نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال هشتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۹ Vol.8, No.1, Spring 2020 ۱ –۲۲ مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1



# شناسایی کشتی با استفاده از توسعه تحلیلهای زیرمنظر تصاویر رادار با روزنه مجازی در دادههای پلاریمتری

سعید مهدی زاده'\*، یاسر مقصودی'، مریم صالحی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۲- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۳- دانشجوی دکتری گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴

## چکیدہ

نظارت بر نواحی دریایی با استفاده از سنجش از دور به دلایل امنیتی و همچنین به جهت حفاظت از محیط زیست، امری لازم و حیاتی است. رادار با روزنه مجازی با در نظر گرفتن امکان اخذ تصاویر با وضوح بالا در هنگام شب و در هر شرایط آب و هوایی میتواند نقش مهمی را در این زمینه ایفا کند. اخیراً روشهایی تحت عنوان تحلیلهای زیرمنظر با هدف حفظ اطلاعات اهداف نقطهای مانند کشتی در طیف تصویر رادار با روزنه مجازی پیشنهاد شده است. در تحلیلهای زیرمنظر، همبستگی کشتیها در دو تصویر زیرمنظر حفظ میشود. براساس این ویژگی، در این مقاله ابتدا با استفاده از دادههای پلاریمتریک، اطلاعات پایههای پلاریزاسیون مختلف و استخراج ویژگی از آمارههای مرتبه دوم و با توجه به این که همبستگی کشتیها در تصاویر زیرمنظر حفظ میشود؛ همبستگی مختلط بین زیرمنظرها محاسبه میشود. سپس با استفاده از معیاری وابسته به هر چهار کانال پلاریمتری و اطلاعات تمامی پایههای پلاریزاسیون، شناسایی کشتیها از پس زمینه اقیانوسها و دریاها صورت میگیرد. در روش پیشنهادی، شناسایی کشتی بر روی دادههای اخذ شده به وسیله سنجنده فضابرد رادارست۲ در باند *C* از منطقه سانفرانسیسکو پیادهسازی شده و نتایج آزمایشات نشان میدهد که روش ارائه شده میتواند کشتی را از پس زمینه اقیانوسها و درقش مالوب شناسایی نماید. به طوری که روش پیشنهادی به دوش ارائه شده میتواند کشتی را از پس زمینه و آباند *C* این منطقه سانفرانسیسکو پیادهسازی شده و نتایج آزمایشات نشان میدهد که روش ارائه شده میتواند کشتی را از پس زمینه از آبان بهاد بهینه و روشهای مبتنی بر تحلیلهای طیفی است.

كليد واژهها : تحليلهاي زيرمنظر، شناسايي كشتي ، دادههاي پلاريمتريك، پلاريزاسيون، همبستگي.

DOI: 10.29252/jgit.8.1.1

<sup>ً</sup> نویسنده مکاتبه کننده: خیابان ولیعصر- بالاتر از تقاطع میرداماد- روبهروی ساختمان اسکان- دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تلفن: ۰۹۱۹۹۹۳۲۴۵۱

۱– مقدمه

شناسایی کشتی برای نظارت دریایی، مدیریت فعالیتهای ماهیگیری، نظارت بر ترافیک کشتیها و کنترل مهاجرت، جلوگیری از آلودگیهای نفتی، شناسایی جنگافزارها و به ویژه افزایش امنیت دریایی از طریق نظارت بر عملیات کشتیهای غیر قانونی مانند کسانی که درگیر فعالیتهای دزدی دریایی هستند، موضوعی بسیار حیاتی و ضروری است و این انگیزه را ایجاد می کند که به سراغ شناسایی کشتی با استفاده از ابزار نظارت غير مستقيم يا همان سنجش از دور برويم. از زمان راه اندازی ماهواره SEASAT در سال ۱۹۷۸، تلاشهای زیادی برای شناسایی کشتی با استفاده از تصاویر رادار با روزنه مجازی صورت گرفته است[۱]. قایقهای کوچک و کشتیهای تفریحی اغلب از سیستمهای ضدبرخورد مثل سیستم شناسایی اتوماتیک استفاده نمی کنند، بنابراین موقعیتشان برای کشتیهای دیگر ناشناس باقی میماند. از آنجا که سنجش از دور یک ابزار نظارت غیرمستقیم است، در چارچوبی از شناسایی اهداف دریایی برای نظارت به کشتی هایی که به طور داوطلبانه (درگیر فعالیت های غیرقانونی، اجباری نبودن انتشار سیستم شناسایی اتوماتیک، ماهیگیرانی که منطقه ماهیگیریشان را از کشتی های ماهیگیری دیگر پنهان می کنند و...) یا ناخواسته (به سفرهای دریایی مشغول نبوده، بد عمل کردن سیستم شناسایی اتوماتیک یا دیگرسیستمهای ضدبرخورد و...) موقعیتشان را گزارش نمی کنند؛ اغلب مفید است[۲]. از آنجا که تصاویر SAR کمتر از تصاویر نوری تحت تاثیر زمان تصویربرداری و شرایط آب و هوایی قرار می گیرند برای شناسایی کشتی مناسبتر هستند. با راهاندازی موفقیت آمیز سه سنجنده SAR با توان تفکیک بالا در سال ۲۰۰۷، شامل RADARSAT-2 كانادا، COSMO-SkyMed ايتاليا، و

TerraSAR-X آلمان، دادههای SAR با توان تفکیک بیش تری (توان تفکیک حدود ۱ متر) در دسترس قرار گرفت، که توانایی دادههای SAR برای شناسایی کشتی افزایش یافت. امروزه با بهبود توان تفکیک تصاویر SAR و در دسترس بودن شمار زیادی از دادههای SAR ابزارهای جدید شناسایی اتوماتیک کشتی توسعه یافته است[1]. مشاهده شده است که ویژگی اصلی کشتیها در تصاویر SAR یک بازپراکنش روشن است که این می تواند به وسیله حضور چندین ساختار فلزی و گوشهها<sup>۲</sup> باشد. از آنجا که بخش بزرگی از برخورد تابش الکترومغناطیس روی دریا در جهت آینهای پراکنش داده می شود، سیگنال باز پراکنش از دریا به طور کلی کمتر از یک کشتی است. به این دلیل کشتیها اغلب به عنوان بخشهای روشن در تصاویر شدت SAR ظاهر مىشوند. اين ويژگى به توسعه چندين الگوريتم كه هدفشان شناسایی نقاط روشن روی یک پسزمینه تاریکتر هست منتهی خواهد شد[۴،۳و۵] . بازپراکنش از دریا به شدت تحت تأثیر وضعیت دریا قرار دارد، و در بعضى از وضعيتها فوقالعاده روشن خواهد بود و بازگشت کشتیهای کوچک را پوشش میدهد. این موضوع بهخصوص برای فرکانسهای بالاتر از ۵ گیگاهرتز (باندC) و زوایای فرودی<sup>۳</sup> تندتر(برای مثال كمتر از ۲۵ درجه) صدق مىكند[۶]. علاوه براين، ویژگیهای دریایی دیگر مانند ترمز و امواج سرکش<sup>۴</sup> موجود میباشد که بازپراکنشهای بالا میتواند از آنها سرچشمه بگیرد. چنین نواحی روشنی ممکن است به هشدارهای اشتباه در آشکارسازهایی که فقط براساس شدت هستند منجر شود. به منظور حل این مشکل، آزمونهای آماری میتوانند با توجه به پسزمینه (کلاتر<sup>۵</sup>) دریا روی شدت کلاتر محلی برای تنظیم

- <sup>2</sup> Corners
- <sup>3</sup> Incidence angles
- <sup>4</sup> Braking or rogue waves
- <sup>5</sup> clutter

۲

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Synthetic aperture radar

حدآستانه به وجود آیند. نوع اول از این روشها که سعی در ثابت نگه داشتن احتمال هشدار اشتباه دارد، تکنیک نرخ هشدار اشتباه ثابت میباشد، مانند CFAR دوپارامتری[۲و۸] آشکار کنندههای آشکارکننده CFAR ویژگیهای شبکهای اقیانوس<sup>۳</sup> [۹] بر اساس توزیع k [۱۰]. هر دوی آنها پیکسلهایی را جستجو میکنند که روشنتر از نواحی اطرافشان هستند و این کار را از طریق مقایسه مقادیر پیکسل با یک مقدار حدآستانه انجام میدهند. این حدآستانهها از آمارههای کلاتر اطراف این پیکسل برآورد میشوند. برای کلاترهایی که از توزیع گوشین پیروی میکنند آشکارکننده CFAR دوپارامتری میتواند یک نرخ هشدار اشتباه ثابت فراهم نماید، در حالی که آشکارکننده ویژگیهای شبکهای اقیانوس(OFW)، آمارههای کلاتر اقیانوس را با توزیع k مدل می کند[۹]. مدلهای آماری کلاتر دیگر نیز همچنین بکار برده شدهاند، برای مثال کارهای انجام شده توسط لیاوو<sup>†</sup> و همكاران[11] و گائو<sup>6</sup>و همكاران[1۲]. اگرچه چنين روشهایی نمیتوانند اهدافی را که شدت آنها همسطح با كلاتر است شناسایی كنند. بعلاوه پارامترهای توزیع و برآورد حدآستانه در این روشها معمولاً نیازمند مقدار زیادی تلاش محاسباتی است. و مدلهای توزیع کلاتر دریای اندازه گیری شده ممکن است برای تنوع مشاهدات پیچیده بدست آمده در عمل مناسب نباشد. نوع دوم روشها برای شناسایی کشتی و کاهش نرخ هشدار اشتباه، تکنیکهای پلاریمتریک بر پایه خواص فیزیکی است که اخیراً نتایج امیدوارکنندهای از آنها بدست آمده است[۱۳،۱۴و۱۵]. در یک پژوهش، دو مطالعه بر روی دادههای SAR باند C سنجنده هوابرد انجام شده است [۱۳]. مطالعه اول با مقایسه نسبتهای

