نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

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[1*]، یاسر مقصودی[2]، مریم صالحی[3]

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

چکیده

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 پس‌زمینه 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 پس‌زمینه (کلاتر آب) با تضاد بهینه و دقت مطلوب شناسایی نماید. به طوری که روش پیشنهادی به لحاظ عملکرد شناسایی دقیق تر از روش‌های دیگر پلاریمتری و همچنین روش‌های مبتنی بر تحلیل‌های طیفی است.

کلید واژه‌ها : تحلیل‌های زیرمنظر، شناسایی کشتی ، داده‌های پلاریمتریک، پلاریزاسیون، همبستگی.

* نویسنده مکاتبه کننده: خیابان ولیعصر- بالاتر از تقاطع میرداماد- روبه‌روی ساختمان اسکان- دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۹۹۹۳۲۴۵۱

Email: Saeedmehdizadeh5@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]

[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

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 می‌کند که به سراغ شناسایی کشتی با استفاده از ابزار نظارت غیر مستقیم یا همان سنجش از دور برویم. 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 نمی‌کنند، 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 کشتی‌هایی که به طور داوطلبانه (درگیر فعالیت‌های غیرقانونی، اجباری نبودن انتشار سیستم شناسایی اتوماتیک، ماهیگیرانی که منطقه ماهیگیری‌شان را از کشتی‌های ماهیگیری دیگر پنهان می‌کنند و...) یا ناخواسته (به سفرهای دریایی مشغول نبوده، بد عمل کردن سیستم شناسایی اتوماتیک یا دیگرسیستم‌های ضدبرخورد و...) موقعیتشان را گزارش نمی‌کنند؛ اغلب مفید است[۲]. از آنجا که تصاویر *SAR* [1] کمتر از تصاویر نوری تحت تاثیر زمان تصویربرداری و شرایط آب و هوایی قرار می‌گیرند برای شناسایی کشتی مناسب‌تر هستند. با راه‌اندازی موفقیت‌آمیز سه سنجنده *SAR* با توان تفکیک بالا در سال ۲۰۰۷، شامل *RADARSAT-2* کانادا، *COSMO-SkyMed* ایتالیا، و *TerraSAR-X* آلمان، داده‌های *SAR* با توان تفکیک بیش‌تری (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[۱]. مشاهده شده است که ویژگی اصلی کشتی‌ها در تصاویر *SAR* یک بازپراکنش روشن است که این می‌تواند به وسیله حضور چندین ساختار فلزی و گوشه‌ها[2] باشد. از آنجا که بخش بزرگی از برخورد تابش الکترومغناطیس روی دریا در جهت آینه‌ای پراکنش داده می‌شود، 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 می‌شوند. این ویژگی به توسعه چندین الگوریتم که هدفشان شناسایی نقاط روشن روی یک پس‌زمینه تاریک‌تر هست منتهی خواهد شد[۳،۴و۵] . بازپراکنش از دریا به شدت تحت تأثیر وضعیت دریا قرار دارد، و در بعضی از وضعیت‌ها فوق‌العاده روشن خواهد بود و بازگشت کشتی‌های کوچک را پوشش می‌دهد. این موضوع به‌خصوص برای فرکانس‌های بالاتر از ۵ گیگاهرتز (باند*C*) و زوایای فرودی[3] تندتر(برای مثال کمتر از ۲۵ درجه) صدق می‌کند[۶]. علاوه براین، ویژگی‌های دریایی دیگر مانند ترمز و امواج سرکش[4] 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[5]) دریا روی شدت کلاتر محلی برای تنظیم

[1] *Synthetic aperture radar*

[2] *Corners*
[3] *Incidence angles*
[4] *Braking or rogue waves*
[5] *clutter*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

حدآستانه[1] به وجود آیند. نوع اول از این روش‌ها که سعی در ثابت نگه داشتن احتمال هشدار اشتباه دارد، تکنیک نرخ هشدار اشتباه ثابت[2] می‌باشد، مانند آشکارکننده‌های *CFAR* دوپارامتری[۷و۸] و آشکارکننده *CFAR* ویژگی‌های شبکه‌ای اقیانوس[3] [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 می‌کند[۹]. مدل‌های آماری کلاتر دیگر نیز همچنین بکار برده شده‌اند، برای مثال کارهای انجام شده توسط لیاوو[4] و همکاران[۱۱] و گائو[5] و همکاران[۱۲]. اگرچه چنین روش‌هایی نمی‌توانند اهدافی را که شدت آن‌ها هم‌سطح با کلاتر است شناسایی کنند. بعلاوه پارامترهای توزیع و برآورد حدآستانه در این روش‌ها معمولاً نیازمند مقدار زیادی تلاش محاسباتی است. و مدل‌های توزیع کلاتر دریای اندازه‌گیری 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[6] 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 تجزیه هدف منسجم[7] (*CTD*) و تجزیه ونزین[8] (*VZD*) انجام شد و نشان داد که *CTD* در ترم‌هایی از نرخ هشدار اشتباه بهتر از *VZD* عمل می‌کند. در پژوهشی، با گسترش محدودیت قابل اجرا روش *CTD* توسعه داده شده است و روش توصیف پراکندگی متقارن[9] 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 پوتیر[10] استفاده کرده و روش ضرب آنتروپی پلاریزاسیون[11] به عنوان پارامتر جداکننده برای شناسایی کشتی در نواحی اقیانوسی پیشنهاد شد[۱۵]. بعلاوه، یک الگوریتم جدید شناسایی کشتی *CFAR* بر پایه ضرب آنتروپی پلاریزاسیون ارائه شد. این 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 پراکندگی اهداف و پس‌زمینه دارند. اگرچه در پژوهشی شیروانی و همکاران برای شناسایی کشتی‌ها، از اختلاف

[1] *Threshold*
[2] *Constant False Alarm Rate(CFAR)*
[3] *Ocean Features Workstation (OFW)*
[4] *Liao*
[5] *Gao*

[6] *target-to-clutter ratios (TRCs)*
[7] *Coherent target decomposition(CTD)*
[8] *Van Zyl target decomposition(VZD)*
[9] *Symmetric scattering characterization method (SSCM)*
[10] *Cloude–Pottier*
[11] *Polarization cross entropy (PCE)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

در درجه پلاریزاسیون کشتی‌ها و کلاتر دریا استفاده کردند[۱۶] و در پژوهشی دیگر نانزیاتا[1] و همکاران از ویژگی‌های تقارن بازتابی[2] برای جداسازی کشتی‌ها استفاده کردند به این صورت که کشتی دارای این ویژگی نبوده درحالی که دریا در این ویژگی صدق می‌کرد[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 [3] 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 می‌شوند. 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[4] یا تحلیل‌های زیرمنظر[5] 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[6] (*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 آزیموت انجام داده و در نهایت 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 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 است) با کمترین نرخ هشدار اشتباه و ارائه یک شناسایی‌گر منسجم به طوری که بتواند در هر شرایطی کشتی‌ها را شناسایی کند از موضوعات چالش برانگیز در زمینه سنجش از دور می‌باشد.

