



ع. ش. ب.

فصلنامه علوم محیطی، دوره دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳

۱-۱۰

بررسی کاربرد سنجش از دور در آشکارسازی آلودگی‌های نفتی دریا علی اکبر متکان^۱، محمد حاجب^۲ و زینب آذرخش^{۳*}

^۱ دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

^۲ مربی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۱

چکیده

نشست نفت به محیط‌های دریایی از مهم‌ترین عوامل آلودگی دریا بوده است. شناسایی سریع و جلوگیری از نشست نفت در دریاها و کاهش اثرات مخرب آن بر اکوسیستم‌های دریایی، امری ضروری است. تکنولوژی سنجش از دور به واسطه برداشت داده در بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیس و در فواصل زمانی کوتاه هم‌چنین دید ناحیه‌ای وسیع، گزینه مناسبی جهت آشکارسازی و پایش سریع لکه‌های نفتی می‌باشد. هدف اصلی در این تحقیق معرفی قابلیت بخش‌های مختلف سنجش از دور در آشکارسازی آلودگی‌های نفتی می‌باشد. در این تحقیق معایب و مزایای هر یک از سنجنده‌های مختلف در زمینه پایش لکه‌های نفتی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. سنجنده‌ها محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس در شب عمل نمی‌کنند و تمایز بین نفت و زمینه در آن‌ها مشکل است. در محدوده مادون قرمز حرارتی، تابش برخاسته از علف‌های دریایی، خطوط ساحلی و جبهه‌های اقیانوسی شبیه نفت می‌باشد که منجر به ایجاد خطا در فرآیند آشکارسازی لکه‌های نفتی می‌گردد. در رادار ماکروویو، موجودات آلی، سیگنال‌هایی مشابه نفت در آن‌ها ایجاد می‌کنند که باعث ایجاد خطا می‌شود هم‌چنین این سنجنده‌ها پرهزینه هستند. در مقابل موارد ذکر شده، داده‌های SAR به دلیل پوشش ناحیه‌ای وسیع و قابلیت اخذ در همه مدت شبانه‌روز و در همه شرایط آب و هوایی، جهت پایش آلودگی‌های نفتی در دریاها و اقیانوس‌ها پرکاربرد می‌باشند. بر طبق نتایج این تحقیق، داده‌های SAR بخصوص در باند C امواج ماکروویو و پلاریزاسیون VV جهت آشکارسازی لکه نفتی مناسب‌تر شناخته شده‌اند، هم‌چنین نتایج بیانگر این است که استفاده توأم از داده‌های کاملاً پلاریمتریک اطلاعات مفیدتری نسبت به داده‌های تک پلاریزه در این زمینه در اختیار قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی: آلودگی‌های نفتی، سنجش از دور، ماکروویو، روش‌های آشکارسازی.

A Review of Remote Sensing Applications in Detection of Sea Oil Pollution

Ali Akbar Matkan,¹ Mohammad Hajeb² & Zeinab Azarakhsh³
¹Associated Professor, Department of Remote Sensing & GIS, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran

²Lecturer, Department of Remote Sensing & GIS, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran

³MSc. Student of Remote Sensing & GIS, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran

Abstract

One of the most important pollution factor in the marine environment is oil spill. Rapid identification and prevention of oil spills at sea as well as reduction of the destructive impacts on marine ecosystems are essential. The remote sensing technology is the best choice for the rapid detection and monitoring of oil slacks because of data acquisition in different parts of the electromagnetic spectrum, short time intervals, and wide area viewing. The main objective of this research is introduction of capability of different parts of remote sensing in oil pollution detection. Hence, the advantages and disadvantages of various sensors are evaluated. Visible range sensors do not work at night and distinguish between oil and background. In the thermal infrared region, radiation of sea weed, ocean fronts, and coastlines are like the oil slack. Hence it causes the false alarms in detection process of oil slacks. In the microwave radiometer, biological organisms cause false alarms as well as these sensors are expensive. In contrast to the mentioned cases, the SAR data are widely used for monitoring oil spill in the sea and ocean due to their day and night and all-weather imaging capabilities and having large coverage. According to the results, SAR data with C-band of microwaves and VV polarization are suitable for oil spill detection. Also, in comparison of single polarized data, the fully polarimetric data give more useful information.

Keywords: Oil pollutions, Remote sensing, Microwave, Detection methods.

۱- مقدمه

آلودگی نفتی دریا به طور عمده توسط تخلیه غیر قانونی هیدروکربن ها توسط کشتی ها به محیط زیست دریایی رخ می دهد. هنگامی که آلودگی نفت اتفاق می افتد، باید محل و وسعت نشت نفت مشخص شود. با آگاهی به موقع از محل نشت نفت و جهت حرکت آن، می توان اقدامات برنامه ریزی شده ای برای کاهش اثرات آن بر محیط زیست انجام داد. در این خصوص، داده های سنجش از دور با فراهم کردن اطلاعات درباره مقدار و جهت حرکت لکه نفتی با استفاده از تصاویر چند زمانه در پیش بینی حرکت لکه ها و هم چنین پشتیبانی عملیات کنترل و پاکسازی لکه های نفتی نقش بسیار مهمی ایفا می کنند [۱].

