

## ارزیابی قابلیت ویژگی‌های تجزیه هدف در کشف آلودگی‌های نفتی دریا با استفاده از داده‌های

### پلاریمتری SAR

علی اکبر متکان<sup>۱</sup>، محمد حاجب<sup>۲</sup>، زینب آذرخش<sup>۳\*</sup>

۱- دانشیار ۲- مربی ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت: ۹۳/۰۲/۰۳، پذیرش: ۹۳/۰۷/۲۷)

### چکیده

در این مقاله، پتانسیل داده‌های پلاریمتری SAR با استفاده از روش‌های تجزیه هدف برای کشف آلودگی‌های نفتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور مقادیر Power پلاریزاسیون‌های چهارگانه و ویژگی‌های مربوط به روش‌های تجزیه هدف Freeman، Yamaguchi، VanZyl و Krogager محاسبه شدند. سپس به منظور کشف آلودگی‌های نفتی، ترکیبات مختلف ویژگی‌های مذکور توسط طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان، طبقه‌بندی شدند. بدین ترتیب ضمن بررسی قابلیت هریک از روش‌های تجزیه هدف مورد استفاده، مناسب‌ترین روش برای کشف آلودگی‌های نفتی مشخص شد. روش پیشنهادی بر روی داده‌های SAR کاملاً پلاریمتری سنجنده PALSAR ماهواره ALOS اجرا گردید. ارزیابی نتایج نشان داد که پلاریزاسیون VV نسبت به پلاریزاسیون HH جهت کشف آلودگی‌های نفتی مناسب‌تر می‌باشد. از بین روش‌های تجزیه هدف، روش تجزیه هدف Krogager با دقت کلی ۹۷/۳ درصد بهترین نتیجه را در این زمینه ارائه کرده است.

### واژگان کلیدی:

لکه نفتی، SAR پلاریمتری، تجزیه هدف، ماشین بردار پشتیبان

### ۱. مقدمه

مانند اخذ تصویر در کل مدت شبانه‌روز و در هر شرایط آب و هوایی و پوشش وسیع ناحیه‌ای به‌طور گسترده‌ای جهت کشف آلودگی‌های نفتی استفاده می‌شوند [۲،۱]. تشخیص لکه نفتی توسط سنجنده‌های SAR از طریق اثر آن بر تضعیف امواج ظریف سطحی است. پراکنش غالب در سطح دریا، پراکنش سطحی است که در اثر امواج مؤبینه ثقلی کوتاه به‌وجود می‌آید [۳]. هنگامی که نفت بر روی سطح دریا پخش می‌شود لایه نازکی بر روی سطح آب ایجاد می‌کند. این لایه نازک، امواج کوتاه سطح دریا را میرا کرده و سطح پوشیده از نفت نسبت به محیط اطراف صاف‌تر ظاهر می‌شود. میرا شدن امواج کوتاه و صاف‌تر شدن سطح دریا منجر به کاهش بازپراکنش<sup>۱</sup> از سطح دریا می‌شود؛ بنابراین لکه‌های نفتی بر روی تصاویر SAR منطقه‌ای تاریک ایجاد می‌کنند که با آب اطراف دارای کنتراست بالایی است [۴،۵،۴،۶].

مطالعات بسیاری درباره کشف لکه‌های نفتی با استفاده از

در سال‌های اخیر، نشت نفت به محیط‌های دریایی از مهم‌ترین عوامل آلودگی دریا بوده است. آلودگی‌های نفتی صدمات جبران ناپذیری بر محیط زیست دریا و حیات گیاهی و جانوری وارد می‌کنند. نشت نفت اختلال قابل توجهی در اقتصاد مبتنی بر دریا داشته و اثر مخربی بر زندگی انسان می‌گذارد. تعیین سریع و دقیق موقعیت آلودگی‌های نفتی کمک بزرگی در جهت کاهش خسارات ناشی از آنها محسوب می‌شود. با توجه به ضرورت اقدام سریع جهت شناسایی محل و برآورد میزان این آلودگی‌ها، استفاده از روش‌های سنتی گزینه مناسبی نمی‌باشد، چرا که روش‌های سنتی زمان‌بر و پرهزینه هستند. در مقابل روش‌های سنتی مبتنی بر مطالعات میدانی، پیش این پدیده‌ها از طریق روش‌های سنجش از دور، به‌صرفه‌تر و سریع‌تر انجام می‌گیرد. سنجنده‌های SAR به دلیل داشتن قابلیت‌هایی

<sup>۱</sup> Back scatter

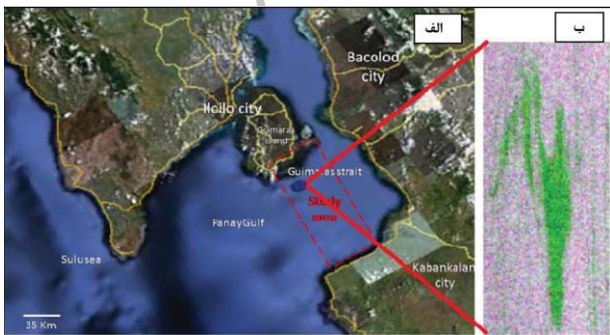
\* رایانامه نویسنده پاسخگو: Zi.azarakhsh@gmail.com

بر مبنای تفاوت در مکانیسم‌های پراکنش با استفاده از داده‌های کاملاً پلاریمتری RADARSAT-2 به کار گرفته شد. در مطالعه [۱۶] علاوه بر دو پارامتر انترویی و میانگین الفا از پارامتر ناهمسانگردی<sup>۵</sup> تجزیه هدف Cloude-Pottier و همچنین از تجزیه انترویی Shannon نیز استفاده شده است. در [۱۹] فقط چند روش تجزیه هدف Krogager، Freeman و Pauli برای شناسایی آلودگی‌های نفتی ارزیابی شدند. در پژوهش حاضر روش‌های تجزیه هدف بیشتری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، هدف اصلی، ارزیابی قابلیت ویژگی‌های تجزیه هدف برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی دریا با استفاده از داده‌های پلاریمتری SAR است. در راستای رسیدن به این هدف اصلی، توانایی پلاریزاسیون‌های مختلف تصاویر SAR جهت شناسایی لکه‌های نفتی با هم مقایسه و ارزیابی شده‌اند. علاوه بر این، اثر حذف نویز بر روی نتایج و آنالیز حساسیت اندازه پنجره فیلتر حذف نویز، مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. ناحیه مورد مطالعه و داده‌ها

ناحیه مورد مطالعه مربوط به آلودگی نفتی است که در اثر غرق شدن یک تانکر نفتی در تاریخ ۱۱ آگوست سال ۲۰۰۶ در نزدیکی جزیره گیومارایس در فیلیپین مرکزی ایجاد شده است. موقعیت این منطقه به مختصات مرکزی (E 39° 122, N 16° 10) در شکل (الف) نمایش داده شده است. این حادثه توسط گزارش آژانس اکتشافات فضایی ژاپن تأیید شده است [۲۱]. در این مطالعه از داده‌های کاملاً پلاریمتری SAR سنجنده PALSAR ماهواره ALOS استفاده شده است. این داده‌ها در ۲۷ آگوست سال ۲۰۰۶ در مد پلاریزه بالارونده از منطقه مورد نظر گرفته شده‌اند. سنجنده PALSAR در باند L کار می‌کند، زاویه فرودی مرکزی 25° و تصویر single-look می‌باشد. شکل (ب) تصویر پلاریمتری لکه نفتی را نشان می‌دهد که در آن پلاریزاسیون‌های VV، HV و HH به ترتیب برای نمایش RGB انتخاب شده‌اند.