تمامی روش‌های گفته شده در این زمینه، از کانال‌های پلاریمتریک مختلف به عنوان اندازه‌گیری‌های مستقل و یا نهایتاً اطلاعات را از داده‌های پلاریمتریک به صورت یک‌پارچه، 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 مهم‌تر این‌که از اطلاعات تمامی پایه‌های پلاریزاسون برای شناسایی کشتی استفاده نماید. این امر سبب می‌شود که برخی از ویژگی‌های کشتی‌ها که ممکن است با استفاده از پلاریزاسیون‌های مختلف موج قابل شناسایی باشند در کار 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

[1] *Nunziata*
[2] *Reflection symmetry*
[3] *Geometrical Perturbation-Polarimetric Notch Filter (GP-PNF)*
[4] *Subaperture decomposition*
[5] *Sub-look analysis*
[6] *Single look complex (SLC)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

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 غرب آمریکا می‌باشد. در صورتی که جداسازی دریا از خشکی مد نظر باشد، با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی[1] (*DEM*) منطقه به آسانی می‌توان تعیین کرد که آیا پیکسل مورد مطالعه بر روی زمین قرار دارد یا در دریا می‌باشد. لازم به ذکر است این روش، روش مورد استفاده در نرم افزارهایی که ابزار جداسازی خشکی از دریا در آنها تعبیه شده است نیز می‌باشد. به عنوان مثال، به وسیله ماسک کردن بخش خشکی از طریق *DEM* منطقه، قسمتی از منطقه سانفرانسیسکو که شامل ناحیه شهری، پوشش گیاهی و آب است (شکل(۱- الف)) به شکل(۱-ب) تبدیل شده است که فقط شامل بخش آبی می‌باشد و قسمت خشکی به رنگ سیاه دیده شده و مقادیر صفر را به خود اختصاص داده‌اند.

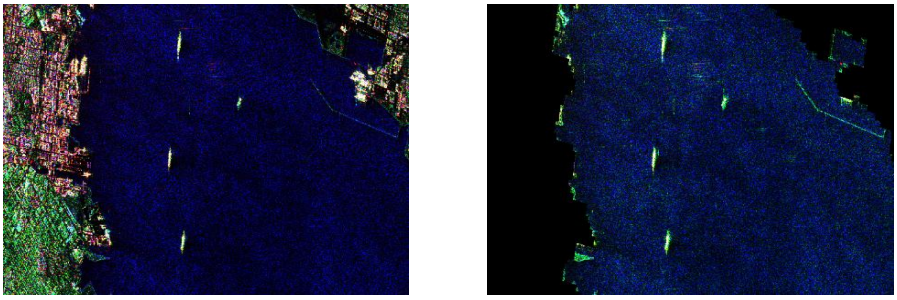
پس از یافتن بخش آبی از تصویر، از آنجا که هدف ما در این مطالعه شناسایی اهداف کشتی می‌باشد، منطقه‌ای از بخش آبی سانفرانسیسکو (شکل(۱-ب)) که شامل اهداف کشتی باشد را انتخاب کرده و مطالعات را بر روی آن انجام می‌دهیم. تصویر اخذ شده از این منطقه مربوط به سنجنده فضابرد رادارست۲ در باند *C* و توان تفکیک رنج مایل اسمی[2] ۱۱٫۱ متر در رنج نزدیک و ۱۰٫۵ متر در رنج دور بوده و داده پلاریمتری می‌باشد، یعنی شامل چهار کانال *HH*، *HV*، *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 زمان‌بر خواهد بود. برای کاهش زمان محاسبات یک زیرتصویر S (به ابعاد۳۶۰ ×۹۴۴) از این منطقه را که در شکل(۲) مشخص شده است انتخاب کرده و پردازش‌ها را بر روی آن انجام می‌دهیم. شکل(۲) تصویر رنگی پائولی با باندهای $R= |S_{HH} - S_{VV}|$، $G= |S_{HV} + S_{VH}|$ و $B = |S_{HH} + S_{VV}|$ و همچنین زیرتصویر مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲-روش تحقیق

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.

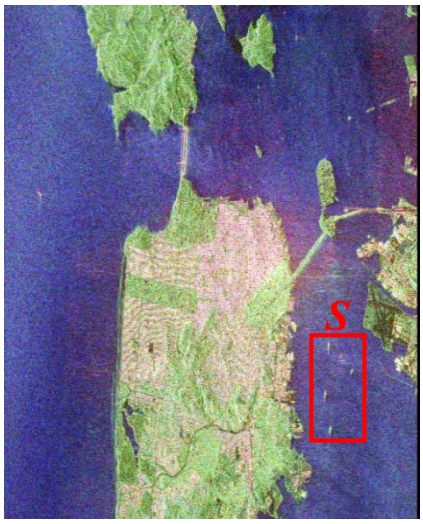
[1] *Digital elevation model*
[2] *Nominal slant range resolution*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]



ب الف

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



شکل۲: تصویر رنگی پائولی با $R=|S_{HH}-S_{VV}|$، $G=|S_{HV}+S_{VH}|$ و $B=|S_{HH}+S_{VV}|$ و مستطیل قرمز رنگ S مربوط به زیر تصویر مورد مطالعه است.

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[1]بودن τ که مقادیر آن از ۴۵- تا ۴۵+ درجه متغیر است و زاویه جهت‌گیری[2] بیضی φ که مقادیر آن از ۰ تا ۱۸۰ درجه متغیر است.

به طور کلی، حالت پلاریزاسیون موج الکترومغناطیس پراکنش یافته از یک هدف پیچیده رادار مستقل ازحالت برخورد است. اگر مقیاس زمانی نوسانات زمانی هدف خیلی بزرگتر از زمان اندازه‌گیری شده از دستگاه مشاهداتی رادار باشد، اصطلاحاً به آن

[1] *Ellipticity*

[2] *Orientation*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

هدف قطعی[1] می‌گویند [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[2] یا کاملاً همدوس[3] هستند. رادار پلاریمتری، پاسخ هدف را در یک پایه پلاریزاسیون اندازه‌گیری می‌کند. یکی از روش‌ها برای نمایش اطلاعات پلاریمتریک ماتریس پراکندگی رابطه(۱) است.

$$S=\begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

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[4] یا ماتریس کوواریانس) یکی از آن‌هاست. آماره‌های مرتبه دوم همچنین برای فشرده سازی داده‌های پلاریمتری و کاهش اسپکل مفید است. ماتریس همدوسی $T=\langle kk^{*T}\rangle$ با فرض قراردادی هم‌ترازی بازپراکنش[5] 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 می‌شود 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 می‌تواند به وسیله یک تبدیل ریاضی و بدون هرگونه اندازه‌گیری‌های اضافی بدست بیاید. حالت پلاریزاسیون یک موج الکترومغناطیس می‌تواند به وسیله نسبت پلاریزاسیون مختلط ρ، که به صورت نسبتی از مؤلفه‌های موج تعریف می‌شود، بدست آید[۲۲] (رابطه(۳)).