شناسایی آلودگی های نفتی در محدوده های مختلف طیف الکترومغناطیس توسط سیستم های غیر فعال و فعال امکان پذیر است که هر یک دارای معایب و مزایای خاص خود هستند. در سیستم های غیر فعال، در بخش مرئی لکه های نفتی دارای بازتاب بالاتر نسبت به آب هستند، لذا در تصاویر مرئی با تن روشن تر دیده می شوند. محدودیتی که در اینجا وجود دارد حضور پدیده های دیگر با بازتاب بالا نظیر برخی ساختارهای زیستی است [۲] تأثیر بازتاب بستر دریا در نواحی کم عمق نیز می تواند اثری مشابه با لکه های نفتی داشته باشد. در محدوده مادون قرمز حرارتی لکه های ضخیم نفتی بصورت جذب کننده های خوب و به تبع آن ساطع کننده های خوب عمل می کنند لذا این نوع از لکه های نفتی در تصاویر مادون قرمز بصورت نقاط با حرارت بالاتر نسبت به اطراف با تن روشن تر ظاهر می شوند. استفاده از ماکروویو غیر فعال نیز در آشکارسازی لکه های نفتی مفید است. با استفاده از داده های این محدوده از طیف الکترومغناطیس، لکه های نفتی بواسطه گسیلمندی^۱ بالاتر نسبت به آب دریا قابل شناسایی هستند [۳]. در مقابل روش های فوق، ماکروویو فعال فن آوری جدیدی است که به دلیل ویژگی های منحصر بفرد خود در سال های اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در این بین ماهواره های مجهز به SAR، اطلاعات مفیدی جهت حضور نفت در دریا ارائه می دهند. پیشرفت های صورت گرفته در تصویربرداری SAR منجر به تبدیل این سیستم به یکی از پر کاربردترین تکنولوژی های برداشت داده در مطالعات سنجش از دور شده است. از

مزایای این سیستم اخذ داده، تصویربرداری در کل مدت شبانه روز، اخذ داده در شرایط ابری و نیز پوشش منطقه ای وسیع [۳] می باشد که منجر به افزایش روز افزون کاربرد آن در زمینه های مختلف از جمله کشف آلودگی های نفتی شده است. علاوه بر افزایش چشمگیر قدرت تفکیک مکانی در سنجنده های جدید SAR، ارائه تصاویر با پلاریزاسیون های چندگانه، قابلیت جدید دیگری است که حاصل پیشرفت های اخیر در سیستم SAR است. دسترسی به داده های دو پلاریزه و با پلاریزاسیون کامل به جای داده های تک پلاریزه قبلی، تحلیل عمیق تری از فرآیندهای بازپراکنش فراهم کرده و راه را برای شمار زیادی از کاربردهای داده های SAR از جمله در زمینه تشخیص و پایش نشت نفت، آشکارسازی آلودگی های نفتی، تحلیل های چند زمانه، برآورد عمق آلودگی های نفتی و غیره هموار کرده است [۱]. مطالعات بسیاری در زمینه آشکارسازی لکه های نفتی با استفاده از سنجنده های فعال در محدوده های مختلف طیف الکترومغناطیس صورت گرفته است [۲، ۴، ۵]. در مطالعه [۴] به بررسی قابلیت سنجنده های مرئی و مادون قرمز NOAA AVHRR^۲ برای تشخیص و پایش لکه های نفتی پرداخته شده است. از تصاویر (ASTER) برای تشخیص نشت نفت استفاده کرده اند [۵]. در ادامه ابزارهای دورسنجی با منابع مختلف انرژی و سنجنده های فعال در محدوده های مختلف طیف الکترومغناطیس بمنظور آشکارسازی آلودگی های نفتی مورد بررسی قرار می گیرند. هدف اصلی در این تحقیق، بررسی قابلیت بخش های مختلف طیف الکترومغناطیس جهت پایش و کشف آلودگی های نفتی و هم چنین معرفی پرکاربردترین سنجنده ها در این زمینه می باشد.

۲- سنجش از دور در آشکارسازی آلودگی های نفتی

ابزارهای سنجش از دور برای آشکارسازی لکه های نفتی شامل عکس برداری و ویدئوهای مادون قرمز، تصویربرداری مادون قرمز حرارتی، لیزر فلورسانس های هوایی، سنجنده های اپتیکال هوایی و فضایی و SAR هوایی و فضایی است.

۲-۱- تکنولوژی سنجنده های هوا برد

به منظور پایش اولیه آلودگی های نفتی از سنجنده های

آشکارسازی لکه‌های نفتی کاربرد دارند. اسکنرهای ماوراء بنفش، تابش منعکس شده از سطح دریا را اندازه‌گیری می‌کنند و با توجه به این که لکه‌های نفتی انعکاس بالاتری نسبت به آب خالص در محدوده ماوراء بنفش دارند توسط این سنجنده‌ها قابل شناسایی هستند. اگرچه این سنجنده‌ها لایه‌های نازک نفت (کمتر از ۰/۰۱ میکرومتر) را شناسایی می‌کنند اما قادر به بارزسازی نفت با ضخامت‌های بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر نیستند و فقط اطلاعاتی راجع به ضخامت نسبی لکه نفتی در اختیار قرار می‌دهند [۹]. در مواردی مانند درخشندگی‌های ایجاد شده توسط باد، برق خورشیدی، علف‌های دریایی و مواد بیولوژیکی باعث ایجاد خطا در فرآیند شناسایی آلودگی‌های نفتی توسط این سنجنده‌ها می‌گردد [۲].

۲-۵- سنجنده‌های مرئی

نفت برخی از تابش‌ها محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس را جذب می‌کند اما به طور کلی در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس (۰/۶ - ۰/۴ میکرومتر) نسبت به آب از انعکاس بالاتری برخوردار است. سنجنده‌های مرئی در زمینه آشکارسازی آلودگی‌های نفتی به دلیل برخی مشکلات کاربرد محدودتری دارند. از جمله این که از آنجائی که این سنجنده‌ها غیر فعال هستند به‌طور معمول در شب عمل نمی‌کنند و تمایز بین نفت و زمینه در آن‌ها مشکل است. همچنین درخشندگی ایجاد شده توسط باد، علف‌های دریایی و خطوط ساحلی تاریک‌تر ممکن است در شناسایی نفت در این تصاویر اختلال ایجاد کنند [۱۰].

۲-۶- سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی (TIR)

سنجنده‌های مادون قرمز با اندازه‌گیری دمای سطح دریا برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی مفید می‌باشند. نفت نسبت به آب در محدوده مادون قرمز حرارتی گسیلمندی^۵ پائین‌تری دارد، بنابراین علامت طیفی کاملاً متفاوتی در محدوده مادون قرمز حرارتی نسبت به آب دارد [۱۰].

