی قابل اندازه گیری بوده و ویژگی فیزیکی و ساختار اهداف راداری را بیان می کند. طبق مرجع [۱۶] ماتریس کوهرنسی بر حسب تجزیه هایین و ماتریس کنوف به صورت رابطه (۷) حاصل می شود:

<sup>14</sup> Rough surface

<sup>15</sup> Bragg

<sup>16</sup> Single-look pixel

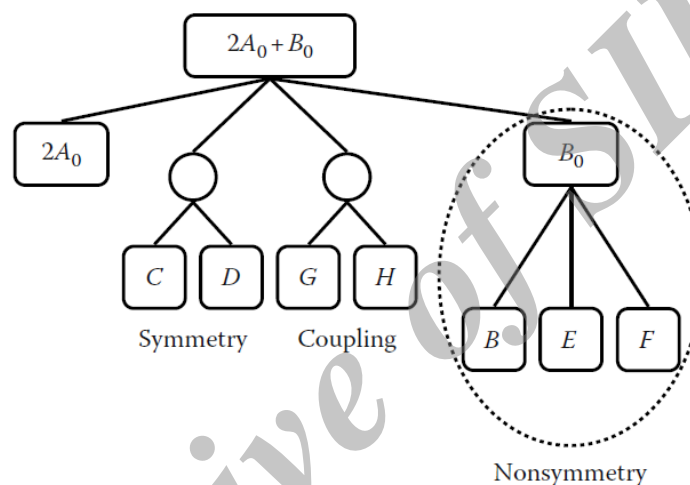
<sup>17</sup> Kennaugh

$$T_3 = \begin{bmatrix} 2A_0 & C - jD & H + jG \\ C + jD & B_0 + B & E + jF \\ H - jG & E - jF & B_0 - B \end{bmatrix} \quad (7)$$

پارامترهای جملات ماتریس کوهرنسی در رابطه (7) در مرجع [16] به صورت کامل بیان شده است، در این رابطه جمله  $T_{33}$  که برابر با  $B_0 - B$  می باشد بیان گر کل توان دپلاریزه شده غیرمتقارن است. مطابق شکل (1) پارامترهای مشخص شده با خطچین مربوط به اهداف غیر متقارن می باشند که در این مطالعه به عنوان اهداف در تصاویر داده های پلاریمتریک SAR مطرح می باشند لذا طبق روابط و اصول بیان شده به راحتی قابل استخراج می باشند. در این مطالعه برای استخراج اهداف از جمله  $T_{33}$  استفاده شده است که با توجه به رابطه (3) استخراج می شود. در ادامه نتایج حاصل از خروجی  $T_{33}$  وقتی به طور مستقیم از ماتریس پراکندگی بدست آید نمایش داده شده، خروجی مورد نظر از  $T_{33}$  را که در اینجا به اصطلاح R نامگذاری شده، می توان به صورت رابطه (11) بیان کرد:

$$R = T_{33} =$$

$$\langle |S_{nv}|^2 \rangle \quad (11)$$



شکل ۱- نمودار ساختار اهداف مونو استاتیک در تجزیه هاینن

## ۵. نتایج و بحث:

در این مقاله روش آشکارسازی پیشنهاد شده، بر روی دسته داده های PolSAR باند X مورد بررسی قرار گرفته که توسط ماهواره TerraSAR-X بدست آمده اند. داده مورد استفاده در این مقاله مربوط به ناحیه پانگ کالامبون، رودخانه کوما ی در جنوب اندونزی در باند X با وضوح  $6 \times 6$  متر در رنج و سمت، حالت تصویربرداری strip map و اندازه تصویر  $10288 \times 23361$  پیکسل می باشد. تصویری از ترکیب رنگی پائولی<sup>۱۸</sup> منطقه مذکور در شکل (۲) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود ناحیه آب رودخانه تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند نویز، نا آرامی ها، ابهامات سمت<sup>۱۹</sup> بوده و استخراج اهداف کاری بس دشوار می باشد. ولی در ادامه می بینیم که با اعمال مدل پیشنهادی، همه این عوامل تا حدود بسیار زیادی حذف می گردند. وضوح تصویر امری حیاتی می باشد زیرا برای استخراج اهداف کوچک لازم است. لذا برای محاسبه میانگین فضایی در استخراج پارامتر R، بر اساس پیشنهادات مرجع [24] برای به حداقل رساندن کاهش اجتناب ناپذیر وضوح تصاویر و توانایی استخراج اهداف کوچک از یک پنجره متحرک  $3 \times 3$  پیکسل استفاده گردید. در نهایت برای جداسازی اهداف از هشدارهای اشتباه از تکنیک CFAR تطبیق پذیر<sup>۲۰</sup> ارائه شده در مرجع [25] استفاده شده است.

$$x_i > \mu_b + \sigma_b t \Leftrightarrow Target \quad (12)$$

در اینجا  $x_i$  مقدار پیکسل هدف،  $\mu_b$  میانگین پس زمینه،  $\sigma_b$  واریانس پس زمینه و  $t$  پارامتر طراحی آشکارساز است که توسط پارامتر احتمال آشکارسازی PFA کنترل می شود می باشد. ارتباط  $t$  با PFA از طریق رابطه (13) بیان می شود. تعادل میان احتمال آشکارسازی و هشدار اشتباه در  $t=5.5$  رخ می دهد که برای تصاویر با وضوح بالا مانند تصاویر مورد استفاده در این مقاله مقداری بین  $t=5.5 - 6$  پیشنهاد می شود.

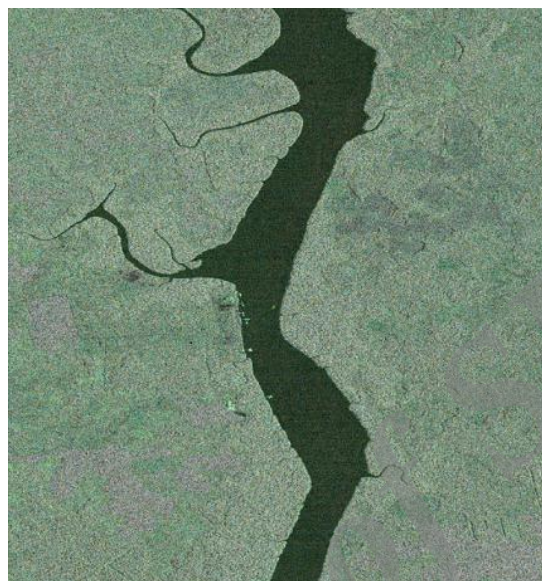
<sup>۱۸</sup> Pauli

<sup>۱۹</sup> Azimuth

<sup>۲۰</sup> Adaptive

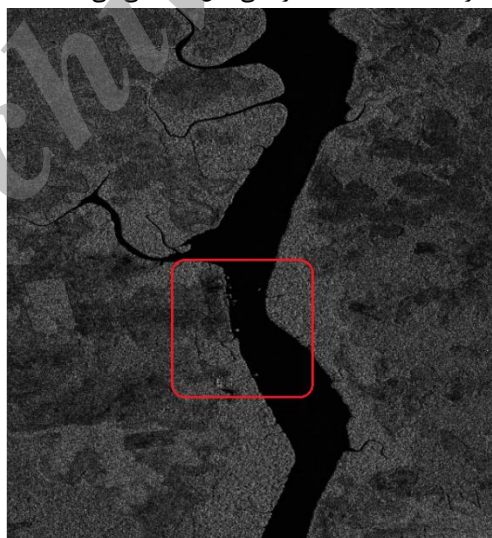
$$PFA = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right) \quad (13)$$