هدف به کلاتر<sup>۶</sup> برای کانالهای مختلف پلاریمتریک نشان داد که بهترین کانال پلاریمتریک برای اهداف مشاهداتی کشتی وابسته به زاویه فرودی است. کانال HH برای زوایای فرودی بزرگتر بهتر از کانال HV عمل کرد. بعلاوه، یک مطالعه دیگر مقایسهای برای شایستگی دو تکنیک تجزیه هدف پلاریمتریک مثل (VZD) و تجزیه ونزین<sup> $\Lambda$ </sup> (VZD) و تجزیه ونزین انجام شد و نشان داد که CTD در ترمهایی از نرخ هشدار اشتباه بهتر از VZD عمل می کند. در پژوهشی، با گسترش محدودیت قابل اجرا روش CTD توسعه داده شده است و روش توصيف پراکندگی متقارن<sup>۹</sup> برای بهرهبرداری بهتر اطلاعات فراهم شده به وسیله مؤلفههای پراکندگی متقارن در چهارچوبی از پراکندگی منسجم معرفی شده است[۱۴]. نتایج اولیه پردازشهای بدست آمده از دادههای پلاریمتریک باند C سنجنده هوابرد، صلاحیت این روش را تأیید میکند. در مطالعهای دیگر، از پارامترهای تجزیه هدف کلود پوتير<sup>۱۰</sup> استفاده کرده و روش ضرب آنتروپی پلاریزاسیو ن<sup>۱۱</sup> به عنوان پارامتر جداکننده برای شناسایی کشتی در نواحی اقیانوسی پیشنهاد شد[۱۵]. بعلاوه، یک الگوریتم جدید شناسایی کشتی CFAR بر پايه ضرب آنتروپي پلاريزاسيون ارائه شد. اين روش پیرامون باند C دادههای تمام پلاریمتریک آزمایش شده است. این روشها به منظور شناسایی یک مجموعه ویژگیهای خاص پلاریمتریک برای اهداف فلزی هستند (مثل آنتروپی پلاریمتریک بالا، مؤلفه منسجم بزرگ و...) اما متأسفانه وابستگی شدیدی به مکانیزم یراکندگی اهداف و پسزمینه دارند. اگرچه در پژوهشی شیروانی و همکاران برای شناسایی کشتیها، از اختلاف

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Threshold

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Constant False Alarm Rate(CFAR)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ocean Features Workstation (OFW)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Liao

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Gao

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> target-to-clutter ratios (TRCs)

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Coherent target decomposition(CTD)

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Van Zyl target decomposition(VZD)

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup>Symmetric scattering characterization method (SSCM)

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Cloude–Pottier

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Polarization cross entropy (PCE)

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

روشهای موجود برای شناسایی کشتی که مبتنی بر حفظ اطلاعات در طیف تصویر هستند مورد بررسی قرار گرفته است و از آزمایشات انجام شده و مقایسه این روشها با یکدیگر به این نتیجه رسیده است که تحلیلهای زیرمنظر زمانی که وظیفه شناسایی و جداسازی کشتی کاری دشوار است بسیار پرکاربرد است[۶]. با وجود تمامی روشهای ذکر شده برای شناسایی کشتی، باز هم به دلیل وجود امواج و تلاطمهای دریایی و همچنین هندسه و جهتگیری کشتیها نسبت به سنجنده، جداسازی کشتی از سطح دریا (خصوصاً هنگامی که شدت کشتی همسطح با آب دریا (خصوصاً هنگامی که شدت کشتی همسطح با آب است) با کمترین نرخ هشدار اشتباه و ارائه یک شناسایی گر منسجم به طوری که بتواند در هر شرایطی شناسایی گر منسجم به طوری که بتواند در هر شرایطی کشتیها را شناسایی کند از موضوعات چالش برانگیز

تمامی روشهای گفته شده در این زمینه، از کانالهای پلاریمتریک مختلف به عنوان اندازه گیری های مستقل و یا نهایتاً اطلاعات را از دادههای پلاریمتریک به صورت یک پارچه، استفاده میکنند. یعنی به عبارتی تنها از اطلاعات یک پایه پلاریزاسون موج دریافتی استفاده میکنند. هدف ما در این مقاله ارائه روشی است که بتواندکشتیهایی را که شدت آنها همسطح با شدت کلاتر است شناسایی کند. علاوه بر این، روش پیشنهادی وابستگی شدید به مکانیزم پراکندگی و برآورد پارامترهای توزیع ندارد و در هر شرایط دریایی میتواند کشتیها را از سطح آبها جداسازی کند، و از همه مهم تر این که از اطلاعات تمامى پايەھاى پلاريزاسون براى شناسايى كشتى استفاده نماید. این امر سبب می شود که برخی از ویژگیهای کشتیها که ممکن است با استفاده از پلاریزاسیونهای مختلف موج قابل شناسایی باشند در كار ما لحاظ شوند.

### ۲-مواد و روش تحقیق

در این بخش ابتدا ناحیه مطالعاتی معرفی شده و پیش پردازش های لازم انجام می شود و سپس روش در درجه پلاریزاسیون کشتیها و کلاتر دریا استفاده کردند[۱۶] و در پژوهشی دیگر نانزیاتا<sup>۱</sup> و همکاران از ویژگیهای تقارن بازتابی<sup>۲</sup> برای جداسازی کشتیها استفاده کردند به این صورت که کشتی دارای این ویژگی نبوده درحالی که دریا در این ویژگی صدق می کرد[۱۷]. یک روش متفاوت بکار برده شده اختلاف در امضای پلاریمتری بین دریا و اهداف است. برای مثال در پژوهشی، فیلتر نوچ برای شناسایی اهداف دریایی توسعه داده شده است و روش اختلالات هندسی پلاریمتریک فیلتر نوچ <sup>۳</sup> پیشنهاد شده است[۱۸]. در این روش(GP-PNF) تمام ویژگیهایی که از نظر پلاریمتری از یک پسزمینه کلاتر هموژن مثل دریا اختلاف دارند شناسایی می شوند. نوع سوم روشها برای شناسایی کشتی که فرضیات قبلی را در مورد توزیع کلاتر نداشته و همچنین وابستگی شدیدی به مکانیزم پراکندگی ندارند مبتنی بر تجزیه زیرروزنه<sup>۴</sup> یا تحلیلهای زیرمنظر<sup>۵</sup> است[۶, ۱۹, ۲۰]. این روشها به طورکلی با حفظ اطلاعات در طیف تصویر اقدام به شناسایی اهداف مینمایند. در پژوهشی تصویر تک منظر مختلط<sup>6</sup> (SLC) به دو زیرمنظر تجزیه شد و سپس برای شناسایی هدف اثر همبستگی نرمالایز نشده را بین این دو زیرتصویر مختلط تشکیل دادند و این فرآیند را یکبار درجهت رنج و بار دیگر در جهت آزيموت انجام داده و در نهايت روش 2L-IHP را پیشنهاد کردند[۲۰]. در پژوهشی با استفاده از همبستگی مختلط بین بیش از دو زیرروزنه و شدت نسبی زیرروزنهها تضاد بین کشتی و کلاتر را افزایش دادند. اما این افزایش تضاد تنها در یک کانال (HH) پلاریمتریک صورت گرفته است [۱]. در پژوهشی انواع

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Nunziata

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Reflection symmetry

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Geometrical Perturbation-Polarimetric Notch Filter (GP-PNF)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Subaperture decomposition

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Sub-look analysis

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Single look complex (SLC)

تحقیق که شامل: تغییر پایه پلاریزاسیون، تحلیل های طیفی SAR، تصاویر زیرمنظر در جهت رنج و محاسبه همبستگی بین تصاویر زیرمنظر می باشد، توضیح داده شده است.

## ۲-۱-منطقه مورد مطالعه

ناحیه انتخاب شده در این مطالعه مربوط به منطقه سانفرانسیسکو واقع در ایالت کالیفرنیا در غـرب آمریکا میباشد. در صورتی که جداسازی دریا از خشکی مـد نظر باشد، با استفاده از مدل ارتفاعی رقـومی<sup>۱</sup> (DEM) منطقه به آسانی میتوان تعیـین کـرد کـه آیا پیکسل مورد مطالعه بر روی زمین قرار دارد یا در دریا میباشد. لازم به ذکر است این روش، روش مورد استفاده در نـرم افزارهایی که ابـزار جداسازی خشکی از دریا در آنها افزارهایی که ابـزار جداسازی خشکی از دریا در آنها ماسک کردن بخش خشکی از طریـق DEM منطقه، قسـمتی از منطقـه سانفرانسیسکو کـه شـامل ناحیـه شهری، پوشش گیاهی و آب است (شکل(۱– الـف)) بـه شکل(۱–ب) تبدیل شده است که فقط شامل بخش آبی میباشد و قسمت خشکی به رنـگ سیاه دیـده شـده و

پس از یافتن بخش آبی از تصویر، از آنجا که هدف ما در این مطالعه شناسایی اهداف کشتی میباشد، منطقهای از بخش آبی سانفرانسیسکو (شکل(۱-ب)) که شامل اهداف کشتی باشد را انتخاب کرده و مطالعات را بر روی آن انجام میدهیم. تصویر اخذ شده از این منطقه مربوط به سنجنده فضابرد رادارست۲ در باند *C* منطقه مربوط به سنجنده فضابرد رادارست۲ در باند *C* نزدیک و ۱۰/۵ متر در رنج دور بوده و داده پلاریمتری میباشد، یعنی شامل چهار کانال HH، VH و VV یا همان هشت باند تصویر است (هر کانال شامل دو باند تصویر حقیقی و موهومی). از آنجا که هر داده پلاریمتری شامل هشت باند تصویر است، مسلماً

پردازش آن زمان بر خواهد بود. برای کاهش زمان محاسبات یک زیرتصویر S (به ابعاد ۳۶۰ × ۹۶۴) از این منطقه را که در شکل(۲) مشخص شده است انتخاب کرده و پردازشها را بر روی آن انجام میدهیم. انتخاب کرده و پردازشها را بر روی آن انجام میدهیم. انتخاب کرده و پردازشها را بر روی آن انجام میدهیم.  $M = J = G = |S_{HV} + S_{VH}| = G = g = B$  $|S_{HH} - S_{VV}|$  و همچنین زیرتصویر مورد مطالعه را نشان میدهد.