تابش حرارتی از علف‌های دریایی، خطوط ساحلی و جبهه‌های اقیانوسی شبیه تابش برخاسته از نفت می‌باشد که منجر به ایجاد خطا در فرآیند آشکارسازی لکه‌های نفتی می‌گردد. با توجه به این مسئله که عوامل ایجاد کننده خطا در زمینه آشکارسازی آلودگی‌های نفتی توسط

هوابرد استفاده می‌شود. اما نمی‌توان از این تکنولوژی برای پایش نشت نفت در مناطق وسیع و هم‌چنین در شرایط ابری و مه سنگین استفاده کرد. هم‌چنین پدیده‌هایی مانند علف‌های هرز دریا، ساحل و جبهه‌های اقیانوسی باعث ایجاد اختلال در روند آشکارسازی آلودگی‌های نفتی توسط تکنولوژی سنجنش از دور هوابرد می‌شوند [۶].

۲-۲- لیزر فلئورسانس‌ها

این سنجنده‌ها از نوع فعال هستند. برخی ترکیبات هیدروکربنی آروماتیک در نفت، جاذب اشعه ماوراء بنفش و از نظر الکترونیکی تابش کننده‌اند. این تابش سریعاً از فرآیند تابش فلئورسانس محو می‌شود و هم‌چنین ترکیبات نادر دیگری نیز دارای این خاصیت هستند. بیش‌تر تابشگرهای فلئورسانس مورد استفاده برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی از لیزری استفاده می‌کنند که در ناحیه (۰/۳ تا ۰/۳۵۵ میکرومتر) عمل می‌کند [۷]. محدوده واکنش فلئورسانس نفت خام از ۰/۴ تا ۰/۶۵ میکرومتر می‌باشد که دارای نقطه اوج ۰/۴۸ میکرومتر است. مشکلی که در استفاده از این سنجنده پیش می‌آید این است که لیزر فلئورسانس‌ها نمی‌توانند لکه نفتی با ضخامت بیش‌تر از ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر را اندازه بگیرند چون نور لیزر ماوراء بنفش^۳ (UV) کاملاً توسط نفت جذب می‌شود و نمی‌تواند به آب برسد [۷].

۲-۳- سنجنده لیزری - صوتی برای تعیین ضخامت لکه نفتی

سنجنده لیزری-صوتی یک سنجنده فعال است و از ترکیب تکنولوژی‌های صوتی و لیزری جهت تعیین محدوده و ضخامت لکه نفتی استفاده می‌کند [۸]. مدت زمانی که طی می‌شود تا امواج فرا صوتی به نفت برسند توسط سه لیزر اندازه گرفته می‌شوند و ضخامت نفت با استفاده از این زمان می‌تواند محاسبه شود. عیب استفاده از آن‌ها در این است که سنجنده‌های لیزری-صوتی سنجنده‌هایی گرانی هستند و هم‌چنین در شرایط نامناسب آب و هوایی مانند ابر و مه کارایی ندارند [۲].

۲-۴- سنجنده‌های محدوده ماوراء بنفش

این سنجنده‌ها در محدوده ماوراء بنفش (۰/۳۲ - ۰/۳۸ میکرومتر) طیف الکترومغناطیس فعال هستند و در

پلاریزاسیون افقی H و عمودی V و دریافت امواج در پلاریزاسیون های H و V ترکیب های مختلف این امواج به دست خواهد آمد. سیستم های پلاریمتری با ارسال امواج همدوس در پلاریزاسیون های H و V و دریافت همزمان دو پلاریزاسیون (H و V)، چهار حالت پلاریمتری (HV، HH)، (VV و VH) که شامل اطلاعات دامنه و فاز است، در ماتریسی بنام ماتریس پراکنش ذخیره می کنند. در واقع این ماتریس اطلاعات جامعی در مورد عارضه هدف را در اختیار قرار می دهد که با آنالیز آن می توان پارامترهای مختلفی استخراج کرد [۱۱]. با توجه به این که کانال های مختلف پلاریزاسیون های به خصوصیات متفاوتی از سطح حساس هستند، داده های با پلاریزاسیون کامل می توانند شناسایی و تمایز اهداف مختلف را بهبود بخشند. سنجنده های Radarsat-2، Envisat(ASAR) ،^۹ TERRASAR-X، CosmoSkyMed و Alos PalSAR داده هایی با پلاریزاسیون های چندگانه ارائه می دهند.

۲-۸-۱- تصویربرداری SAR از لکه های نفتی بر روی آب
 سنجنده SAR امواج ماکروویو را به سمت سطح زمین می فرستد و سیگنال های برگشتی از سطح را به نام بازپراکنش^{۱۰} دریافت می کند. تشخیص لکه نفتی توسط سیستم رادار از طریق اثر آن بر تضعیف امواج ظریف سطحی امکان پذیر است. هنگامی که نفت بر روی سطح دریا پخش می شود تا جایی گسترش می یابد که لایه نازکی بر روی سطح آب ایجاد می کند. این لایه نازک، امواج براگ (با طول موج های سانتی متری) روی سطح اقیانوس را میرا کرده و سطح پوشیده از نفت نسبت به محیط اطراف صاف تر ظاهر می شود. بنابراین لکه های نفتی موجب کاهش میزان بازگشت راداری می شوند در نتیجه آن ها بر روی تصاویر SAR منطقه ای تاریک ایجاد می کنند که با آب اطراف دارای کنتراست است [۱۲]. متأسفانه آلودگی نفتی تنها پدیده ای نیست که موجب کاهش بازگشت رادار از سطح اقیانوس در مقیاس محلی می شود. بسیاری از پدیده های اقیانوسی و اتمسفری با منشاء مختلف نیز منجر به ایجاد اثر مشابه و علائم تاریک بسیار مشابه به نفت در تصاویر SAR می شوند. پدیده های مذکور Lookalikes نامیده می شوند که خود باعث افزایش اخطارهای خطا می گردند [۱۳]. این پدیده ها عبارتند از: لایه های

سنجنده های مورد استفاده در دو محدوده طیفی ماوراء بنفش و مادون قرمز تقریباً با هم متفاوت هستند استفاده ترکیبی از این دو تکنیک در زمینه آشکارسازی آلودگی های نفتی نتایج بهتری ارائه می دهد [۸،۱].

