آشکارسازی مناطق تیره از تصاویر پلاریمتری راداری با استفاده از داده‌های شدت و درجه پلاریزاسیون به‌منظور پایش آلودگی‌های نفتی دریایی

فاطمه ذاکری1، اسماعیل یزدانی2

1دانشجوی دکتری عمران-سنجش از دور، دانشگاه تهران، fatemeh.zakeri@ut.ac.ir

2دانشجوی 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 موردتوجه محققین زیادی قرارگرفته 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 به‌عنوان اطلاعات پلاریمتری در کنار داده‌های شدت، به‌منظور شناسایی مناطق تیره استفاده‌شده است. درروش ارائه‌شده ابتدا، یک قطعه‌بندی ساده بر روی‌داده‌های شدت مانند روش Otsu انجام می‌شود. پیکسل‌های با شدت پایین‌تر از حد آستانه، به‌عنوان پیکسل‌های بالقوه نقاط تیره در نظر گرفته می‌شوند و پیکسل‌های دیگر به‌عنوان نقاط بالقوه پس‌زمینه. سپس، درجه پلاریزاسیون پیکسل‌های بالقوه تیره تخمین زده می‌شود. پیکسل‌هایی که درجه پلاریزاسیون آن‌ها از یک حد آستانه‌ای کم‌تر باشد به‌عنوان مناطق تیره در نظر گرفته می‌شود. انتخاب حد آستانه یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل است. به‌منظور انتخاب حد آستانه مناسب، روشی ارائه‌شده است که بر پایه درجه پلاریزاسیون پیکسل‌های بالقوه نقاط تیره است. درنهایت هم یک حد آستانه بر اساس مساحت اعمال می‌شود تا اخطارهای اشتباه حذف شود. روش ارائه‌شده بر روی‌داده‌های UAVSAR که از آلودگی نفتی خلیج مکزیک اخذشده است پیاده‌سازی گردید. الگوریتم پیشنهادی، در مقایسه با روش‌های، Otsu، K-means و GrowCut نتایج بهتری به دست آورده است. به‌عنوان‌مثال میانگین مربعات خطا 64%، دقت کلی 17% و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی 37% بهبودیافته است.

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

**1- مقدمه:**

آلودگی‌های نفتی دریایی ناشی از ترشحات کشتی‌ها و نشتی سکوهای 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 زودهنگام 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 مورداستفاده قرار می‌گیرند ([Brekke and Solberg 2005](#_ENREF_1)).

آلودگی‌های نفتی میزان موج بازگشتی به سنجنده را کاهش داده و همین امر باعث می‌شود که این آلودگی‌ها به‌صورت نواحی تیره‌تر نسبت به محیط اطراف نمایش داده شوند ([Brekke and Solberg 2005](#_ENREF_1)). اما همه نواحی تیره آلودگی‌های نفتی نیستند به‌عنوان‌مثال 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 2-3 متر بر ثانیه تا 10-14 متر بر ثانیه) قابل‌تشخیص هستند ([Girard-Ardhuin, Mercier et al. 2005](#_ENREF_3)).

شناسایی و تشخیص مناطق آلوده به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌شود: (1) تشخیص نقاط تیره، (2) استخراج ویژگی‌ها از نقاط تیره آشکارشده و (3) طبقه‌بندی نقاط تیره ([Brekke and Solberg 2005](#_ENREF_1)). این مراحل می‌تواند به‌صورت 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 داده‌شده به مهارت اپراتور وابسته است، درنتیجه اخیراً مطالعاتی درزمینه ارائه روشی اتوماتیک و قابل‌اطمینان برای استخراج نقاط نفتی انجام‌شده است ([Nirchio, Sorgente et al. 2005](#_ENREF_9))، ([Karathanassi, Topouzelis et al. 2006](#_ENREF_4))، ([Keramitsoglou, Cartalis et al. 2006](#_ENREF_5)) و ([Solberg, Brekke et al. 2007](#_ENREF_15)). باوجود مطالعات انجام‌شده هنوز هر یک از این مراحل احتیاج به مطالعات بیشتر برای حل مشکلات موجود، دارند.