## ۲-۲-روش تحقيق

در این مقاله، الگوریتمی جدید برای شناسایی کشتی ارائه شده است که میتوان آن را در روشهای نوع سوم یعنی بر پایه حفظ اطلاعات در طیف تصویر جای داد. این الگوریتم به این صورت است که در ابتدا با در اختیار داشتن دادههای پلاریمتری و ماتریس پراکندگی استانداردی که سنجنده در اختیار ما قرار میدهد ماتریس پراکندگی و همچنین آمارههای مرتبه دوم را در تمامی پایههای پلاریزاسیون موجود دیگر بدست آورده، سپس اقدام به استخراج تصاویر زیرمنظر یا زیرروزنه از هر یک از پایههای پلاریزاسیون موجود مینماید. در نهایت همبستگی مختلط بین تصاویر زیرمنظر در تمامی پایههای پلاریزاسیون موج دریافتی به عنوان معیار شناسایی کشتی از آب مورد استفاده قرار گرفته و با اعمال حد آستانه گذاری مناسب اقدام به جداسازی کشتیها از سطح آبها با کمترین نرخ هشدار اشتباه مینماید.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Digital elevation model

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Nominal slant range resolution



شکل۱: قسمتی از تصویر رنگی پائولی منطقه سانفرانسیسکو الف) شامل خشکی و آب، ب) ناحیه آبی پس از ماسک خشکی



S شکل ۲: تصویر رنگی پائولی با  $\mathbf{B} = |\mathbf{S}_{\mathrm{HH}} + \mathbf{S}_{\mathrm{VV}}|$   $g = |\mathbf{S}_{\mathrm{HV}} + \mathbf{S}_{\mathrm{VH}}|$  ، $R = |\mathbf{S}_{\mathrm{HH}} - \mathbf{S}_{\mathrm{VV}}|$  و مستطیل قرمز رنگ  $B = |\mathbf{S}_{\mathrm{HH}} + \mathbf{S}_{\mathrm{VV}}|$  و مستطیل قرمز رنگ مرکز .

درجه متغیر است و زاویه جهت گیری<sup>۲</sup> بیضی φ که مقادیر آن از ۰ تا ۱۸۰ درجه متغیر است. بـه طـور کلـی، حالـت پلاریزاسـیون مـوج الکترومغناطیس پراکنش یافته از یـک هـدف پیچیده رادار مستقل ازحالت برخورد است. اگر مقیاس زمانی نوسانات زمانی هدف خیلی بزرگتر از زمان اندازه گیری شده از دستگاه مشاهداتی رادار باشـد، اصطلاحاً بـه آن ۲-۲-۱-تغییر پایه پلاریزاسیون

بردار میدان الکتریکی در هر نقطه ثابت در فضا یک بیضی پلاریزاسیون از خود بر جای میگذارد. اندازه بیضی متناسب با دامنه موج است و شکل آن میتواند به وسیله دو پارامتر پلاریزاسیون مشخص شود[۲۱]. میزان بیضوی<sup>۱</sup>بودن τ که مقادیر آن از ۴۵- تا ۴۵+

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Orientation

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Ellipticity

هدف قطعی<sup>۱</sup> می گویند [۲۲]. در این موارد، ویژگیهای پراکندگی میتواند به طور منحصر به فرد در ترمهایی از یک ماتریس پراکندگی پلاریمتریک بیان شود که اطلاعات دقیق بر روی هدف را برای فرکانس خاص رادار و هندسه پراکندگی تعیین میکند. امواج پراکنش یافته در این حالت (هنگامی که هدف قطعی است) کاملاً پلارایز<sup>۲</sup>یا کاملاً همدوس<sup>۳</sup> هستند. رادار پلاریمتری، پاسخ هدف را در یک پایه پلاریزاسیون اندازه گیری میکند. یکی از روشها برای نمایش اطلاعات پلاریمتریک ماتریس پراکندگی رابطه(۱)

 $S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix}$ رابطه(۱) که (H,V) پایه پلاریزاسیونهای افقی و عمودی را تعریف میکنند. اما در بیشتر کاربردهای راداری، به علت هندسه پیچیده اهداف فقط بخشی از موج پراکنش یافته با سهم پراکندگی ناهمدوس پلارایز خواهد شد. در این حالت، مفاهیم متعددی (به جای استفاده از ماتریس پراکنش) برای توصیف چنین اهدافی ممکن است استفاده شود که آمارههای مرتبه دوم (ماتریس همدوسی<sup>۴</sup> یا ماتریس کوواریانس) یکی از آنهاست. آمارههای مرتبه دوم همچنین برای فشرده سازی دادههای پلاریمتری و کاهش اسپکل مفید است. ماتریس همدوسی  $T = \langle kk^{*T} 
angle$  با فرض قراردادی همترازی بازپراکنش<sup>۵</sup> یعنی  $S_{HV} = S_{VH}$  و بردار هدف  $k = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{HH} + S_{VV} \quad S_{HH} - S_{VV} \quad 2S_{HV}]^T$ به صورت رابطه (۲) نوشته می شود که در آن  $k^{*T}$  به معنای مزدوج ترانهاده k بوده و |.| و  $\langle . \rangle$  به ترتیب مقادیر دامنه و میانگین مکانی را معرفی میکنند. پاسخ پایه پلاریزاسیونهای مختلف می تواند به وسیله یک تبدیل ریاضی و بدون هرگونه اندازهگیریهای

اضافی بدست بیاید. حالت پلاریزاسیون یک موج الکترومغناطیس میتواند به وسیله نسبت پلاریزاسیون مختلط α، که به صورت نسبتی از مؤلفههای موج تعریف میشود، بدست آید[۲۲] (رابطه(۳)).

 $\delta_{V}$  با دامنههای حقیقی  $a_{H}$  و  $a_{V}$  ، و فازهای  $\delta_{H}$  و مؤلفههای E<sub>H</sub> و E<sub>V</sub> مربوط به موج پایه پلاریزاسیون خطی متعامد افقی و عمودی (H, V) هستند و j واحد موهومی با 1 = -2 را تعریف میکند. نسبت پلاریزاسیون p میتواند در ترمهایی از پارامترهای هندسی (τ,φ) به وسیله تراگل [۲۲] بدست بیاید (رابطه(۴)). بنابرایین p را می توان برای پایههای پلاریزاسیون مختلف بدست آورد. تبدیلهای یکپارچه و  $B = AA^+ = I$  و  $BB^+ = BB$  و  $BB^+ = BB$  صدق A می کنند (+A و +B به ترتیب مزدوج ترانهاده A و B بوده و I ماتریس همانی است) یک بردار را از پایه یلاریزه شده خطی (H, V) به یایه مربوط به حالت پلاریزاسیون ρ نگاشت می کنند که به صورت رابطه(۵) و رابطه(۶) هستند[۲۳] که در آن  $\rho$ مزدوج  $\rho$ است. ماتریس پراکندگی و ماتریس همدوسی در پایه جدید **S**' به صورت روابط (۲) و (۸) بدست می آید که **S** و'T به ترتیب ماتریس پراکندگی و ماتریس همدوسی در پایه جدید هستند. با توجه به اطلاعات زیادی که می توان از هریک از ماتریسهای جدید همدوسی استخراج کرد، این واقعیت که ماتریس همدوسی (یا ماتریس پراکنش) به وسیله یک تبدیل خطی به پایههای پلاریزاسیون جدید نگاشت شده است برای استخراج ویژگی از اهداف (برای مثال کشتی) در ویژگیهای متنوع پلاریمتری بسیار حائز اهمیت است. au با توجه به بازه تغییراتی پارامترهای هندسی بیضی ( از ۴۵<sup>°</sup> - تا ۴۵<sup>°+</sup> و **φ** از <sup>°</sup> تا <sup>°</sup> ۱۸۰) اگر به ازای هر ۱<sup>°</sup>، یک ماتریس همدوسی بدست آوریم به تعداد ۱۸۱ ×۹۱ ماتریس همدوسی خواهیم داشت. در این مقاله، برای کاهش حجم محاسبات به ازای هر <sup>٥</sup> ۱۰ تغییر یک ماتریس همدوسی محاسبه می کنیم؛ بنابراین به تعداد ۱۹ ×۱۰ یعنی ۱۹۰ ماتریس همدوسی خواهیم داشت.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Target deterministic