شکل ۱. (الف) تصویر رنگی منطقه مورد مطالعه [۲۱]، (ب) تصویر پلاریمتری لکه نفتی

داده‌های SAR صورت گرفته است و همچنین چند مطالعه بر روی معرفی و ارزیابی روش‌ها و تکنیک‌های استفاده شده در این زمینه انجام پذیرفته است [۲، ۷، ۸، ۹]. در ابتدا از داده‌های SAR تک‌پلاریزه و تکنیک‌های ساده‌ای استفاده می‌شد. با گذشت زمان و با پیدایش داده‌های SAR چندپلاریزه، تکنیک‌های پیشرفته‌تری جهت کشف آلودگی‌های نفتی به کار برده شده است. به طوری که در مطالعه [۱۰] روش آماری اتوماتیکی بر مبنای ترکیبی از مدل آماری و روش قانون مینا جهت شناسایی آلودگی‌های نفتی با استفاده از تصاویر ERS ارائه شده است. در این مطالعه همچنین اطلاعاتی نظیر احتمال حضور کشتی‌ها و سکوه‌های نفتی و شرایط باد نیز در نظر گرفته شده است. در تحقیق [۱۱] از آنالیز بافت به منظور جداسازی آب و نفت استفاده شد. همچنین در این روش برای تعیین خطی بودن حرکت نفت از الگوریتم Lee و برای تعیین پخش نفت از الگوریتم Gamma بهره گرفته شد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر RADARSAT با پلاریزاسیون VV بوده‌اند. Topouzelis و همکاران از تکنیک پیچیده‌تری مانند شبکه‌های عصبی به منظور شناسایی لکه‌های نفتی استفاده کردند [۱۲]. در مطالعات ذکر شده از داده‌های تک‌پلاریزه استفاده شده است. همچنین بررسی جامعی درباره الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده جهت شناسایی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر SAR تک‌پلاریزه توسط [۲، ۱۰، ۱۳] صورت گرفته است.

پیدایش داده‌های SAR کاملاً پلاریمتری از جمله RADARSAT-2 و ALOS PALSAR اطلاعات مفیدتری نسبت به داده‌های تک‌پلاریزه به منظور آشکارسازی لکه نفتی در اختیار قرار می‌دهند [۷، ۱۴، ۱۵]. استخراج اطلاعات مفید درباره فرآیندهای پراکنش از دو روش آنالیز تک به تک اجزاء ماتریس پراکنش یا استفاده از روش‌های مختلف تجزیه هدف<sup>۱</sup> امکان پذیر است [۱۶]. این عملیات با استفاده از داده‌های کاملاً پلاریمتری امکان پذیرند. اکثر روش‌های تجزیه هدف تلاش می‌کنند تا بازپراکنش پلاریمتری را با خصوصیات فیزیکی پراکنش‌کننده‌ها مانند پراکنش سطحی، حجمی و Double-bounce مرتبط سازند [۱۶]. روش‌های تجزیه هدف دارای قابلیت بالایی هستند ولی این روش‌ها در زمینه کشف آلودگی‌های نفتی زیاد مورد توجه قرار نگرفته‌اند و مطالعات کمی در این زمینه انجام گرفته است [۱۷]. تعداد اندکی از مطالعات از روش‌های تجزیه هدف پلاریمتری برای آشکارسازی لکه‌های نفتی استفاده کرده‌اند [۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰]. در مطالعه [۱۸] تنها از دو پارامتر انترویی<sup>۲</sup> و میانگین الفا<sup>۳</sup> مربوط به تجزیه هدف Cloude-Pottier استفاده شده است. در این مطالعه روش طبقه‌بندی ضریب انطباق<sup>۴</sup> نظارت نشده برای تمایز بین لکه‌های نفتی و آب دریا

<sup>1</sup> Target Decomposition

<sup>2</sup> Entropy

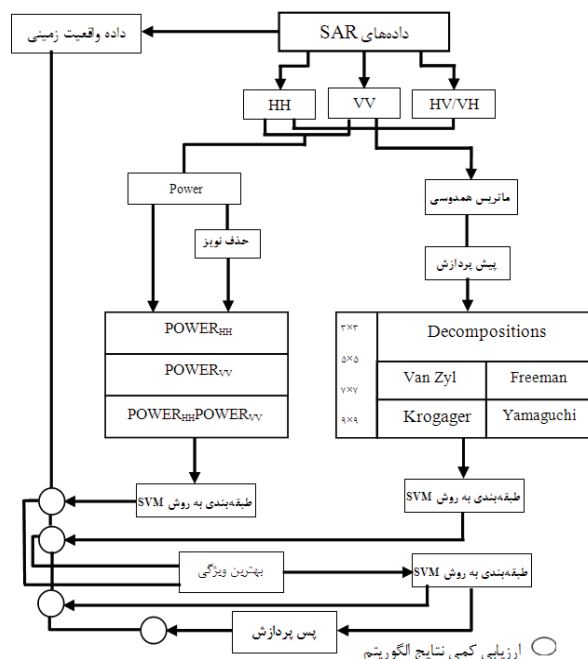
<sup>3</sup> Mean alpha angle

<sup>4</sup> Conformity Coefficient

<sup>5</sup> Anisotropy

## ۲-۲. روش پیشنهادی

شکل ۲، فلوجارت الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد که در ادامه، هریک از مراحل آن توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲. فلوجارت الگوریتم پیشنهادی جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی

## ۲-۲-۱. پیش پردازش

نویز لکه، تفسیر تصاویر SAR را پیچیده می‌کند و همچنین دقت طبقه‌بندی تصویر را کاهش می‌دهد. از طرفی نویز لکه به‌طور قابل توجهی بر دقت پارامترهای تجزیه هدف استخراج شده تأثیر می‌گذارد [۲۲]. بنابراین، کاهش نویز لکه، گامی مهم برای استخراج اطلاعات مفید از تصاویر پلاریمتری SAR است. تأثیر نویز لکه بر ویژگی‌های تجزیه هدف در چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است [۲۳، ۲۴، ۲۵]. برای روش‌های تجزیه هدف غیر همدوس، ابتدا بر روی عناصر ماتریس همدوسی، فیلتر حذف نویز اعمال می‌گردد. سپس پارامترهای غیر همدوس از ماتریس همدوسی حاصله استخراج می‌شوند. برای روش‌های همدوس، حذف نویز انجام نمی‌شود و پارامترهای همدوس مستقیماً از ماتریس همدوسی استخراج می‌شوند. با توجه به اینکه روش تجزیه هدف Krogager یک روش همدوس است لذا حذف نویز قبل از استخراج پارامترهای آن صورت نگرفته است ولی بقیه روش‌های تجزیه هدف مورد استفاده در این مطالعه غیر همدوس هستند لذا ابتدا بر روی عناصر ماتریس همدوسی، فیلتر حذف نویز اعمال شده سپس پارامترهای مربوط به هریک از روش‌های تجزیه هدف، استخراج شدند. در این پژوهش به‌منظور انجام عملیات

کاهش نویز، از فیلتر حذف نویز boxcar استفاده شده است. این فیلتر دارای چند مزیت است؛ یکی اینکه نسبت به سایر روش‌های فیلترگذاری ساده‌تر است و دارای محاسبات کمتری است؛ دوم اینکه روش مؤثری جهت کاهش نویز لکه در مناطق همگن است و در آخر این فیلتر مقدار میانگین را نگه می‌دارد [۲۲]. بنابراین با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش مربوط به سطح دریا است که محیطی همگن است از این فیلتر جهت کاهش نویز لکه بر روی ماتریس همدوسی به‌منظور استخراج پارامترهای تجزیه هدف ناهمدوس استفاده شده است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش سطح دریا بوده (که کاملاً هموار است) نیاز به تصحیح هندسی نبوده است. همچنین در این مطالعه از داده‌های Single Look استفاده شده است.