در این تکنیک ناحیه‌ای به عنوان ناحیه محافظ در اطراف پنجره هدف در نظر گرفته می‌شود که پنجره محافظ نام دارد، پنجره محافظ به منظور جلوگیری از دخالت پیکسل‌های اهداف گسترده در محاسبات پارامترهای پنجره پس‌زمینه قرار داده می‌شود. اندازه پنجره‌های پس‌زمینه، محافظ و هدف به ترتیب ۵، ۱۳ و ۳ در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- تصاویر رنگی پانولی RGB ناحیه پانگ کالامبون در جنوب اندونزی

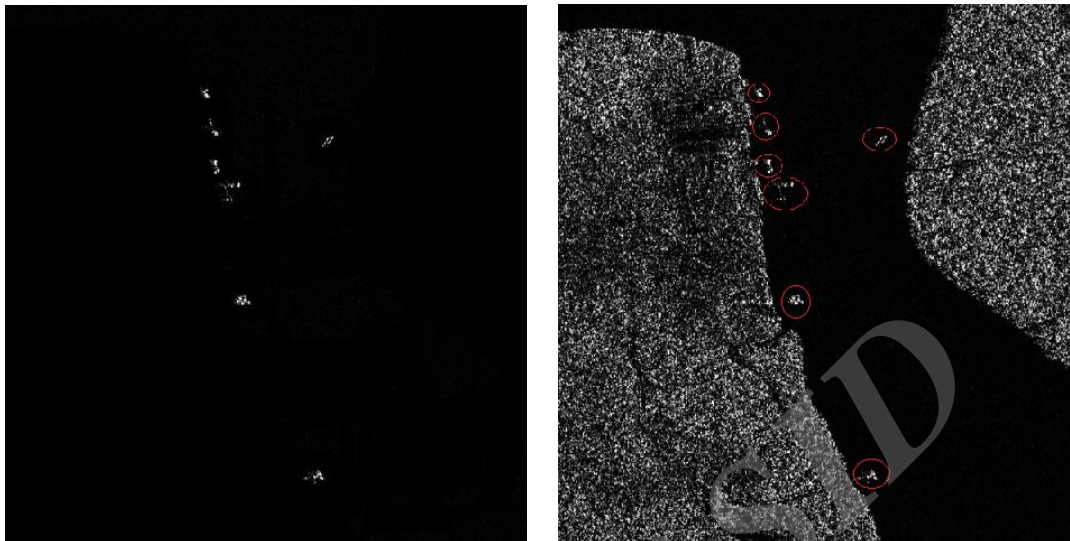
پس از اعمال CFAR اهداف به وضوح استخراج شده و با دوایر قرمز مشخص شده‌اند. در شکل ۳ خروجی پارامتر R به نمایش درآمده و به وضوح مشاهده می‌شود که عوامل مزاحم از ناحیه رودخانه حذف گردیده‌اند. لذا اهداف به راحتی قابل شناسایی می‌باشند.



شکل ۳- تصاویر بدست آمده از خروجی پارامتر R

شکل (۴) (الف) ناحیه بزرگ‌نمایی شده شکل ۳ را نشان می‌دهد که اهداف بسیاری در این شکل قابل مشاهده است، به دلیل کیفیت و حجم بالای تصویر و کوچک شدن اندازه آن برای قرار گرفتن در متن مقاله در شکل ۳ این اهداف قابل رویت نبودند. در شکل (۴) (ب) خروجی پارامتر CFAR تطبیق‌پذیر ارائه شده است، مشاهده می‌شود که این فیلتر قادر است به طور کامل اهداف را از پس زمینه جدا نماید. در شکل (۵) تصاویر حاصل از گوگل ارث این مناطق نمایش داده شده است. تصاویر حاصل از گوگل ارث و تصویر SAR در یک زمان واحد اخذ نشده‌اند ولی تصویر حاصل شده از گوگل ارث ادعای وجود اهداف

در منطقه مشخص شده را به اثبات می‌رساند. لذا مشاهده می‌شود که حتی این اهداف بسیار کوچک هم با دقت خوبی آشکارسازی شده‌اند. لذا برای اهداف بزرگ‌تر با اطمینان بیشتری آشکارسازی انجام می‌گیرد. این خود دلیل محکمی بر کارایی شیوه پیشنهادی در آشکارسازی اهداف دریایی می‌باشد.