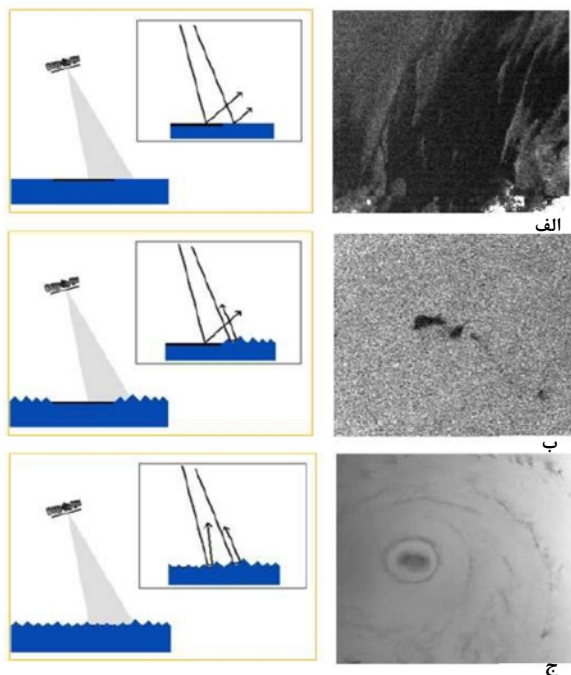
۲-۷- رادیومتر ماکروویو (MWR)^۶

رادیومتر ماکروویو، سنجنده غیر فعال است که برای آشکارسازی و تعیین ضخامت لکه نفتی به کار گرفته می شود. بازپراکنش نفت در محدوده تابش ماکروویو بیش تر از آب است بنابراین نفت روشن تر از آب در این محدوده ظاهر می شود. اگر چه این سنجنده ها در همه شرایط آب و هوایی و کل مدت شبانه روز کاربرد دارند، اما دارای محدودیت هایی جهت آشکارسازی لکه های نفتی هستند. موجودات بیولوژیکی سیگنال هایی مشابه نفت در آن ها ایجاد می کنند که باعث ایجاد خطا می شود هم چنین آن ها برای دریافت تابش ماکروویو ساطع شده نیاز به آنتن مخصوص دارند. این سنجنده های پر هزینه هستند و نیاز به اطلاعاتی درباره خصوصیات محیطی و نفت به منظور آشکارسازی صحیح نفت دارند [۲۱].

۲-۸- رادار

رادار سنجنده ای فعال است که در محدوده امواج ماکروویو طیف الکترومغناطیس عمل می کند. امواج رادار توسط امواج موئینی^۷ بر روی سطح اقیانوس بازپراکنش می شوند بنابراین تصویر روشنی از آب اقیانوس به دست می آید. نفت امواج ثقیلی-موئینی را کاهش داده و منجر به کاهش بازپراکنش از سطح اقیانوس می شود. از این رو حضور نفت می تواند بصورت لکه تاریک بر روی سطح روشن اقیانوس در تصویر راداری مشاهده شود [۷]. رادار به دلیل این که پوشش منطقه وسیعی را دربر می گیرد ابزار بسیار مفیدی برای برآورد اولیه مکان احتمالی لکه نفتی است. رادار قابل استفاده در همه شرایط آب و هوایی و در کل شبانه روز می باشد. رادار با درجه مصنوعی SAR و رادار پهلونگر هوایی SLAR^۸ دو نوع بسیار رایج رادار هستند که برای آشکارسازی آلودگی های نفتی استفاده می شوند. SLAR یک سنجنده قدیمی راداری می باشد که در مقایسه با SAR کم هزینه تر بوده اما نسبت به آن قدرت تفکیک مکانی پایین تر و دامنه برد کمتری دارد [۲]. در سیستم های رادار با روزه مصنوعی با ارسال امواج در

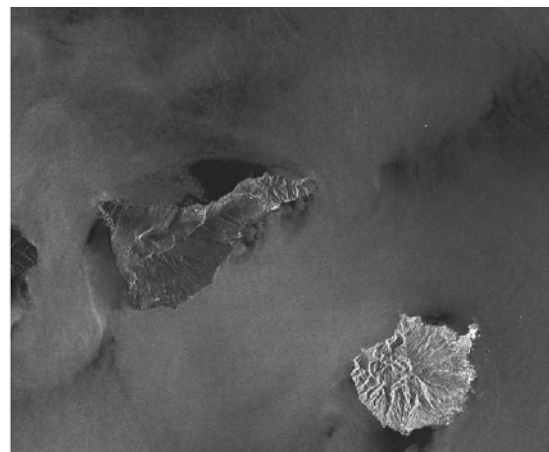
تنها لکه‌های ضخیم نفت قابل مشاهده هستند و لکه‌های نفت نازک‌تر به دلیل پخش نفت قابل تشخیص نیستند. در پایش معمول لکه‌های نفتی سرعت آستانه‌ای ۱۵ متر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود. وقتی از قبل پیش‌بینی شود که سرعت باد بیش از این حد آستانه است، عملیات تصویربرداری ماهواره‌ای (توسط سنجنده‌های SAR) جهت پایش نفت صورت نمی‌گیرد [۱۹]. شکل ۲ اصول فیزیکی آشکارسازی آلودگی‌های نفتی را نشان می‌دهد. در این شکل در تصویر (الف) سرعت باد ۱/۵ متر در ثانیه است و تقریباً باد وجود ندارد بنابراین هیچ انرژی به ماهواره نمی‌رسد و تصویر تاریک می‌باشد. در تصویر (ب) باد به آرامی می‌وزد و آلودگی‌های نفتی قابل شناسایی و بصورت تصاویر خاکستری هستند در این نمونه سرعت باد ۸ متر در ثانیه است. در تصویر (ج) سرعت باد بالا بوده و انرژی بیش‌تری به طرف ماهواره برمی‌گردد بنابراین تصاویر بسیار روشن بوده، هیچ نشانه‌ای از نفت مشخص نیست در این نمونه سرعت باد بین ۲۰ تا ۴۰ متر در ثانیه است [۱۵].