## ۲-۲-۲. استخراج ویژگی‌ها

تصاویر SAR در پلاریزاسیون‌های مختلف به‌صورت اعداد مختلط ارائه می‌شوند که شامل قسمت حقیقی<sup>۱</sup> (Re) و قسمت موهومی<sup>۲</sup> (Im) می‌باشند. با استفاده از قسمت‌های حقیقی و موهومی پلاریزاسیون‌ها، مقدار Power با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$power = \ln(Magnitude) \quad (1)$$

که مقدار Magnitude از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$magnitude = \sqrt{Re^2 + Im^2} \quad (2)$$

مقدار power برای هریک از پلاریزاسیون‌های HH، VV، HV و VH محاسبه شد. در این تحقیق هریک از مقادیر مذکور با پارامترهایی به شرحی که در جدول ۱ آورده شده است، بیان می‌شوند.

جدول ۱. داده‌های مربوط به مقدار Power پلاریزاسیون‌های همسان و غیر همسان

پلاریزاسیون \ ویژگی	HH	VV	HV	VH
Power	Powe <sub>HH</sub>	Powe <sub>VV</sub>	Powe <sub>HV</sub>	Powe <sub>VH</sub>

خصوصیات پراکنش یک هدف زمینی (عارضه)، توسط رادار پلاریمتری قابل اندازه‌گیری است. با کنترل پلاریزاسیون موج گسیل-شده و اندازه‌گیری ویژگی‌های تمام پلاریمتری موج پس‌پراکنش شده، سیستم رادار پلاریمتری می‌تواند اطلاعات بیشتری نسبت به

<sup>۱</sup> Real

<sup>۲</sup> Imaginary

و

$$\mathbf{S}\boldsymbol{\Psi}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} = \sqrt{2} \begin{bmatrix} S_{hv} & S_{hh} \\ S_{vv} & S_{hv} \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Trac}(S\boldsymbol{\Psi}_3) = \sqrt{2} \left( \underbrace{2S_{hv}}_{k_3} \right)$$

بنابراین، ماتریس پراکنش  $S$ ، مطابق رابطه (۴) به صورت بردار زیر نوشته می‌شود:

$$\bar{\mathbf{k}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_{hh} + S_{vv} \\ S_{hh} - S_{vv} \\ 2S_{hv} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

حال ماتریس همدوسی  $\mathbf{T}_3$ ، از ضرب این بردار در ترانهاده مزدوجش به دست می‌آید. که به صورت رابطه (۶) است [۲۹].

$$\mathbf{T}_3 = \bar{\mathbf{k}} \cdot \bar{\mathbf{k}}^* \quad (۶)$$

$$\mathbf{T}_3 = \begin{bmatrix} |K_1|^2 & K_1 K_2^* & K_1 K_3^* \\ K_2 K_1^* & |K_2|^2 & K_2 K_3^* \\ K_3 K_1^* & K_3 K_2^* & |K_3|^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} |S_{hh} + S_{vv}|^2 & (S_{hh} + S_{vv})(S_{hh} - S_{vv})^* & 2(S_{hh} + S_{vv})S_{hv}^* \\ (S_{hh} - S_{vv})(S_{hh} + S_{vv})^* & |S_{hh} - S_{vv}|^2 & 2(S_{hh} - S_{vv})S_{hv}^* \\ 2S_{hv}(S_{hh} + S_{vv})^* & 2S_{hv}(S_{hh} - S_{vv})^* & 4|S_{hv}|^2 \end{bmatrix}$$

که اندیس  $\mathbf{T}$  به معنای ترانهاده و  $*$  نمایانگر مزدوج می‌باشد. منظور از تجزیه هدف در رادار پلاریمتری، ارائه روشی برای تفسیر و استفاده بهینه از داده‌های پراکنش پلاریمتری است. هر یک از روش‌های تجزیه هدف با اعمال تغییراتی روی عناصر ماتریس پراکنش به دنبال به دست آوردن پارامترهایی هستند که بتوانند اهداف را بهتر توصیف کنند و تمایز بیشتری بین آنها ایجاد کنند [۳۰]. با استفاده از این تکنیک می‌توان پراکنش‌های سطحی، حجمی، Double-bounce و پراکنش مارپیچ<sup>۲</sup> اهداف زمینی را از هم تفکیک نمود. این روش در ابتدا توسط Chandrasekhar برای پراکنش نوری توسط ذرات ناهمسانگرد مطرح شد و سپس توسط Huynen برای امواج الکترومغناطیس پلاریزه شده به کار گرفته شد [۲۶].

روش‌های تجزیه هدف به روش‌های همدوس و غیر همدوس تقسیم می‌شوند. هدف از روش‌های همدوس، مانند تجزیه Krogager، بیان ماتریس پراکنش اندازه‌گیری شده توسط رادار به عنوان ترکیبی از پاسخ پراکنش از اشیاء ساده است [۳۱]، در حالی که روش‌های غیر همدوس، مانند تجزیه Freeman-Durden، بر مبنای ماتریس کوواریانس یا ماتریس همدوسی هستند [۲۶]. در این پژوهش از

<sup>2</sup> Monostatic

استفاده از تک‌پلاریزاسیون در مورد عارضه یا هدف فراهم آورد. بدین صورت که رادار پلاریمتری، موج پلاریزه شده را به صورت افقی و عمودی به عوارض سطح زمین ارسال و قسمتی از سیگنال بازپراکنش شده را در حالت پلاریزاسیون افقی و عمودی دریافت می‌کند. بنابراین برای هر پیکسل از تصویر، مقادیر فاز نسبی و دامنه در چهار مد پلاریزاسیون ثبت می‌شود. اطلاعات مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده در این چهار کانال بیانگر خواص پس‌پراکنش عوارض زمینی هستند [۲۶]. این اطلاعات را می‌توان توسط ماتریس پراکنش  $S$  که به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود، بیان نمود [۲۷]. در رادارهای تک‌سویه<sup>۱</sup>، شرط تقابل<sup>۲</sup>  $S_{vh} S_{hv} =$  برای اکثر عارضه‌ها حفظ می‌شود [۲۸].

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

ماتریس پراکنش تنها برای تعیین یک عارضه خالص یا منفرد به کار رود و قادر به توصیف پراکنش‌های توزیعی<sup>۱</sup> یا گسترده نمی‌باشد. اهداف توزیعی به دلیل حضور نویز لکه تنها می‌توانند با به کارگیری روش‌های آماری مشخص شوند. بنابراین جهت توصیف این اهداف از آماره‌های مرتبه دوم یعنی ماتریس کوواریانس یا ماتریس همدوسی استفاده می‌شود که این ماتریس‌ها از ماتریس پراکنش به دست می‌آیند.

برای به دست آوردن ماتریس همدوسی، باید ماتریس پراکنش را به صورت برداری بیان کرد که این بردار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\bar{\mathbf{k}} = \frac{1}{2} \text{Trac}(S\boldsymbol{\Psi}) \quad (۴)$$

که در آن،  $\boldsymbol{\Psi}$  عبارت است از عناصر شناخته شده پائولی که به صورت زیر هستند (البته در حالت تک‌سویه):

$$\boldsymbol{\Psi} = \left\{ \sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \sqrt{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$$

لذا داریم:

$$\mathbf{S}\boldsymbol{\Psi}_1 = \sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} = \sqrt{2} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Trac}(S\boldsymbol{\Psi}_1) = \sqrt{2} \left( \underbrace{S_{hh} + S_{vv}}_{k_1} \right)$$

و

$$\mathbf{S}\boldsymbol{\Psi}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} = \sqrt{2} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & -S_{vv} \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Trac}(S\boldsymbol{\Psi}_2) = \sqrt{2} \left( \underbrace{S_{hh} + S_{vv}}_{k_2} \right)$$

<sup>1</sup> Distributed targets

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{k}} = \sqrt{2}K_S e^{j(\phi+\phi_s)} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \sqrt{2}K_D e^{j\phi} \begin{bmatrix} 0 \\ \cos 2\theta \\ \sin 2\theta \end{bmatrix} + \sqrt{2}K_H e^{\pm j2\theta} e^{j\phi} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \pm j \end{bmatrix}$$

که در آن،  $K_D = \min(|S_{RR}|, |S_{LL}|)$ ،  $K_H = \text{abs}(|S_{RR}| - |S_{LL}|)$  و  $K_S = |S_{RL}|$  است. تجزیه Krogager رابطه‌ای را برای مقادیری که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری اند ارائه می‌دهد و بنابراین برای مکانیسم‌های پراکنش فیزیکی واقعی ارائه شده توسط ماتریس‌های مؤلفه قابل کاربرد است حتی با وجود اینکه تعامد مؤلفه‌های هدف از دست رفته است [۲۶].

