

# آشکارسازی مناطق تیره از تصاویر پلاریمتری راداری با استفاده از داده‌های شدت و درجه

## پلاریزاسیون به منظور پایش آلودگی‌های نفتی دریایی

فاطمه ذاکری<sup>۱</sup>، اسماعیل یزدانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری عمران-سنجش از دور، دانشگاه تهران، fatemeh.zakeri@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، yazdani.esm@gmail.com

### چکیده

شناسایی لکه‌های نفتی از اهمیت اقتصادی و محیطی بالایی برخوردار است که در جهت حفظ محیط‌زیست نقش بسزایی دارد. پایش لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر راداری، به دلیل ویژگی‌های این تصاویر مانند اخذ داده در تمامی ساعات شبانه‌روز و تأثیرپذیری کم‌تر از اتمسفر، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. پایش این آلودگی‌ها در تصاویر راداری سه مرحله دارد که مرحله اول آن شناسایی مناطق تیره است. دقت مرحله اول بر دیگر مراحل تأثیرگذار است. هدف اصلی این مقاله شناسایی مناطق تیره در تصاویر راداری است. در این مقاله از درجه پلاریزاسیون به عنوان اطلاعات پلاریمتری در کنار داده‌های شدت، به منظور شناسایی مناطق تیره استفاده شده است. در روش ارائه شده ابتدا، یک قطعه‌بندی ساده بر روی داده‌های شدت مانند روش Otsu انجام می‌شود. پیکسل‌های با شدت پایین‌تر از حد آستانه، به عنوان پیکسل‌های بالقوه نقاط تیره در نظر گرفته می‌شوند و پیکسل‌های دیگر به عنوان نقاط بالقوه پس‌زمینه. سپس، درجه پلاریزاسیون پیکسل‌های بالقوه تیره تخمین زده می‌شود. پیکسل‌هایی که درجه پلاریزاسیون آن‌ها از یک حد آستانه‌ای کم‌تر باشد به عنوان مناطق تیره در نظر گرفته می‌شود. انتخاب حد آستانه یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل است. به منظور انتخاب حد آستانه مناسب، روشی ارائه شده است که بر پایه درجه پلاریزاسیون پیکسل‌های بالقوه نقاط تیره است. در نهایت هم یک حد آستانه بر اساس مساحت اعمال می‌شود تا خطاهای اشتباه حذف شود. روش ارائه شده بر روی داده‌های UAVSAR که از آلودگی نفتی خلیج مکزیک اخذ شده است پیاده‌سازی گردید. الگوریتم پیشنهادی، در مقایسه با روش‌های Otsu، K-means و GrowCut نتایج بهتری به دست آورده است. به عنوان مثال میانگین مربعات خطا ۶۴٪، دقت کلی ۱۷٪ و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی ۳۷٪ بهبود یافته است.

کلمات کلیدی: لکه‌های نفتی، آشکارسازی نقاط تیره، آستانه گذاری شدت، درجه پلاریزاسیون، داده‌های پلاریمتری رادار

### ۱- مقدمه:

آلودگی‌های نفتی دریایی ناشی از ترشحات کشتی‌ها و نشتی سکوها نفتی، یک تهدید عمده برای اکوسیستم‌های دریایی و ساحلی است. نظارت، تشخیص و هشدار سریع برای جلوگیری از خطرات زیاد ناشی از آلودگی‌های نفتی و تأثیرات نامطلوب آن بر روی اکوسیستم ضروری است. فن‌آوری سنجش‌ازدور کمک شایانی در شناسایی زود هنگام مکان‌های بالقوه آلودگی‌های نفتی کرده است. سیستم‌های تصویربرداری راداری به دلیل تأثیرپذیری کم‌تر از ابر و توانایی اخذ تصویر در تمامی ساعات شبانه‌روز نسبت به تصاویر مرئی در کشف آلودگی‌های نفتی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Brekke and Solberg 2005).

آلودگی‌های نفتی میزان موج بازگشتی به سنجنده را کاهش داده و همین امر باعث می‌شود که این آلودگی‌ها به صورت نواحی تیره‌تر نسبت به محیط اطراف نمایش داده شوند (Brekke and Solberg 2005). اما همه نواحی تیره آلودگی‌های نفتی نیستند به عنوان مثال مناطق با وزش باد کم، یخ‌ها، مناطق بارانی و غیره نیز نواحی تیره بر روی تصاویر

ایجاد می‌کنند. بعلاوه مناطق آلوده تنها در محدوده خاصی از سرعت باد (بین ۲-۳ متر بر ثانیه تا ۱۰-۱۴ متر بر ثانیه) قابل تشخیص هستند (Girard-Ardhuin, Mercier et al. 2005).