شکل ۲- اصل آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر SAR (Katrina hurricane, copyright ESA)

به صورت تئوری میزان میراکنندگی به صورت تابعی از طول موج است. بعنوان مثال، مقدار میراکنندگی در باند X نسبت به باند C در یک زاویه فرود و سرعت باد ثابت،

ارگانیکی^{۱۱}، یخ‌های روغنی^{۱۲}، سلول‌های بارانی^{۱۳}، امواج داخلی^{۱۴}، مناطق در پناه خشکی، دنباله کشتی [۱۴] و غیره. این پدیده‌ها خصوصاً در صورت وجود باد با سرعت پائین، تشابه بیش‌تری با لکه‌های نفتی در تصاویر SAR ایجاد می‌کنند زیرا زمانی که جریان باد وجود ندارد سطح دریا زبری عمده‌ای نداشته و در نتیجه بازگشت انرژی کاهش یافته و منطقه تاریک ایجاد می‌شود. شکل ۱ نمونه‌ای از این پدیده‌ها را نشان می‌دهد. این تصویر منطقه تیره بسیار بزرگی را نشان می‌دهد که به دلیل اثر باد پناهی در پشت جزایر ایجاد شده‌اند. این تصویر متعلق به جزایر Canary است که در ۷ ژوئن ۲۰۰۹ در ساعت ۲۲:۵۹ توسط سنجنده Envisat ASAR گرفته شده است. به منظور رفع این مشکل از داده‌های کمکی و هم‌چنین استخراج ویژگی‌هایی استفاده می‌شود تا بتوان با استفاده از اطلاعات آن‌ها لکه نفتی را از پدیده‌های مشابه جدا نمود.



شکل ۱- لکه‌های تاریک ایجاد شده به دلیل اثر پناهندگی باد در پشت جزیره [۱۵]

محدودیت دیگری که در مورد پایش لکه‌های نفتی وجود دارد این است که در محدوده سرعت باد بین ۲ تا ۱۴ متر بر ثانیه قابل شناسایی هستند [۱۶]. سرعت باد مقدار بازپخش SAR را از سطح دریا تحت تأثیر قرار می‌دهد و قابلیت مشاهده لکه‌های نفتی بر روی سطح دریا را فراهم می‌آورد. در سرعت‌های باد زیر ۲ تا ۳ متر در ثانیه هیچ بازپراکنشی از سطح دریا وجود ندارد و در نتیجه هیچ علامتی از لکه‌های نفتی قابل مشاهده نیست. شرایط ایده‌آل برای تصویر برداری SAR از لکه‌های نفتی سرعت باد بین ۳ تا ۱۰ متر در ثانیه است. در سرعت‌های باد بالاتر

با استفاده از سیگنال‌های پلاریمتریک VH یا HV به‌همراه کانال‌های HH و VV تکنیک‌هایی ایجاد کرد که با استفاده از آن‌ها بتوان عدم قطعیت در تفسیر را محدود نمود [۱۷] و [۱۹]. یکی از این تکنیک‌ها بکارگیری تئوری تجزیه هدف^{۱۵} پلاریمتریک می‌باشد. جهت کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به مراجعه گردد [۲۰].

۲-۸-۲- سنجنده فضایی SAR برای پایش آلودگی‌های نفتی

عملیات پایش آلودگی‌های نفتی دریا در ابتدا با استفاده از تصاویر RADARSAT-1 و ERS, ENVISAT ASAR انجام شده است. در سال‌های اخیر، ماهواره‌های رادار با توانایی بالا مانند TerraSAR-X, RADARSAT-2 و COSMO SkyMed به فضا پرتاب شده‌اند که کاربرد فراوانی در پایش آلودگی‌های نفتی دارند. این ماهواره‌ها مدهای تصویربرداری جدیدی دارند که قابلیت‌های تازه‌ای برای بهبود تصویربرداری آلودگی‌های نفتی ایجاد کرده‌اند. آن‌ها معمولاً در زاویه فرودی ۲۰ تا ۴۵ درجه عمل می‌کنند و آشکارسازی آلودگی‌های نفتی می‌تواند با استفاده از محدوده کاملی از زاویه‌های فرودی انجام شود. جدول (۱) مناسب‌ترین سنجنده‌های SAR برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مناسب‌ترین سنجنده‌های ماهواره‌ای برای آشکارسازی لکه‌های نفتی [۳]

سنجنده	عرض برداشت زمینی	قدرت تفکیک طیفی	قدرت تفکیک مکانی	طول موج
ENVISAT ASAR WSM	Km ۴۰۰	C-band VV or HH	متوسط/بالا	C-band
Radarsat-1 SCN	Km ۳۰۰	C-band HH	متوسط	C-band
Radarsat-2 SCN	Km ۳۰۰	C-band VV or HH	متوسط	C-band
Radarsat-2 QP	Km ۲۵	C-band Quadpol	بالا	C-band
TerraSAR-X	Km ۱۰-۱۰۰	X-band single or dual pol	بالا	X-band
COSMO-Skymed	Km ۱۰-۲۰۰	X-band single or dual pol	بالا	X-band

الگوریتم شناسایی لکه‌های نفتی برای چنین روش‌هایی در بیش‌تر مطالعات شامل ۳ مرحله اساسی می‌باشد که در هر مرحله روش‌های مختلفی وجود دارد [۱۴].

- آشکارسازی اشکال تاریک: این مرحله نتیجه فرآیند آستانه‌گذاری و یا بخش‌بندی^{۱۶} است.
- استخراج ویژگی‌ها: این ویژگی‌ها مربوط به هندسه شکل (مثلاً مساحت، محیط و غیره)، رفتار فیزیکی آن‌ها (مثلاً

بیش‌تر است. برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی، باند X و C بیش‌تر استفاده می‌شوند زیرا مقیاس آن‌ها تقریباً با مقیاس امواج براگ یکسان است. باند L در مقایسه با باندهای X و C جهت آشکارسازی آلودگی‌های نفتی کمتر بکار می‌رود به دلیل این‌که دارای طول موج بلندتر از امواج براگ است و نفت میراکنندگی بسیار کمتری از سیگنال بازپراکنش شده در این باند L ایجاد می‌کند [۳].

