

تأثیر سرعت باد در کشف لکه نفتی توسط رادار پلاریمتری (SAR)

علیرضا رضائی*، یاسر رضائی و میلاد اسدپور

بخش مکترونیک و ممز، گروه بین رشته ای فناوری، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶

چکیده

رها شدن نفت به اقیانوس‌ها از تانکرها و کشتی‌ها و خطوط انتقال نفت اهمیت اکولوژی و تأثیر اجتماعی، اقتصادی روی محیط‌های ساحلی دارد. سالانه ۴۸٪ آلودگی اقیانوس‌ها مربوط به سوخت و ۲۹٪ مربوط به نفت خام می‌باشد و تصادف تانکرهای حامل، فقط ۵٪ آلودگی‌های وارد شده به دریا را شامل می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی اثرات ضریب رانش باد تحت شرایط شدید جزر و مد در منطقه ساحلی غربی کره در زمینه حرکت سیلاب‌های نفتی ناشی از حادثه تصادف تانکر نفتی با دکل در طوفان هبی می‌باشد. برای تفکیک نفت از نمونه‌های مشابه آن، از شبکه عصبی CNN استفاده شد. حذف نویز داده‌های باز پراکنش شده توسط فیلتر Boxcar اصلاح شد و حرکت سیل نفت با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی ساده بر اساس فرمول تجربی به‌عنوان عملکرد جریان سطح آب، سرعت باد و فاکتور رانش باد محاسبه شد. برای شبیه‌سازی، به‌منظور تولید میدان‌های جزر و مد و باد، از مدل دینامیکی سیالات محیطی (EFDC) و سیستم هواشناسی خودکار (AWS) استفاده شد. سپس نتایج شبیه‌سازی شده با ۲ نمونه از داده‌های رادار روزانه مصنوعی Sentinel-1 و TerraSAR-X مقایسه شد. از مطالعه حاضر، مشخص شد که بیشترین میزان تطابق بین نتایج شبیه‌سازی و تصاویر ماهواره‌ای با مقادیر مختلف عامل رانش باد به دست می‌آید و این عامل به‌طور خطی متناسب با سرعت باد بود. بر اساس نتایج، یک فرمول تجربی اصلاح‌شده جدید برای پیش‌بینی حرکت سیل نفت در منطقه ساحلی پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: شبکه عصبی CNN، سرعت باد، سیستم شناسایی خودکار AIS، طبقه‌بندی تصویر، رادار پلاریتمه.

*مسئول مکاتبات

آدرس الکترونیکی arzeae@ut.ac.ir

شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/PR.2022.4512.3036)

مقدمه

سطح زمین مورد توجه قرار گرفته‌اند.

Sentinel-1 یک مأموریت طولانی‌مدت است که از دو ماهواره دوگانه رادار قطبی باند C تشکیل شده است، یعنی Sentinel-1A و Sentinel-1B (مأموریت ماهواره دوم برای سال ۲۰۱۷ برنامه‌ریزی شده است). هر دو ماهواره سیستم رادار دیافراگم مصنوعی را به‌منظور تداوم برنامه SAR به کار می‌برند. SAR یک سنسور انعطاف‌پذیر است که قادر به برآورده کردن نیازهای کاربران/برنامه‌های کاربردی از لحاظ تراکم و پوشش نواحی وسیع به لطف حالت‌های مختلف عملیاتی و قطب‌بندی می‌باشد. با استفاده از حسگرهای SAR با وضوح بسیار بالا، مدارهای Sentinel-1 برای رسیدن به پوشش وسیع با وضوح متوسط و بالا طراحی شده‌اند. حالت تعاملی گسترده (IWS^۱) به‌منظور مشاهدات زمین با تکنیک پیشرفته اسکن (TOPS) اجرا می‌شود، حالت معمولی کسب اطلاعات بیشتر از دریاها و توده‌های زمین است. IWS ترکیبی از دوقطبی (VV/VH) با سرعت ۲۵۰ km در گستره ۲۰ m × ۵ m (محدوده × ایزوتوپ) با ابعاد فضایی ارائه می‌دهد. این مأموریت مطابق با نیازهای آژانس دریایی و امنیتی اروپا (EMSA^۲) برای نشت نفت و برنامه‌های شناسایی کشتی‌ها، که در برنامه CleanSeaNet موجود است طراحی شده است [۳].

اهداف اصلی مقاله عبارت‌اند از: ارزیابی از داده باند Sentinel-1 (C) با وضوح متوسط - بالا و داده‌های باند TerraSAR-X (X) با وضوح بسیار بالا برای شناسایی اهداف دریایی؛ تفکیک نفت از اجسام شبیه به آن با استفاده از شبکه عصبی CNN^۳، حذف نویز (نویز لکه نفتی) توسط فیلتر Boxcar و استفاده هم‌زمان از داده‌های SAR برای استخراج ویژگی‌های هدف از جمله تأثیر سرعت باد در کشف آلودگی‌های نفتی. این اهداف با استفاده از داده‌های SAR، تقریباً