شناسایی و تشخیص مناطق آلوده به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌شود: (۱) تشخیص نقاط تیره، (۲) استخراج ویژگی‌ها از نقاط تیره آشکار شده و (۳) طبقه‌بندی نقاط تیره (Brekke and Solberg 2005). این مراحل می‌تواند به صورت دستی و یا اتوماتیک انجام شود. در تشخیص دستی، یک اپراتور ماهر باید در کل تصویر نقاط مشابه به لکه‌های نفتی را جستجو کند و تشخیص بدهد که این نقاط لکه‌های نفتی هستند یا نقاط مشابه نفتی هستند. تشخیص دستی نقاط نفتی زمان‌بر است و همچنین صحت و دقت نقاط تشخیص داده شده به مهارت اپراتور وابسته است، در نتیجه اخیراً مطالعاتی در زمینه ارائه روشی اتوماتیک و قابل اطمینان برای استخراج نقاط نفتی انجام شده است (Nirchio, Sorgente et al. 2005), (Karathanassi, Topouzelis et al. 2006), (Keramitsoglou, Cartalis et al. 2006) و (Solberg, Brekke et al. 2007). با وجود مطالعات انجام شده هنوز هر یک از این مراحل احتیاج به مطالعات بیشتر برای حل مشکلات موجود، دارند.

مطالعه انجام شده در این مقاله بر روی مرحله اول یعنی تشخیص نقاط تیره تأکید دارد، زیرا این مرحله قبل از مراحل استخراج ویژگی و طبقه‌بندی است و دقت نهایی کار به دقت این مرحله وابسته است و تا زمانی که نقاط تیره به درستی تشخیص داده نشوند، نقاط نفتی نمی‌توانند به درستی شناسایی شوند. از طرفی تشخیص نقاط تیره در تصویر یک مرحله زمان‌بر است و ارائه یک روش کارآمد و اتوماتیک برای یک سیستم تشخیص نقاط نفتی ضروری به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. روش آستانه گذاری یک روش متداول در این مرحله است. به عنوان مثال در (Nirchio, Sorgente et al. 2005)، حد آستانه برابر تفاوت normalized radar cross section (NRCS) از انحراف معیار تصاویر راداری در نظر گرفته شده است. یا در روش آستانه گذاری انطباقی، حد آستانه به صورت محلی در پنجره متحرک تعیین می‌شود (Solberg, Brekke et al. 2007). روش‌های دیگری مانند استفاده از تبدیل‌های چند مقیاسی (Liu, Peng et al. 1997)، روش‌های مبتنی بر قطعه‌بندی (Karathanassi, Topouzelis et al. 2006) و شبکه عصبی (Topouzelis, Karathanassi et al. 2008) از دیگر روش‌های معرفی شده در دهه‌های اخیر هستند.

روش‌های ذکر شده نواحی تیره را بر اساس ویژگی شدت استخراج می‌کنند، زیرا شدت در نواحی تیره کم‌تر از نواحی روشن است، اما دو مشکل اساسی در این روش وجود دارد: (۱) تصاویر راداری شامل نویز لکه می‌باشند، در نتیجه مقادیر شدت تغییرات زیادی حتی در یک منطقه همگن دارد (Oliver and Quegan 2004). (۲) تضاد بین نقاط تیره و پس‌زمینه بر اساس حالت دریا، نوع نفت، توان تفکیک مکانی و زاویه فرود<sup>۱</sup> متغیر است (Topouzelis 2008). این مشکلات رسیدن به یک راه حل جامع و سریع را دچار مشکل می‌کند.