شکل ۴: الف) ناحیه بزرگ‌نمایی شده از شکل ۳، ب) خروجی فیلتر CFAR تطبیق‌پذیر



شکل ۵: تصاویر گوگل ارث و دو منطقه از مناطق مشخص شده در شکل ۴

در این مقاله از قدرمطلق متوسط گیری فضایی جمله  $T_{33}$  در ماتریس کوه‌رنسی برای آشکارسازی اهداف ساخت بشر موجود در ناحیه آب استفاده شده‌است، که یک فیلتر موثر برای استخراج این اهداف ایجاد کرده‌است. آزمایشات بر روی دسته گسترده‌ای از داده‌های بانده X رادار TerraSAR-X بر روی مناطق مختلف انجام گرفته و نتایج نشان دهنده منطقی و موثر بودن روش پیشنهادی دارد. با استفاده از این تکنیک اهداف دست ساخت بشر به طور کامل از نواحی اطرافشان متمایز می‌شوند، فیلتر پیشنهادی به طور کامل و دقیق، تحت تمام شرایط دریایی و پدیده‌های طبیعی مزاحم جواب مطلوبی ارائه می‌کند. این شیوه را پیشتر در باندهای C و L آزمایش کردیم که جواب بسیار مطلوبی با کمترین هشدار اشتباه ارائه می‌کند. همچنین باید اشاره کرد که نتایج آشکارسازی در مورد اهداف ثابت توسط تصاویر گوگل ارث ارزیابی شده و در مورد اهداف متحرک از یک بازرسی بصری و در برخی موارد از اطلاعات سامانه ناوبری AIS استفاده شده‌است. برای اعتبار سنجی دقیق‌تر می‌توان از سیستم‌های شناسایی و راهوری کشتی یعنی AIS بهره برد که برای این منظور نیاز به خرید اطلاعات از این سیستم‌ها می‌باشد، ولی متأسفانه فعلاً دسترسی به این منابع در ایران مقدور نمی‌باشد اعتبار سنجی بیشتر زمینی با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS در آینده انجام خواهند شد.

۱۲. مراجع

1. Oliver. C & Quegan. S. (2004). Understanding Synthetic Aperture Radar Images. Herndon, VA: SciTech Publishing.
2. Cumming, I. G & Wong, F. H. (2005). Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation. Norwood, MA: Artech House.

