

آشکارسازی لکه نفتی با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸

مینا محمدی^۱، علیرضا شریفی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری، سنجش از دور - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر

شهید رجایی

mina.mhmd77@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

a_sharifi@sru.ac.ir

تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۴۰۰، تاریخ تصویب فروردین ۱۴۰۱

چکیده

آلودگی محیط زیست و بلایا با رشد جمعیت به تدریج افزایش یافته است. وجود منابع نفتی در دریاها و حوادث مربوط به کشف، استخراج و حمل و نقل آنها باعث به وجود آمدن لکه های نفتی در سطح دریاها می شود که نشت این مواد نفتی به دریاها عوارض محیط زیستی جبران ناپذیری دارد. به همین دلیل نظارت بر اثرات این حوادث برای بهداشت عمومی بسیار مهم است. مأموریت های ماهواره ای ابزاری بسیار کارآمد برای شناسایی آلاینده هایی مانند نشت نفت است. سنسور رادار با دیافراگم مصنوعی (SAR) یک سیستم سنجش ماکروویو فعال است که می تواند برای تشخیص نشت نفت با سنسورهای نوری نصب شده روی سیستم های ماهواره ای لندست-۸، سنتینل-۲ و استر با در نظر گرفتن پوشش ابر و زمان بازدید مجدد ماهواره در مکان مشابه استفاده شود. در این پژوهش منطقه نشت نفت ناشی از نشت لوله در جزیره خارک با تصاویر ماهواره ای لندست-۸ و سنتینل-۱ مورد مطالعه قرار گرفت. تکنیک های مختلف پردازش تصویر به منظور برجسته سازی نشت نفت در رابطه با حادثه رخ داده، نظیر فیلتر مورفولوژی و کانولوشن بر روی باندهای لندست-۸ اعمال شد. از تصاویر لندست-۸ به منظور پشتیبانی از نتایج به دست آمده از سنتینل-۱ استفاده شده است و سپس نتایج حاصل از آن با نتایج به دست آمده از الگوریتم طبقه بندی نزدیک ترین همسایگی مورد مقایسه قرار گرفتند. لکه های نفتی با تجزیه و تحلیل داده SAR و نتایج لندست-۸ با موفقیت تشخیص داده شدند و با بررسی نتایج، روش های انتخاب شده از نظر نمایش مناطق نشت نفت با یکدیگر تطابق دارند.

واژگان کلیدی: نشت نفت، رادار با دیافراگم مصنوعی، لندست-۸، پردازش تصویر

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

نشت نفت اثرات نامطلوبی بر محیط دریایی در مناطق اقیانوسی و ساحلی دارد. مناطق ساحلی مکان‌هایی با تراکم جمعیت بالا هستند. در مورد نشت نفت در مناطق ساحلی، باید گسترش نفت قبل و بعد از این رویداد را بررسی کرد تا اطمینان حاصل شود که خط ساحلی از آلاینده‌ها در امان است. نشت نفت می‌تواند از ترک‌های خطوط لوله نفت، تخلیه غیرقانونی از کشتی‌ها، حوادث کشتی‌ها و سکوهای حفاری نفت اتفاق بیفتد. در مناطق ساحلی، نشت نفت بیشتر به دلیل تخلیه غیرقانونی و حوادث کشتی اتفاق می‌افتد. تکنیک‌های مختلفی برای نظارت بر نشت نفت مانند بررسی بصری با هواپیما، رادیومترهای ماکروویو (MWR)، اسکنر خط مادون قرمز (IR)، فلوتور سنسور لیزری (LFS)، رادار هوایی با دید مجاور (SLAR)، رادار با دیافراگم مصنوعی (SAR) و سنسورهای نوری مانند لندست، سنتینل-۲، استر وجود دارد [۹-۱]. از این تکنیک‌ها، سنسورهای ماهواره‌های سنجش‌ازدور با پهنای باند مختلف در طیف الکترومغناطیس مانند مرئی، مادون قرمز کوتاه موج، مادون قرمز حرارتی و رادار می‌توانند به دلیل نظارت مستمر و پوشش جهانی گسترده زمین استفاده شوند. ماهواره‌های SAR، داده‌ها را در تمام شرایط آب و هوایی از جمله روز و شب ارائه می‌دهند. نظارت بر نفت با SAR به لحاظ نظری بستگی به آسیب دیدن امواج در شرایط سرعت باد دارد که منجر به اطلاعات سیاه می‌شود. سرعت باد یک پارامتر بسیار مهم برای اطلاعات سیاه است. اگر سرعت باد کمتر از 2 m/s باشد، سطح دریا هیچ نشانه‌ای از نشت نفت در تصاویر SAR را نشان نمی‌دهد. برای نمایش نشت نفت، سرعت باد باید بین 3 m/s تا 6 m/s باشد. علاوه بر این، کاهش ضخامت نفت می‌تواند با سرعت باد بین 10 m/s تا 12 m/s نمایش داده شود. در نتیجه سرعت باد باید بین 2.5 m/s تا 12 m/s باشد تا نشت نفت با داده‌های SAR قابل شناسایی باشد [۱۰].

چندین پارامتر وابسته به سیستم وجود دارد که بر روی پردازش داده‌های SAR برای نظارت بر نشت نفت تأثیر می‌گذارد. پارامتر اول، باند رادار است. ماهواره‌های سنجش‌ازدور مجهز به سنسورهای SAR سیگنالی را در فرکانس‌های مختلف ارسال می‌کنند که به آن‌ها باند X

($8-12 \text{ GHz}$ و $4-2.5 \text{ cm}$)، باند C ($4-8 \text{ GHz}$ و $4-8 \text{ cm}$) و باند L ($1-2 \text{ GHz}$ و $15-30 \text{ cm}$) گفته می‌شود. باند X به دلیل طول موج کوتاهی که نسبت به نفت و سطح دریای بدون نفت دارد، حساسیت بیشتری به امواج سطح دریا دارد. اما شامل مقدار زیادی از نویز لکه می‌شود [۱۱]. مارزیالتی و لانو اظهار داشتند که کنتراست بین نشت نفت و سطح دریا در باند X زیاد، در باند C متوسط و در باند L کم است. باند X نسبت به باند C رادار و باند L رادار نتایج بهتری می‌دهد. باین‌حال داده‌های SAR در باند C و حتی باند L نیز اطلاعات خوبی در مورد نشت نفت می‌دهند [۱۲، ۱۳].