**تجزیه Van Zyl:** تجزیه Van Zyl برای اولین بار با استفاده از توصیف کلی ماتریس کوواریانس در حالت تک‌سویه برای زمین طبیعی که متقارن آزیموتی باشد معرفی شد [۳۳]. متقارن در نظر گرفتن اهداف باعث ساده‌سازی حل مسئله پراکنش شده و این امکان را فراهم می‌کند تا بتوانیم پراکنش از سطح اجسام را به‌صورت ساده‌تری بیان کنیم. معمولاً این تقارن در سه حالت تقارن انعکاسی، چرخشی و آزیموتی بیان می‌گردد. اهداف متقارن انعکاسی به اهدافی اطلاق می‌شود که حول خط دید رادار از لحاظ انعکاسی متقارن هستند که این فرض برای اکثر بافت‌های طبیعی صحیح می‌باشد ولی برای مناطق شهری فرض درستی نمی‌باشد. اهداف با تقارن چرخشی، اهدافی است که حول خط دید رادار به‌صورت چرخشی متقارن هستند. اهداف با تقارن آزیموتی، ترکیبی از دو حالت متقارن انعکاسی و چرخشی هستند و خواص تقارنی هر دو حالت را دارا می‌باشند؛ یعنی حول خط دید رادار از لحاظ انعکاسی و به‌صورت چرخشی متقارن هستند. در این حالت ماتریس کوواریانس متناظر توسط رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$C_3 = \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & 0 & S_{HH}S_{VV}^* \\ 0 & 2|S_{HV}|^2 & 0 \\ S_{VV}S_{HH}^* & 0 & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$= \alpha \begin{bmatrix} 1 & 0 & \rho \\ 0 & \eta & 0 \\ \rho^* & 0 & \mu \end{bmatrix}$$

که در آن:

$$\mu = \frac{S_{VV}S_{VV}^*}{S_{HH}S_{HH}^*} \quad \eta = 2 \frac{S_{HV}S_{VV}^*}{S_{HH}S_{HH}^*}$$

روش‌های تجزیه هدف Yamaguchi، VanZyl، Freeman-Durden سه جزئی و Yamaguchi چهار جزئی (روش‌های تجزیه هدف غیر همدوس) و همچنین روش تجزیه هدف Krogager از تصویر کاملاً پلاریزه استفاده شده است.

**تجزیه Krogager:** در تجزیه Krogager، ماتریس پراکنش متقارن S به سه مؤلفه همدوس تجزیه می‌شود که بر حسب اهداف: کروی، دوسطحی<sup>۱</sup> و مارپیچ تحت تغییر زاویه چرخش  $\theta$  تفسیر فیزیکی دارد. تجزیه Krogager به‌صورت زیر نوشته می‌شود [۳۲]:

$$S_{(H,V)} = e^{j\phi} \left\{ e^{j\phi_s} K_S S_{sphere} + K_D S_{diplane}(\theta) + K_H S_{helix}(\theta) \right\} = e^{j\phi} \left\{ e^{j\phi_s} K_S \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + K_D \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix} + K_H e^{\pm j2\theta} \begin{bmatrix} 1 & \pm j \\ \pm j & -1 \end{bmatrix} \right\} \quad (7)$$

که در آن  $K_S$ ،  $K_D$  و  $K_H$  به ترتیب مربوط به سهم کره، دوسطحی، و مارپیچ هستند و  $\theta$  زاویه توجیه و  $\phi$  فاز مطلق است. فاز مطلق به فاصله بین آنتن تا شیء بستگی دارد. بنابراین اگر چه این پارامتر می‌تواند اطلاعاتی راجع به هدف در اختیار قرار دهد ولی به‌دلیل وابستگی مقدار آن به مکان هدف زمینی پارامتری مستقل محسوب نمی‌شود. به همین دلیل، اغلب تجزیه Krogager حاوی پنج المان مستقل است. فاز  $\phi_s$  نشان‌دهنده جابه‌جایی کره نسبت به دوسطحی در داخل سلول تفکیک<sup>۲</sup> یا پیکسل است. به‌منظور سهولت در محاسبه مقادیر پارامترهای  $K_S$ ،  $K_D$ ،  $K_H$  و  $\phi_s$  و همچنین فاز مطلق  $\phi$ ، از پایه پلاریزاسیون دایره‌ای استفاده می‌گردد. با در نظر گرفتن ماتریس پراکنش اندازه‌گیری شده در پایه دایره‌ای (R, L) پارامترهای تجزیه Krogager را محاسبه می‌کنیم. از آنجایی که سه پارامتر تجزیه Krogager ( $K_H$  و  $K_D$ ،  $K_S$ ) Roll-invariant هستند یعنی نسبت به چرخش حول خط دید رادار مستقل می‌باشند این پارامترها را می‌توان بر مبنای توابع Huynen بیان کرد که با توجه به این، تجزیه Krogager می‌تواند به شرح زیر نوشته شود:

$$S_{(HV)} = e^{j\phi} \begin{bmatrix} e^{j\phi_s} K_S + K_D \cos 2\theta + K_H e^{\pm j2\theta} & K_D \sin 2\theta \pm j K_H e^{\pm j2\theta} \\ K_D \sin 2\theta \pm j K_H e^{\pm j2\theta} & e^{j\phi_s} K_S - K_D \cos 2\theta - K_H e^{\pm j2\theta} \end{bmatrix} \quad (8)$$

<sup>1</sup> Master image

<sup>2</sup> Resolution Cell

که در آن:

$$\Lambda_1 = \lambda_1 \left[ \frac{(\mu - 1 + \sqrt{\Delta})^2}{(\mu - 1 + \sqrt{\Delta})^2 + 4|\rho|^2} \right]$$

$$\alpha = \frac{2\rho}{\mu - 1 + \sqrt{\Delta}}$$

$$\Lambda_2 = \lambda_2 \left[ \frac{(\mu - 1 - \sqrt{\Delta})^2}{(\mu - 1 - \sqrt{\Delta})^2 + 4|\rho|^2} \right] \quad (14)$$

$$\beta = \frac{2\rho}{\mu - 1 - \sqrt{\Delta}}$$

$$\Lambda_3 = \lambda_3$$

در نتیجه، تجزیه Van Zyl نشان می‌دهد که دو بردار ویژه اول، ماتریس‌های پراکنش معادل را ارائه می‌دهند که می‌توانند بر حسب تعداد بازتاب‌های زوج و فرد تفسیر شوند. منظور از بازتاب‌های فرد، پراکنشی است که در اثر برخورد امواج با سطوحی مثل آب، زمین-های بایر و سطوح صاف ایجاد می‌شود و منظور از بازتاب‌های زوج، پراکنش از سطوح عمود بر هم با ثابت دی الکتریک متفاوت است مانند گوشه ساختمان.