با دامنه‌های حقیقی a_H و a_V ، و فازهای δ_H و δ_V. مؤلفه‌های E_H و E_V مربوط به موج پایه پلاریزاسیون خطی متعامد افقی و عمودی (H,V) هستند و j واحد موهومی با $j^2=-1$ را تعریف می‌کند. نسبت پلاریزاسیون ρ می‌تواند در ترم‌هایی از پارامترهای هندسی (τ,φ) به وسیله تراگل [۲۲] بدست بیاید (رابطه(۴)). بنابراین ρ را می‌توان برای پایه‌های پلاریزاسیون مختلف بدست آورد. تبدیل‌های یک‌پارچه A و B که در شرط $AA^{+}=I$ و $BB^{+}=I$ صدق می‌کنند (A^{+} و B^{+} به ترتیب مزدوج ترانهاده A و B بوده و I ماتریس همانی است) یک بردار را از پایه پلاریزه شده خطی (H,V) به پایه مربوط به حالت پلاریزاسیون ρ نگاشت می‌کنند که به صورت رابطه(۵) و رابطه(۶) هستند[۲۳] که در آن $\boldsymbol{\rho}^{*}$ مزدوج $\boldsymbol{\rho}$ است. ماتریس پراکندگی و ماتریس همدوسی در پایه جدید [۲۳] به صورت روابط (۷) و (۸) بدست می‌آید که $\mathbf{S}'$ و $\mathbf{T}'$ به ترتیب ماتریس پراکندگی و ماتریس همدوسی در پایه جدید هستند. با توجه به اطلاعات زیادی که می‌توان 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. با توجه به بازه تغییراتی پارامترهای هندسی بیضی ($\boldsymbol{\tau}$ از$45^{\circ}-$ تا $45^{\circ}+$ و $\boldsymbol{\varphi}$ از 0° تا 180°) اگر به ازای هر 1°، یک ماتریس همدوسی بدست آوریم به تعداد ۱۸۱ ×۹۱ ماتریس همدوسی خواهیم داشت. در این مقاله، برای کاهش حجم محاسبات به ازای هر 10° تغییر یک ماتریس همدوسی محاسبه می‌کنیم؛ بنابراین به تعداد ۱۹ ×۱۰ یعنی ۱۹۰ ماتریس همدوسی خواهیم داشت.

[1] *Target deterministic*
[2] *Completely polarized*
[3] *Fully coherent*
[4] *Coherency matrix*
[5] *Backscatter alignment (BSA)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

$$\mathrm{T}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}\langle|S_{HH}+S_{VV}|^2\rangle & \langle(S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^*\rangle & 2\langle(S_{HH}+S_{VV})S_{HV}{}^*\rangle\\ \langle(S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^*\rangle & \langle|S_{HH}-S_{VV}|^2\rangle & 2\langle(S_{HH}-S_{VV})S_{HV}{}^*\rangle\\ 2\langle S_{HV}(S_{HH}+S_{VV})^*\rangle & 2\langle S_{HV}(S_{HH}-S_{VV})^*\rangle & 4\langle|S_{HV}|^2\rangle\end{bmatrix}$$ رابطه(۲)

$$\rho=\frac{\mathrm{E_V}}{\mathrm{E_H}}=\frac{\mathrm{a_V}}{\mathrm{a_H}}\exp[\mathrm{j}(\delta_\mathrm{V}-\delta_\mathrm{H})]$$ رابطه(۳)

$$\rho=\frac{\cos(2\tau)\sin(2\varphi)+\mathrm{j}\sin(2\tau)}{1+\cos(2\tau)\cos(2\varphi)}$$ رابطه(۴)

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

$$\mathrm{B}(\rho)=\frac{1}{1+\rho\rho^*}\begin{bmatrix}1 & \sqrt{2}\rho & \rho^2\\ -\sqrt{2}\rho^* & 1-\rho\rho^* & \sqrt{2}\rho\\ \rho^{*2} & -\sqrt{2}\rho^* & 1\end{bmatrix}$$ رابطه(۶)

$$\mathrm{S}'=\mathrm{A}(\rho)\,\mathrm{S}\,\mathrm{A}(\rho)^{-1}$$ رابطه(۷)

$$\mathrm{T}'=\mathrm{B}(\rho)\,\mathrm{T}\,\mathrm{B}^{+}(\rho)$$ رابطه(۸)

۲-۲-۲-تحلیل‌های طیفی *SAR*

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[1] نامیده می‌شود. یک تصویر زیرمنظر قدرت تفکیک مکانی پایین‌تری 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 کاهش یافته متناسب است (هرچه تعداد تصاویر زیرمنظر بیش‌تر باشد توان تفکیک آن‌ها کمتر می‌شود). به طور تئوری بیش از دو تصویر زیرمنظر می‌تواند تشکیل شود، بنابراین یک همپوشانی نسبی بین پهناهای باند زیرمنظر ایجاد می‌شود. علاوه بر این چنین زیرتصویرهایی می‌توانند در جهت رنج یا آزیموت یا در هر دو جهت در یک زمان تولید شوند، و پردازش‌ها می‌توانند در فضای زمان یا در فضای فرکانس انجام شوند. تفسیر فیزیکی پردازش‌ها در رنج و آزیموت متفاوت است[۶و۲۴]. یک اظهارنظر به این صورت است که در عمل، تصاویر زیرمنظر باید به وسیله فیلتر کردن داده‌های خام (برای مثال قبل از تصویر متمرکزشده[2] یا همان *Level 0*) بدست آیند [۲۴] . با این حال، به خصوص برای سنجنده‌های فضایی، داده‌های خام همیشه با توجه به سیاست‌های داده آژانس‌های فضایی در دسترس نمی‌باشند. از سوی دیگر، تصویر استاندارد پیش پردازش شده می‌تواند در فضای فرکانس به صورت خطی در نظر گرفته شود و فاز را به میزان زیادی حفظ کند که این یادآور این است که کل اطلاعات در فضای فرکانس به جز عملگر