پارامتر دوم، نوع پلاریزاسیون سیستم SAR است. به علت ثابت دی‌الکتریک بالای سطح دریا، پلاریزاسیون VV در مقایسه با پلاریزاسیون HH باعث بازتاب بیشتر رادار می‌شود. پلاریزاسیون VV نسبت سیگنال به نویز بهتری را ارائه می‌دهد و در نتیجه در قسمت نشت نفت نیز کنتراست بیشتری را ایجاد می‌کند. بنابراین می‌توان از پلاریزاسیون VV به‌طور مؤثرتری در مطالعات نشت نفت استفاده کرد [۱۴]. مشکل اصلی در مطالعات نشت نفت با تصاویر SAR این است که نشت نفت و پدیده شبه ظاهری، ظاهری شبیه به هم دارند زیرا آن‌ها لکه‌های تاریک مشخصی را ایجاد می‌کنند. شباهت ظاهری می‌تواند از سرعت کم باد، امواج داخلی، حرکات کشتی‌ها، جلبک، آب کم عمق و سلول‌های بارانی ایجاد شود. به همین دلیل می‌توان رویکردهای چند سنسور را در مناطقی که نشت نفت دارند به کار برد تا از شباهت ظاهری لکه‌های نفتی جلوگیری شود. علاوه بر داده‌های SAR، می‌توان از سنسورهای نوری برای تأیید نتایج SAR برای نشت نفت استفاده کرد. پاسخ سنسورهای نوری به نشت نفت با توجه به شرایط نوری، ضخامت فیلم و خصوصیات نوری نفت و دریا تغییر می‌کند. سنسورهای نوری همچنین تحت تأثیر ابر و مه هستند که باید به هنگام پردازش تصاویر مورد توجه قرار گیرند. سنسورهای نوری سنجش‌ازدور مانند لندست-۸، سنتینل-۲ و استر، نقش مؤثری در نظارت بر نشت نفت دارند. یکپارچه‌سازی سنسورهای نوری مختلف برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد نشت نفت اجتناب‌ناپذیر است زیرا توانایی سنجش به عواملی مانند موقعیت آلودگی، هندسه مختلف اخذ، پردازش نشت نفت، مشخصات سنسور، زمان بازبینی مجدد ماهواره‌ها، پوشش

علاوه بر این فیلتر گسترش مورفولوژی بر روی داده‌های SAR به‌منظور ایجاد ویژگی‌های بیشتر قابل توجه است. علاوه بر فیلترهای موجود، دمای روشنایی در تصاویر نوری نیز می‌تواند در شناسایی لکه‌های نفتی مفید باشد. زینگ و همکاران با استفاده از تصاویر روزانه باند ETM+ لندست-۷ و باند حرارتی TM لندست-۵، نشت نفت رخ داده در خلیج مکزیک در سال ۲۰۱۰ را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها لکه‌های سردتر و گرم‌تر (ناشی از تابش خورشید) از محیط اطراف را با محاسبه دمای روشنایی شناسایی کرده و نتایج نشان داد که این تکنیک برای شناسایی محل اولیه نشت نفت مفید است [۲۲].

در این مطالعه داده‌های سنتینل-۱ برای تشخیص نشت نفت و داده‌های لندست-۸ برای اعتبارسنجی استفاده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از طرف دیگر از نتایج الگوریتم طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی برای ارزیابی و مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از مرحله قبل استفاده شد. دمای روشنایی به‌منظور مشاهده تغییرات نشت نفت در دمای سطح دریا از باند حرارتی لندست-۸ برآورد شد. همچنین فیلترهای حداقل سهم نویز^۲، گسترش مورفولوژی^۳ و تشخیص لبه سوبل^۴ بر روی باندهای لندست-۸ برای تعیین منطقه نشت نفت اعمال شده‌اند.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

بندر گناوه شهری کوچک و مرکز گناوه، استان بوشهر است که در جنوب غربی ایران و در مجاورت جزیره خارک واقع شده است. جزیره خارک یک جزیره قاره‌ای است و بندری برای صادرات محصولات نفتی ایران در خلیج فارس فراهم می‌کند. از نظر موقعیت جغرافیایی درجایی نزدیک به عرض جغرافیایی $29^{\circ}34'45''N$ و طول جغرافیایی $50^{\circ}31'01''E$ واقع شده است (شکل ۱). ایران در واقع آب و هوای متغیری دارد. با این وجود، به‌طور کلی، بیشتر استان‌ها دارای آب و هوای خشک هستند. آب و هوا در اینجا نیز از این قاعده مستثنا نبوده و دارای آب‌وهوای گرم، خشک و ساحلی است. صنعت نفت نقشی محوری در

مکانی و پوشش ابر بستگی دارد. از آنجاکه هر سنسور نصب شده بر روی سکو دارای ویژگی خاصی در مرحله طراحی است، ترکیبی از اطلاعات همه سنسورها، نتایج قابل اطمینان تری را در مدل‌سازی میزان و گسترش نشت نفت ارائه می‌دهد [۱۵].

تاکنون چندین مطالعه در رابطه با سنسورهای نوری و SAR انجام گرفته است. مجیدی و همکاران بر روی داده‌های پلاریزاسیون دوقطبی (VV/VH) باند C، سنتینل-۱ در منطقه خلیج فارس کار کردند. آن‌ها گزارش دادند که پلاریزاسیون VV نتایج بهتری نسبت به پلاریزاسیون VH می‌دهد [۱۶]. ژائو و همکارانش با استفاده از داده‌های مادیس، مریس، لندست-۷ و لندست-۸ برای سه رویداد مختلف، یک مطالعه نشت نفت در یک دریای ساحلی کم‌عمق در خلیج عربستان انجام دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مناطق نشت نفت به دلیل تغییر در نوع نفت، ضخامت نفت، خورشید و هندسه دید دارای ویژگی‌های تاریک یا روشن هستند [۱۵]. مجیدی و همکاران نشت نفت در آب کم‌عمق در مرکز الخفجی واقع در خلیج فارس که در تیر ماه ۱۳۹۶ رخ داد را با تصاویر سنتینل-۲ بررسی کردند [۱۷].

پردازش تصویر داده‌های خام نیز برای برجسته کردن مناطق تحت تأثیر نشت نفت مهم است. این روش‌ها را می‌توان در مطالعات مربوط به سنسورهای نوری و SAR اعمال کرد. kolokoussis و karathanassi تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شیء^۱ را به‌منظور شناسایی نشت نفت در نزدیکی ساحل بر روی سنتینل-۲ اعمال کردند [۱۸]. این تجزیه و تحلیل بستگی به تقسیم‌بندی تصویر با استفاده از همگونی و معیارهای هندسی نتایج در اشیا دارد. فانا و همکاران استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبانی برای نظارت بر نشت نفت بر روی تصاویر SAR را مورد مطالعه قرار داد [۱۹]. سان و همکاران با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور مادیس از عملگر سوبل، رابرت، لاپلاسیان و LOG برای تعریف لبه نشت نفت در حادثه نفت پنگلای ۱۹-۳ استفاده کرد [۲۰]. دوول و همکاران از آشکارسازهای لبه سوبل و پرویت برای برجسته‌سازی لبه‌های قابل توجه در تصاویر SAR استفاده کردند [۲۱].