در شرایط سرعت باد کم تا متوسط سطح آب بدون آلودگی، پراکنش Bragg دارد؛ در حالی که در صورت وجود آلودگی مکانیسم پراکنش non-Bragg جایگزین می‌شود. ثابت شده است که این تفاوت را می‌توان بر اساس ویژگی‌های پلاریمتری مانند میزان انرژی بازگشتی غیرپلاریزه و همبستگی بین کانال‌های هم‌پلاریز<sup>۲</sup> نشان داد (Migliaccio, Gambardella et al. 2007)، (Nunziata, Migliaccio et al. 2011) و (Velotto, Migliaccio et al. 2011). هدف این مطالعه ارائه روشی سریع و اتوماتیک برای استخراج نواحی تیره از تصاویر راداری بر اساس خواص شدت و خواص پلاریمتری داده‌های پلاریمتری رادار است. روش ارائه شده مبتنی بر دو مرحله کلی است: مرحله اول طبقه‌بندی بر اساس ویژگی شدت و مرحله دوم بر اساس ویژگی درجه پلاریزاسیون داده‌های راداری است. داده‌های مور استفاده در این تحقیق داده‌های کامل پلاریز سنجنده UAVSAR از خلیج مکزیک در سال ۲۰۱۰ است. هدف این تحقیق تنها استخراج عوارض تیره است و هیچ داده کمکی مبنی بر وجود و یا عدم وجود لکه‌های نفتی در دسترس نبود.

<sup>1</sup> incident angle

<sup>2</sup> co-polarized

در ادامه پس از مقدمه در بخش ۲ به مباحث تئوری و مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود. در بخش ۳، روش پیشنهادی و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتها بخش ۴ با عنوان نتیجه‌گیری پایان‌بخش مقاله خواهد بود.

## ۲- مواد و روش‌ها:

### ۲-۱- اصول نظری:

درجه پلاریزاسیون به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای موج الکترومغناطیس نیمه پلاریز است که نسبت انرژی قسمت پلاریز را به‌کل انرژی موج نشان می‌دهد. برای حالت کاملاً پلاریمتری و تحت شرایط scattering reciprocity، Baraket DoP به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{DoP}_B = \left[ 1 - 27 \frac{[\Gamma_3]}{(\text{tr} \Gamma_3)^3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

که  $\Gamma_3$  ماتریس کوواریانس  $3 \times 3$  است (Shirvany, Chabert et al. 2012).

یکی از راه‌های نمایش و استفاده داده‌های پلاریمتری استفاده از بردار Stokes ورودی (Si) و scatter شده (Ss) است (Van Zyl, Papas et al. 1987).

$$S^s = (kr)^{-2} M S^i \quad (2)$$

که  $M$  ماتریس Mueller با ابعاد  $4 \times 4$  است (معادله (۳)).  $k$  عدد موج و  $r$  فاصله است.

$$M = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ -M_{14} & -M_{24} & -M_{34} & M_{44} \end{pmatrix} \quad (3)$$

درایه‌های ماتریس Mueller عبارت‌اند از (Migliaccio, Nunziata et al. 2009):

$$\begin{aligned} M_{11} &= \frac{1}{2} \langle S_{hh}^2 + 2S_{hv}^2 + S_{vv}^2 \rangle & M_{22} &= \frac{1}{2} \langle S_{hh}^2 - 2S_{hv}^2 + S_{vv}^2 \rangle \\ M_{33} &= \langle R(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{vv}^* + S_{hv}^2) \rangle & M_{44} &= \langle R(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{vv}^* - S_{hv}^2) \rangle \\ M_{21} &= M_{12} = \frac{1}{2} \langle S_{hh}^2 - S_{vv}^2 \rangle & M_{13} &= M_{31} = \langle R(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{hv}^* + \dot{S}_{hv}\dot{S}_{vv}^*) \rangle \\ M_{14} &= -M_{41} = \langle E(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{hv}^* + \dot{S}_{hv}\dot{S}_{vv}^*) \rangle & M_{23} &= M_{32} = \langle R(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{hv}^* - \dot{S}_{hv}\dot{S}_{vv}^*) \rangle \\ M_{24} &= -M_{42} = \langle E(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{hv}^* - \dot{S}_{hv}\dot{S}_{vv}^*) \rangle & M_{34} &= -M_{43} = \langle E(\dot{S}_{hh}\dot{S}_{vv}^* - S_{hv}^2) \rangle \end{aligned}$$

که  $\dot{S}_{pq}$  دامنه پراکنش مختلط  $\{p, q\} = \{h, v\}$  است.  $R$  و  $E$  نشان‌دهنده قسمت حقیقی و موهومی است.  $\langle . \rangle$  و  $*$  نیز به ترتیب نشان‌دهنده میانگین و مزدوج مختلط است.