[1] *Subimage*

[2] *focusing*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

پنجره ضروری برای کاهش گلبرگ کناری[1] 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، ۲۴و 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[2] مشاهده می‌شوند، دارای رفتار ثابتی هستند (برای مثال منظرهای جلو وعقب). با این حال یک هدف نقطه‌ای، درصورتی که گوشه‌های ثابت[3] آن منسجم باقی بماند کاملاً ایزوتروپیک[4] است یعنی دارای خواص فیزیکی مشابه است و می‌تواند رفتار ثابت داشته باشد (حتی اگر دامنه آن‌ها بتوانند به طور قابل توجهی در طول آنتن مجازی تغییر کنند). متاسفانه، تجزیه و تحلیل داپلر وقتی که هدف ثابت نباشد پیچیده‌تر می‌شود. اهدافی که در طول جهت رنج حرکت می‌کنند یک پیشینه داپلر[5] 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 آزیموت کشیده‌تر می‌کند. دوماً، فرآیند تبدیل طیف به تصویر نمی‌تواند 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 شناسایی‌گر منسجم وجود نخواهد داشت[۲۶و۲۷]. به عنوان یک اظهار نظر نهایی، تجزیه و تحلیل داپلر (یا تصاویر زیرمنظر در جهت آزیموت) به خاطر حرکت کشتی ممکن است به عنوان شناسایی گر از دست رفته در نظر گرفته شود. بنابراین در بخش‌های دنبال شده برای شناسایی کشتی به استخراج تصاویر زیرمنظر در جهت رنج خواهیم پرداخت.

۲-۲-۳- تصاویر زیرمنظر در جهت رنج

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[6] آن‌ها متفاوت است. یک هدف نقطه‌ای ایده‌آل (به طور کلی بازتاب کننده‌های گوشه‌ای[7]) هنگامی که تغییرات 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[۲۰و۲۷]. در ادامه به مراحل لازم برای تولید مناسب تصاویر زیرمنظر در جهت رنج می‌پردازیم.

۱- *FFT* و بی وزنی[8]: ابتدا بر روی تصویر *SAR* متمرکز شده تبدیل فوریه را در جهت رنج اعمال می‌کنیم. تصاویر *SAR* متمرکز شده معمولاً با پنجره‌های خطی (*Hanning, Hamming, Kaiser* و..) برای کاهش اثر گلبرگ کناری به قیمت کاهش توان تفکیک تصویر نهایی فیلتر می‌شوند[۲۶]. وزن این توابع در وسط پهنای باند موجود بیشینه است و هر چه به سمت لبه‌های طیف پیش می‌رود وزن آن کاهش می‌یابد. هر زیرمنظر که در این طیف تصویر تقسیم شده است به وسیله مرکز فرکانس و پهنای باند مشخص شده است. اگر این زیرمنظرها به طور مستقیم از طیف‌های منحنی[9] شکل (که حاصل از اعمال تبدیل فوریه

[1] *Sidelobe*
[2] *Azimuth footprint*
[3] *Static corners*
[4] *Isotropic*
[5] *Doppler history*
[6] *Chirp*
[7] *Corner reflectors*
[8] *Unweighting*
[9] *Tapered spectra*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

سریع[1] 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]:

$$H(f) = \frac{1}{\alpha-(1-\alpha)\cos(2\pi f)} \quad \text{رابطه(۹)}$$

که α پارامتری است که وابسته به نوع مجموعه داده‌ها بوده و مقادیر آن بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند.

۲-ایجاد زیرمنظر[2]: هنگامی که طیف رنج مسطح شد، آن را به دو (یا بیشتر از دو) زیرطیف برای تولید تصاویر زیرمنظر تقسیم می‌کنیم.

۳-وزن دهی[3]: 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 می‌کنیم. این مورد با توجه به حضور پراکنشگرهای نقطه ای (کشتی‌ها) با قدرت بالا که گلبرگ‌های کناری قابلیت رویت روشنی را در تصاویر SLC تولید می‌کند 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 می‌تواند به عنوان یکی از اهداف توزیع یافته با اسپکل کامل مدل‌سازی شود[۲۹]. می‌توان 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 می‌شوند. واضح است که این یک حالت ایده 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 می‌شود [۳۰] (رابطه(۱۰)).

در رابطه(۱۰)، D_{mn} و Q_{mn} به ترتیب مقادیر دو پارامتر مورد مطالعه به منظور محاسبه همبستگی برای هر پیکسل در ناحیه $m \times n$می‌باشد. با استفاده از ماتریس‌های همدوسی بدست آمده در پایه پلاریزاسیون‌های مختلف برای هریک از تصاویر زیرمنظر و همچنین تعمیم فضای $m \times n$ مکانی به فضای $\tau \times \varphi$ زاویه‌ای (پارامترهای هندسی بیضی پلاریزاسیون) به

[1] *Fast Fourier Transform (FFT)*
[2] *Sublook Generation*
[3] *Weighting*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

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

رابطه(۱۰)

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (D_{mn} - \bar{D})(Q_{mn} - \bar{Q})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (D_{mn} - \bar{D})^2)(\sum_m \sum_n (Q_{mn} - \bar{Q})^2)}}$$

رابطه(۱۱)

$$\Lambda = \frac{\sum_\tau \sum_\varphi \left(|T_{1\tau\varphi}| - |\overline{T_1}|\right)\left(|T_{2\tau\varphi}| - |\overline{T_2}|\right)}{\sqrt{\left(\sum_\tau \sum_\varphi \left(|T_{1\tau\varphi}| - |\overline{T_1}|\right)^2\right)\left(\sum_\tau \sum_\varphi \left(|T_{2\tau\varphi}| - |\overline{T_2}|\right)^2\right)}}$$

رابطه(۱۲)