^۲ Minimum Noise Fraction (MNF)

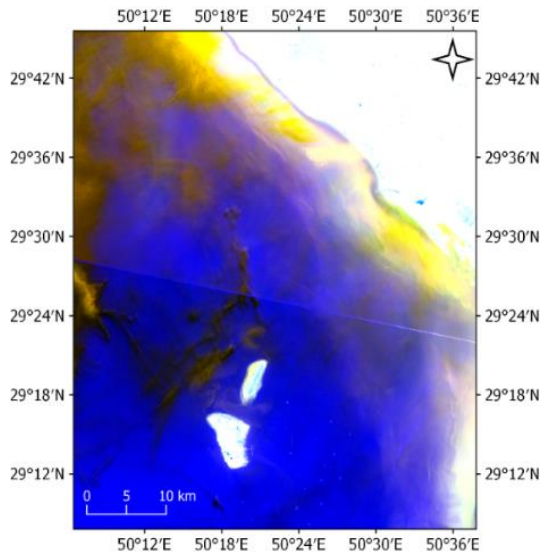
^۳ Morphology Dilation

^۴ Sobel Edge Detection

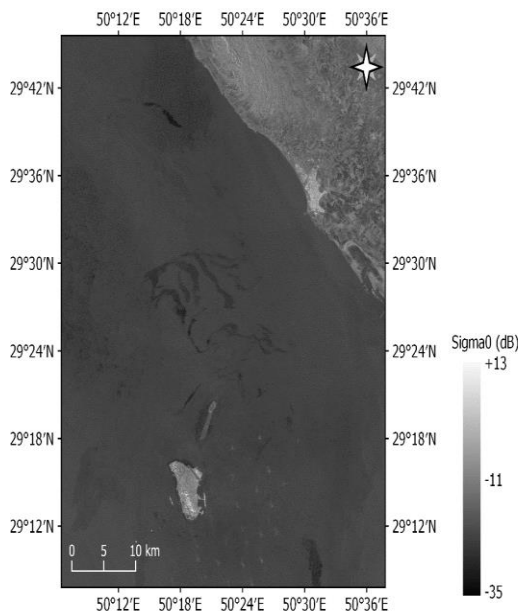
^۱ Object-Based Image Analysis (OBIA)



الف



ب



ج

شکل ۱- (الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه. (ب) تصویر Landsat-8 جزیره خارک در تاریخ ۸ مهر ۱۳۹۸ با ترکیب باندی کاذب (آبی، سبز، حرارتی ۱). (ج) تصویر Sentinel-1 جزیره خارک در تاریخ ۶ مهر ۱۳۹۸ با قطبش VV پس از کاهش نویز لکه به روش گاما با اندازه پنجره ۷×۷

توسعه اقتصادی یا تجاری بندر گناوه و درآمدزایی مردم محلی دارد.

این منطقه یکی از مکان‌های مهم اکتشاف نفت است. بنابراین، این مسئله تأیید می‌کند که نشت نفت یک اتفاق معمول در این منطقه است، که بیشتر اوقات از ریختن نفت از کشتی‌ها و خط لوله ناشی می‌شود. چنین مشکلاتی موانع متنوعی را برای مردم محلی ایجاد می‌کند. به‌عنوان نمونه انواع مختلف آلاینده‌های محیطی، چندین اثر مخرب بر عملکرد کشاورزی دارد. در ۲۶ شهریور ۱۳۹۸، وقوع نشت نفت از خط لوله جزیره خارک باعث آلودگی نفتی در این منطقه شده است که بیش از ۳۰۰ کیلومترمربع را تحت پوشش قرار داده است.

منابع دولتی تأیید کردند که نشت نفت تأثیرات مخربی بر سلامت مردم محلی و اقتصاد کشاورزی و ماهیگیران داشته است. از این رو، نظارت بر آلاینده‌های نفتی نقش مهمی در جلوگیری از انتشار آلودگی‌های نفتی با نشت نفت از طریق استفاده و کاربرد رویکردهای سنجش‌ازدور دارد. این نظارت به برنامه ریزان و مدیران دولتی کمک می‌کند تا اقدامات بهتر و سریع‌تری را به منظور حل این نوع مشکلات زیست‌محیطی انجام دهند.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای سنجش‌ازدور سنتینل-۱ و لندست-۸ استفاده شده است. تصاویر استفاده شده در این مطالعه در شکل ۱ آمده است. سنتینل-۱ یک ابزار SAR در باند C با فرکانس مرکزی ۵,۴۰۵ گیگاهرتز متناظر با طول موج ۵,۵۵ سانتی‌متر است و به‌صورت پلاریزاسیون منفرد (HH یا VV) و پلاریزاسیون دوگانه (VV+VH یا HH+HV) کار می‌کند. ماهواره‌های سنتینل-۱ و سنتینل-۱بی در یک مدار قرار دارند تا به افزایش فرکانس تصویربرداری مانند رسیدن رزولوشن زمانی به ۶ روز کمک کنند [۲۳]. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره	تاریخ اخذ	زمان تصویربرداری	باند مورد استفاده	طول موج
سنتینل-۱	۶ مهر ۱۳۹۸	۱۸:۱۲:۲۸	قطبیش VV	۵,۵۵ سانتیمتر
لندست-۸	۳۰ شهریور ۱۳۹۸	۱۰:۴۷:۱۱	ماوراء بنفش / آبی	-۰,۴۳۵ ۰,۴۵۱ میکرومتر
			آبی	-۰,۴۵۲ ۰,۵۱۲ میکرومتر
			سبز	-۰,۵۳۳ ۰,۵۹۰ میکرومتر
			حرارتی ۱	-۱۰,۶۰ ۱۱,۱۹ میکرومتر