مطالعه انجام‌شده 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 به‌دقت این مرحله وابسته است و تا زمانی که نقاط تیره به‌درستی تشخیص داده نشوند، نقاط نفتی نمی‌توانند به‌درستی 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. به‌عنوان‌مثال در ([Nirchio, Sorgente et al. 2005](#_ENREF_9))، حد آستانه برابر تفاوت normalized radar cross section (NRCS) از انحراف معیار تصاویر راداری در نظر گرفته‌شده است. یا درروش آستانه گذاری انطباقی، حد آستانه به‌صورت محلی در پنجره متحرک تعیین می‌شود ([Solberg, Brekke et al. 2007](#_ENREF_15)). روش‌های دیگری مانند استفاده از تبدیل‌های چند مقیاسی ([Liu, Peng et al. 1997](#_ENREF_6))، روش‌های مبتنی بر قطعه‌بندی ([Karathanassi, Topouzelis et al. 2006](#_ENREF_4)) و شبکه عصبی ([Topouzelis, Karathanassi et al. 2008](#_ENREF_16)) از دیگر روش‌های معرفی‌شده در دهه‌های اخیر هستند.

روش‌های ذکرشده 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: 1) تصاویر راداری شامل نویز لکه می‌باشند، درنتیجه مقادیر شدت تغییرات زیادی حتی در یک منطقه همگن دارد ([Oliver and Quegan 2004](#_ENREF_12)). 2) تضاد بین نقاط تیره و پس‌زمینه بر اساس حالت دریا، نوع نفت، توان تفکیک مکانی و زاویه فرود[[1]](#footnote-1) متغیر است ([Topouzelis 2008](#_ENREF_17)). این مشکلات رسیدن به یک‌راه حل جامع و سریع را دچار مشکل می‌کند.

در شرایط سرعت باد کم تا متوسط سطح آب بدون آلودگی، پراکنشBragg دارد؛ درحالی‌که در صورت وجود آلودگی مکانیسم پراکنش non-Bragg جایگزین می‌شود. ثابت‌شده است که این تفاوت را می‌توان بر اساس ویژگی‌های پلاریمتری مانند میزان انرژی بازگشتی غیرپلاریزه و همبستگی بین کانال‌های هم‌پلاریز[[2]](#footnote-2) نشان داد ([Migliaccio, Gambardella et al. 2007](#_ENREF_7))، ([Nunziata, Migliaccio et al. 2011](#_ENREF_11)) و ([Velotto, Migliaccio et al. 2011](#_ENREF_19)). 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 ارائه‌شده 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 پلارایز سنجنده UAVSAR از خلیج مکزیک در سال 2010 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.

در ادامه پس از مقدمه در بخش 2 به مباحث تئوری و مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود. در بخش 3، روش پیشنهادی و نتایج آن مورد ارزیابی قرارگرفته و در انتها بخش4 با عنوان نتیجه‌گیری پایان‌بخش مقاله خواهد بود.

**2- مواد و روش‌ها:**

**2 -1- اصول نظری:**

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

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

که ماتریس کوواریانس 3×3 است ([Shirvany, Chabert et al. 2012](#_ENREF_14)).

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](#_ENREF_18)).

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |

که M ماتریس Mueller با ابعاد 4×4 است (معادله (3)). k عدد موج و r فاصله است.

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

درایه‌های ماتریس Mueller عبارت‌اند از ([Migliaccio, Nunziata et al. 2009](#_ENREF_8)):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

که دامنه پراکنش مختلط () است. R و E نشان‌دهنده قسمت حقیقی و موهومی است. و \* نیز به ترتیب نشان‌دهنده میانگین و مزدوج مختلط است.

تعریف DoP از یک ماتریس معین مثبت مرتبط با M آغاز می‌شود ([Gil 2007](#_ENREF_2)):

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |

که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (5) | (*i*,*j*=1,2,3,4) |

که ماتریس واحد 2×2 و (i=2و3و4) ماتریس‌های Pauli هستند.

DoP از رابطه زیر محاسبه می‌شود ([Gil 2007](#_ENREF_2)):

|  |  |
| --- | --- |
| (6) |  |

که Tr(.) معرف تریس است.