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Completely polarized

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Fully coherent

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Coherency matrix

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Backscatter alignment (BSA)

$$T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle |S_{HH} + S_{VV}|^2 \rangle & \langle (S_{HH} + S_{VV})(S_{HH} - S_{VV})^* \rangle & 2\langle (S_{HH} + S_{VV})S_{HV}^* \rangle \\ \langle (S_{HH} - S_{VV})(S_{HH} + S_{VV})^* \rangle & \langle |S_{HH} - S_{VV}|^2 \rangle & 2\langle (S_{HH} - S_{VV})S_{HV}^* \rangle \\ 2\langle S_{HV}(S_{HH} + S_{VV})^* \rangle & 2\langle S_{HV}(S_{HH} - S_{VV})^* \rangle & 4\langle |S_{HV}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$
(7)

$$\rho = \frac{E_V}{E_H} = \frac{a_V}{a_H} \exp[j(\delta_V - \delta_H)]$$
(7)
(1)

$$\rho = \frac{\cos(2\tau)\sin(2\varphi) + j\sin(2\tau)}{1 + \cos(2\tau)\cos(2\varphi)}$$
(\*)

$$A(\rho) = \frac{1}{\sqrt{1+\rho\rho^*}} \begin{bmatrix} 1 & \rho^* \\ -\rho & 1 \end{bmatrix}$$
(۵)

$$B(\rho) = \frac{1}{1+\rho\rho^{*}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2}\rho & \rho^{2} \\ -\sqrt{2}\rho^{*} & 1-\rho\rho^{*} & \sqrt{2}\rho \\ \rho^{*2} & -\sqrt{2}\rho^{*} & 1 \end{bmatrix}$$
(9)

$$S' = A(\rho) S A(\rho)^{-1}$$
 (۲) درابطه (۲)

رابطه(۸)

## SAR -۲-۲-۲ تحليلهای طيفی

در این بخش، مراحل پردازش اولیه برای استخراج زیرتصویرهایی از یک طیف SAR معرفی شده است. یک تصویر تشکیل شده با استفاده از فقط یک بخشی از کل پهنای باند موجود، تصویر زیرمنظر یا به طور سادهتر زیرتصویر<sup>۱</sup> نامیده میشود. یک تصویر زیرمنظر قدرت تفکیک مکانی پایین تری نسبت به قدرت تفکیک مکانی تصویر اصلی دارد و همچنین مرکز فرکانس آن نیز متفاوت با مرکز فرکانس تصویر اصلی می باشد. از دست رفتن توان تفکیک با نسبت بین کل اندازه پهنای باند رفتن توان تفکیک با نسبت بین کل اندازه پهنای باند زیرمنظر بیش تر باشد توان تفکیک آنها کمتر میشود). به طور تئوری بیش از دو تصویر زیرمنظر میتواند تشکیل شود، بنابراین یک همپوشانی نسبی بین

 $T' = B(\rho) T B^+(\rho)$ 

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Subimage

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> focusing

پنجره ضروری برای کاهش گلبرگ کناری <sup>(</sup>پس از متمرکز شدن (تصویر SLC)، حفظ شده است. علاوه براین، تصاویر زیرمنظر میتوانند مستقیماً از تصاویر اصلی SAR با محاسبه تبدیل فوریه از تصویر، از بین بردن پنجره و انتخاب بخشی از طیف کامل تولید شوند[۶, ۲۴ و ۲۵].

تصاویر زیرمنظر میتوانند هم در جهت رنج و هم درجهت آزیموت تشکیل شوند. نشان داده شده است که هنگامی که اهداف به وسیله زوایای مختلف در فوتپرینت آزیموت<sup>۲</sup> مشاهده می شوند، دارای رفتار ثابتی هستند (برای مثال منظرهای جلو وعقب). با این حال یک هدف نقطهای، درصورتی که گوشههای ثابت<sup>۳</sup> آن منسجم باقی بماند کاملاً ایزوتروپیک<sup>۴</sup> است یعنی دارای خواص فیزیکی مشابه است و می تواند رفتار ثابت داشته باشد (حتى اگر دامنه آنها بتوانند به طور قابل توجهى در طول آنتن مجازی تغییر کنند). متاسفانه، تجزیه و تحليل داپلر وقتى كه هدف ثابت نباشد پيچيدەتر می شود. اهدافی که در طول جهت رنج حرکت میکنند یک پیشینه داپلر<sup>۵</sup> متفاوتی در مقایسه با اهداف ثابت دارند. این وضعیت دو اثر اصلی دارد: اولاً، داپلر صفر در جایگاه دیگری قرار میگیرد در نتیجه هدف را در امتداد جهت آزيموت كشيدهتر مىكند. دوماً، فرآيند تبدیل طیف به تصویر نمی تواند به طور بهینهای انجام شود که به این معنی است که هدف به صورت لکه دار ظاهر خواهد شد. در چهارچوبی از شناسایی کشتی، لکه دار بودن سبب میشود که دیگر کشتیای نداشته باشیم، و از این رو امکان ارائه یک شناسایی گر منسجم وجود نخواهد داشت [۲۷و۲۷]. به عنوان یک اظهار نظر نهایی، تجزیه و تحلیل داپلر (یا تصاویر زیرمنظر در جهت آزیموت) به خاطر حرکت کشتی ممکن است به

<sup>1</sup> Sidelobe

۲-۲-۳-تصاویر زیرمنظر در جهت رنج

به استخراج تصاویر زیرمنظر در جهت رنج خواهیم

شناسـایی کشــتی بـا اســتفاده از توسـعه تحلیـلهـای...

سعید مهدی زاده و همکار ان

ير داخت.

پایداری و ثبات اهداف با توجه به تغییرات فرکانس در تصاویر زیرمنظر ایجاد شده در جهت رنج مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته و به اثبات رسیده است. این به خاطر این واقعیت است که پس از حذف پنجره، طیف پیکسلها در جهت رنج همچنان حاوی مقادیر بازپراکنش هستند تا هنگامی که فرکانس چیرپ<sup>۶</sup>آنها متفاوت است. یک هدف نقطهای ایدهآل (به طور کلی بازتاب کنندههای گوشهای<sup>۷</sup>) هنگامی که تعییرات فرکانس اندک است شامل پاسخی هستند که منسجم باقی میمانند. به تعبیری، این علتی برای این است که چنین اهدافی میتوانند به عنوان یک نقطه تنها در یک تصویر SAR مورد تمرکز واقع شوند[۲۰و۷۲]. در ادامه به مراحل لازم برای تولید مناسب تصاویر زیرمنظر در جهت رنج میپردازیم.

۱-۲۶۲ و بی وزنی<sup>۸</sup> ابتدا بر روی تصویر SAR متمر کز شده تبدیل فوریه را در جهت رنج اعمال می کنیم. شده تبدیل فوریه را در جهت رنج اعمال می کنیم. تصاویر SAR متمر کز شده معمولاً با پنجرههای خطی (Autorial Autorial Autorial

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Azimuth footprint

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Static corners

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Isotropic

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Doppler history

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Chirp

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Corner reflectors

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Unweighting

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Tapered spectra

#### سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

سریع<sup>۱</sup> بر روی تصویر SLC است) گرفته شوند، آنگاه به شکل نامتقارنی تبدیل خواهند شد. این توزیع نامتقارن انرژی، تحریفی در ارزیابی اثر طیفهای وابسته بین زیرمنظرها ایجاد خواهد کرد. به این دلیل قبل از تولید تصاویر زیرمنظر یک گام فیلترینگ بی وزنی برای مسطح کردن طیف الزامی است[۲۸]. برای مرحله بی وزنی از پنجره دی همینگ که به صورت رابطه(۹) تعریف میشود، استفاده میکنیم[۲۵]:

 $H(f) = \frac{1}{\alpha - (1 - \alpha)\cos(2\pi f)}$  (٩) رابطه (٩)

که α پارامتری است که وابسته به نوع مجموعه دادهها بوده و مقادیر آن بین • و ۱ تغییر میکند. ۲-ایجاد زیرمنظر<sup>۲</sup>: هنگامی که طیف رنج مسطح شد، آن را به دو (یا بیشتر از دو) زیرطیف برای تولید تصاویر زیرمنظر تقسیم میکنیم.

۳-وزن دهی<sup>۳</sup>: برای فیلتر دوباره هر زیرطیف به منظور کاهش سهم گلبرگ کناری از یک پنجره خطی وزن دهی (این بار از پنجره همینگ یعنی معکوس رابطه (۹)) استفاده می کنیم. این مورد با توجه به حضور پراکنشگرهای نقطه ای (کشتیها) با قدرت بالا که گلبرگهای کناری قابلیت رویت روشنی را در تصاویر SLC تولید می کند لازم است.

۴-سرانجام معکوس تبدیل فوریه سریع برای هر یک از زیرمنظرها انجام میشود تا به فضای مکان(تصویر) برده شوند. یک نمودار کلی از گامهای اصلی مراحل گفته شده در بخشی از شکل(۳) آورده شده است.

حائز اهمیت است که کل این فرآیند می تواند بدون استفاده از هرگونه اطلاعات در مورد انتخاب سنجنده انجام شود. برای مثال، پنجره رنج یا الگوی آنتن آزیموت میتواند به وسیله متوسط طیف متناظر در جهت انتخاب شده ارزیابی شود (به ترتیب جهت رنج یا آزیموت)[۶]. لازم به ذکر است که فرآیند تولید تصاویر

زیرمنظر برای تمامی پایههای پلاریزاسیون انجام میشود و چگونگی ترکیب این تصاویر در بخش بعد توضیح داده خواهد شد.