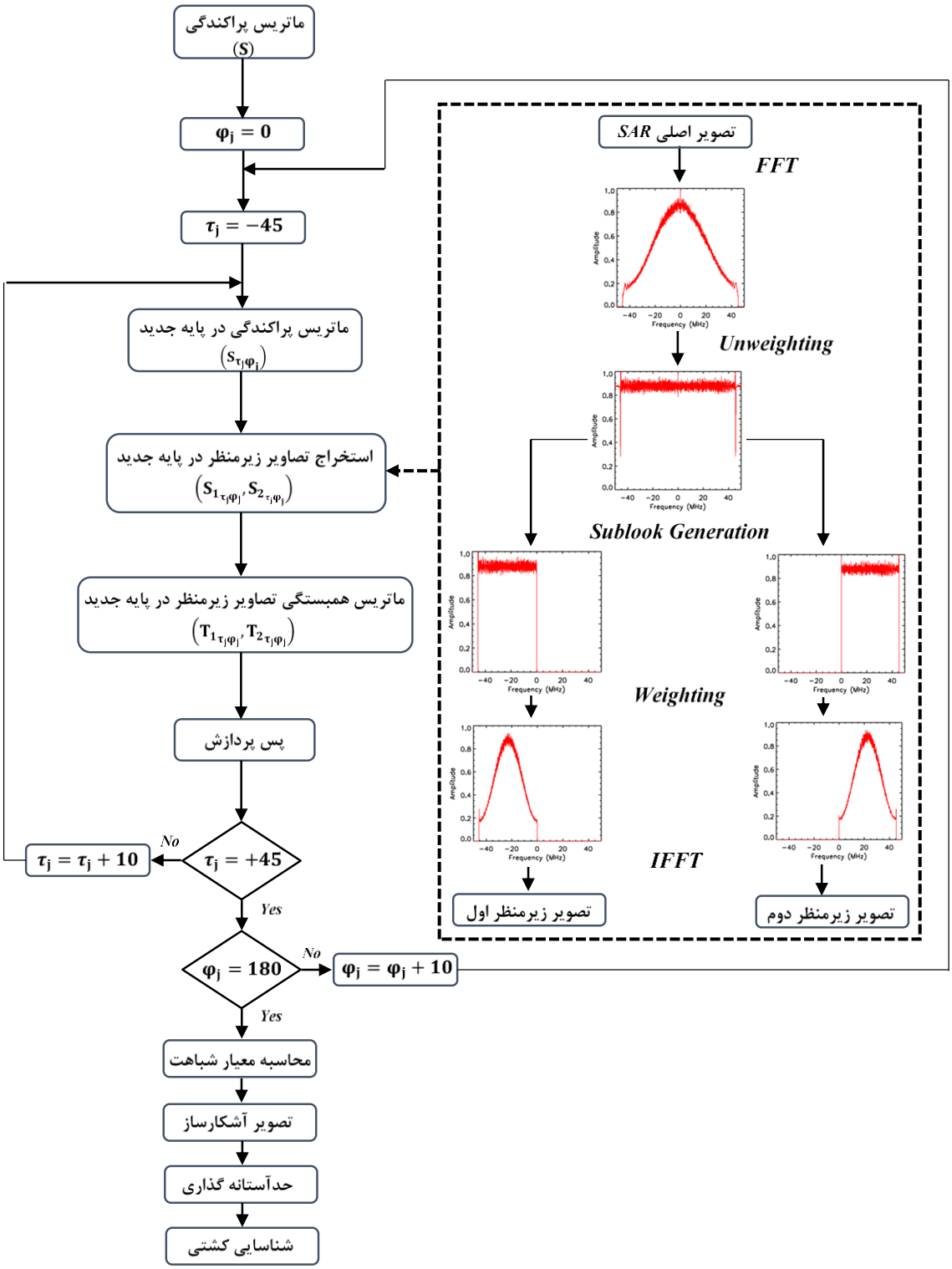
$$\Lambda_N = \sum_\tau \sum_\varphi \left(|T_{1\tau\varphi}| - |\overline{T_1}|\right)\left(|T_{2\tau\varphi}| - |\overline{T_2}|\right)$$

همانطور که قبلاً اشاره شد، دو زیرطیف از طیف‌های دریا که هیچ همپوشانی‌ای با یک‌دیگر ندارند کاملاً غیرهمبسته هستند که یکی از علت‌های آن داشتن الگوی اسپکل متفاوت آن‌هاست. به عبارتی مقدار Λ_N 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 Λ_N برای آن‌ها نزدیک به ۱ خواهد بود. و نتایج آزمایشات نشان داده است که Λ_N 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 (۷) و (۸) و تغییر پایه پلاریزاسیون اقدام به تولید ماتریس‌های پراکندگی در پایه‌های جدید می‌نماییم. در مرحله بعد از روی ماتریس‌های پراکندگی، استخراج و تولید تصاویر زیرمنظر در جهت رنج مطابق بخش ۲-۲-۳ صورت می‌گیرد. 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 میانگین‌گیری پیکسل‌ها برای هریک از این ماتریس‌ها صورت گیرد. این فرآیند برای تمامی پایه‌های پلاریزاسیون به ازای هر ۱۰ درجه تغییر مطابق فلوچارت طی می‌شود. 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.

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 می‌کنیم که علاوه بر در نظر گرفتن رادیومتری، رفتارهای فاز را نیز در نظر می‌گیرد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]



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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

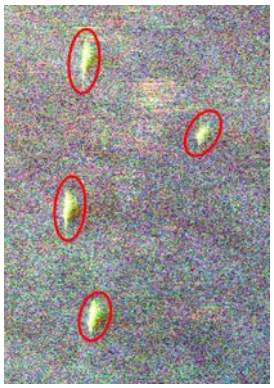
۳-نتایج و بحث

روش پیشنهاد شده در این تحقیق با استفاده از تصاویر پلاریمتری رادارست۲ 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$^{\circ}$۲۸ در رنج نزدیک و $^{\circ}$۲۹٫۸ 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