3. Elachi. C & van Zyl. J. (2006). Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. *New York: Wiley*.
4. Novak, L. M & Burl, M. C. (Mar. 1989). Studies of target detection algorithms that use polarimetric radar data. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 25, no. 2, pp. 150–165.
5. Chen. J., Chen. Y & Yang. J. (Oct. 2009). Ship detection using polarization cross-entropy. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 723–727.
6. Marino. A., Cloude, S. R & Iain. H. (May 2010). A polarimetric target detector using the Huynen fork. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 5, pp. 2357–2366.
7. Marino. A., Walker N & Woodhouse. I. (Jul 2010). Ship detection with RADARSAT-2 quad-pol SAR data using a notch filter based on perturbation analysis. *In Proc. IEEE IGARSS, Honolulu, HI*, pp. 3704–3707.
8. Ferrara. G., Migliaccio. M., Nunziata. F & Sorrentino. A. (Apr. 2011). GK-based observation of metallic targets at sea in full-resolution SAR data: A multi-polarization study. *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 36, no. 2, pp. 195–204.
9. Migliaccio. M., Nunziata. F., Montuori. A., Li. X & Pichel. W. (Dec. 2011). A multi-frequency polarimetric SAR processing chain to observe oil fields in the Gulf of Mexico. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 49, no. 12, pp. 4729–4737.
10. Nunziata. F., Migliaccio. M., & Brown, C. E. (Jul. 2012). Reflection symmetry for polarimetric observation of man-made metallic targets at sea. *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 37, no. 3, pp. 384–394.
11. Yamaguchi. Y., Yajima. Y & Yamada. H. (Jul. 2006). A four-component decomposition of POLSAR images based on the coherency matrix. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 3, no. 3, pp. 292–296.
12. Sarabandi. K & Park. M. (Jul. 2000). A statistical theory of power line detection in polarimetric MMW SAR images,” in *Proc. IEEE Antennas Propagate. Soc. Int. Symp.* vol. 4, pp. 2150–2153.
13. Moriyama. T., Uratsuka. S., Umehara. T., Satake. M & Yamaguchi. Y. (Sep. 2004). A study on extraction of urban areas from polarimetric synthetic aperture radar image. *Proc. IEEE IGARSS*, pp. 703–706.
14. Huynen, J. R., (1970). Phenomenological theory of radar targets. *PhD dissertation, Technical Univ. Delft, the Nederland*.
15. Migliaccio. M., Nunziata. F., Montuori. A & Paes, R. L. (Jun. 2012). Single look complex COSMO-SkyMed SAR data to observe metallic targets at sea. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observe. Remote Sens.*, vol. 5, no. 3, pp. 893–901.
16. Moreira. A., Iraola, P. P., Younis. M., Krieger. G., Hajnsek. I., and Papathanassiou, K. P., (Apr. 2013) A tutorial on Synthetic Aperture Radar. *Germany, Microwaves and Radar Institute of the German Aerospace Center (DLR)*.
17. Nunziata. F., Migliaccio. M & Brown, C. E. (Jul. 2012). Reflection symmetry for polarimetric observation of man-made metallic targets at sea. *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 37, no. 3, pp. 384–394.
18. Sen Lee. Jong & Pottier. Eric. (2009). Polarimetric Radar imaging from basics to applications. *CRC Press. Taylor & Francis Group*. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.
19. Lee, J. S., Schuler, D. L., Ainsworth, T. L., Krogager. E., Kasilingam. D & Boerner W.-M. (Jan. 2002). On the estimation of radar polarization orientation shifts induced by terrain slopes. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 40, no. 1, pp. 30–41.
20. Cloude, R. Shane., Hajnsek. Irena, & Papathanassiou, P. Konstantinos. (March 2000). An eigenvector method for the extraction of surface parameters in polarimetric SAR. *Proceedings of the CEOS SAR Workshop, Toulouse*, 26-29 October 1999.
21. Baum, E. C. (Oct 1996). Symmetry in electromagnetic scattering as a target discriminant. *Phillips laboratory. Interaction notes*, Note 523.
22. Freeman. A., Durden, I. S., (May 1996). A three-component scattering model for polarimetric SAR data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 36, no. 3, pp. 963–973.
23. Cui. Y., Yamaguchi. Y., Yang. J., Park, E. S., Kobayashi. H., Singh. G., (2012). Three-component power decomposition for polarimetric SAR data based on adaptive volume scatter modeling. *Remote Sensing open access*, no 4, pp 1559-1572.
24. Velotto. D., Nunziata. F., Migliaccio. M & Lehner. S. (Sept 2013). Dual-Polarimetric TerraSAR-X SAR Data for Target at Sea Observation. *IEEE Geosci. Remote Sens. Letter*, vol. 10, no. 5, pp 114-118.
25. Crisp, D. J., (May 2004). The state-of-the-art in ship detection in synthetic aperture radar imagery. *Intell., Surveillance and Reconnaissance Div., Inf. Sci. Lab., Def., Sci. Technol. Org., Edinburgh, S.A., Australia*, Res. Rep. DSTO-RR-0272.
26. Vessel Finder, AIS vessel tracking web site, <https://www.marinetraffic.com/en/>