**تجزیه Freeman-Durden:** تجزیه Freeman-Durden ماتریس کوواریانس را به‌عنوان توزیعی از سه مکانیسم پراکنش مدل می‌کند که در آن از هیچ‌گونه داده‌های واقعیت زمینی استفاده نشده است [۳۴]. پراکنش حجمی (مانند پراکنش از پوشش‌های گیاهی) پراکنشی است که به‌صورت مجموعه‌ای از دو قطبی‌های در هم ریخته مدل می‌گردد. پراکنش Double-bounce که بوسیله یک رفلکتور گوشه‌ای دو سطحی با ثابت دی الکتریک متفاوت مدل می‌شود. پراکنش سطحی یا Single-bounce که توسط یک پراکنش‌کننده سطحی براگ مرتبه اول مدل می‌شود. این مدل پراکنش ترکیبی برای توصیف بازپراکنش پلاریمتری از پراکنش‌کننده‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۶].

**تجزیه Yamaguchi:** بر اساس مدل Freeman-Durden روش تجزیه هدف دیگری توسط Yamaguchi مطرح شده است [۳۵]. همانطور که قبلاً مطرح شد، در تجزیه Freeman شرط تقارن انعکاسی اعمال می‌شود که در همه موارد صادق نیست. بنابراین، Yamaguchi مدلی ارائه کرد که در آن شرط تقارن انعکاس در نظر گرفته نمی‌شود. یعنی:  $\langle S_{HH} S_{HV}^* \rangle \neq 0$  و  $\langle S_{HV} S_{VV}^* \rangle \neq 0$  است [۳۵]. در این مدل ماتریس کوواریانس به چهار مکانیسم پراکنش تجزیه می‌گردد. مؤلفه چهارمی که به مدل Freeman اضافه می‌گردد، پراکنش ماریچ است. این ترم قدرت پراکنش ماریچ در مناطق

$$\alpha = S_{HH} S_{HH}^* \quad \rho = \frac{S_{HH} S_{VV}^*}{S_{HH} S_{HH}^*}$$

پارامترهای  $\alpha$ ،  $\rho$ ،  $\eta$  و  $\mu$  همه به اندازه، شکل، و خواص الکتریکی پراکنش‌کننده‌ها و همچنین به توزیع آماری زاویه‌شان بستگی دارند. در چنین حالتی مقادیر ویژه متناظر بصورت رابطه (۱۱) خواهند بود [۳۳]:

$$\lambda_1 = \frac{\alpha}{2} \left\{ 1 + \mu + \sqrt{(1 - \mu)^2 + 4|\rho|^2} \right\}$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha}{2} \left\{ 1 + \mu - \sqrt{(1 - \mu)^2 + 4|\rho|^2} \right\} \quad (11)$$

$$\lambda_3 = \alpha \eta$$

و سه بردار ویژه متناظر به‌صورت زیر هستند:

$$\underline{U}_1 = \begin{bmatrix} \frac{2\rho}{\mu - 1 + \sqrt{\Delta}} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_2 = \begin{bmatrix} \frac{2\rho}{\mu - 1 - \sqrt{\Delta}} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

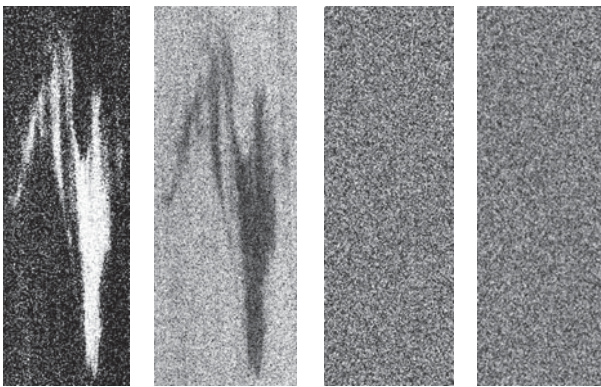
$$\underline{U}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

که در آن،  $\Delta = (1 - \mu)^2 + 4|\rho|^2$  [۲۶]. به‌راحتی می‌توان نشان داد که ماتریس کوواریانس که یک ماتریس هرمیتی است (ماتریسی مربعی که ترانپوز آن با خود ماتریس برابر است) را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\mathbf{C}_3 = \sum_{i=1}^3 \lambda_i \underline{U}_i \cdot \underline{U}_i^{*T}$$

$$= \Lambda_1 \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ \alpha^* & 0 & 1 \end{bmatrix} + \Lambda_2 \begin{bmatrix} |\beta|^2 & 0 & \beta \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta^* & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$+ \Lambda_3 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

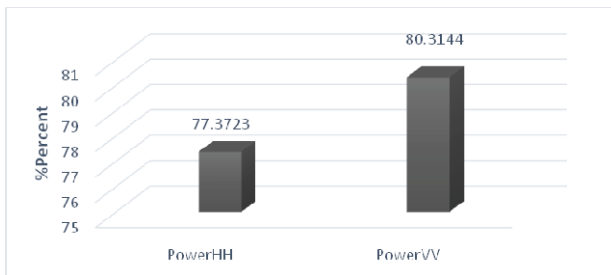


شکل ۳. الف) تصویر مقدار Power پلاریزاسیون HV (ب) تصویر مقدار

Power پلاریزاسیون VH (ج) تصویر مقدار Power پلاریزاسیون HH

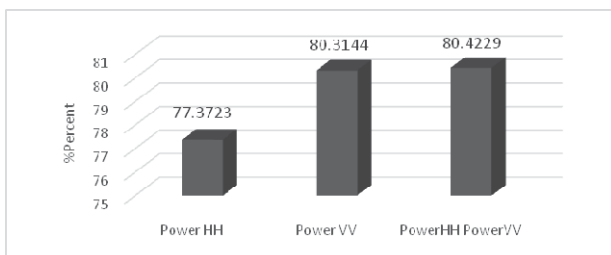
(د) تصویر مقدار Power پلاریزاسیون VV

هدف از ایجاد ترکیبات تکی، مقایسه اثر هر یک از مقادیر Power پلاریزاسیون‌های HH و VV به صورت منفرد است. شکل ۴ نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی ترکیبات تکی را نشان می‌دهد. طبق این بررسی، مقدار Power پلاریزاسیون VV با دقت کلی ۸۰/۳۱۴ درصد نتیجه بهتری ارائه کرده است.



شکل ۴. مقایسه ارزیابی نتایج حاصل از طبقه‌بندی مقادیر Power پلاریزاسیون‌های HH و VV به صورت مجزا

هدف از انتخاب ترکیبات دوتایی، ارزیابی تأثیر ترکیب مقادیر Power پلاریزاسیون‌های HH و VV در کشف آلودگی‌های نفتی می‌باشد. طبق این بررسی مشخص شد که ترکیب مقدار Power دو پلاریزاسیون HH و VV نسبت به استفاده از آن در پلاریزاسیون‌های HH و VV به صورت جداگانه نتیجه بهتری ارائه می‌دهد. نتایج این مقایسه در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۵. مقایسه ارزیابی نتایج حاصل از طبقه‌بندی مقدار Power پلاریزاسیون‌های HH و VV به طور ترکیبی و منفرد

ناهمگون (عوارض با شکل پیچیده یا سازه‌های انسان ساخت) مشاهده می‌شود و تقریباً در هیچ‌یک از بافت‌های طبیعی قابل مشاهده نیست. بنابراین دارای چهار مؤلفه پراکنش حجمی، Double-bounced، سطحی و مارپیچ است. جهت توضیحات بیشتر در مورد این روش‌های تجزیه هدف به [۲۶] مراجعه نمائید.