تعریف DoP از یک ماتریس معین مثبت مرتبط با  $M$  آغاز می‌شود (Gil 2007):

$$E = \frac{1}{4} \sum_{i,j=1}^4 M_{ij} G_{ij} \quad (4)$$

که  $G_{ij}$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G_{ij} = \sigma_i \otimes \sigma_j \quad (i,j=1,2,3,4) \quad (5)$$

که  $\sigma_1$  ماتریس واحد  $2 \times 2$  و  $\sigma_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) ماتریس‌های Pauli هستند. DoP از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Gil 2007):

$$\text{DoP} = \left| \frac{1}{3} \left( \frac{4(\text{Tr}(E^2))}{(\text{Tr}(E))^2} - 1 \right) \right|^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

که  $\text{Tr}(\cdot)$  معرف تریس است.

می‌توان درجه پلاریزاسیون را به صورت فرمولی از درایه‌های ماتریس  $M$  تعریف کرد بدین منظور داریم:

$$\|E\|_2 \equiv [\text{Tr}(E^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\|M\|_2 \equiv [\text{Tr}(M^T M)]^{\frac{1}{2}}$$

طبق (Gil 2007) داریم:

$$\|E\|_0 \equiv \text{Tr}(E) \quad (8)$$

می‌توان نشان داد که (Gil 2007):

$$\|E\|_2^2 = \frac{1}{4} \|M\|_2^2 \quad (9)$$

$$\|E\|_0 = M_{11} \quad (10)$$

و

$$\frac{1}{4} \|E\|_0^2 \leq \|E\|_2^2 \leq \|E\|_0^2 \quad (11)$$

معادله (۱۱) نشان می‌دهد که  $\|E\|_2^2$  محدود است. وقتی  $\|E\|_2^2 = \frac{1}{4} \|E\|_0^2$  آنگاه  $E$  تنها یک مقدار ویژه غیر صفر دارد که شرط لازم و کافی است برای این که  $E$  مرتبط بشود به ماتریس Mueller موج کامل پلاریز (Gil 2007)، و زمانی که  $\|E\|_2^2 = \|E\|_0^2$ ،  $E$  چهار مقدار ویژه دارد در نتیجه ماتریس Mueller موج غیر پلاریز را نشان می‌دهد (Gil 2007). در نهایت درجه پلاریزاسیون نیز بر اساس درایه‌های ماتریس Mueller به فرم زیر تعریف می‌شود (Gil 2007):

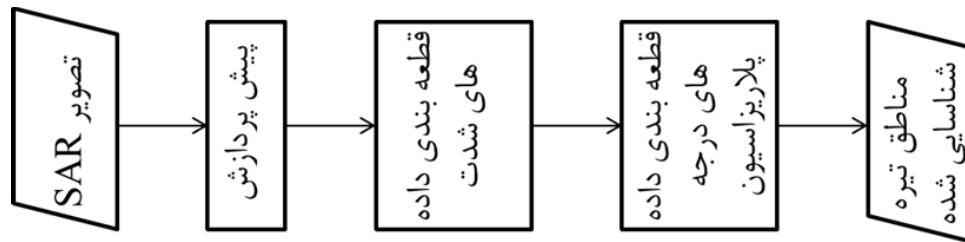
$$\text{DoP}_M = \sqrt{\frac{1}{3} \left( \frac{\text{Tr}(M^T M)}{M_{11}^2} - 1 \right)} \quad (12)$$

وقتی که دریا بدون آلودگی باشد، سطح دریا دارای پراکنش Bragg است که دارای پلاریزاسیون بالا است. در نتیجه انتظار می‌رود DoP نزدیک ۱ باشد (Migliaccio, Nunziata et al. 2009). وقتی نفت بر روی سطح دریا موجود باشد مکانیسم پراکنش non-Bragg رخ می‌دهد که دارای پلاریزاسیون پایین است. در نتیجه انتظار می‌رود DoP نزدیک ۰ باشد (Migliaccio, Nunziata et al. 2009). از همین ویژگی در کشف نقاط تیره مربوط به آلودگی‌های نفتی استفاده شده است که در ادامه تشریح می‌شود.