## ۲-۲-۴-محاسبه همبستگی بین تصاویر زیرمنظر

هنگامی که تصاویر زیرمنظر استخراج شدند، به روشهای متفاوتی میتوانند با یکدیگر ترکیب شوند [۱, ۶, ۲۰] که غالباً در یک اصل مشترک هستند. بازپراکنش مختلط دریا می تواند به عنوان یکی از اهداف توزيع يافته با اسپكل كامل مدلسازى شود [٢٩]. می توان نشان داد که دو زیرطیف از طیفهای دریا که هیچ همپوشانی با یک دیگر ندارند(به عنوان مثال ناحیه مورد نظر فقط کلاتر دریای هموژن باشد) کاملاً غیرهمبسته هستند[۲۰]. این نتیجهای مستقیم از طبیعت آماری پیکسلهای مختلط دریا است (برای مثال دو بخش از طیف مورد نظر الگوی اسپکل متفاوتی دارند). اگر یک هدف نقطه ای (کشتی) با بازپراکنش خیلی بالا در نظر گرفته شود، طیف آن ثابت است. در نتیجه، بخش های مختلف طیف آن به خوبی همبسته مى شوند. واضح است كه اين يك حالت ايده آل است، و به طور کامل در حالت های واقعی انجام نشده است[۶]. تاکنون تمامی روشهای ارائه شده برای محاسبه همبستگی بین تصاویر زیرمنظر، از یک کانال پلاریمتریک یا نهایتاً از اطلاعات کامل پلاریمتریک در یک پایه پلاریزاسیون استفاده کردهاند. در این مقاله از اطلاعات پلاریمتریک در تمامی پایههای پلاریزاسیون برای محاسبه همبستگی بین تصاویر زیرمنظر استفاده می شود [۳۰] (رابطه(۱۰)).

در رابطه(۱۰)، D<sub>mn</sub> و Q<sub>mn</sub> به ترتیب مقادیر دو پارامتر مورد مطالعه به منظور محاسبه همبستگی برای هر پیکسل در ناحیه n × mمیباشد. با استفاده از ماتریسهای همدوسی بدست آمده در پایه پلاریزاسیونهای مختلف برای هریک از تصاویر زیرمنظر و همچنین تعمیم فضای n × m مکانی به فضای × τ  $\phi$  زاویهای (پارامترهای هندسی بیضی پلاریزاسیون) به

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Fast Fourier Transform (FFT)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Sublook Generation

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Weighting

رابطه(۱۱) برای همبستگی تصاویر زیرمنظر با استفاده از تمام پایههای پلاریزاسیون خواهیم رسید: که  $T \ e \ \varphi$ پارامترهای هندسی بیضی پلاریزاسیون، و  $T_1 \ e \ T_2$  به ترتیب ماتریسهای همدوسی زیرمنظرهای اول و دوم هستند که به ازای تغییرات مقادیر  $T \ e \ Q$  در پایههای پلاریزاسیون جدید محاسبه میشوند. و |.| نیز دترمینان ماتریس را معرفی می کند. علیرغم آنچه که انتظار میرفت، استفاده از  $\Lambda$  برای شناسایی اهداف (کشتیها) نتایج نسبتاً ناامیدکنندهای را به دنبال رابطه(۱۰)

رابطه(۱۱)

رابطه(۱۲)

همانطور که قبلاً اشاره شد، دو زیرطیف از طیفهای دریا که هیچ همپوشانی ای با یک دیگر ندارند کاملاً غیرهمبسته هستند که یکی از علتهای آن داشتن الگوی اسپکل متفاوت آنهاست. به عبارتی مقدار  $\Lambda$  برای آنها نزدیک به صفر خواهد بود. درمقابل اگر یک کشتی با بازپراکنش خیلی بالا در نظر گرفته شود، طیف آن ثابت است. در نتیجه، بخش های مختلف طیف آن به خوبی همبسته میشوند و مقدار  $\Lambda$  برای آنها نزدیک به ۲ خواهد بود. و نتایج آزمایشات نشان داده است که  $\Lambda$  به خوبی میتواند اهداف کشتی را از سطح آبها جداسازی نماید.

مراحل کلی روش پیشنهادی برای شناسایی کشتی با استفاده از توسعه تحلیلهای زیرمنظر در دادههای پلاریمتری در فلوچارتی در شکل(۳) نمایش داده شده است. بر طبق این فلوچارت، ابتدا با در اختیار داشتن داده پلاریمتری و تشکیل ماتریس پراکندگی برای هریک از پیکسلهای تصویر با توجه به روابط (۲) و (۸) و تغییر پایه پلاریزاسیون اقدام به تولید ماتریسهای پراکندگی در پایههای جدید مینماییم. در مرحله بعد

داشت. همانند علت گفته شده در [۲۰]، دلیل اصلی نرمالیزاسیون رابطه (۱۱) بهخاطر وجود مخرج است که اجازه در نظر گرفتن رادیومتری در جنبه شناسایی را به ما نخواهد داد. برای از بین بردن این مشکل، ما در اینجا اثر همبستگی غیرنرمالیز ناشی از پارامترهای هندسی بیضی را به صورت رابطه(۱۲) تعریف می کنیم که علاوه بر در نظر گرفتن رادیومتری، رفتارهای فاز را نیز در نظر می گیرد.

$$\mathbf{r} = \frac{\sum_{m} \sum_{n} (D_{mn} - \overline{D}) (Q_{mn} - \overline{Q})}{\sqrt{(\sum_{m} \sum_{n} (D_{mn} - \overline{D})^{2}) (\sum_{m} \sum_{n} (Q_{mn} - \overline{Q})^{2})}}$$
$$\Lambda = \frac{\sum_{\tau} \sum_{\phi} \left( \left| T_{1\tau\phi} \right| - |\overline{T_{1}}| \right) \left( \left| T_{2\tau\phi} \right| - |\overline{T_{2}}| \right)}{\sqrt{\left( \sum_{\tau} \sum_{\phi} \left( \left| T_{1\tau\phi} \right| - |\overline{T_{1}}| \right)^{2} \right) \left( \sum_{\tau} \sum_{\phi} \left( \left| T_{2\tau\phi} \right| - |\overline{T_{2}}| \right)^{2} \right)}}$$
$$\Lambda_{N} = \sum_{\tau} \sum_{\phi} \left( \left| T_{1\tau\phi} \right| - |\overline{T_{1}}| \right) \left( \left| T_{2\tau\phi} \right| - |\overline{T_{2}}| \right)$$

از روی ماتریسهای پراکندگی، استخراج و تولید تصاویر زیرمنظر در جهت رنج مطابق بخش ۲-۲-۳ صورت می گیرد. با در اختیار داشتن هریک از تصاویر زیرمنظر اول و دوم، ماتریسهای همبستگی آنها در پایه جدید به دست میآیند و در این هنگام باید مرحله پس پردازش یا همان میانگین گیری پیکسل ها برای هریک از این ماتریسها صورت گیرد. این فرآیند برای تمامی پایههای پلاریزاسیون به ازای هر ۱۰ درجه تغییر مطابق فلوچارت طی می شود. و در نهایت با در اختیار داشتن ماتریسهای همبستگی برای هریک از تصاویر زیرمنظر در تمامی پایههای پلاریزاسیون اقدام به همبستگی این ماتریسها با یکدیگر با استفاده از معیار شباهت ارائه شده در رابطه(۱۲) مینماییم، که با این کار تصویر آشکارساز پیشنهادی تشکیل میشود. برای جداسازی اهداف از پسزمینه کلاتر نیاز به حدآستانه گذاری میباشد که اعمال این حدآستانه گذاری در بخشهای بعدی به طور کامل توضیح داده شده است که پس از این کار اهداف مورد نظر شناسایی میشوند.



شکل۳ : مراحل کلی روش پیشنهادی برای شناسایی کشتی با توسعه تحلیلهای زیرمنظر در دادههای پلاریمتری

شناسـایی کشــتی بـا اســتفاده از توســعه تحلیـلهـای... سعید مهدی زاده و همکار ان

۳-نتايج و بحث

روش پیشنهاد شده در این تحقیق با استفاده از تصاویر پلاریمتری رادارست ۲ در باند C انجام شده است. این داده در تاریخ ۲۰۰۸/۴/۹ از منطقه سانفرانسیسکو واقع در ایالت کالیفرنیا در غرب آمریکا و در پرتوی FQ9 و زوایای فرودی محدود به ۲۸<sup>°</sup> در رنج نزدیک و ۲۹/۸<sup>°</sup> در رنج دور اخذ شده است. توان تفکیک رنج مایل اسمی ۱۱/۱ متر در رنج نزدیک و ۱۰/۵ متر در رنج دور است. تصویر رنگی پائولی از دادههای مختلط تک منظر (SLC) در شکل(۲) نشان داده شده است.

## ۳-۱-استخراج تصاویر زیرمنظر

همانطور که در بخش ۲-۲-۳ اشاره شد، باید از تصویر اصلی SAR یا همان تصویر SLC با توجه به مراحل گفته شده، تصاویر زیرمنظر استخراج نماییم. منطقه انتخاب شده برای استخراج تصاویر زیرمنظر در جهت رنج، همان ناحیه ۲ مشخص شده در شکل ۲ میباشد که بین محدوده "۸٬۴۰ ۲۰ ۱۳۲۰ تا "۴٬۸ ۲۲<sup>°</sup> ۲۲<sup>°</sup> ۲۲ در طول جغرافیایی و "۲۴ '۴۴ °۳۳ تا "۰۰ پائولی آن در شکل(۴)دیده میشود). این فرآیند برای هر یک از کانالهای پلاریمتری HH، VH وVV در تمام پایههای پلاریزاسیون انجام شده و برای نمونه نتایج

بیضی σ = τ و φ = 0 در اینجا آورده شده است (شکل(۵)). برطبق مشاهدات در کل چهار هدف کشتی در صحنه موردنظر وجود دارد که به وسیله بیضیهای قرمز رنگ در شکل(۴) مشخص شدهاند.