### ۲-۳-۲. کشف آلودگی نفتی

ابتدا ترکیبات مختلف ویژگی‌های موجود در جدول ۱ انتخاب و توسط روش SVM طبقه‌بندی شدند. پس از ارزیابی، دقت بهترین ترکیب ویژگی‌ها جهت آشکارسازی لکه نفتی مشخص شد. به منظور ارزیابی اثر پیش‌پردازش، بهترین ویژگی‌ها که از مرحله قبل انتخاب شده بودند، هم قبل و هم بعد از انجام فرآیند حذف نویز با روش SVM طبقه‌بندی و نتایج با هم مقایسه شدند. همچنین تصویر بر اساس ویژگی‌های استخراج‌شده از روش‌های تجزیه هدف توسط روش SVM طبقه‌بندی گردید. پس از طبقه‌بندی و ارزیابی دقت نتایج، بهترین ویژگی تجزیه هدف جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی دریا مشخص گردید. به منظور بهبود خروجی نهایی به دست‌آمده از روش طبقه‌بندی عملیات پس‌پردازش با استفاده از عملگرهای مورفولوژی ریاضی بر روی خروجی طبقه‌بندی مربوط به بهترین ویژگی، انجام گرفت.

### ۲-۴-۲. روش ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی، داده‌های واقعیت زمینی به صورت چشمی و با استفاده از رقوم‌سازی دستی از تصویر Power در مد پلاریزاسیون VV تصویر SAR استخراج شد. ارزیابی کمی نتایج به دست‌آمده با مقایسه خروجی الگوریتم با داده‌های واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس ابهام و محاسبه پارامترهای دقت کلی و ضریب کاپا انجام گرفت.

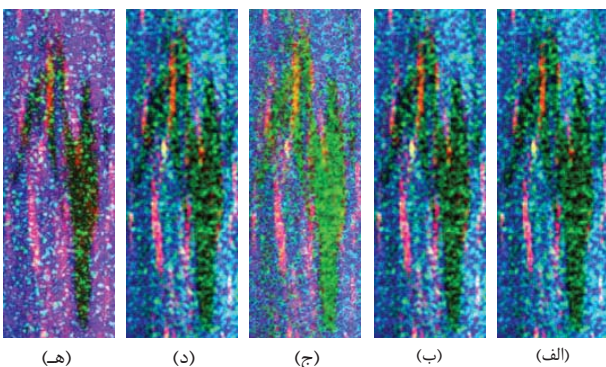
### ۳. نتایج

#### ۳-۱. نتایج حاصل از طبقه‌بندی مقدار Power پلاریزاسیون‌های مختلف

لکه‌های نفتی در پلاریزاسیون‌های ناهمسان HV و VH قابل مشاهده نیستند که در شکل ۳ به وضوح قابل مشاهده بوده و نتایج بسیار پایین حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی این تصاویر نیز تأیید کننده این مطلب می‌باشد. به همین دلیل فقط مقدار Power مدهای پلاریزاسیون HH و VV به صورت جداگانه و ترکیبی، جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی وارد طبقه‌بندی شدند. بدین صورت که از ویژگی‌های موجود در جدول ۱ ترکیبات مختلف شامل ترکیبات تکی: {POWER<sub>VV</sub>}, {POWER<sub>HH</sub>} و ترکیب دوتایی: {POWER<sub>HH</sub>, POWER<sub>VV</sub>} انتخاب و برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

## ۳-۳-۲. نتایج حاصل از طبقه‌بندی ویژگی‌های تجزیه هدف

در این مرحله، ویژگی‌های تجزیه هدف Freeman-Durdan، Yamaguchi سه جزئی، Yamaguchi چهار جزئی، Van Zyl و Krogager استخراج شدند (شکل ۸)، سپس این ویژگی‌ها به‌منظور کشف آلودگی نفتی طبقه‌بندی شدند. برای اخذ ویژگی‌های تجزیه هدف، از نرم‌افزار PolSARpro\_v4.2 استفاده شده است. به‌منظور انجام آنالیز حساسیت نتایج به اندازه پنجره مورد استفاده در هر یک از این روش‌های تجزیه هدف، این ویژگی‌ها در اندازه پنجره‌های  $3 \times 3$ ،  $5 \times 5$ ،  $7 \times 7$  و  $9 \times 9$  محاسبه و برای تعیین بهترین اندازه پنجره، نتایج حاصل با هم مقایسه گردیدند.

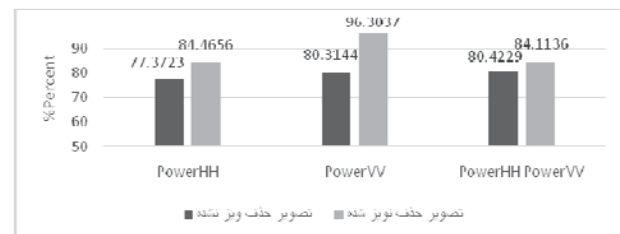


شکل ۸. تصاویر مربوط به روش‌های تجزیه الف) Freeman-Durdan، ب) Yamaguchi سه جزئی (ج) Yamaguchi چهار جزئی (د) Van Zyl و (ه) Krogager

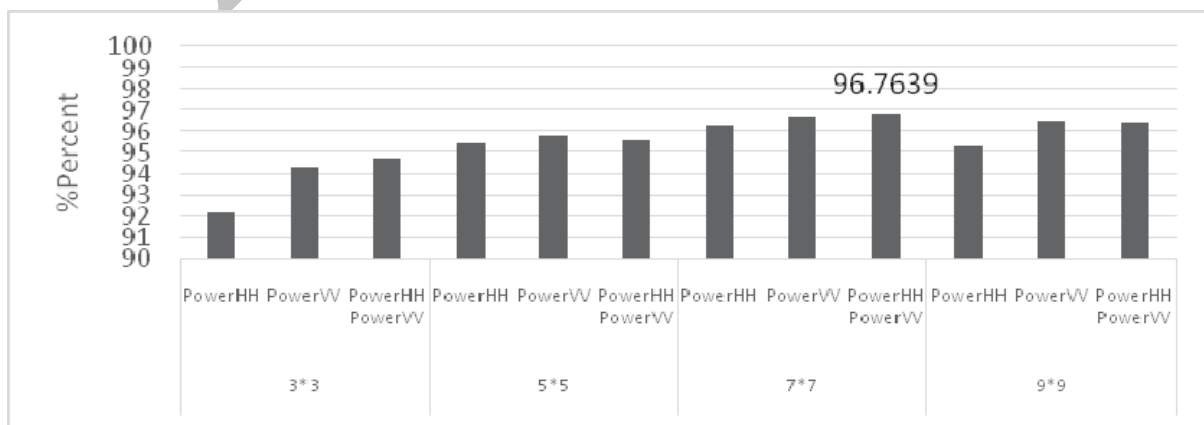
ویژگی‌های استخراج‌شده از روش‌های تجزیه هدف وارد مرحله طبقه‌بندی شده‌اند. شکل ۹ نمایانگر نتایج طبقه‌بندی این روش‌های تجزیه هدف می‌باشد. با توجه به شکل ۹، روش‌های تجزیه هدف Krogager، Yamaguchi سه جزئی، Yamaguchi چهار جزئی و Van Zyl با اندازه پنجره  $7 \times 7$  و روش Freeman-Durdan با اندازه پنجره  $5 \times 5$  نتیجه بهتری را می‌دهند.

با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت که نتیجه کلی به‌دست‌آمده از ترکیب مقادیر Power پلاریزاسیون‌های HH و VV با دقت کلی  $80/422$  درصد بهترین نتیجه را تا دو مرحله از الگوریتم ارائه داده است.