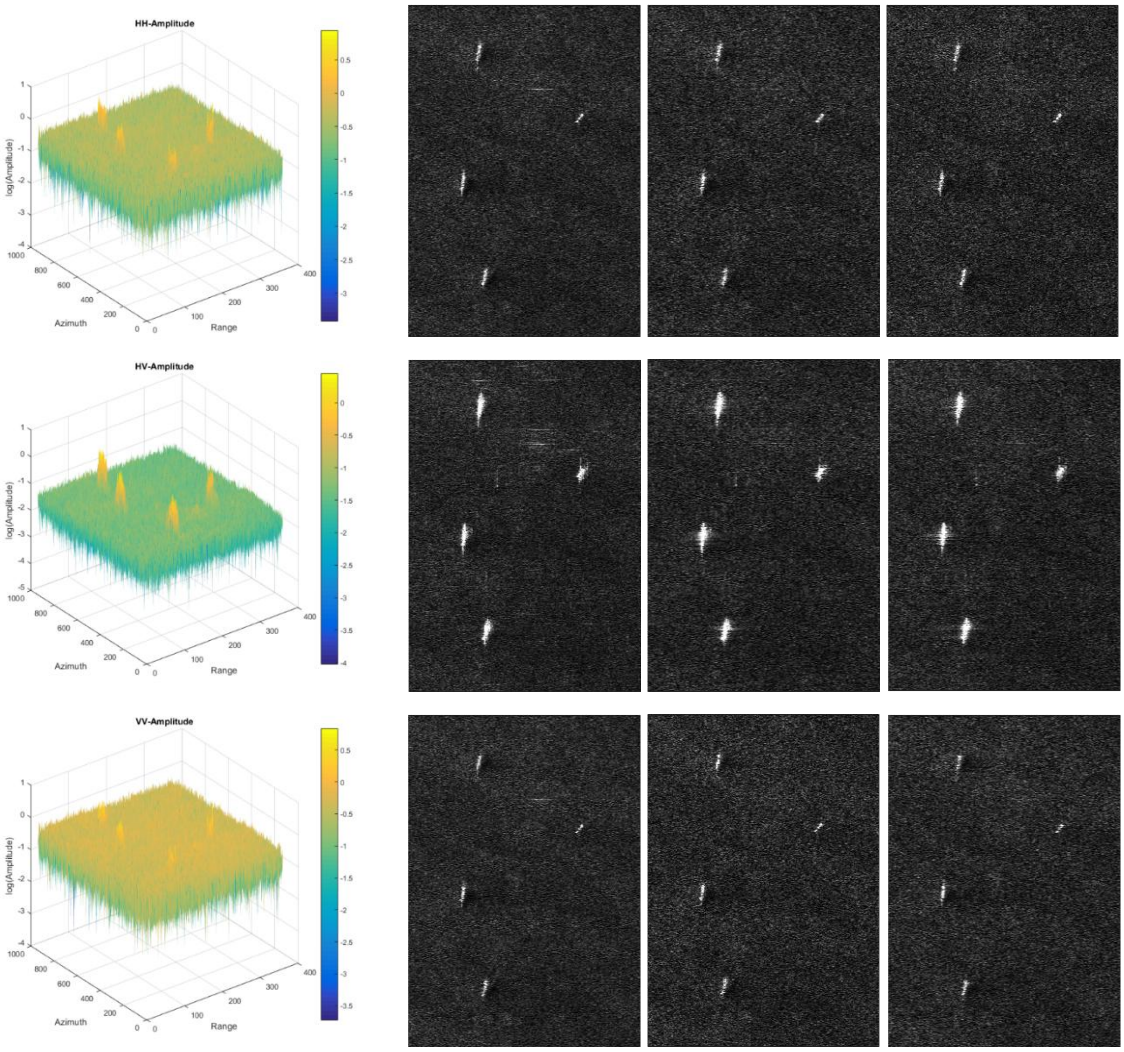
همانطور که در بخش ۲-۲-۳ اشاره شد، باید از تصویر اصلی SAR یا همان تصویر SLC با توجه به مراحل گفته شده، تصاویر زیرمنظر استخراج نماییم. منطقه انتخاب شده برای استخراج تصاویر زیرمنظر در جهت رنج، همان ناحیه S مشخص شده در شکل۲ می‌باشد که بین محدوده ″۸٫۴۰ ′۱۹ $^{\circ}$۱۲۲ تا ″۴٫۸۰ ′۲۲ $^{\circ}$۱۲۲ در طول جغرافیایی و ″۲۴ ′۴۴ $^{\circ}$۳۷ تا ″۳۰ ′۴۶ $^{\circ}$۳۷ در عرض جغرافیایی قرار دارد (تصویر رنگی پائولی آن در شکل(۴)دیده می‌شود). این فرآیند برای هر یک از کانال‌های پلاریمتری HH، HV وVV در تمام پایه‌های پلاریزاسیون انجام شده و برای نمونه نتایج حاصله از یک پایه پلاریزاسیون با پارامترهای هندسی بیضی $\tau = 0$ و $\varphi = 0$ 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 می‌توانند در هر دو تصویر زیرمنظر در تمامی کانال‌ها مشاهده شوند؛ در حالی که شدت اهداف متنوع هستند. پیکسل‌های 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 پایین‌تر از توان تفکیک تصویر اصلی دارد، همانطور که در شکل(۵) قابل مشاهده است تصاویر ستون دوم که به ترتیب از بالا به پایین مربوط به تصاویر اصلی دامنه کانال‌های HH، HV 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 S مشخص شده در شکل(۲) با اهداف کشتی مشخص شده به وسیله بیضی‌های قرمز رنگ

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]



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 $\tau = \varphi = 0$ می‌باشد.

۳-۲-حدآستانه گذاری و نتیجه شناسایی

هدف از این بخش، آستانه‌گذاری بر روی تصویر شناسایی شده (که از رابطه (۱۲) حاصل شده است) و جداسازی اهداف از پس‌زمینه کلاتر دریا و تبدیل آن به یک تصویر باینری می‌باشد. اهداف کشتی با استفاده از اعمال یک حدآستانه کلی T بر روی تصویر آشکارساز Λ_N شناسایی می‌شوند. در واقع پیکسل‌هایی که مقادیر آن‌ها در تصویر آشکارساز بیش‌تر از T باشند به عنوان هدف کشتی در نظر گرفته شده و در غیر این صورت پس‌زمینه کلاتر خواهند بود. T به عنوان یک مقدار مناسب معین در دنباله‌ای از تابع چگالی احتمال[1] کلاتر $f(.)$ در تصویر Λ_N انتخاب می‌شود. اگر $f(.)$ شناخته شده باشد، نرخ هشدار اشتباه PF مربوط به حدآستانه T به صورت رابطه(۱۳) محاسبه می‌شود[۱] که $F(.)$ تابع توزیع تجمعی[2] مقادیر پیکسل‌های کلاتر Λ_N می‌باشد. هنگامی که تعداد نمونه‌های کلاتر به اندازه

[1] *probability density function*
[2] *cumulative distribution function*

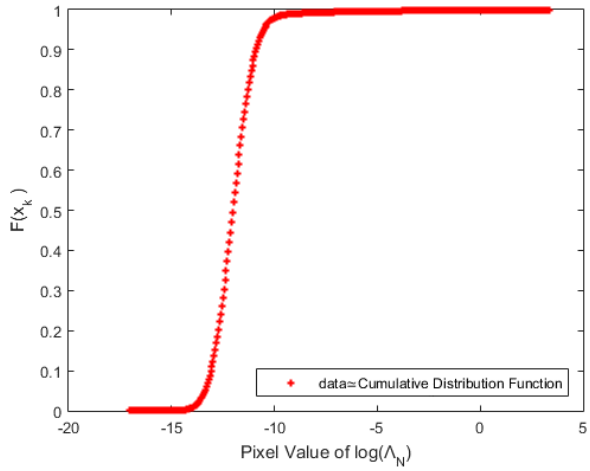
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

کافی زیاد باشد، $F(.)$ می‌تواند مستقیماً از هیستوگرام پس‌زمینه کلاتر حاصل شود. به طور کلی، در یک تصویر مورد بررسی، $F(.)$ می‌تواند با استفاده از کل تصویر به ترتیب گفته شده در ادامه برآورد شود. فرض کنید که M پیکسل در تصویر وجود دارد. مقادیر پیکسل‌ها را به ترتیب صعودی مرتب می‌کنیم به طوری که ما یک مجموعه مقادیر پیکسل $\{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ با شرط $x_1 \le x_2 \le \cdots \le x_M$ داریم. سپس $F(x_k)$ ، $k = 1,2, \dots, M$ به صورت رابطه(۱۴) برآورد می‌شود[۱] که $Num(.)$ تعداد عضوهای مجموعه را می‌شمارد. بر اساس برآورد منحنی $F(.)$، حدآستانه T با استفاده از رابطه (۱۳) بدست خواهد آمد.

رابطه(۱۳)
$$PF = \int_T^{\infty} f(x)dx = 1 - F(T)$$

رابطه(۱۴)
$$F(x_k) = \frac{Num(\{i | x_i \le x_k , i \in \{1,2, \dots, M\}\})}{M}$$

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 ما، برای تبدیل مقادیر تصویر آشکارساز Λ_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.