## ۲-۲ روش ارائه شده:

شکل ۱ الگوریتم کلی روش ارائه شده را نشان می‌دهد که دارای دو گام اصلی است. در مرحله اول، توجه بر روی داده شدت است و با انجام یک قطعه‌بندی بر روی آن پیکسل‌های بالقوه تیره شناسایی می‌شوند. این پیکسل‌ها وارد مرحله دوم می‌شوند و بعد از محاسبه درجه پلاریزاسیون و تخمین حد آستانه آن، پیکسل‌هایی که درجه پلاریزاسیون آن‌ها کم‌تر از حد آستانه مورد نظر است به عنوان مناطق تیره معرفی می‌شوند. در ادامه به تشریح کلیه مراحل پرداخته می‌شود. ابتدا، برای کم کردن اثر نویز لکه در آستانه گذاری تصویر شدت، فیلتر  $3 \times 3$  گوسین با انحراف معیار  $0.5$  برای نرم کردن تصویر شدت به کار می‌رود. سپس هیستوگرام تصویر شدت، توسط تبدیل خطی piecewise به منظور افزایش کنتراست بین مناطق تیره و پس زمینه تنظیم می‌شود به طوری که ۱٪ از تمام پیکسل‌ها به کم‌ترین و بیش‌ترین شدت تعلق می‌گیرند. مابقی مقادیر پیکسل‌ها نیز بین کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شدت توسط یک تبدیل خطی پخش می‌شوند.

سپس در گام دوم، به منظور پیدا کردن حد آستانه برای تصویر شدت که نسبت واریانس بین کلاسی را به واریانس درون کلاسی را بیشینه کند، به دلیل سادگی و کارآمدی از روش (Otsu 1975) استفاده شده است. پیکسل‌هایی که زیر حد آستانه هستند به عنوان مناطق تیره در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۱. الگوریتم کلی مدل ارائه شده

نقاطی که از مرحله قبلی به عنوان مناطق تیره در نظر گرفته شده‌اند وارد مرحله سوم می‌شوند. تصاویر راداری پلاریمتری توسط یک پنجره متحرک میانگین‌گیری  $7 \times 7$  برای محاسبه DoP پردازش می‌شوند. در مطالعات قبلی حد آستانه معرفی شده برای استخراج مناطق نفتی ۰/۴۵ معرفی شده است (Nunziata, Gambardella et al. 2013). اما این حد آستانه در حالت‌های مختلف دریا و انواع لکه‌ها متغیر است. در نتیجه در این مطالعه یک روش تطبیقی ارائه شد. به این صورت که نقاط استخراجی از مرحله حد آستانه‌گذاری قسمت اول به عنوان ماسک بر تصویر اعمال شده و میانگین درجه پلاریزاسیون آن‌ها به عنوان حد آستانه بر تصاویر درجه پلاریزاسیون اعمال می‌شود. این روش در عین سادگی بسیار کارآمد است و می‌تواند حد آستانه را با توجه به شرایط مختلف تصویر و تصویربرداری تغییر دهد.

و در مرحله آخر، تصویر خروجی از مراحل قبلی وارد مرحله پس پردازش می‌شود به طوری که مناطقی با مساحت کمتر از حد آستانه ۱۰۰ به عنوان اشتباه حذف می‌شوند. به عبارتی دیگر تنها مناطقی بالاتر از حد آستانه معرفی شده به عنوان مناطق محتمل در نظر گرفته می‌شوند. تک پیکسل‌های روشن درون مناطق تیره نیز که حاصل از خطاهای محتمل هستند به عنوان مناطق تیره در نظر گرفته می‌شوند.

### ۳- ارزیابی و نتایج:

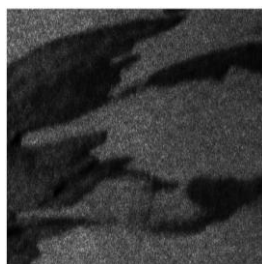
داده‌های مورد استفاده داده‌های پلاریمتری سنجنده UAVSAR باند L از منطقه خلیج مکزیک در سال ۲۰۱۰ است که فوران چاه نفت دکل Deepwater Horizon رخ داد که باعث شد مدت‌ها لکه‌های نفتی بر روی آب باقی بمانند. این تصویر از NASA's Alaska SAR Facility (ASF) اخذ شده است. نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند.

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های (Otsu 1975)، Grow Cut و K-means از معیارهای دقت کلی<sup>۱</sup>، میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (MSE) و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی استفاده شده است.