پلاریزاسیون VV برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی دریا نسبت به پلاریزاسیون HH بیش‌تر مورد توجه بوده است. دلیل این امر آن است که پراکنش بالای سطح دریا در اثر پراکنش براگ از امواج موئینی-ثقلی کوتاه بوده و شدت بازپراکنش در پلاریزاسیون VV نسبت به پلاریزاسیون HH بالاتر است. با پیدایش داده‌های SAR پلاریمتریک، روش‌های فیزیکی جدید، موثر و اتوماتیکی جهت تعیین موقعیت و پایش آلودگی‌های نفتی ایجاد شده است [۱۷-۱۹]. این روش‌های جدید از ویژگی همبستگی بین سیگنال‌های پلاریمتریک در زمان نشت نفت در دریا بهره می‌گیرند. با استفاده از داده‌های SAR دوپلاریزه و با توجه به تیره بودن نفت در تصاویر SAR، تکنیک‌های فیلترگذاری ساده و مؤثر جهت پایش نفت دریا بکار برده شدند [۱۷ و ۱۸]. پیدایش و دسترسی به داده‌های SAR کاملاً پلاریمتریک این امکان را برای ما فراهم کرد تا بتوان

۲-۸-۳- روش‌های آشکارسازی آلودگی‌های نفتی با استفاده از داده‌های سنجش از دور

از آنجائیکه سنجنده‌های SAR دارای قابلیت بالاتری نسبت به سایر سنجنده‌ها در زمینه آشکارسازی آلودگی‌های نفتی می‌باشند لذا بیش‌تر مطالعات در این زمینه با استفاده از سنجنده‌های SAR صورت گرفته است. بنابراین در ادامه به بررسی روش‌های رایج جهت آشکارسازی آلودگی‌های نفتی با استفاده از این سنجنده‌ها پرداخته می‌شود.

هندسه پیچیده را نشان می‌دهد)، زبری سطح^{۲۱}، طول، پهناهای لکه.

- ویژگی‌های مربوط به خصوصیات بازپراکنش لکه نفتی مانند میانگین، ماکزیمم، انحراف معیار.
- ویژگی‌های استخراج شده از داده‌های جانبی مانند فاصله از خشکی، تعداد اشکال تاریک در نزدیکی لکه، حضور کشتی‌ها و سکوها نفتی.
- ویژگی‌های بافت مانند آنروپی، کنتراست، همگنی، همبستگی و عدم تجانس.
- ثابت دی الکتریک.

• ویژگی‌های مربوط به تجزیه هدف مانند تجزیه هدف Cloude – Pottier
بررسی جامعی در مورد استخراج ویژگی‌ها برای آشکارسازی لکه‌های نفتی توسط [۱۶] صورت گرفته است. فهرستی از مهم‌ترین ویژگی‌های معمول استفاده شده برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی توسط [۳] آورده شده است. انتخاب دسته‌ای از این ویژگی‌ها جهت ورود به الگوریتم با نظر کاربر متخصص انجام می‌شود. برای این منظور از الگوریتم‌های بهینه‌سازی طبقه‌بندی، می‌توان بهره گرفت. پیدایش سیستم‌های SAR دو یا چهار پلاریزه مانند TerraSAR- و RADARSAT2, ALOS/PALSAR و X اطلاعات مفیدتری نسبت به داده‌های تک پلاریزه در دسترس قرار می‌دهد و برخی از مطالعات اخیر مدعی شدند که داده‌های چندپلاریزه تمایز بهتری بین لکه‌های نفتی و محیط دریا ایجاد می‌کنند [۲۳-۲۵]. استخراج اطلاعات مفید درباره فرآیندهای پراکنش از دو روش آنالیز تک به تک اجزاء ماتریس پراکنش یا با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه هدف امکان پذیر است [۲۶] این عملیات با استفاده از داده‌های کاملاً پلاریمتری انجام می‌شود. اکثر روش‌های تجزیه تلاش می‌کنند تا باز پراکنش پلاریمتری را با خصوصیات فیزیکی پراکنش‌کننده‌ها مانند پراکنش سطحی، حجمی و Double-bounce مرتبط سازند [۲۶]. تعداد معدودی از مطالعات از روش‌های تجزیه پلاریمتری برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی استفاده کرده‌اند [۲۶-۲۸].

ویژگی‌های تعیین شده، به‌عنوان ورودی‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف طبقه‌بندی، تخصیص پیکسل‌ها به کلاس‌های مشابه می‌باشد.

میانگین مقدار بازپراکنش) و برخی اطلاعات جانبی (مثلاً فاصله تا کشتی‌ها) هستند.

- طبقه‌بندی: این فرآیند مرحله نهایی استخراج لکه نفتی است که در آن لکه نفتی، آب دریا و پدیده‌های مشابه در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. نحوه عملیات بدین صورت است که ابتدا تصویر SAR بعنوان داده ورودی تهیه شده، سپس با استفاده از آن نواحی تیره موجود در تصویر با بکارگیری روش‌های گوناگون تشخیص داده می‌شوند. مرحله بعدی استخراج ویژگی‌های این نواحی می‌باشد و گام بعد از آن تشخیص بین نفت و پدیده‌های مشابه است که طبقه‌بندی نامیده می‌شود و در نهایت لکه‌های نفتی که در کلاس جداگانه‌ای از پدیده‌های مشابه قرار گرفته‌اند، استخراج می‌گردند. اگرچه به نظر می‌رسد که الگوریتم ذکر شده در زمینه آشکارسازی لکه‌های نفتی بسیار جا افتاده باشد، برخی از مطالعات وجود دارد که از این ساختار پیروی نمی‌کنند. در ادامه توضیحات بیش‌تری در مورد روش‌های موجود برای هر یک از مراحل فوق ارائه می‌شود.