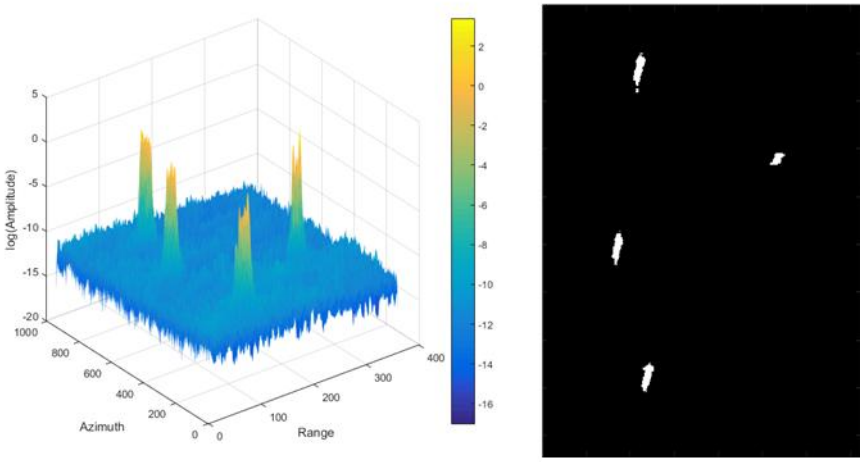
شکل۶: تخمینی از تابع توزیع تجمعی تصویر آشکارساز

شکل(۶) لگاریتم مقادیر تصویر آشکارساز Λ_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(۶) قابل مشاهده است.

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

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 بیش‌تر 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* پیشنهاد شده است.

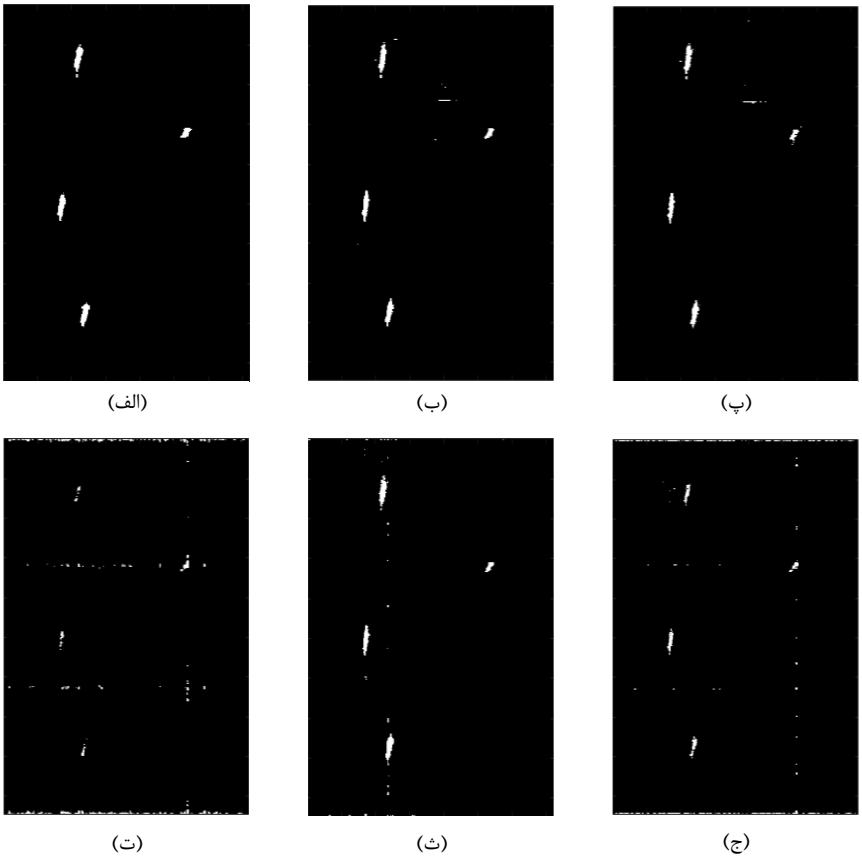


شکل۷: نتیجه آشکارسازی اهداف کشتی با روش پیشنهادی Λ_N همراه با نمودار سه بعدی آن

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 می‌کرد. 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 ۰٫۰۰۵ در نظر گرفته شده است. نتایج آشکارسازی کشتی‌ها با استفاده از این سه روش در شکل(۸-الف) تا (۸-پ) نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، پیکسل‌های ناحیه هدف اکثراً در هر سه روش شناسایی شده‌اند (شکل(۸-الف) تا (۸-پ)). اما در شکل(۸-ب) و شکل(۸-پ) قسمت‌هایی از دریا به عنوان کشتی شناسایی شده‌اند که این موضوع در شکل(۸-الف) دیده نمی‌شود. توجه کنید که کشتی‌های شناسایی شده در شکل(۸-الف) شکل و محیط کامل‌تری نسبت به شکل(۸-ب) و شکل(۸-پ) دارند. برای مثال در شکل(۸-ب) و شکل(۸-پ)، بعضی از کشتی‌ها دارای سوراخ‌هایی در لبه خود هستند و این به این معنی است که لبه‌های کشتی شناسایی نشده و به عنوان کلاتر دریا در نظر گرفته شده‌اند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]



شکل۸: نتایج آشکارسازی کشتی برای تصویر نشان داده شده در شکل۵ با استفاده از (الف) **روش پیشنهادی** Λ_N، (ب) ***GP-PNF***، (پ) **روش تقارن بازتابی**، (ت) ***2L-IHP* در کانال *HH***، (ث) ***2L-IHP* درکانال *HV***، (ج) ***2L-IHP* درکانال *VV***.

بار دیگر روش پیشنهادی را با یکی از روش‌های مبتنی بر تحلیل‌های زیرمنظر یعنی *2L-IHP* مقایسه کرده‌ایم[۲۰]. در *2L-IHP*، 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 *2L-IHP* را با حدآستانه گذاری مشابه قبل و نرخ هشدار اشتباه *PF* برابر با ۰/۰۰۵ برای هر یک از کانال‌های *HH*، *HV* و *VV* انجام داده‌ایم و نتایج آشکارسازی اهداف به ترتیب در شکل‌های(۸-ت) ، (۸-ث) و (۸-ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اهداف شناسایی شده در شکل(۸-الف) شکل و محیط کامل‌تری نسبت به شکل(۸-ت)، (۸-ث) و (۸-ج) دارند. بعلاوه در شکل(۸-الف) پیکسل‌های کلاتر نسبتاً کمتری نسبت به شکل‌های(۸-ت)، (۸-ث) و (۸-ج) به عنوان هدف شناسایی شده‌اند. این در حالت کلی، عملکرد بهتر روش شناسایی پیشنهاد شده را نشان می‌دهد. همچنین در بین شکل‌های(۸-ت)، (۸-ث) و (۸-ج) کانال *HV* یعنی شکل(۸-ث) بهتر از کانال‌های *HH* و *VV* عمل کرده است.