حائز اهمیت است که در شکل(۴) اهداف کشتی می توانند در هر دو تصویر زیرمنظر در تمامی کانالها مشاهده شوند؛ در حالی که شدت اهداف متنوع هستند. پیکسل های کلاتر با شدت بالا در بعضی از تصاویر زیرمنظر قابل رؤیت و در بعضی دیگر قابل مشاهده نیستند. این به این معنی است که همدوسی در میان تصاویر زیرمنظر برای اهداف کشتی بالا در حالی که برای پیکسلهای کلاتر پایین است. از طرفی، طبق تعریف یک تصویر زیرمنظر به تناسب توان تفکیکای پایین تر از توان تفکیک تصویر اصلی دارد، همانطور که در شکل(۵) قابل مشاهده است تصاویر ستون دوم که به ترتيب از بالا به پايين مربوط به تصاوير اصلي دامنه کانالهای HV ،HH و VV است توان تفکیکای بهتر از تصاویر ستون سوم و چهارم که مربوط به تصاویر زیرمنظر اول و دوم هستند دارد. و همانطور که از روی نمودار سه بعدی تصاویر دامنه مشخص است کانال HV شدت بالاتری (مخصوصاً برای اهداف کشتی) نسبت به کانالهای HH و VV دارد، اما ما در اینجا از اطلاعات تمام کانالها برای شناسایی اهداف استفاده کردهایم.



شکل۴: تصویر رنگی پائولی ناحیه δ مشخص شده در شکل(۲) با اهداف کشتی مشخص شده به وسیله بیضیهای قرمز رنگ



شکل۵: سطر اول از بالا مربوط به کانال *HH* سطر دوم مربوط به کانال *HV* و سطر سوم مربوط به کانال *VV* است. و ستون اول، دوم و سوم و چهارم از چپ به راست به ترتیب نمودار سه بعدی، تصاویر دامنه، زیرمنظر اول و زیرمنظر دوم را نشان میدهند. تمامی این تصاویر مربوط به پایه پلاریزاسیون با پارامترهای هندسی بیضی σ = φ = 1 میباشد.

۲-۳-حد آستانه گذاری و نتیجه شناسایی

هدف از این بخش، آستانه گذاری بر روی تصویر شناسایی شده (که از رابطه (۱۲) حاصل شده است) و جداسازی اهداف از پس زمینه کلاتر دریا و تبدیل آن به یک تصویر باینری می باشد. اهداف کشتی با استفاده از اعمال یک حد آستانه کلی T بر روی تصویر آشکارساز  $\Lambda_N$  شناسایی می شوند. در واقع پیکسل هایی که مقادیر آن ها در تصویر آشکارساز بیش تر از T باشند به عنوان هدف کشتی در نظر گرفته شده و در غیر این صورت

پس زمینه کلاتر خواهند بود. T به عنوان یک مقدار مناسب معین در دنبالهای از تابع چگالی احتمال <sup>۱</sup> کلاتر (.) در تصویر  $\Lambda_N$  انتخاب می شود. اگر (.) f شناخته شده باشد، نرخ هشدار اشتباه PF مربوط به حد آستانه T به صورت رابطه (۱۳) محاسبه می شود [۱] که (.) T بایع توزیع تجمعی<sup>۲</sup> مقادیر پیکسل های کلاتر به اندازه می باشد. هنگامی که تعداد نمونه های کلاتر به اندازه

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-05

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> probability density function

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> cumulative distribution function

شناسـایی کشــتی بـا اســتفاده از توســعه تحلیـلهـای... سعید مهدی زاده و همکار ان

که ما یک مجموعه مقادیر پیکسل  $\{x_1, x_2, ..., x_M\}$  با شرط  $x_1, x_2, ..., x_M$  داریم. سپس  $\{x_1, x_2 \le \cdots \le x_M$ شرط  $x_1 \le x_2 \le \cdots \le x_2$  داریم. سپس (16) بر آورد K = 1,2, ..., Mمیشود[۱] که (.)Num تعداد عضوهای مجموعه را میشمارد. بر اساس برآورد منحنی (.)، حدآستانه Tبا استفاده از رابطه (۱۳) بدست خواهد آمد.

$$PF = \int_{T}^{\infty} f(x)dx = 1 - F(T)$$

$$F(x_k) = \frac{Num(\{i | x_i \le x_k, i \in \{1, 2, ..., M\}\})}{M}$$

ما، برای تبدیل مقادیر تصویر آشکارساز  $\Lambda_{\rm N}$  از نوسانات بسیار بالا و پایین به یک محدوده کوچکتر از تصویر لگاریتم آن استفاده کردهایم و تخمین تابع توزیع تجمعی در شکل (۶) بر این اساس تشکیل شده است. کافی زیاد باشد، (.) F می تواند مستقیماً از هیستو گرام پس زمینه کلاتر حاصل شود. به طور کلی، در یک تصویر مورد بررسی، (.) F می تواند با استفاده از کل تصویر به ترتیب گفته شده در ادامه بر آورد شود. فرض کنید که M پیکسل در تصویر وجود دارد. مقادیر پیکسل ها را به ترتیب صعودی مرتب می کنیم به طوری

رابطه(۱۳)

رابطه(۱۴)

بنابراین برای شناسایی اهداف کشتی با کمترین نرخ هشدار اشتباه، *PF* براساس دانش قبلی در مورد بخشهای بیشینه از پیکسلهای هدف در تصویر مورد بررسی انتخاب خواهد شد. لازم به ذکر است که در کار



شکل۶: تخمینی از تابع توزیع تجمعی تصویر آشکارساز

بنابراین با در اختیار داشتن (F(T) و همچنین تعیین یک مقدار معین برای هشدار اشتباه *PF* با توجه به رابطه (۱۳) میتوانیم حدآستانه مناسب برای جداسازی اهداف کشتی از سطح آبها را پیدا کرده و تصویر باینری مطلوب را تشکیل دهیم. نرخ هشدار اشتباه *PF* برای روش پیشنهادی ما برابر با ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شده است و نتیجه شناسایی اهداف همراه با نمودار سه شکل(P) لگاریتم مقادیر تصویر آشکارساز  $\Lambda_N$  در برابر مقادیر ( $F(x_k)$  را نشان میدهد. همانطور که قبلاً اشاره شد، هرچه تعداد نمونههای مورد استفاده برای تشکیل تابع توزیع تجمعی بیشتر باشد تخمین بهتری از آن را برآورد خواهد کرد. مجموعه دادههای مورد استفاده برای تخمین تابع توزیع تجمعی در اینجا شامل ۳۸۵ نمونه بوده که در شکل(P) قابل مشاهده است.

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

بعدی آن در شکل(۷) نشان داده شده است. همانطور که در شکل(۷) دیده میشود اهداف کشتی با محیط و شکل کاملی شناسایی شده و کلاتر دریا یا عارضه دیگری به عنوان کشتی شناسایی نشده است. از طرفی از روی نمودار سهبعدی تصویر آشکارساز مشخص است که مقادیر شدت پیکسلهای اهداف کشتی نسبتاً بالاتر از پیکسلهای کلاتر دریا میباشد؛ به طوری که ناحیه مربوط به اهداف کشتی با رنگ مایل به زرد در نمودار سه بعدی ظاهر شدهاند. این به این معنی است که

الگوریتم پیشنهادی توانسته به خوبی هدف را از غیر هدف جداسازی کند و با دقت مطلوبی به شناسایی کشتی بپردازد. حال برای بررسی بیش تر روش پیشنهادی، آن را با روشهای دیگر همچون GP-PNF [۱۸] و تقارن بازتابی [۱۷] که هر دو بر پایه دادههای پلاریمتریک هستند مقایسه کردهایم. در [۱۸] فیلتر نوچ برای شناسایی اهداف دریایی توسعه داده شده است و روش اختلالات هندسی پلاریمتریک فیلتر notch

شکل۷: نتیجه آشکارسازی اهداف کشتی با روش پیشنهادی ۸۸ همراه با نمودار سه بعدی آن

در این روش تمام ویژگیهایی که از نظر پلاریمتری از یک پسزمینه کلاتر هموژن مثل دریا اختلاف دارند شناسایی میشوند (مثل کشتی). و در [۱۷] نیز از ویژگیهای تقارن بازتابی برای شناسایی کشتیها استفاده شده است. به این صورت که کشتی دارای این ویژگی نبوده درحالی که دریا در این ویژگی صدق می کرد. در هر سه روش آشکارساز، حدآستانه براساس نرخ هشدار اشتباه داده شده در روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه شده است. نرخ هشدار اشتباه PF برای این سه روش آشکارساز برابر ۲۰۰۵ در نظر گرفته شده است. نتایج آشکارسازی کشتیها با استفاده از این سه روش در شکا $(\Lambda-الف)$  تا  $(\Lambda-\psi)$  نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده میشود، پیکسلهای ناحیه هدف اکثراً در هر سه روش شناسایی شدهاند (شکل( $\Lambda$ -لف) تا ( $\Lambda$ - $\psi$ )). اما در شکل( $\Lambda$ - $\psi$ ) و شکل( $\Lambda$ - $\psi$ ) قسمتهایی از دریا به عنوان کشتی شناسایی شدهاند که این موضوع در شکل( $\Lambda$ -الف) دیده نمیشود. توجه کنید که کشتیهای شناسایی شده در شکل( $\Lambda$ -الف) شکل و محیط کاملتری نسبت به شکل( $\Lambda$ - $\psi$ ) و شکل  $(\Lambda$ - $\psi$ ) دارند. برای مثال در شکل( $\Lambda$ - $\psi$ ) و شکل( $\Lambda$ - $\psi$ )، بعضی از کشتیها دارای سوراخهایی در لبه خود هستند و این به این معنی است که لبههای گرفته شدهاند.

19



شکل۸: نتایج آشکارسازی کشتی برای تصویر نشان داده شده در شکل۵ با استفاده از (الف) روش پیشنهادی ۸<sub>۵</sub>. (ب) -*GP* (ب) (ب) روش تقارن باز تابی، (ت) *L-IHP* در کانال *HH* (ث) *L-IHP* درکانال *HV* (ج) *L-IHP* درکانال *VV*.