آشکارسازی اشکال تاریک: تکنیک‌های مختلفی به‌منظور آشکارسازی اشکال تاریک در تصاویر SAR استفاده می‌شوند. در برخی مطالعات به بررسی این تکنیک‌ها پرداخته شده است [۱۴، ۱۶، ۲۱]. از آنجائی که لکه‌های نفتی با میزان باز پراکنش پایین و به تبع آن با تن تیره در تصویر مشخص می‌شوند، اکثر روش‌ها برای مسئله بخش‌بندی لکه‌های نفتی بر مبنای الگوریتم‌های بخش‌بندی مانند آستانه‌گذاری ساده و تطابقی تصویر و هم‌چنین آستانه‌گذاری Hysteresis بنا شده‌اند. روش‌های آنروپی بر مبنای حداکثر طول توصیفی^{۱۷} (MDL) و روش‌های موجک-مبنا^{۱۸} پیشنهاد شده‌اند. در دیگر روش بخش‌بندی که پیشنهاد شده برای نمایش چندمقیاسی تصویر اصلی از زنجیره مارکوف پنهانی (HMC)^{۱۹} استفاده شده است. برای کسب اطلاعات بیش‌تر به [۲۲] مراجعه گردد.

استخراج ویژگی‌ها: ویژگی‌هایی که به‌طور معمول برای تشخیص لکه نفتی استفاده می‌شوند در زیر آورده شده است.

- ویژگی‌های هندسی لکه نفتی نظیر مساحت، محیط، پیچیدگی^{۲۰} (این ویژگی مقدار عددی کوچک برای مناطق با هندسه ساده و مقدار بزرگ برای مناطق با

جدیدی است که به دلیل ویژگی‌های منحصر بفرد خود در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. داده‌های SAR به دلیل پوشش گسترده و قابلیت تصویربرداری در همه شرایط آب و هوایی و در کل مدت شبانه روز به طور گسترده‌ای برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی در دریاها استفاده می‌شوند. البته باید توجه شود که پایش لکه‌های نفتی با استفاده از این داده‌ها دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد از جمله این که در محدوده خاصی از سرعت باد قابل کاربرد هستند و هم‌چنین دسترسی به این داده‌ها محدود می‌باشد. بطور کل از باند C سنجنده‌های راداری SAR در این زمینه بیش‌تر استفاده شده است. دلیل این امر کاهش بازپخش لکه نفتی در این باند می‌باشد. بنابراین سنجنده‌های RADARSAT1/2، ERS1/2 و Envisat که در این باند تصویر برداری می‌کنند بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. پلاریزاسیون VV برای آشکارسازی آلودگی‌های نفتی مناسب‌تر شناخته شده است. دلیل آن این است که پراکنش بالای سطح دریا در اثر پراکنش براگ از امواج موئینی-ثقلی کوتاه بوده و شدت بازپراکنش در پلاریزاسیون VV نسبت به پلاریزاسیون HH بالاتر است. با این حال پیدایش داده‌های SAR کاملاً پلاریمتریک منجر به ایجاد تکنیک‌های جدیدی از جمله تجزیه هدف شده است که استفاده از آن‌ها باعث بهبود نتایج گریده است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهند که سنجش از دور نقش بسیار مهمی در پایش و کشف این آلودگی‌ها ایفا می‌کند و سنجنده SAR با توجه به قابلیت‌های اخذ داده در همه شرایط آب و هوایی و در شبانه روز، سنجنده کلیدی برای پایش آلودگی‌های نفتی است. هم‌چنین استفاده از داده‌های پلاریمتری، اطلاعات مفیدتری نسبت به داده‌های تک پلاریزه برای کشف لکه‌های نفتی در اختیار قرار می‌دهد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Emissivity
- 2- NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)
- 3- Ultra Violet
- 4- Thermal Infrared

طبقه‌بندی‌کننده‌ها به دو گروه کلی نظارت شده و نظارت نشده تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به پیچیدگی موضوع آشکارسازی لکه‌های نفتی، روش‌های نظارت نشده نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهند بنابراین تمرکز اصلی در تحقیقات قبلی روی روش‌های نظارت شده بوده است. در این ارتباط استفاده از روش‌های ساده آماری نظیر بیش‌ترین شباهت^{۲۲}، کمترین فاصله^{۲۳} و ماهالانوبیس^{۲۴} و نیز روش‌های هوشمند با حجم محاسباتی بالا مانند ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی، هم‌چنین طبقه‌بندی‌کننده فازی^{۲۵} و غیره مطرح می‌باشند. بررسی گسترده‌ای در مورد روش‌های متفاوت استفاده شده و نتایج مربوط به آن‌ها توسط Topouzelis [۲۳] و Migliaccio و همکاران [۲۹] صورت گرفته است.

۳- نتایج و بحث

هدف اصلی در این مقاله، معرفی سنجنده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس در زمینه آشکارسازی آلودگی‌های نفتی دریا و بیان معایب و مزایای هر یک در این زمینه می‌باشد. در کنار آن، نحوه بروز آلودگی‌های نفتی در تصاویر SAR و هم‌چنین سنجنده‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در خصوص آشکارسازی آلودگی‌های نفتی با استفاده از تصاویر SAR مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. در سیستم‌های غیر فعال، در بخش مرئی لکه‌های نفتی دارای بازتاب بالاتر نسبت به آب هستند، لذا در تصاویر مرئی با تن روشن‌تر دیده می‌شوند. محدودیتی که در اینجا وجود دارد حضور پدیده‌های دیگر با بازتاب بالا نظیر برخی ساختارهای زیستی است [۲] تأثیر بازتاب بستر دریا در نواحی کم عمق نیز می‌تواند اثری مشابه با لکه‌های نفتی داشته باشد. در محدوده مادون قرمز حرارتی لکه‌های ضخیم نفتی بصورت جذب‌کننده‌های خوب و به تبع آن ساطع‌کننده‌های خوب عمل می‌کنند لذا این نوع از لکه‌های نفتی در تصاویر مادون قرمز بصورت نقاط با حرارت بالاتر نسبت به اطراف با تن روشن‌تر ظاهر می‌شوند. استفاده از ماکروویو غیر فعال نیز در آشکارسازی آلودگی‌های نفتی مفید است. با استفاده از داده‌های این محدوده از طیف الکترومغناطیس، لکه‌های نفتی بواسطه گسیلمندی^{۲۶} بالاتر نسبت به آب دریا قابل شناسایی هستند. در مقابل روش‌های فوق، ماکروویو فعال فن‌آوری