همانطور که قبلاً در بخش ۲-۲-۳ اشاره شده تمامی ترکیبات فوق در دو حالت قبل و بعد از انجام فرآیند حذف نویز انجام شده است. هدف از این کار بررسی تأثیر حضور یا عدم حضور نویز لکه بر نتایج کشف آلودگی نفتی از داده‌های SAR است. برای این منظور از فیلتر Enhanced Lee استفاده شده است. به‌منظور انجام آنالیز حساسیت نتایج حاصل به اندازه پنجره فیلتر مورد استفاده، این فرآیند با اندازه پنجره‌های  $3 \times 3$ ،  $5 \times 5$ ،  $7 \times 7$  و  $9 \times 9$  بر روی تصاویر Power پلاریزاسیون‌های HH و VV اعمال گردید. سپس ترکیبات مختلف این تصاویر، مشابه با آنچه در مرحله قبل ذکر شد، وارد طبقه‌بندی شدند. نتایج حاصل از این ارزیابی در شکل ۶ آورده شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که ترکیب دوتایی مقادیر Power پلاریزاسیون‌های HH و VV با اندازه پنجره  $7 \times 7$  نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد. به‌منظور بررسی اثر حذف نویز بر میزان دقت نتایج به‌دست‌آمده، نتایج بهترین اندازه پنجره حذف نویز ( $7 \times 7$ ) با نتایج قبل از حذف نویز با هم مقایسه شدند که نتایج حاکی از این است که حذف کردن نویز لکه از تصاویر SAR، در این مرحله از الگوریتم تا حد زیادی باعث بهبود نتایج طبقه‌بندی می‌شود. نتایج این مقایسه در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷. مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی دقت تصاویر حذف نویز شده با تصاویر نویزی



شکل ۶. نتایج حاصل از ارزیابی دقت تصاویر حذف نویز شده



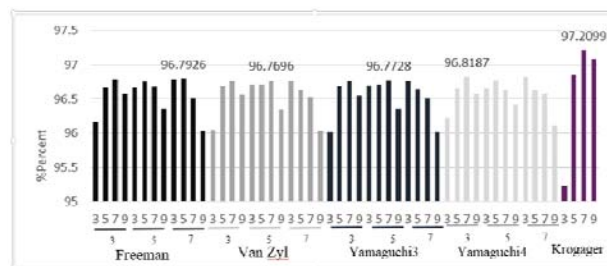
پراکنش‌های سطحی، حجمی، Double-bounce و پراکنش مارپیچ اهداف زمینی را از هم تفکیک نمود. از آنجایی که پراکنش غالب در سطح دریا پراکنش سطحی است و لکه‌های نفتی روی سطح دریا این پراکنش‌ها را کاهش می‌دهد لذا به‌کارگیری این تکنیک جهت کشف آلودگی‌های نفتی مناسب بوده و کمتر مورد توجه محققین بوده است. در پلاریزاسیون‌های ناهمسان HV و VH لکه‌های نفتی قابل مشاهده نیستند. دلیل این امر می‌تواند این باشد که میزان بازپراکنش در پلاریزاسیون‌های ناهمسان زمانی بالا است که پراکنش حجمی اتفاق بیفتد؛ در حالی که بر روی سطح دریا پراکنش غالب، پراکنش سطحی است. بر طبق نتایج این تحقیق، پلاریزاسیون VV برای کشف آلودگی‌های نفتی مناسب‌تر از پلاریزاسیون HH است. به این دلیل که پراکنش بالای سطح دریا در اثر پدیده براگ از امواج مؤثری-ثقلی کوتاه بوده و شدت بازپراکنش در پلاریزاسیون VV نسبت به پلاریزاسیون HH بالاتر است؛ در مطالعات [۳۶] و [۳] نیز این نتیجه تأیید شده است. اعمال حذف نویز در این مرحله باعث بهبود نتایج گردیده و نتیجه کلی به‌دست‌آمده از آنالیز حساسیت اندازه پنجره در مرحله حذف نویز تصاویر Power مدهای پلاریزاسیون HH و VV نشان داد که اندازه پنجره ۷×۷ مناسب است. مناسب‌تر بودن این اندازه پنجره می‌تواند به خاطر سطح نویزی بودن تصویر باشد که خود از میزان موج بودن آب دریا تأثیر می‌پذیرد.

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که ویژگی‌های استخراج‌شده از روش‌های تجزیه هدف در بدترین حالت نیز دقت کلی بالای ۹۶ درصد ارائه می‌دهند. این امر مؤید این مطلب است که این ویژگی‌ها به‌منظور کشف آلودگی‌های نفتی مناسب می‌باشند. به‌طور کلی ویژگی‌های استخراج‌شده از تجزیه هدف Krogager بهترین نتیجه را ارائه کرده است. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز اندازه پنجره مورد استفاده در روش‌های تجزیه هدف نشان داد که اندازه پنجره ۷×۷ برای همه روش‌های تجزیه هدف به‌جز روش Freeman-Duridan بهترین انتخاب است. در مورد روش تجزیه هدف Freeman-Duridan اندازه پنجره ۵×۵ مناسب شناخته شده است.

## ۵. نتیجه‌گیری

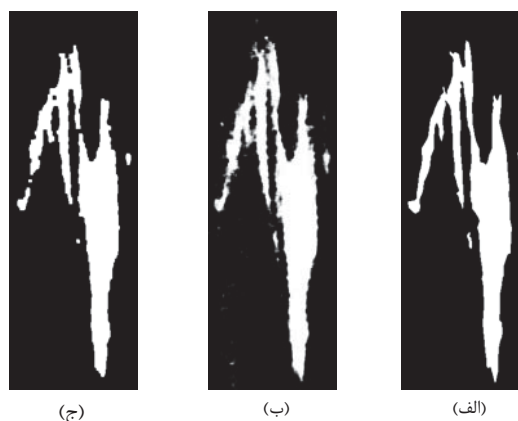
در این تحقیق روشی برای تعیین دقیق مرز آلودگی‌های نفتی دریاها در تصاویر پلاریمتری SAR ارائه شده است. در این راستا از تئوری تجزیه هدف بهره گرفته شده است. روش‌های تجزیه هدف Freeman-Duridan، Yamaguchi سه‌جزئی، Yamaguchi چهار جزئی، Van Zyl و Krogager مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌طور کلی ویژگی‌های استخراج‌شده از روش‌های تجزیه هدف با ارائه دقت کلی

در کل، تجزیه هدف Krogager با اندازه ۷×۷ و دقت کلی ۹۷/۲ درصد، بهترین نتیجه را جهت کشف لکه نفتی داشته است. ارزیابی آنالیز حساسیت اندازه پنجره فیلتر حذف نویز برای روش‌های تجزیه هدف ناهمدوس نشان داد که فیلتر با اندازه پنجره ۵×۵ برای روش‌های Yamaguchi سه جزئی و Van Zyl، اندازه پنجره ۳×۳ برای Yamaguchi چهار جزئی و اندازه پنجره ۷×۷ برای روش Freeman-Duridan مناسب هستند.



شکل ۹. نتایج طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از روش‌های تجزیه

عملیات پس‌پردازش با استفاده از عملگرهای مورفولوژی انسداد و گشایش با اندازه پنجره ۵×۵ بر روی تصویر خروجی طبقه‌بندی تجزیه Krogager (که بهترین نتیجه را ارائه کرده) اجرا گردید (شکل ۱۰). اجرای پس‌پردازش باعث افزایش دقت کلی از ۹۷/۲ درصد به ۹۷/۳ درصد گردید.