۳- روش شناسی

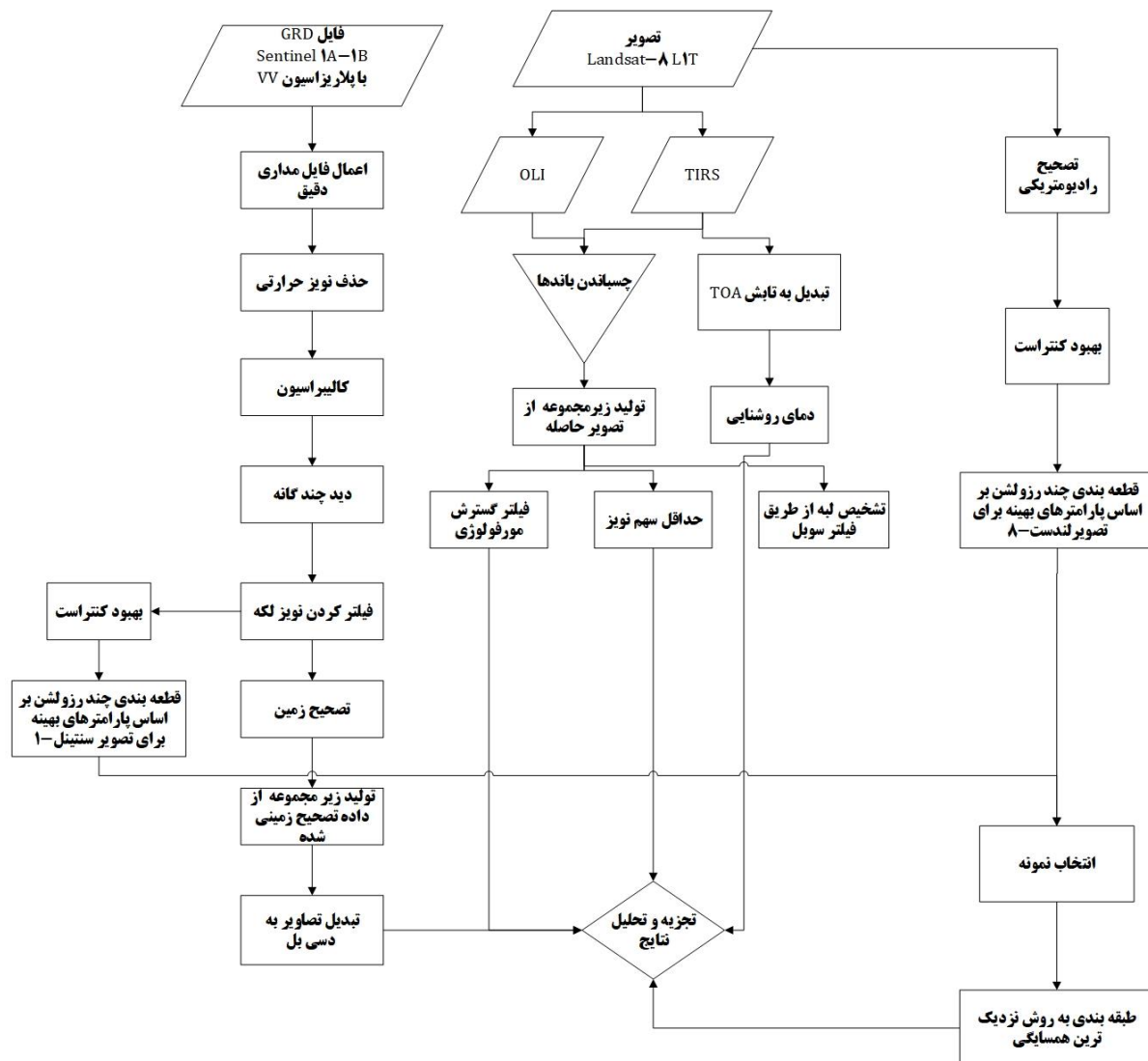
داده‌های سنتینل-۱^۱ و سنتینل-۲^۲ برای نظارت بر نشت نفت استفاده می‌شوند. طرح‌های مختلف پلاریزاسیون می‌تواند برای نظارت بر نشت نفت استفاده شود. هنگامی که سیگنال رادار به دریا فرستاده می‌شود، می‌تواند به دلیل اثر نفت در امواج مویرگی تشخیص داده شود [۲۴، ۲۵]. تصاویر رادار از مزیت تشخیص نشت نفت استفاده می‌کنند زیرا نفت می‌تواند به‌عنوان لکه‌های سیاه در تصاویر تشخیص داده شود. علاوه بر تصاویر SAR، باندهای لندست-۸ را می‌توان با استفاده از فیلترهای مختلف استفاده کرد. دمای روشنایی در تجزیه و تحلیل نشت نفت استفاده می‌شود. روند کار پردازش برای نظارت بر نشت نفت در دریا با استفاده از داده‌های سنتینل-۱ و لندست-۸ در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳-۱- پردازش داده‌های SAR

پلت فرم نرم‌افزار sentinel (SNAP)، توسط براکمن توسعه داده شده است و برای پردازش تصاویر sentinel-1 GRD level 1 IW استفاده می‌شود. مراحل پیش‌پردازش داده‌های SAR در شکل ۲ آورده شده است. در اولین مرحله از پردازش، فایل‌های مداری دقیق سنتینل-۱ که گاهی اوقات به خاطر دقت کم بردار مدار ارائه شده از داده‌های SAR متادیتا تولید می‌شوند. در مرحله‌ی بعد حذف نویز حرارتی انجام می‌شود. نویز حرارتی به دلیل

انرژی پس‌زمینه در سیستم SAR، دقت برآورد بازتاب رادار را کاهش می‌دهد. سپس کالیبراسیون پیکسل‌های رقومی پلاریزاسیون VV با استفاده از پارامترهای داده شده در فایل تولید SAR برای مقادیر بازگشت شده و کالیبره شده رادیومتریک (سیگما^۰) انجام می‌شود. تصاویر SAR همچنین شامل نویز لکه‌هایی است که به‌عنوان یک اثر نمک و فلفل در تصویر دیده می‌شود. دید چندگانه^۱ روشی است که با استفاده از ۲ رویکرد باعث کاهش نویز لکه می‌شود. تصاویر با دید چندگانه را می‌توان با استفاده از پهنای باند نیمه طیفی یا میانگین دامنه‌ی فضایی از یک تصویر با یک دید یا با کرنل دوبعدی به‌وسیله‌ی کانولوشن در دامنه فرکانس تولید کرد. نرم‌افزار SNAP از روش دامنه فضایی برای نمونه‌برداری مجدد تصاویر با رزولوشن کمتر استفاده می‌کند تا سطح نویز لکه را برای آزمایشات و دامنه کاهش دهد. در حالیکه محصولات GRD سنتینل-۱ دید چندگانه دارند، کاهش نویز لکه را می‌توان با استفاده از فیلترهای مختلف با در نظر گرفتن توزیع داده‌ها انجام داد. به‌منظور کاهش نویز لکه می‌توان از گزینه‌ی فیلتر کردن لکه با انتخاب نقشه گاما با سایز پنجره ۵×۵ در SNAP استفاده کرد. میناکشی و پونیتهم روش‌های میانگین، میانه، لی سیگما^۲، منطقه محلی^۳، لی و نقشه گاما را برای کاهش نویز لکه در تصاویر SAR مطالعه کردند [۲۶]. فیلتر نقشه گاما^۴ دارای ویژگی حفظ اطلاعات لبه در مقایسه با سایر روش‌ها می‌باشد. ایشان ثابت کردند که نقشه گاما، فیلترهای لی و فراس^۵ با کرنل ۵×۵ نتایج بهتری را برای تصاویر SAR نشان می‌دهند.