- [8] Goodman R. Overview and Future Trend in oil Spill Remote Sensing, *Spill Science & Technology Bulletin*. 1994; 1(1): 11-21.
- [9] Grüner K, Reuter R, Smid, H. A New Sensor System for Airborne Measurements of Maritime Pollution and of Hydrographic Parameters, *Geojournal*. 1991; 24(1):103-117.
- [10] Fingas M F, Brown C E. Review of oil spill remote sensors. Emergencies Science and Technology Division Environment Canada Environmental Technology Centre Ottawa, Ontario, Canada. 2002.
- [11] Lee J S, Pottier E. *Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications*. CRC Pres, Boca Raton. 2009.
- [12] Fingas M, Brown C E. *Oil spill remote sensing: A review*. Oil spill science and technology. Gulf Professional Publishing, Boston; 2011.
- [13] Hovland H A, Johannessen J A, Digranes, G. Slick detection in SAR images. in *Proc. IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing (IGARSS)*, Pasadena; 1994; 4 (CA): 2038–2040.
- [14] Solberg A H S, Storvik G, Solberg R, Volden E. Automatic detection of oil spills in ERS SAR images. *IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing*; 1999; 37(4): 1916–1924.
- [15] Pelizzari S. *Oil Spill Detection Using SAR Images*. Ph.D thesis, Lisboa: UTL. Instituto Superior Técnico; 2011.
- [16] Brekke C, Solberg A. Oil spill detection by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*; 2005; 95(1): 1-13.
- [17] Migliaccio M, Nunziata F, Montuori A, Li X, Pichel W. A multifrequency polarimetric SAR processing chain to observe oil fields in the Gulf of Mexico, *IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing*; 2011; 49(12): 4729–4737.
- [18] Velotto D, Migliaccio M, Nunziata F, Lehner S. Dual- polarized TerraSAR-X data for oil-spill observation, *IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing*; 2011; 49(12): 4751–4762.
- [19] Zhang B, Perrie W, Li X, Pichel W G. Mapping sea surface oil slicks using RADARSAT-2 quad- polarization SAR image, *Geophysical Research Letters*; 2011; 38(10).
- [20] Azarakhsh Z. *Sea oil spill detection using SAR images*, Msc thesis, Shahid Beheshti University; 2014. [In Persian].
- 5-Emissivity
6-Microwave radiometer
7- امواج موئینی کوتاه، امواج دریا با طول تقریباً ۲ سانتی متر و امواج ثقلی کوتاه با طول تقریباً ۵۰ سانتی متر هستند.
8-Side- Looking Airborne Radar
9-Advanced Synthetic Aperture Radar(ASAR)
10-Backscatter
11-Organic Film
12-Grease ice,
13-Rain cells
14-Internal waves
15-Target Decomposition Theory
16- Segmentation
17- Maximum Descriptive Length (MDL)
18- Wavelet based
19- Hidden Markov Chains
20- Complexity
21- Roughness
22-Maximum likelihood
23- Minimum distance
24-Mahalanobis
25- Fuzzy classifier
26- Emissivity

منابع

- [1] Pajot, E. Examples of SAR Imagery Applications to the Petroleum Industry. 75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC, 2013; 10.
- [2] Fingas M. F., Brown, C. E. Review of oil spill remote sensing. *Spill Sci. Technol. Bull*, 1997; 4(4): 199–208.
- [3] Solberg, A. H. S. Remote sensing of ocean oil-spill pollution. *Proceedings of the IEEE*; 2012 100 (10): 2931- 2945.
- [4] Tseng W. Y, Chiu, L. S. AVHRR observations of Persian Gulf oil spills, in *Proc. Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 1994; (2): 779–782.
- [5] Adamo M, Carolis G D, Pasquale V D, Pasquariello G. Detection and tracking of oil slicks on sun-glittered visible and near infrared satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 2009; 30(24): 6403-6427.
- [6] Fabregas J, Herrero C, Veiga M. Effect of oil and dispersant on growth and chlorophyll a content of the marine microalga *Tetraselmis Suecica*; 1984; 47(2):445-447.
- [7] Brown C, Fingas M, Hawkins R. Synthetic Aperture Radar Sensors: Viable for Marine Oil Spill Response. In *Proc. 26th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technology Seminar*. Victoria, Canada; 2003: 299-310.

- [21] Brekke C, Solberg A. Classifiers and confidence estimation for oil spill detection in ENVISAT ASAR images. *IEEE Geosci. Remote Sens Lett*; 2008; 5(1): 65–69.
- [22] Matkan A A, Hajeb M, Azarakhsh Z. 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].
- [23] Topouzelis K. Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms. *Sensors*; 2008; 8(10): 6642-6659.
- [24] Migliaccio M, Nunziata F, Gambardella A. On the copolarised phase difference for oil spill observation *International Journal of Remote Sensing*; 2009; 30(6): 1587–1602.
- [25] Velotto D, Migliaccio M, Nunziata F, Lehner S. Oil-slick observation using single look complex TerraSAR-X dual-polarized data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*; 2010: 3684–3687
- [26] Jones C E, Minchew B, Holt B. Polarimetric decomposition analysis of the Deepwater Horizon oil slick Using L-band UAVSAR data. *IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing*; 2011: 2278 – 2281.
- [27] Wenguang W, Fei L, Peng W, Jun W. Oil spill detection from polarimetric SAR image, in *Proc. International Conference Signal Process*; 2010: 832–835.
- [28] Matkan A A, Hajeb M, Azarakhsh Z. Oil spill detection from SAR image using SVM based classification. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, SMPR*; 2013; XL-1/W3:55-60.
- [29] Migliaccio M, Gambardella A, Giacinto G, Montali A. One-class classification for oil spill detection. *Pattern Anal Applic*; 2010; 13(3).