شکل ۱۰. تصاویر (الف) داده واقعیت زمینی (ب) خروجی طبقه‌بندی Krogager (ج) تصویر پس‌پردازش خروجی طبقه‌بندی Krogager

## ۴. بحث

در این تحقیق قابلیت داده‌های کاملاً پلاریمتری SAR برای کشف آلودگی‌های نفتی دریاها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از چند روش تجزیه هدف استفاده شده و قابلیت‌های آنها با هم مقایسه شده است. با استفاده از روش‌های تجزیه هدف می‌توان

- [10] A. H. S. Solberg, G. Stovik, R. Solberg, E. Volden, Jul. "Automatic detection of oil spills in ERS SAR images", Transactions. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 37, No. 4, pp. 1916-1924, 1999.
- [11] M. Marghany, "Radarsat automatic algorithms for detecting oil spill pollution", Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 3, No 2, pp. 191-196, 2001.
- [12] K. Topouzelis, V. Karathanassi, P. Pavlakis, D. Rokos, "Detection and discrimination between oil spills and look-alike phenomena through neural networks". ISPRS J. Photogram. Remote Sens., Vol. 62, pp. 264-270, 2007.
- [13] C. Brekke, A. Solberg, "Classifiers and confidence estimation for oil spill detection in ENVISAT ASAR images", IEEE Geoscience and Remote Sensing Lett, Vol. 5, No. 1, pp. 65-69, 2008.
- [14] M. Migliaccio, F. Nunziata, A. Gambardella, "On the copolarised phase difference for oil spill observation", Int. J. Remote Sensing, Vol. 30, No. 6, pp. 1587-1602, 2009.
- [15] D. Velotto, M. Migliaccio, F. Nunziata, S. Lehner, "Oil-slick observation using single look complex TerraSAR-X dual-polarized data", in Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 3684-3687, 2010.
- [16] C.E. Jones, B. Minchew, B. Holt, "Polarimetric decomposition analysis of the Deepwater Horizon oil slick Using L-band UAVSAR data". IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, pp. 2278 - 2281, 2011.
- [17] A. H. S. Solberg, "Remote Sensing of Ocean Oil-spill pollution", Vol. 100, No. 10, pp. 2931- 2945, 2012.
- [18] B. Zhang, W. Perrie, X. Li, et al., "Mapping sea surface oil slicks using RADARSAT-2 quad-polarization SAR image". Geophysical Research Letters, Vol. 38, No. 10, 2011.
- [19] A. A. Matkan, M. Hajeb, Z. Azarakhsh, "Oil spill detection from SAR image using SVM based classification", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, SMPR, Vol. XL-1/W3, pp. 55-60, 2013.
- [20] Z. Azarakhsh, "Sea oil spill detection using SAR images"; Msc thesis, Shahid Beheshti Univ, 2014. [In Persian].
- [21] EORC/JAXA website, "Detection of oil spill caused by a sunken tanker by using PALSAR", available at: [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/). Accessed 3 March 2011.
- [22] Y. Maghsoudi, "Analysis of Radarsat-2 Full Polarimetric Data for Forest Mapping"; Ph.D. thesis, Department of Geomatics Calgary, Alberta, 2011.
- [23] R. Touzi, "Target scattering decomposition of one-look and multi-look SAR data using a new coherent scattering model" the tsvm. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, Anchorage, AK, pp. 2491-2494, 2004.
- [24] C. Lopez-Martinez, E. Pottier, S. Cloude, "Statistical assessment of eigenvector based target decomposition theorems in radar polarimetry", IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 43, No. 9, pp. 2058-2074, 2005.

بالای ۹۶ درصد گزینه بسیار مناسبی برای کاربرد در الگوریتم‌های استخراج آلودگی‌های نفتی دریاها از داده‌های SAR می‌باشند. از بین روش‌های مورد استفاده در این مطالعه، روش تجزیه هدف Krogager بالاترین نتیجه را ارائه کرده است. با توجه به اینکه تئوری تجزیه هدف، محصول داده‌های SAR با پلاریزاسیون کامل است می‌توان استنتاج کرد که این داده‌ها گزینه بسیار مناسبی برای کشف آلودگی‌های نفتی دریاها هستند. از آنجایی که هدف از تحقیق ما بررسی روش‌های تجزیه هدف جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی در سطح دریا است لذا انتظار می‌رود که بهترین ویژگی تعیین‌شده، در مناطق دیگر نیز قابل تعمیم باشد. باید به این مسئله مهم نیز اشاره کنیم که ما فقط یک دیتاست در اختیار داشتیم و امکان این‌که بتوانیم با استفاده از داده‌های کاملاً پلاریمتری دیگر مانند داده‌های RADARSAT2 این ویژگی‌ها را بررسی کنیم برای ما مقدور نبوده است.

## ۶. مراجع

- [1] C. Brown, M. Fingas, R. Hawkins, "Synthetic Aperture Radar Sensors: Viable for Marine Oil Spill Response", In Proc. 26th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technology Seminar. Victoria, Canada, June 10-12, pp. 299-310, 2003.
- [2] C. Brekke, A. Solberg, "Oil spill detection by satellite remote sensing", Remote Sensing of Environment, Vol. 95, No. 1, pp. 1- 13, 2005.
- [3] Fortuny-Guasch, "Improved Oil Slick Detection and Classification with Polarimetric SAR", in Proc. POLin-SAR, Frascati, Italy. pp. 27.1, 2003.
- [4] B. Holt, "SAR imaging of the ocean surface. In C. R. Jackson, & J. R. Apel (Eds.)", Synthetic aperture radar (SAR) marine user manual. Washington DC: NOAA NESDIS Office of Research and Applications. pp. 25-79, 2004.
- [5] M. Migliaccio, A. Gambardella, M. Tranfaglia, "SAR polarimetry to observe oil spills ", IEEE Transactions. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 45 No. 2, pp. 506-511, 2007.
- [6] M. Fingas, C. E. Brown, "Oil spill remote sensing: A review". Oil spill science and technology. Gulf Professional Publishing, Boston, pp. 111-169, 2011.
- [7] K. Topouzelis, "Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms", Sensors, No 8, 2008.
- [8] M. Migliaccio, A. Gambardella, G. Giacinto, A. Montali, "One-class classification for oil spill detection", Pattern Anal Applic, Vol.13, No 3, 2010.
- [9] A. A. Matkan, M. Hajeb, Z. Azarakhsh, "Introduction and evaluation of the most important methods for oil spill detection using SAR images". 20th National Conference on Geomatics, 29 April to 1 May 2013, National cartographic center of Iran. Tehran [In Persian].

- [32] E. Krogager, "A new decomposition of the radar target scattering matrix, *Electronics Letter*", Vol. 26, No. 18, pp. 1525–1526, 1990.
- [33] J.J. Van Zyl, "Application of Cloude's target decomposition theorem to polarimetric imaging radar data", in *Proc. Of the SPIE Conference on Radar Polarimetry*, San Diego, CA, Vol. 1748, pp. 184–212. 1992.
- [34] A. Freeman, S.L. Durden, "A three-component scattering model for polarimetric SAR data", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 36, No.3, pp. 963–973, 1998.
- [35] Y. Yamaguchi, T. Moriyama, M. Ishido, H. Yamada, "Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition", *IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing*, Vol. 43, No. 8, 2005.
- [36] F. Girard-Ardhuin, G. Mercier, R. Garello, "Oil slick detection by SAR imagery: potential and limitation", *Proc. OCEANS 2003*, Vol. 1, pp. 164–169, 2003.
- [25] R. Touzi, "Speckle effect on polarimetric target scattering decomposition of SAR imagery", *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 1, pp. 60–68, 2007.
- [26] J.S. Lee, E. Pottier, "Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications"; *CRC Press, Boca Raton*, 2009.
- [27] G. Sinclair, Feb., "The Transmission and Reception of Elliptically Polarized Waves", *Processing, IRE*, vol. 38, pp. 148-151, 1950.
- [28] J. J. Van Zyl, H. A. Zebker, C. Elachi, , "Imaging Radar Polarization Signatures: Theory and Observation, *Rasio Science*", Vol.22, No. 4, pp. 529-543, 1987.
- [29] S.R. Cloude, "Group theory and polarization algebra", *OPTIK*, Vol. 75, No. 1, pp. 26–36, 1986.
- [30] C. M. H. Unal, and L. P. Ligthart, "Decomposition theorems applied to random and stationary radar targets", *Progress in Electromagnetics Research, PIER*, Vol.18, pp. 45–66, 1998.
- [31] [31] Cloude, S.R., Pottier, E., "A review of target decomposition theorems in radar polarimetry", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 34, No.2, pp. 498–518, 1996.

Archive of SID