۱ Multilooking
۲ Lee sigma
۳ Local-region
۴ Gamma Map Filter
۵ Frost



شکل ۲- مراحل پردازش تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸

منبع از مرحله دید چندگانه به اندازه ۲۰ متر در جهت‌های برد و آزیموت به دست می‌آید که نشان‌دهنده فاصله روی زمین برای یک پیکسل است. فاصله پیکسل برای محصول به دست آمده به عنوان ۲۰ متر انتخاب شده است. دیتوم WGS84 برای سیستم مختصات نقشه در تصحیح زمین انتخاب شد که منجر به تولید یک تصویر کدگذاری شده، شد. در آخر زیرمجموعه منطقه مورد نظر از تصویر اصلاح شده بریده شده و به دسی بل تبدیل می شود.

۲-۳- پردازش داده لندست-۸

داده‌ی سطح یک لندست-۸ به صورت درجات خاکستری به دست آمده است. به منظور تخمین دمای روشنایی از باندهای حرارتی لندست-۸، تبدیل از درجات خاکستری با استفاده از ثابت‌های موجود در فایل متادیتا

سودها و ویجندران از شش روش فیلتر با ۵ اندازه کرنل متفاوت برای کاهش نویز لکه داده سنتینل-۱ استفاده کردند و دریافتند که فیلتر نقشه گاما در اندازه پنجره ۷×۷ نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر ارائه می دهد [۲۷]. پس از فیلتر کردن لکه‌ها، تصحیح زمین برای داده‌های خروجی با استفاده از عملگر تصحیح زمین داپلر در SNAP اعمال می‌شود زیرا فاصله‌ی بین سنسور SAR و سطح منعکس شده می‌تواند به دلیل تیلت سنسور و تغییرات توپوگرافی تخریب شود. تصاویر باید برای این اثرات در مرحله تصحیح زمین با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) اصلاح شوند. SRTM سه ثانیه برای DEM استفاده می‌شود. علاوه بر این فاصله پیکسل GR

۱ Doppler Terrain Correction Operator

همبسته، سهم نویز به صورت بازگشتی به حداقل می رسد [۲۸، ۲۹]. بیشتر اطلاعات را می توان در اولین باندهای خروجی یافت. داده ها شامل d بعد و n پیکسل هستند. اگر X اندازه ماتریس داده $n \times d$ را با اندازه $d \times 1$ بردار X_i ، $i = 1.2.3. \dots .n$ نشان دهد:

$$X = (X_1, \dots, X_n)^T \quad (3)$$

X_i می تواند از مجموع سیگنال (S_i) و نویز (ϵ_i) به دست آید:

$$X_i = S_i + \epsilon_i \quad (4)$$

اگر هیچ ارتباطی بین سیگنال و نویز وجود نداشته باشد، کوواریانس X_i را می توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\Sigma_X^T = \Sigma_X^S + \Sigma_X^N \quad (5)$$

که Σ_X^T کوواریانس X_i ، Σ_X^S کوواریانس S_i و Σ_X^N کوواریانس ϵ_i است. برای محاسبات ریاضی، ماتریس کوواریانس سیگنال و نویز با استفاده از ماتریس A با ابعاد $d \times d$ مورب می شود که شامل بردارهای ویژه داده ها می باشد (رابطه ۶).

$$A \Sigma_X^S A^T = \Lambda A \Sigma_X^N A^T = I \quad (6)$$

در این معادله، Λ ماتریسی مورب از مقادیر ویژه چون $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_d \geq 0$ و I ماتریس هویت است. به منظور حل رابطه ۶، روش ترکیبی ویژه می تواند برای تبدیلات استفاده شود [۲۸، ۲۹].

۳-۲-۴- فیلترها

در این مطالعه از دو فیلتر مختلف گسترش مورفولوژی و تشخیص لبه سوپل استفاده شده است. در فیلتر گسترش مورفولوژی، هدف این است که حفره های بین نتایج نویز پیکسل ها در یک سطح صاف بر روی یک تصویر خاکستری را پر کند. از این فیلتر می توان به عنوان تکنیک پردازش غیرخطی تصویر با تمرکز بر ساختارهای هندسی درون یک تصویر یاد کرد. فیلترهای گسترش با استفاده از افزودن بردار عناصر مجموعه، دو مجموعه A و B را ترکیب می کنند. A می تواند به عنوان تصویر ذکر شود در حالی که B یک المان ساختار، یعنی کرنل است. در این مطالعه اندازه کرنل یک ماتریس 7×7 انتخاب شده

انجام شد. برای برآورد دمای روشنایی دو مرحله در الگوریتم وجود دارد که یکی از آن ها تبدیل به تابش بالای اتمسفر^۱ (TOA) و مرحله دیگر تبدیل به دمای روشنایی^۲ TOA است.

۳-۲-۱- تبدیل به تابش بالای اتمسفر

تابش طیفی TOA را می توان از داده های سطح ۱ لندست-۸ مطابق رابطه ۱ به دست آورد:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

در این معادله L_λ تابش طیفی TOA ($W/(m^2 \text{srad } \mu m)$)، M_L عامل مقیاس سازی ضربی باند خاص^۳، A_L عامل مقیاس سازی افزایشی باند خاص^۴ و Q_{cal} عدد رقمی باند مربوطه است.

۳-۲-۲- تبدیل به دمای روشنایی بالای اتمسفر

تابش طیفی TOA از مرحله اول با استفاده از رابطه ۲ [۲۲] می تواند به دمای روشنایی TOA تبدیل شود:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda + 1}\right)} \quad (2)$$

در این معادله T دمای روشنایی TOA و K_1 و K_2 برحسب کلوین، ثابت های تبدیل حرارتی باند خاص هستند. لازم به ذکر است که پارامترهای K_1 ، K_2 ، M_L و A_L از فایل متادیتا برای داده های مرتبط به دست می آیند.