می‌توان درجه پلاریزاسیون را به‌صورت فرمولی از درایه‌های ماتریس M تعریف کرد بدین منظور داریم:

|  |  |
| --- | --- |
| (7) |  |

طبق ([Gil 2007](#_ENREF_2)) داریم:

|  |  |
| --- | --- |
| (8) |  |

می‌توان نشان داد که ([Gil 2007](#_ENREF_2)):

|  |  |
| --- | --- |
| (9) |  |
| (10) |  |

و

|  |  |
| --- | --- |
| (11) |  |

معادله (11) نشان می‌دهد که محدود است. وقتی آنگاه E تنها یک مقدار ویژه غیر صفر دارد که شرط لازم و کافی است برای این‌که E مرتبط بشود به ماتریس Mueller موج کامل پلارایز ([Gil 2007](#_ENREF_2))، و زمانی که ، E چهار مقدار ویژه دارد درنتیجه ماتریس Mueller موج غیر پلارایز را نشان می‌دهد ([Gil 2007](#_ENREF_2)).

درنهایت درجه پلاریزاسیون نیز بر اساس درایه‌های ماتریس Mueller به فرم زیر تعریف می‌شود ([Gil 2007](#_ENREF_2)):

|  |  |
| --- | --- |
| (12) |  |

وقتی‌که دریا بدون آلودگی باشد، سطح دریا دارای پراکنش Bragg است که دارای پلاریزاسیون بالا است. درنتیجه انتظار می‌رود DoP نزدیک 1 باشد ([Migliaccio, Nunziata et al. 2009](#_ENREF_8)). وقتی نفت بر روی سطح دریا موجود باشد مکانیسم پراکنش non-Bragg رخ می‌دهد که دارای پلاریزاسیون پایین است. درنتیجه انتظار می‌رود DoP نزدیک 0 باشد ([Migliaccio, Nunziata et al. 2009](#_ENREF_8)). از همین ویژگی در کشف نقاط تیره مربوط به آلودگی‌های نفتی استفاده‌شده است که در ادامه تشریح می‌شود.

**2-2 روش ارائه‌شده:**

شکل1 الگوریتم کلی روش ارائه‌شده را نشان می‌دهد که دارای دو گام اصلی است. در مرحله اول، توجه بر روی‌داده 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 موردنظر است به‌عنوان 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 3×3 گوسین با انحراف معیار 5/0 برای نرم کردن تصویر شدت به کار می‌رود. سپس هیستوگرام تصویر شدت، توسط تبدیل خطی piecewise به‌منظور افزایش کنتراست بین مناطق تیره و پس‌زمینه تنظیم می‌شود به‌طوری‌که 1% 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، به‌منظور 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](#_ENREF_13)) استفاده‌شده است. پیکسل‌هایی که زیر حد آستانه هستند به‌عنوان مناطق تیره در نظر گرفته می‌شوند.

|  |
| --- |
|  |
| **شکل1. الگوریتم کلی مدل ارائه‌شده** |

نقاطی که از مرحله قبلی به‌عنوان مناطق تیره در نظر گرفته‌شده‌اند وارد مرحله سوم می‌شوند. تصاویر راداری پلاریمتری توسط یک پنجره متحرک میانگین‌گیری 7×7 برای محاسبه DoP پردازش می‌شوند. در مطالعات قبلی حد آستانه معرفی‌شده برای استخراج مناطق نفتی 45/0 معرفی‌شده است ([Nunziata, Gambardella et al. 2013](#_ENREF_10)). اما این حد آستانه در حالت‌های مختلف دریا و انواع لکه‌ها متغیر است. درنتیجه در این مطالعه یک روش تطبیقی ارائه شد. به این صورت که نقاط استخراجی از مرحله حد آستانه‌گذاری قسمت اول به‌عنوان ماسک بر تصویر اعمال‌شده و میانگین درجه پلاریزاسیون آن‌ها به‌عنوان 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 به‌طوری‌که مناطقی با مساحت کم‌تر از حد آستانه 100 به‌عنوان اشتباه حذف می‌شوند. به‌عبارتی‌دیگر تنها مناطقی بالاتر از حد آستانه معرفی‌شده به‌عنوان مناطق محتمل در نظر گرفته می‌شوند. تک پیکسل‌های روشن درون مناطق تیره نیز که حاصل از خطاهای محتمل هستند به‌عنوان مناطق تیره در نظر گرفته می‌شوند.