شکل ۲ (الف)-(ذ) تصویر اصلی و تصاویر قطعه‌بندی شده روش پیشنهادی و روش‌های دیگر را نشان می‌دهد. مناطق تیره استخراج شده با رنگ مشکی نمایش داده شده‌اند. همان گونه که از شکل ۲ مشخص است روش ارائه شده، موفق به شناسایی مناطقی شده است که تضاد کمتری با پس زمینه دارد. بعلاوه، تعداد اشتباه‌ها نیز کاهش یافته است. همچنین مقایسه شکل ۲ قسمت‌های (ث) و (ج) می‌توان دید که DoP-M نسبت به DoP-B به نتایج بهتری دست یافته است.

<sup>1</sup> Overall Accuracy

<sup>2</sup> Mean square error



الف



ب



پ



ت



ث



ج

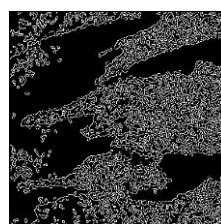


ذ

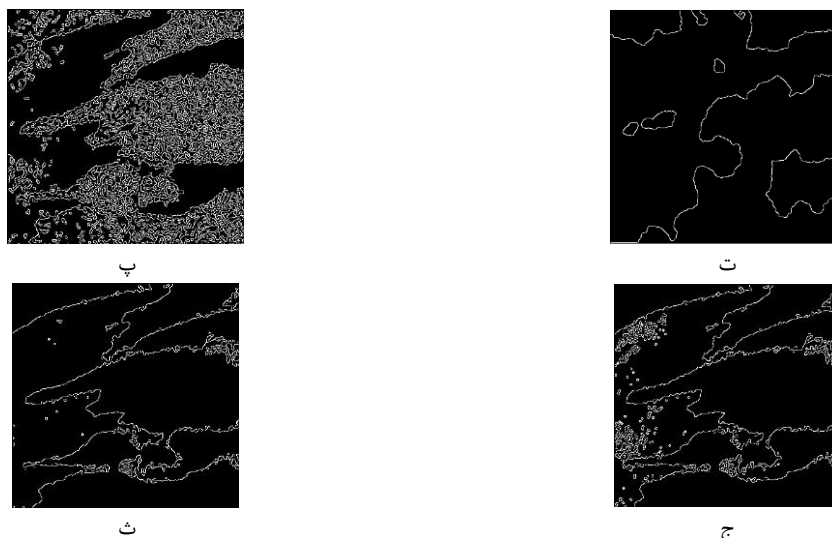
شکل ۲- تصویر UAVSAR و نتایج الگوریتم‌های مختلف: الف) تصویر اصلی، ب) Otus، پ) K-means، ت) GrowCut، ث) DoP\_M، ج) Dop\_B و ذ) قطعه‌بندی دستی



الف



ب



شکل ۳- لبه‌های استخراجی توسط اپراتور Canny: الف) داده واقعیت زمینی، ب) Otus، پ) K-means، ت) GrowCut، ث) DoP\_M، ج) Dop\_B

برای بررسی روش ارائه‌شده در آشکارسازی مرزهای مناطق آلوده، مرزهای استخراج‌شده روش‌های گوناگون که با استفاده از اپراتور Canny استخراج‌شده بودند در شکل ۳ الف) - ج) باهم مقایسه شدند. با استفاده از تفسیر بصری می‌توان دریافت که روش ارائه‌شده به‌خوبی توانسته با مرزهایی که به روش دستی استخراج‌شده است تطابق داشته باشد. به‌منظور بررسی کمی نتایج روش‌های مختلف از سه معیار دقت کلی (OA)، میانگین مربعات خطا (MSE) و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی (CORR) استفاده شد. نتایج این ارزیابی در جدول‌های ۱ خلاصه‌شده است:

جدول ۱- نتایج قطعه‌بندی ناشی از تصویر آلودگی نفتی UAVSAR

	MSE	OA	CORR
DoP_M	0.0751	0.9249	0.8518
DoP_B	0.0839	0.9161	0.8289
K_means	0.2394	0.7606	0.5931
GrowCut	0.2127	0.7873	0.6211
Otsu	0.2413	0.7587	0.5909

#### ۴- نتیجه‌گیری:

اولین گام در پایش آلودگی‌های نفتی در تصاویر راداری، آشکارسازی مناطق تیره است. دقت این مرحله بر روی دیگر مراحل پایش تأثیرگذار است، درواقع اگر مناطق تیره به‌درستی شناسایی نشوند، مراحل بعدی نیز با خطا همراه خواهد بود. در این مقاله، روش جدید بر پایه اطلاعات پلاریمتری بعلاوه داده‌های شدت برای آشکارسازی مناطق تیره در