۳-۲-۳- حداقل سهم نویز

مفهوم ریاضی حداقل سهم نویز^۵ (MNF) به روش تحلیل مؤلفه اصلی^۶ (PCA) وابسته است. در روش MNF با استفاده از همان مقادیر ویژه و بردارهای ویژه به دست آمده از PCA و ایجاد باندهای خروجی غیر

^۱ Top Of Atmosphere (TOA)

^۲ Brightness Temperature

^۳ Band-specific multiplicative rescaling factor

^۴ band-specific additive rescaling factor

^۵ Minimum noise fraction

^۶ Principal Component Analysis (PCA)

است [۳۰]. هدف الگوریتم تشخیص لکه، تعریف ناپیوستگی در تابع شدت یا گرادیان شیب در تصویر است. یکی از روش‌های تشخیص لکه، فیلتر تشخیص سوبل کانولوشن است که می‌تواند برای تعریف گرادیان در تصویر استفاده شود. این گرادیان‌ها، لبه‌ی تصویر خاکستری را نشان می‌دهد. هنگامی که گرادیان در برخی از پیکسل‌های تصویر بالا است، این روش پیکسل را به‌عنوان لکه معرفی می‌کند [۳۱]. روش تشخیص لکه سوبل از دو فیلتر کانولوشن 3×3 استفاده می‌کند. هر فیلتر کانولوشن 3×3 به‌طور جداگانه در هر پیکسل از تصویر خاکستری در دو جهت x و y حرکت کند، در نتیجه یک جزء گرادیان در این دو جهت است. گرادیان در جهت x را به‌صورت G_x و در جهت y را با G_y می‌توان نمایش داد [۳۲، ۳۳]. هردوی آن‌ها می‌توانند برای پیدا کردن مقدار مطلق شیب در هر پیکسل ($|G|$) و جهت گرادیان (θ) استفاده شوند که در رابطه ۷ و ۸ آمده است.

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (7)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (8)$$

فیلتر کانولوشن 3×3 در جهت x و y به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_{filter} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$y_{filter} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

۳-۳-۳- قطعه‌بندی و طبقه‌بندی

در این پژوهش الگوریتم چند رزولوشن برای قطعه‌بندی و نزدیک‌ترین همسایگی برای طبقه‌بندی تصاویر جهت شناسایی لکه‌های نفتی انتخاب شده است. الگوریتم قطعه‌بندی چند رزولوشن ویژگی‌های طیف، بافت، شکل و زمینه را برای پیکسل‌ها گروه‌بندی می‌کند و یک تصویر دیجیتال را به بخش‌ها یا اشیاء نسبتاً همگن تقسیم می‌کند [۳۴]. طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی یک روش یادگیری ماشین است که هدف آن برچسب‌گذاری اشیاء و کلاس‌بندی آن‌ها می‌باشد. این الگوریتم یک طبقه‌بندی

$$d(X, x') = \min d(X, x_i) \quad x_i \in TS \quad (11)$$

که (,) هر فاصله‌ای در فضای ویژگی می‌تواند باشد. سپس الگوی X توسط برچسبی که برای x' وجود دارد به همان کلاس نسبت داده می‌شود.

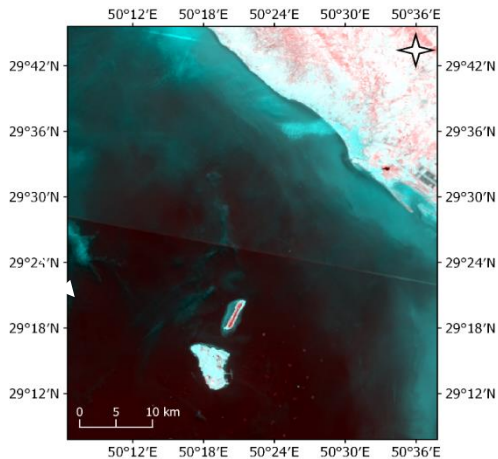
دو ویژگی روش نزدیک‌ترین همسایگی سادگی اجرای آن و معلوم بودن مرزهای نرخ خطای آن می‌باشد. بار محاسباتی این طبقه‌بندی کننده، با روش‌های جستجوی نامناسب بسیار زیاد است ولی با ارتقا ساختار داده‌های مناسب و الگوریتم‌های وابسته [۳۶] یا با کاهش اندازه TS کاهش می‌یابد [۳۷].

در مرحله‌ی اول تصاویر راداری و نوری پیش‌پردازش می‌شوند که روند آن در شکل ۲ آمده است. تصویر لندست تصحیح رادیومتریکی شده و کنتراست بهبودیافته و از طرف دیگر روی تصویر سنتینل، حذف نویز حرارتی، کالیبراسیون، فیلتر کردن نویز لکه و بهبود کنتراست صورت می‌گیرد. پس از پیش‌پردازش تصاویر، قطعه‌بندی اعمال شده و بعد از انتخاب نمونه از هر دو مجموعه داده، طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی اعمال شده و نتایج آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

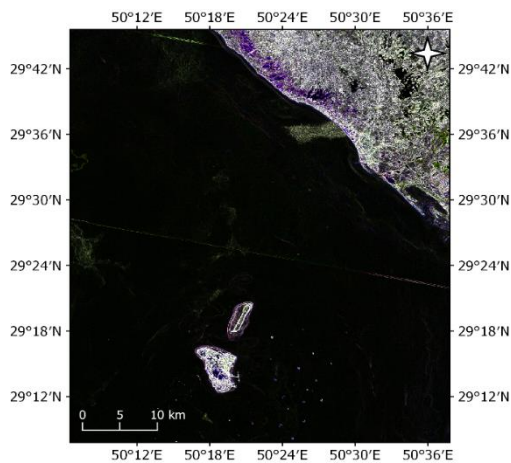
۴- نتایج و بحث

به‌منظور تشخیص نشت نفت، تصویر سنتینل-۱ داتلود شده با روش داده‌شده در نرم‌افزار SNAP مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تصویر سنتینل-۱ در تاریخ ۶ شهریور ۱۳۹۸ با

۱ Asymptotic Error Rate



شکل ۴- تصویر رنگی عملگر گسترش مورفولوژی (dilation) بر روی تصویر لندست با ترکیب باندی کاذب (حرارتی ۱، آبی، ماوراءبنفش / آبی) جهت بارز سازی لکه‌های نفتی



شکل ۵- تصویر رنگی فیلتر سوبل بر روی تصویر لندست با ترکیب باندی کاذب (آبی، ماوراءبنفش / آبی، سبز) جهت بارز سازی لکه‌های نفتی