رهای مشاهده می شود، اهداف شناسایی شده در شکل (۸– ایسه الف) شکل و محیط کامل تری نسبت به شکل (۸–ت)، bit (۸–ث) و (۸–ج) دارند. بعلاوه در شکل (۸–الف) رای پیکسل های کلاتر نسبتاً کمتری نسبت به شکل های (۸– رای پیکسل های کلاتر نسبتاً کمتری نسبت به شکل های (۸– ن دو ت)، (۸–ث) و (۸–ج) به عنوان هدف شناسایی شدهاند. یکبار این در حالت کلی، عملکرد بهتر روش شناسایی شد و پیشنهاد شده را نشان می دهد. همچنین در بین شد و پیشنهاد شده را نشان می دهد. همچنین در بین ندند. شکل های (۸–ت)، (۸–ث) و (۸–ج) کانال HV یعنی بل و شکل (۸–ث) بهتر از کانال های HH و VV عمل کرده ک از است.

۳-۳-ارزیابی نتایج

در این بخش، روش مورد استفاده برای آزمایش و مقایسه الگوریتمها به طور مفصل مورد بحث قرار بار دیگر روش پیشنهادی را با یکی از روشهای مبتنی بر تحلیلهای زیرمنظر یعنی *IHP مق*ایسه کردهایم[۲۰]. در *IHP-۱۵* تصویر تک منظر مختلط (SLC) به دو زیرمنظر تجزیه شد و سپس برای شناسایی هدف اثر همبستگی نرمالایز نشده بین این دو زیرتصویر مختلط تشکیل شد و این فرآیند را یکبار درجهت رنج و بار دیگر در جهت آزیموت انجام شد و این دو به صورت ناهمدوس با یک دیگر ترکیب شدند. ما روش *IHP دا دا با حد*آستانه گذاری مشابه قبل و نرخ هشدار اشتباه *PF* برابر با ۲۰۰۵، برای هر یک از کانالهای *HH VH* و *VV* انجام دادهایم و نتایج آشکارسازی اهداف به ترتیب در شکلهای(۸–ت) ، (۸–

DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1 ]

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

می گیرد. انتخاب آستانهها یک گام بسیار مهم برای مقایسه یک آشکارساز عادلانه است. اگر تابع چگالی احتمال خروجیهای داده شده به وسیله هر الگوریتم (همان (.) f در رابطه (۱۳)) به خوبی با تابع چگالیهای شناخته شده متناسب نباشد، ممكن است نتايج گمراه کنندهای به دنبال داشته باشد. در واقع، ماسک تشخیص به دست آمده به شدت وابسته به تابع چگالی احتمال (pdf) خاص انتخاب شده است، و بنابراین، چنین مقایسهای ممکن است *pdf* های انتخاب شده متناسب تری از کیفیت خود آشکارسازها را نمایش دهد. برای دوری از این مشکل، یک تحلیل مستقل از حدآستانه خاص می تواند اجرایی شود. در این مقاله منحنی ROC به جای آن استفاده شده است. منحنی  $(P_{f})$  توسط نمودار احتمال هشدار اشتباه ROCپیرامون احتمال شناسایی (P<sub>d</sub>) بدست میآید، درحالی که حدآستانهها متفاوت هستند. به عبارت دیگر ROC، نشان میدهدکه P<sub>d</sub> میتواند با P<sub>f</sub> ثابت بدست آید. احتمال هشدار اشتباه ( $P_f$ ) و احتمال شناسایی ( $P_d$ ) به صورت رابطه(۱۵) محاسبه می شوند:

 $P_{d} = \frac{N_{td}}{N_{gt}} \qquad P_{f} = \frac{N_{cd}}{N_{gt}} \qquad (1\Delta)$   $P_{d} = \frac{N_{td}}{N_{gt}} \qquad P_{f} = \frac{N_{cd}}{N_{gt}} \qquad (1\Delta)$   $N_{td} \approx N_{td} \approx N_{td}$   $N_{cd} \approx N_{gt}$   $N_{cd} \approx N_{gt}$   $N_{cd} \approx N_{gt}$   $N_{cd} \approx N_{gt}$ 

نیز تعداد کل پیکسلهای کلاتر شناسایی شده است. لازم به ذکر است که در این مقاله با توجه به داده مورد استفاده که شامل چهار هدف کشتی میباشد (در تصویر رنگی آن به خوبی قابل مشاهده هستند و در [۳۲, ۳۲] از این داده استفاده شده است). الگوریتم پیشنهاد شده به گونهای است که هر چهار هدف به عنوان کشتی شناسایی میشوند، بنابراین هر پیکسل از کشتی به عنوان یک شمارش در نظر گرفته میشود (نه هر هدف کشتی). برای تعیین دادههای آزمایشی از تصویر رنگی پائولی نشان داده شده در شکل(۴)

استفاده كرده و به صورت پيكسل به پيكسل قسمت های مختلف کشتیها را به صورت تصادفی به عنوان داده آزمایشی در نظر گرفتیم؛ به طوری که تعداد کل پیکسلهای اهداف واقعی N<sub>gt</sub> برابر با ۱۰۶۸ شد و با تغییر حدآستانه بین مقادیر کمینه و بیشینه تصویر آشکارساز مقادیر احتمال هشدار اشتباه (P<sub>f</sub>) و احتمال شناسایی ( $P_d$ ) محاسبه شده و منحنی ROC تشکیل می شود. منحنی ROC یک بار برای مقایسه روش پیشنهادی و روشهای GP-PNF و تقارن بازتابی و بار دیگر برای مقایسه روش پیشنهادی و روش 2L-IHP در کانالهای HV ،HH و VV رسم شده است که می توانید آنها را در شکل(۹-الف) و (۹-ب) مشاهده کنید. لازم به ذکر است که این منحنیها به ازای ۳۶۰ حدآستانه مختلف که بین مقادیر مینیم و ماکزیمم تصویر آشکارساز تغییر میکنند به دست آمده است. مساحت زیر منحنی <sup>۲</sup>ROC میتواند برای ارزیابی عملکرد آشکارساز مورد استفاده قرار گیرد[۳۳]. مقادیر مساحت زیرمنحنی (AUC) مربوط به هریک از روشها در جدول(۱) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده مى شود روش پيشنهادى  $\Lambda_{
m N}$  بيش ترين عملكرد شناسایی را داشته است. برای تجزیه و تحلیل کمی عملکرد آشارسازها همچنین میتوان از معیار شایستگی<sup>۳</sup> (FoM) که به صورت رابطه(۱۶) تعریف می شود نیز استفاده کرد [۳۳و ۳۴] که هریک از پارامترهای N<sub>cd</sub> ،N<sub>td</sub> و N<sub>gt</sub> در رابطه(۱۵) تعریف

شدهاند. (۱۶) FoM =  $\frac{N_{td}}{N_{cd}+N_{gt}}$ 

Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-05

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Area under ROC curve (AUC)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Figure of merit (FoM)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Receiver operating characteristic



شکل ۹: منحنی ROC مربوط به (الف) روش پیشنهادی و GP-PNF و تقارن بازتابی (ب) روش پیشنهادی و LHP در کانالهای MOL و VV و VV و VV

جدول ۱: نتایج مساحت زیرمنحنی AUC و معیار شایستگی FoM برای روش پیشنهادی و روشهای موجود دیگر

معیار ارزیابی	روش پیشنهادی ۸ <sub>N</sub>	GP-PNF	تقارن بازتابی	2L-IHP درکانال HH	2L-IHP در کانال HV	2L-IHP در کانال VV
AUC	۰/٩۶۰۵	۰ <sub>/</sub> ۷۷۷۶	•/٧٩٧۴	• 188 • 4	•/948•	• /8180
FoM	۰/۰۸۶۷	•/•۶٣٩	۰/۰۶۰۵	٠/٠٠۵٩	۰/۰۵۷۸	•/• ١٨٢

معیار شایستگی FoM بعد از اعمال حدآستانه گذاری مطلوب روی تصویر آشکارساز محاسبه می شود. بنابراین ما این معیار را با در نظر گرفتن نرخ هشدار اشتباه PFبرابر با ۲۰۰۵ در رابطه(۱۳) و رسیدن به یک حدآستانه مطلوب محاسبه کردهایم. نتیجه معیار شایستگی FoM برای هر یک از آشکارسازها در جدول(۱) آورده شده است. علت پایین بودن مقادیر FoM در تمامی روشها این است که ما دادههای FoM در نظر گرفتهایم نه مجموعه کل پیکسلهای کشتی و آزمایشی (تست) را بر روی بخشهایی از اهداف کشتی و در نظر گرفتهایم نه مجموعه کل پیکسلهای کشتی و آزمایش مقادیر N<sub>td</sub> به نسبت کاهش و آن، مقادیر FoM کاهش یابند. آنچه که در اینجا حائز آن، مقادیر FoM کاهش یابند. آنچه که در اینجا حائز میت است مقایسه مقادیر FoM برای روشهای

می شود مقدار FoM روش پیشنهادی از بقیه روش ها بیش تر است. این به این معنی است که تعداد کل پیکسل های اهداف شناسایی شده (Ntd) آن از باقی روش ها بیش تر یا تعداد کل پیکسل های کلاتر شناسایی شده (Ncd) آن از بقیه روش ها کمتر بوده است.