**3- ارزیابی و نتایج:**

داده‌های مورداستفاده داده‌های پلاریمتری سنجنده UAVSAR باند L از منطقه خلیج مکزیک در سال 2010 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) اخذشده است. نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند.

به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های ([Otsu 1975](#_ENREF_13))، K-means وGrow Cut از معیارهای دقت کلی[[3]](#footnote-3)، میانگین مربعات خطا[[4]](#footnote-4) (MSE) و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی استفاده‌شده است.

شکل 2 (الف)-(ذ) تصویر اصلی و تصاویر قطعه‌بندی شده روش پیشنهادی و روش‌های دیگر را نشان می‌دهد. مناطق تیره استخراج‌شده با رنگ مشکی نمایش داده‌شده‌اند. همان‌گونه که از شکل 2 مشخص است روش ارائه‌شده، موفق به شناسایی مناطقی شده است که تضاد کم‌تری با پس‌زمینه دارد. بعلاوه، تعداد اشتباه‌ها نیز کاهش‌یافته است. همچنین با مقایسه شکل 2 قسمت‌های (ث) و (ج) می‌توان دید که DoP-M نسبت به DoP-B به نتایج بهتری دست‌یافته است.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\pp1\OTSU thresholding.jpg | C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\pp1\Original UAVSAR.jpg |
| ب | الف |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\growcut\growcut.tif | C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\pp1\k_means.jpg |
| ت | پ |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\pp1\thresholding DOP_B.jpg | C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\pp1\thresholding DOP_M.jpg |
| ج | ث |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\GROUNDTRUTH.jpg | |
| ذ | |
| **شکل2- 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** | |

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\images\BW_binaryImage_OTSU.jpg | C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\images\BW_Ground_truth.jpg |
| ب | الف |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\growcut2.tif | C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\images\BW_k_means.jpg |
| ت | پ |
| C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\images\BW_Oil_Spill_B.jpg | C:\Users\Fatemeh\Desktop\key wset 5-11-98\images\BW_Oil_Spill_m.jpg |
| ج | ث |
| **شکل3- 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 3 (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 1 خلاصه‌شده است:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **جدول 1- نتایج قطعه‌بندی ناشی از تصویر آلودگی نفتی UAVSAR** | | | |
| **CORR** | **OA** | **MSE** |  |
| 0.8518 | 0.9249 | 0.0751 | **DoP\_M** |
| 0.8289 | 0.9161 | 0.0839 | **DoP\_B** |
| 0.5931 | 0.7606 | 0.2394 | **K\_means** |
| 0.6211 | 0.7873 | 0.2127 | **GrowCut** |
| 0.5909 | 0.7587 | 0.2413 | **Otsu** |

**4- 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 ارائه‌شده است. درجه پلاریزاسیون به‌عنوان پارامتری که اطلاعات امواج الکترومغناطیس را دارا است به‌عنوان داده‌ی تکمیلی به همراه داده‌ی شدت مورداستفاده قرار گرفت و دو تعریف مختلف از درجه پلاریزاسیون درروش پیشنهادی باهم مقایسه شدند. الگوریتم ارائه‌شده با روش‌های دیگر قطعه‌بندی مانند Otsu، K-means و GrowCut بر روی‌داده‌های باند L سنجنده UAVSAR اخذشده از لکه نفتی عظیم خلیج مکزیک پیاده‌سازی و مقایسه شد. نتایج، نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده به نتایج بهتری دست‌یافته است. تعریف درجه پلاریزاسیون بر مبنای ماتریس Muller در شناسایی مناطق تیره کارآمدی بهتری دارد. به‌عنوان‌مثال میانگین مربعات خطا 64%، دقت کلی 17% و همبستگی تصویر خروجی و تصویر حاصل از قطعه‌بندی دستی 37% بهبودیافته 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): 1-47.
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): 818-825.
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.

1. incident angle [↑](#footnote-ref-1)
2. co-polarized [↑](#footnote-ref-2)
3. Overall Accuracy [↑](#footnote-ref-3)
4. Mean square error [↑](#footnote-ref-4)