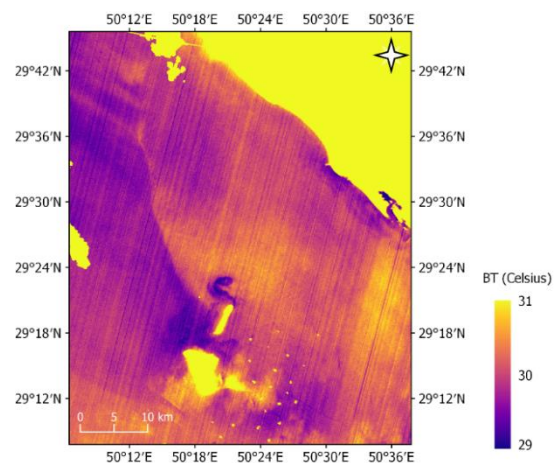
۵- نتیجه‌گیری

سنجش‌ازدور مبتنی بر ماهواره یک ابزار مؤثر برای شرایط اضطراری است که امکان اندازه‌گیری سریع و مؤثر در سایت وجود ندارد. مأموریت‌های ماهواره‌ای متفاوتی برای نظارت بر زمین وجود دارد. ماهواره‌های سنتینل-۱ و لندست-۸ می‌توانند برای تشخیص نشت نفت استفاده شوند. نظارت برجهت و مقدار نفت ریخته شده در سطح دریا، به‌ویژه به علت حوادث مربوط به کشتی‌های دریایی، از لحاظ اکوسیستم و اثرات زیست‌محیطی بسیار مهم است. در این پژوهش یک حادثه در جزیره خارک در اثر نشت ترکیدن لوله مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای مربوطه این حادثه تحت آزمایش چندین روش قرار گرفتند.

پلاریزاسیون VV اخذشده است که در شکل ۱ آمده است. به‌منظور پشتیبانی از یافته‌های تصاویر SAR، داده‌های لندست-۸ با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر پردازش شد. سنسورهای مادون‌قرمز حرارتی مناطق نشت نفت را تشخیص می‌دهند. باندهای مادون‌قرمز حرارتی را می‌توان برای نمایش آسان تصویر به دمای روشنایی تبدیل کرد. دمای روشنایی را می‌توان با استفاده از مقادیر موجود در متادیتا مربوط به باند حرارتی لندست با معادله پلانک تخمین زد. شکل ۳ مقادیر دمای روشنایی را از ۲۹ تا ۳۱ درجه سلسیوس را نمایش می‌دهد.

در مرحله‌ی بعد، یک فیلتر گسترش مورفولوژی بر روی باندهای لندست-۸ اعمال شد. تصویر رنگی شامل سه باند قرمز، سبز و آبی به ترتیب با استفاده از باندهای حرارتی ۱، آبی و ماوراءبنفش ساخته شده است. پس از فیلتر کردن تصویر، میزان نشت نفت به‌راحتی قابل مشاهده است. شکل ۴ تصویر رنگی عملگر گسترش مورفولوژی (dilation) با ترکیب باندی کاذب حرارتی ۱، آبی، ماوراءبنفش / آبی را نشان می‌دهد. در این شکل با فلش سفید نشت شدید نفت نشان داده شده است.

فیلتر سوبل نیز به‌منظور بارز سازی لبه‌های منطقه نشت نفت به تمام باندهای تصویر لندست اعمال شد. شکل ۵ تصویر رنگی فیلتر سوبل با ترکیب باندی کاذب آبی، ماوراءبنفش / آبی و سبز بر روی تصویر لندست را نشان می‌دهد. بدین ترتیب لکه‌های نفتی آشکار شده از تصویر سنتینل-۱ با استفاده از تصویر لندست-۸ تایید شد و آشکارسازی صورت گرفت.



شکل ۳- تصویر دمای روشنایی (BT) باند حرارتی ۱ لندست در تاریخ ۳۰ شهریور ۱۳۹۸

در این مطالعه از تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸ استفاده شد. نتایج نشان داد که با استفاده از داده‌های سنتینل-۱ با پلاریزاسیون VV می‌توان نشت نفت را شناسایی کرد. این مطالعه نشان داد که نشت و لکه نفتی پس از یک حادثه با کمک تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به‌سرعت، به‌طور مؤثر و اقتصادی تعیین شود. علاوه بر این برای استفاده از سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری کارآمد برای نظارت بر نشت نفت باید سناریوهای مختلفی از جمله آب و هوا و امواج دریایی را در نظر گرفت.

تصویر لندست-۸ به منظور پشتیبانی از نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های سنتینل-۱ مورد استفاده قرار گرفتند که نتایج به‌دست‌آمده به خوبی نتایج سنتینل-۱ را تأیید می‌کرد. از طرف دیگر با مقایسه‌ی نتایج به‌دسته آمده از الگوریتم طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی مشاهده شد که لکه‌های نفتی به‌درستی شناسایی شده و روش پیشنهادی دقت قابل قبولی داشته و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان از روش‌های این مطالعه برای تصمیم‌گیری سریع در مورد کاهش اثرات زیست‌محیطی در حین و پس از هر گونه نشت نفت استفاده کرد.