۳-۳-ارزیابی نتایج

در این بخش، روش مورد استفاده برای آزمایش و مقایسه الگوریتم‌ها به طور مفصل مورد بحث قرار

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

می‌گیرد. 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، ممکن است نتایج 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 می‌تواند اجرایی شود. در این مقاله منحنی *ROC* به جای آن استفاده شده است. منحنی *ROC*[1] توسط نمودار احتمال هشدار اشتباه (P_f) پیرامون احتمال شناسایی (P_d) بدست می‌آید، درحالی که حدآستانه‌ها متفاوت هستند. به عبارت دیگر *ROC*، نشان می‌دهدکه P_d می‌تواند با P_f ثابت بدست آید. احتمال هشدار اشتباه (P_f) و احتمال شناسایی (P_d) به صورت رابطه(۱۵) محاسبه می‌شوند:

$$P_d = \frac{N_{td}}{N_{gt}} \qquad P_f = \frac{N_{cd}}{N_{gt}}$$ رابطه(۱۵)

که N_{td} تعداد کل پیکسل‌های اهداف شناسایی شده، N_{gt} تعداد کل پیکسل‌های اهداف واقعی و N_{cd} 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 [۳۱, 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 کرده و به صورت پیکسل به پیکسل قسمت های مختلف کشتی‌ها را به صورت تصادفی به عنوان داده آزمایشی در نظر گرفتیم؛ به طوری که تعداد کل پیکسل‌های اهداف واقعی N_{gt} برابر با ۱۰۶۸ شد و با تغییر حدآستانه بین مقادیر کمینه و بیشینه تصویر آشکارساز مقادیر احتمال هشدار اشتباه (P_f) و احتمال شناسایی (P_d) محاسبه شده و منحنی *ROC* تشکیل می‌شود. 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 *HH*، *HV* و *VV* رسم شده است که می‌توانید 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 *ROC*[2] 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 می‌شود روش پیشنهادی Λ_N بیش‌ترین عملکرد شناسایی را داشته است. برای تجزیه و تحلیل کمی عملکرد آشارسازها همچنین می‌توان از معیار شایستگی[3] (*FoM*) که به صورت رابطه(۱۶) تعریف می‌شود نیز استفاده کرد [۳۳و ۳۴] که هریک از پارامترهای N_{td}، N_{cd} و N_{gt} در رابطه(۱۵) تعریف شده‌اند.

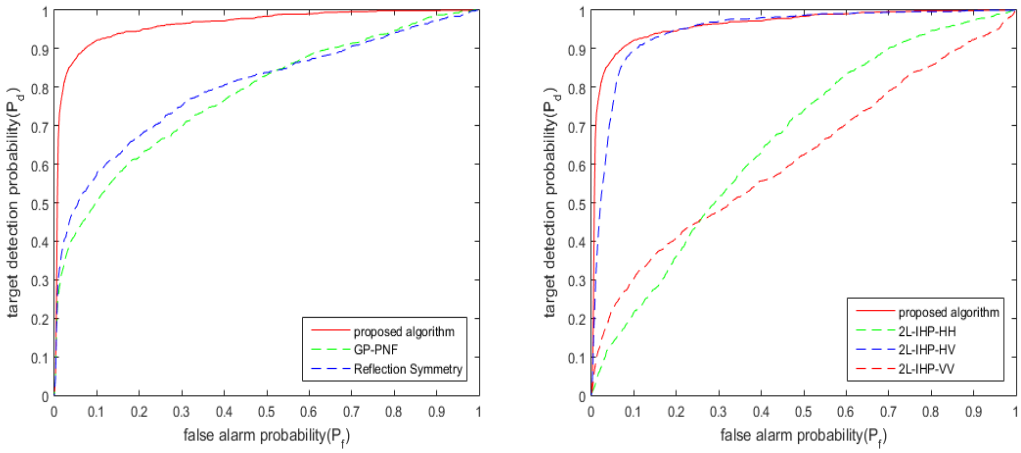
$$FoM = \frac{N_{td}}{N_{cd}+N_{gt}}$$ رابطه(۱۶)

[1] *Receiver operating characteristic*

[2] *Area under ROC curve (AUC)*

[3] *Figure of merit (FoM)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]



(الف) (ب)

شکل ۹: منحنی *ROC* مربوط به (الف) روش پیشنهادی و *GP-PNF* و تقارن بازتابی، (ب) روش پیشنهادی و *2L-IHP* در کانال‌های *HH*، *HV* و *VV*

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

معیار ارزیابی	روش پیشنهادی Λ_N	GP-PNF	تقارن بازتابی	2L-IHP درکانال HH	2L-IHP درکانال HV	2L-IHP درکانال VV
AUC	۰/۹۶۰۵	۰/۷۷۷۶	۰/۷۹۷۴	۰/۶۶۰۴	۰/۹۴۶۰	۰/۶۱۶۵
FoM	۰/۰۸۶۷	۰/۰۶۳۹	۰/۰۶۰۵	۰/۰۰۵۹	۰/۰۵۷۸	۰/۰۱۸۲

معیار شایستگی *FoM* بعد از اعمال حدآستانه گذاری مطلوب روی تصویر آشکارساز محاسبه می‌شود. بنابراین ما این معیار را با در نظر گرفتن نرخ هشدار اشتباه *PF* برابر با ۰/۰۰۵ 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 آزمایشی (تست) را بر روی بخش‌هایی از اهداف کشتی در نظر گرفته‌ایم نه مجموعه کل پیکسل‌های کشتی و این باعث شده است که مقادیر N_{td} به نسبت کاهش و در مقابل مقادیر N_{cd} به نسبت افزایش یابد و در نتیجه آن، مقادیر *FoM* کاهش یابند. آنچه که در اینجا حائز اهمیت است مقایسه مقادیر *FoM* برای روش‌های مختلف است و همانطور که در جدول(۱) مشاهده می‌شود مقدار *FoM* روش پیشنهادی از بقیه روش‌ها بیش‌تر است. این به این معنی است که تعداد کل پیکسل‌های اهداف شناسایی شده (N_{td}) آن از باقی روش‌ها بیش‌تر یا تعداد کل پیکسل‌های کلاتر شناسایی شده (N_{cd}) آن از بقیه روش‌ها 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

اثر همبستگی Λ_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 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* 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.

مراجع

[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 well-known algorithms," Remote Sensing, vol. 7, pp. 5416-5439, 2015.

[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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

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 quad-eigenvalue analysis in SAR polarimetry,"

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

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 self-organising Kohonen Neural Network," in Ship Detection in Coastal Water Workshop Agenda, Canada, 2000.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

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 Mehdizadeh[1*], Yasser Maghsoudi[2], Maryam Salehi[3]

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*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-09-16]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.1.1]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.1]