#### ۴-نتیجه گیری

برای انجام شناسایی کشتی در تصاویر پلاریمتری SAR با توان تفکیک بالا، یک روش جدید مبتنی بر حفظ اطلاعات در طیف تصویر در این مقاله پیشنهاد شده است. به این صورت که با در اختیار داشتن دادههای پلاریمتری در پایه پلاریزاسیون استاندارد اقدام به استخراج ماتریس پراکندگی و آمارههای مرتبه دوم در تمامی پایههای پلاریزاسیون موج دریافتی کرده و سپس از هریک از پایههای پلاریزاسیون ایجاد شده، تصاویر زیرمنظر تولید میکند. در نهایت با استفاده از

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

هشدار اشتباه PF به حدآستانه مطلوب رسیدیم. برای ارزیابی روش پیشنهادی از دو معیار منحنی ROC و معیار شایستگی FoM استفاده کردیم که منحنی ROC و برخلاف معیار شایستگی FoM محدود به انتخاب حدآستانه مناسب نمیباشد. نتایج آزمایشات نشان داد که روش پیشنهادی که برمبنای تحلیلهای زیرمنظر با استفاده از دادههای پلاریمتری است، بهتر از روشهای پلاریمتری دیگر و روشهایی که بر مبنای تحلیلهای زیرمنظر(در داده های تک کاناله) هستند عمل میکند.

- [1] Y. Wang and H. Liu, "A hierarchical ship detection scheme for high-resolution SAR images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, pp. 4173-4184, 2012.
- [2] D. Velotto, C. Bentes, B. Tings, and S. Lehner, "First comparison of Sentinel-1 and TerraSAR-X data in the framework of maritime targets detection: South Italy case," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 41, pp. 993-1006, 2016.
- [3] D. J. Crisp, "The state-of-the-art in ship detection in synthetic aperture radar imagery," Defence Science And Technology Organisation Salisbury (Australia) Info Sciences Lab2004.
- [4] C. C. Wackerman, K. S. Friedman, W. G. Pichel, P. Clemente-Colón, and X. Li, "Automatic detection of ships in RADARSAT-1 SAR imagery," Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 27, pp. 568-577, 2001.
- [5] A. Marino, S. R. Cloude, and I. H. Woodhouse, "A polarimetric target detector using the huynen fork," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, pp. 2357-2366, 2010.
- [6] A. Marino, M. J. Sanjuan-Ferrer, I. Hajnsek, and K. Ouchi, "Ship detection with spectral analysis of synthetic aperture radar: A comparison of new and wellknown algorithms," Remote Sensing, vol. 7, pp. 5416-5439, 2015.

اثر همبستگی  $\Lambda_N$  (که از تصاویر زیرمنظر تولید شده در تمام پایههای پلاریزاسیون به طور همزمان بهره گرفته است) به تصویر آشکارساز مطلوب رسیدیم. در مرحله بعد برای بدست آوردن حدآستانه مناسب برای تصویر آشکارساز، به علت در دسترس نبودن تابع چگالی احتمال از تابع توزیع تجمعی بدست آمده استفاده کردیم. لازم به ذکر است که تعداد نمونههای مورد استفاده برای تشکیل تابع توزیع تجمعی باید به اندازه کافی زیاد باشد. و در نهایت با ثابت فرض کردن نرخ **مراجع** 

- [7] G. Goldstein, "False-alarm regulation in log-normal and Weibull clutter," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, pp. 84-92, 1973.
- [8] L. M. Novak, M. C. Burl, W. Irving, and G. Owirka, "Optimal polarimetric processing for enhanced target detection," in Telesystems Conference, 1991. Proceedings. Vol. 1., NTC'91., National, 1991, pp. 69-75.
- [9] M. T. Rey, A. Drosopoulos, and D. Petrovic, A Search Procedure for Ships in RADARSAT Imagery (U): National Defence, Defence Research Establishment Ottawa, 1996.
- [10] E. Jakeman and P. Pusey, "A model for non-Rayleigh sea echo," IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 24, pp. 806-814, 1976.
- [11]M. Liao, C. Wang, Y. Wang, and L. Jiang, "Using SAR images to detect ships from sea clutter," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 5, pp. 194.2008, 198-
- [12]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 transactions on geoscience and remote sensing, vol. 47, pp. 1685-169,7 .2009
- [13]M. Yeremy, J. Campbell, K. Mattar, and T. Potter, "Ocean surveillance with

شناسـایی کشــتی بـا اســتفاده از توسـعه تحلیـلهـای...

سعید مهدی زاده و همکار ان

polarimetric SAR," Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 27, pp. 328-344, 2001.

- [14] R. Touzi and F. Charbonneau, "Characterization of target symmetric scattering using polarimetric SARs," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 40, pp. 2507-2516, 2002.
- [15] J. Chen, Y. Chen, and J. Yang, "Ship detection using polarization cross-entropy," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 6, pp. 723.2009, 727-
- [16] R. Shirvany, M. Chabert, and J.-Y. Tourneret, "Ship and oil-spill detection using the degree of polarization in linear and hybrid/compact dual-pol SAR," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol,5. pp. 885-892, 2012.
- [17]F. Nunziata, M. Migliaccio, and C. E. Brown, "Reflection symmetry for polarimetric observation of man-made metallic targets at sea," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 37, pp. 384-394, 2012.
- [18]A. Marino, "A notch filter for ship detection with polarimetric SAR data," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 6, pp. 1219-1232, 2013.
- [19]L. Ferro-Famil, A. Reigber, E. Pottier, and W.-M. Boerner, "Scene characterization using subaperture polarimetric SAR data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, pp. 2264-2276, 2003.
- [20] J.-C. Souyris, C. Henry, and F. Adragna, "On the use of complex SAR image spectral analysis for target detection: Assessment of polarimetry," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, pp. 2725-2734, 2003.
- [21]G. Deschamps, "Techniques for handling elliptically polarized waves with special reference to antennas: part II-geometrical representation of the polarization of a

plane electromagnetic wave," Proceedings of the IRE, vol. 39, pp. 540-544, 1951.

- [22]K. Tragl, "Polarimetric radar backscattering from reciprocal random targets," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, pp. 856-864, 1990.
- [23]G. De Grandi, J.-S. Lee, D. Schuler, and E. Nezry, "Texture and speckle statistics in polarimetric SAR synthesized images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, pp. 2070-2088, 2003.
- [24]M. J. Sanjuan-Ferrer, "Detection of coherent scatterers in SAR data: algorithms and applications," ETH Zürich, 2014.
- [25] F. Bovenga, V. M. Giacovazzo, A. Refice, N. Veneziani, and R. Vitulli, "A first validation experiment for a Multi-Chromatic Analysis (MCA) of SAR data starting from SLC images ,"in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009, 2009, pp. IV-689-IV-692.
- [26] I. G. Cumming and F. H. Wong, "Digital processing of synthetic aperture radar data," Artech house, vol. 1, p. 3, 2005.
- [27] K. Ouchi, M. Iehara, K. Morimura, S. Kumano, and I. Takami, "Nonuniform azimuth image shift observed in the Radarsat images of ships in motion," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 40, pp. 2188-2195, 2002.
- [28] R. Iglesias, J. J. Mallorqui, and P. López-Dekker, "DInSAR pixel selection based on sublook spectral correlation along time," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 52, pp. 3788-3799, 2014.
- [29] C. Oliver and S. Quegan, Understanding synthetic aperture radar images: SciTech Publishing, 2004.
- [30]M. Sugimoto, K. Ouchi, and Y. Nakamura, "On the similarity between dual-and quadeigenvalue analysis in SAR polarimetry,"

[ DOI: 10.29252/jgit.8.1.1

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

Remote sensing letters, vol. 4, pp. 956-964, 2013.

- [31]N. Wang, G. Shi, L. Liu, L. Zhao, and G. Kuang, "Polarimetric SAR target detection using the reflection symmetry," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 9, pp. 1104-1108, 2012.
- [32] C. Hu, L. Ferro-Famil, and G. Kuang, "Ship discrimination using polarimetric SAR data and coherent time-frequency analysis," Remote Sensing, vol. 5, pp. 6899-6920, 2013.
- [33]T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis," Pattern recognition letters, vol. 27, pp. 861-874, 2006.
- [34]S. Foulkes and D. Booth, "Ship detection in ERS and RADARSAT imagery using a selforganising Kohonen Neural Network," in Ship Detection in Coastal Water Workshop Agenda, Canada, 2000.



Journal of Geospatial Information Technology Vol.8 No.1, Spring 2020

**Research Paper** 

## The Extended Sub-look Analysis In Polarimetric SAR Data For Ship Detection

Saeed Mehdizadeh1\*, Yasser Maghsoudi<sup>2</sup>, Maryam Salehi<sup>3</sup>

1- Ms.c student of Remote sensing, Geomatics Engineering Faculty. K.N. Toosi University of Technology

2- Assisstant professor in Geomatics Engineering Faculty. K.N. Toosi University of Technology

3- Ph.D student of Remote sensing, Geomatics Engineering Faculty. K.N. Toosi University of Technology

#### Abstract

The monitoring of maritime areas with remote sensing is essential for security reasons and also for the conservation of environment. The synthetic aperture radar (SAR) can play an important role in this matter by considering the possibility of acquiring high-resolution images at nighttime and under cloud cover. Recently, the new approaches based on the sub-look analysis for preserving the information of point targets (such as ship) in the spectrum of the SAR image have been proposed. In the sub-look analysis, the correlation of the ships in two sub-look images is preserved. Based on this property, in this paper first by using the second order statistics of polarimetric SAR data and the information of different polarization bases, the complex correlation between sub-look images is calculated. Then, using a criterion dependent on each of the four polarimetric channels and all polarization bases, the identification of ships from the sea is carried out. The proposed ship detection method is implemented on RADARSAT-2 image at C-band of Sanfrancisco area. The experimental results demonstrate that the method can discriminate the ships from background (sea clutter) with optimal contrast and desirable accuracy. The accuracy of the proposed method is about 19 and 17 percent better than other polarimetric methods and about 30, 2 and 35 percent better than the methods based on the spectral analysis.

Key words: Sublook Analysis, Ship Detection, Polarimetric Data, Polarization, Correlation.

Correspondence Address : The Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Mirdamad Blvd, Tehran, Iran. Tel : +98 9199932451 Email: saeedmehdizadeh5@gmail.com