مراجع

- [1] M. Gade, W. Alpers, H. Hühnerfuss, V. R. Wismann, and P. A. Lange, "On the reduction of the radar backscatter by oceanic surface films: Scatterometer measurements and their theoretical interpretation," *Remote Sensing of Environment*, vol. 66, no. 1, pp. 52-70, 1998.
- [2] M. Gade, V. Byfield, S. Ermakov, O. Lavrova, and L. Mitnik, "Slicks as indicators for marine processes," *Oceanography*, vol. 26, no. 2, pp. 138-149, 2013.
- [3] J. A. Richards and J. Richards, *Remote sensing digital image analysis*. Springer, 1999.
- [4] R. A. Shuchman, R. G. Onstott, O. M. Johannessen, S. Sandven, and J. A. Johannessen, "Processes at the ice edge: The Arctic," *Synthetic Aperture Radar marine user's manual*, pp. 373-395, 2004.
- [5] A. Montali, G. Giacinto, M. Migliaccio, and A. Gambardella, "Supervised pattern classification techniques for oil spill classification in SAR images: preliminary results," in *SEASAR2006 Workshop, ESA-ESRIN*, 2006, pp. 23-26.
- [6] A. H. Solberg, C. Brekke, and P. O. Husoy, "Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, no. 3, pp. 746-755, 2007.
- [7] P. Trivero, W. Biamino, and F. Nirchio, "High resolution COSMO-SkyMed SAR images for oil spills automatic detection," in *2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2007: IEEE, pp. 2-5.
- [8] M. Gade, "Synthetic aperture radar applications in coastal waters," in *Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST held*, 2015, pp. 6-10.
- [9] A. Misra and R. Balaji, "Simple approaches to oil spill detection using sentinel application platform (SNAP)-ocean application tools and texture analysis: a comparative study," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 45, no. 6, pp. 1065-1075, 2017.
- [10] A. D. Lawal, G. Radice, M. Ceriotti, and A. U. Makarfi, "Investigating SAR algorithm for spaceborne interferometric oil spill detection," *International Journal of Engineering and Technical Research*, vol. 4, no. 3, pp. 123-127, 2016.
- [11] O. Garcia-Pineda et al., "Detection of oil near shorelines during the Deepwater Horizon oil spill using synthetic aperture radar (SAR)," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 6, p. 567, 2017.
- [12] P. Marzioletti and G. Laneve, "Oil spill monitoring on water surfaces by radar L, C and X band SAR imagery: A comparison of relevant characteristics," in *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2016: IEEE, pp. 7715-7717.
- [13] M. Fingas and C. E. Brown, "A review of oil spill remote sensing," *Sensors*, vol. 18, no. 1, p. 91, 2018.
- [14] C. R. Jackson and J. R. Apel, "Synthetic aperture radar: marine user's manual," 2004.
- [15] J. Zhao, M. Temimi, H. Ghedira, and C. Hu, "Exploring the potential of optical remote sensing for oil spill detection in shallow coastal waters-a case study in the Arabian Gulf," *Optics Express*, vol. 22, no. 11, pp. 13755-13772, 2014.
- [16] M. M. Nezhad, D. Groppi, P. Marzioletti, G. Piras, and G. Laneve, "Mapping sea water surface in Persian Gulf, oil spill detection using Sentinel-1 images," in *Proceedings of the 4th World Congress on New Technologies*, Madrid, Spain, 2018, pp. 19-21.

- [17] M. M. Nezhad, D. Groppi, G. Laneve, P. Marzioletti, and G. Piras, "Oil spill detection analyzing "Sentinel 2" satellite images: A Persian Gulf case study," in Proceedings of the 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering, 2018, pp. 1-8.
- [18] P. Kolokoussis and V. Karathanassi, "Oil spill detection and mapping using sentinel 2 imagery," Journal of Marine Science and Engineering, vol. 6, no. 1, p. 4, 2018.
- [19] J. Fan, F. Zhang, D. Zhao, and J. Wang, "Oil spill monitoring based on SAR remote sensing imagery," Aquatic Procedia, vol. 3, pp. 112-118, 2015.
- [20] M. P. Sun, C. Y. Shi, and H. Y. Li, "Comparison operator edge detection based on remote sensing of marine oil spill," in Advanced Materials Research, 2013, vol. 610: Trans Tech Publ, pp. 3747-3751.
- [21] R. van den Dool, W. Kleynhans, and C. P. Schwegmann, "MONITORING BILGE OIL DUMPING IN THE OCEAN USING SAR IMAGE PROCESSING TECHNIQUES," in Proceedings of the 10th International Conference of AARSE, 2014, p. 118.
- [22] Q. Xing, L. Li, M. Lou, L. Bing, R. Zhao, and Z. Li, "Observation of oil spills through landsat thermal infrared imagery: A case of deepwater horizon," Aquatic Procedia, vol. 3, pp. 151-156, 2015.
- [23] E. S. Agency, "Sentinel-1 user handbook," 2013.
- [24] K. Topouzelis, V. Karathanassi, P. Pavlakis, and D. Rokos, "A new object-oriented methodology to detect oil spills using Envisat images," in Envisat Symposium 2007, 2007, no. 1.
- [25] K. Topouzelis, D. Stathakis, and V. Karathanassi, "Investigation of genetic algorithms contribution to feature selection for oil spill detection," International Journal of Remote Sensing, vol. 30, no. 3, pp. 611-625, 2009.
- [26] A. Meenakshi and V. Punitham, "Performance of speckle noise reduction filters on active radar and SAR images," Gop. Int. J. Technol. Eng. Syst, vol. 1, pp. 112-114, 2011.
- [27] V. Sudha and A. Vijendran, "Evaluation of speckle reduction filtering techniques on SAR images," in International Conference On Intelligent Computing and Technology, December, 2017, vol. 8.
- [28] M. Berman, A. Phatak, and A. Traylen, "Some invariance properties of the minimum noise fraction transform," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol. 117, pp. 189-199, 2012.
- [29] A. A. Green, M. Berman, P. Switzer, and M. D. Craig, "A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal," IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 26, no. 1, pp. 65-74, 1988.
- [30] R. M. Haralick, S. R. Sternberg, and X. Zhuang, "Image analysis using mathematical morphology," IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, no. 4, pp. 532-550, 1987.
- [31] G. Shrivakshan and C. Chandrasekar, "A comparison of various edge detection techniques used in image processing," International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), vol. 9, no. 5, p. 269, 2012.
- [32] O. R. Vincent and O. Folorunso, "A descriptive algorithm for sobel image edge detection," in Proceedings of informing science & IT education conference (InSITE), 2009, vol. 40: Informing Science Institute California, pp. 97-107.
- [33] V. Narendra and K. Hareesha, "Study and comparison of various image edge detection techniques used in quality inspection and evaluation of agricultural and food products by computer vision," International Journal of Agricultural & Biological Engineering, vol. 4, no. 2, pp. 83-90, 2011.
- [34] E. Bayramov, M. Kada, and M. Buchroithner, "Monitoring oil spill hotspots, contamination probability modelling and assessment of coastal impacts in the Caspian Sea using SENTINEL-1, LANDSAT-8, RADARSAT, ENVISAT and ERS satellite sensors," Journal of Operational Oceanography, vol. 11, no. 1, pp. 27-43, 2018.
- [35] R. Barandela and E. Gasca, "Decontamination of training samples for supervised pattern recognition methods," in Joint IAPR International Workshops on Statistical Techniques in Pattern Recognition (SPR) and Structural and Syntactic Pattern Recognition (SSPR), 2000: Springer, pp. 621-630.
- [36] P. J. Hardin and C. N. Thomson, "Fast nearest neighbor classification methods for multispectral imagery," The Professional Geographer, vol. 44, no. 2, pp. 191-202, 1992.
- [37] Y. S. Huang, K. Liu, and C. Y. Suen, "A new method of optimizing prototypes for nearest neighbor classifiers using a multi-layer network," Pattern recognition letters, vol. 16, no. 1, pp. 77-82, 1995.