تصاویر SAR ارائه شده است. درجه پلاریزاسیون به عنوان پارامتری که اطلاعات امواج الکترومغناطیس را دارا است به عنوان داده‌ی تکمیلی به همراه داده‌ی شدت مورد استفاده قرار گرفت و دو تعریف مختلف از درجه پلاریزاسیون در روش پیشنهادی باهم مقایسه شدند. الگوریتم ارائه شده با روش‌های دیگر قطعه‌بندی مانند Otsu، K-means و GrowCut بر روی داده‌های باند L سنجنده UAVSAR اخذ شده از لکه نفتی عظیم خلیج مکزیک پیاده‌سازی و مقایسه شد. نتایج، نشان می‌دهد که روش ارائه شده به نتایج بهتری دست یافته است. تعریف درجه پلاریزاسیون بر مبنای ماتریس Muller در شناسایی مناطق تیره کارآمدی بهتری دارد. به عنوان مثال میانگین مربعات خطا ۰.۶۴٪، دقت کلی ۰.۱۷٪ و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی ۰.۳۷٪ بهبود یافته است.

## منابع

- [1] Brekke, C. and A. H. Solberg (2005). "Oil spill detection by satellite remote sensing." Remote sensing of environment **95**(1): 1-13.
- [2] Gil, J. J. (2007). "Polarimetric characterization of light and media." The European Physical Journal Applied Physics **40**(01): ۴۷-۱.
- [3] Girard-Ardhuin, F., G. Mercier, et al. (2005). "Operational oil-slick characterization by SAR imagery and synergistic data." Oceanic Engineering, IEEE Journal of **30**(3): 487-495.
- [4] Karathanassi, V., K. Topouzelis, et al. (2006). "An object-oriented methodology to detect oil spills." International Journal of Remote Sensing **27**(23): 5235-5251.
- [5] Keramitsoglou, I., C. Cartalis, et al. (2006). "Automatic identification of oil spills on satellite images." Environmental modelling & software **21**(5): 640-652.
- [6] Liu, A. K., C. Y. Peng, et al. (1997). "Wavelet analysis of satellite images for coastal watch." Oceanic Engineering, IEEE Journal of **22**(1): 9-17.
- [7] Migliaccio, M., A. Gambardella, et al. (2007). "SAR polarimetry to observe oil spills." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on **45**(2): 506-511.
- [8] Migliaccio, M., F. Nunziata, et al. (2009). "On the co-polarized phase difference for oil spill observation." International Journal of Remote Sensing **30**(6): 1587-1602.
- [9] Nirchio, F., M. Sorgente, et al. (2005). "Automatic detection of oil spills from SAR images." International Journal of Remote Sensing **26**(6): 1157-1174.
- [10] Nunziata, F., A. Gambardella, et al. (2013). "On the degree of polarization for SAR sea oil slick observation." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **78**: 41-49.
- [11] Nunziata, F., M. Migliaccio, et al. (2011). "Pedestal height for sea oil slick observation." IET radar, sonar & navigation **5**(2): 103-110.
- [12] Oliver, C. and S. Quegan (2004). Understanding synthetic aperture radar images, SciTech Publishing.
- [13] Otsu, N. (1975). "A threshold selection method from gray-level histograms." Automatica **11**(285-296): 23-27.
- [14] Shirvany, R., M. Chabert, et al. (2012). "Ship and oil-spill detection using the degree of polarization in linear and hybrid/compact dual-pol SAR." Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of **5**(3): 885-892.
- [15] Solberg, A. H. S., C. Brekke, et al. (2007). "Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on **45**(3): 746-755.
- [16] Topouzelis, K., V. Karathanassi, et al. (2008). "Dark formation detection using neural networks." International Journal of Remote Sensing **29**(16): 4705-4720.
- [17] Topouzelis, K. N. (2008). "Oil spill detection by SAR images: dark formation detection, feature extraction and classification algorithms." Sensors **8**(10): 6642-6659.
- [18] Van Zyl, J. J., C. H. Papas, et al. (1987). "On the optimum polarizations of incoherently reflected waves." Antennas and Propagation, IEEE Transactions on **35**(7): 8۰۲۵-۱۸.
- [19] Velotto, D., M. Migliaccio, et al. (2011). "Dual-polarized TerraSAR-X data for oil-spill observation." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on **49**(12): 4751-4762.