در میان بلایای زیست‌محیطی دریایی، نشت نفت در آب‌های ساحلی به‌طور جدی بر سیستم زیست‌محیطی، ماهیگیری و اقتصاد تأثیر می‌گذارد. آلودگی‌های نفتی صدمات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست دریا و حیات گیاهی و جانوری وارد می‌کند. نشت نفت اختلال قابل‌توجهی در اقتصاد مبتنی بر دریا داشته و اثر مخربی بر زندگی انسان می‌گذارد. سالانه ۴۸٪ آلودگی اقیانوس‌ها مربوط به سوخت و ۲۹٪ مربوط به نفت خام می‌باشد و تصادف تانکرهای حامل، فقط ۵٪ آلودگی‌های وارد شده به دریا را شامل می‌شود. همچنین، آلودگی عمدی نسبت به آلودگی‌های مربوط به تصادف‌های گزارش‌شده از کشتی‌ها دارای فرکانس بیشتری می‌باشد. حدود ۴۵٪ از آلودگی‌های نفتی هنگام تخلیه از کشتی ایجاد می‌شود. با در نظر گرفتن اینکه چنین نشت‌هایی مکرراً صورت می‌گیرد، نشت منظم مواد نفتی می‌تواند برای محیط‌های دریایی و اکوسیستم تهدید بسیار بزرگ‌تر از تصادف‌های کشتی‌ها و تانکرهای نفت باشد. تأثیر عدم پایش مواد نفتی ظاهراً نامعلوم است اما یک تأثیر محیطی عمده این است که پرندگان دریایی اشتباهاً روی آن فرود می‌آیند. تعیین سریع و دقیق موقعیت آلودگی‌های نفتی کمک بزرگی در جهت کاهش خسارات ناشی از آن‌ها محسوب می‌شود [۱]. سیستم‌های تصویربرداری راداری، با به‌کارگیری طیف گسترده و قطبش‌های مختلف از امواج الکترومغناطیسی به دلیل دارا بودن اطلاعات غنی در ارتباط با جنبه‌های مختلف هدف‌های زمینی، و استخراج ویژگی‌های متعدد، به‌منظور تصویربرداری سطح زمین، اطلاعات سودمندی را در ارتباط با پوشش‌های زمینی فراهم می‌آورند. این اطلاعات فراهم‌شده در حوزه فاز و دامنه، امکان تشخیص و شناسایی عوارض مختلف جغرافیایی را فراهم می‌آورند [۲]. از این‌رو، سیستم‌های تصویربرداری راداری به‌عنوان ابزاری کارا و قدرتمند در مطالعه

1. interferometric Wide Swath

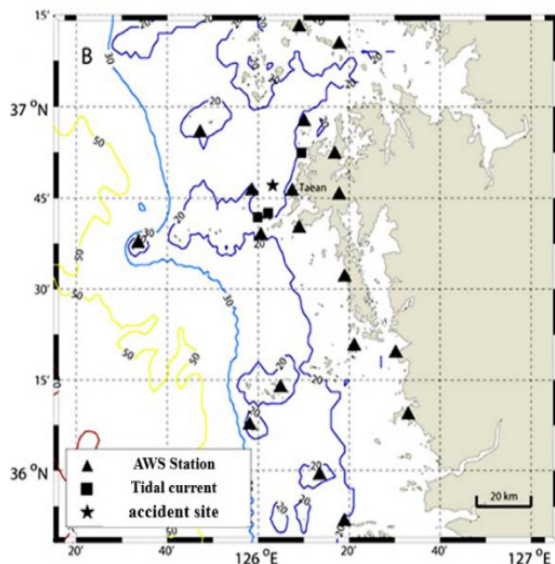
2. European Maritime Safety Agency

3. Convolutional Neural Network

پارامترها پرداخته شده است، با این وجود به طور مختص بر روی تأثیر باد بر روی تشخیص لکه‌های نفتی توسط رادار پلاریتمی پرداخته نشده است که در این مقاله به این موضوع می‌پردازیم.

شرح داده‌ها

در این مقاله، چندین تصویر با استفاده از سیستم‌عامل‌های فضایی که از ۸ تا ۲۵ دسامبر ۲۰۰۷ گردآوری شده است، یک تصویر نوری به دست آمده توسط دوربین^۵ کامپزاس 2- MSC (دوربین چند تترایی) و دو تصویر SAR توسط Sentinel-1 و TerraSARX برای مقایسه با نتایج شبیه‌سازی استفاده شد. **شکل ۱** مناطق پوشش و **جدول ۱** زمان گرفتن اطلاعات، حالت سنسور، قطبش عرض قوسی، وضوح فضایی، جهت باد و داده‌های باد در ایستگاه‌های هواشناسی خودکار AWS را نشان می‌دهد.



شکل ۱ نقشه پوشش داده‌ها و اطلاعات ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه (اطراف هبی تانکر نفت)

هم‌زمان باند C و باند X و از ماهواره‌های Sentinel-1A و TerraSAR-X در منطقه ساحلی غربی کره به دست می‌آید. علاوه بر این، نتایج به دست آمده از طریق گزارش‌های حوزه حقیقی ثبت شده، توسط ایستگاه‌های شناسایی خودکار زمینی (AIS^۱) واقع در منطقه مورد پژوهش پشتیبانی شده است.

اهداف ماهواره Sentinel-1A بدین شرح است: ۱- نظارت بر جنگل‌ها، آب، خاک و کشاورزی؛ ۲- بلایای طبیعی از طریق نقشه برداری اضطراری؛ ۳- نظارت بر محیط زیست؛ ۴- تولید نمودارهای یخ‌های قطبی با وضوح بالا؛ ۵- پیش‌بینی وضعیت جوی اقیانوس‌ها؛ ۷- نقشه نشت نفت؛ ۸- شناسایی کشتی؛ ۹- نظارت بر تغییرات اقلیمی [۴]. مأموریت‌های SAR اخیر نیز قابلیت‌های چندقطبی‌سازی (دوگانه یا قطبش کامل) را فراهم می‌کنند. با راه‌اندازی ماهواره Sentinel-1A در ۳ آوریل ۲۰۰۴، در چارچوب ابتکار کوپرنیک^۲ فعالیت خود را شروع کرد. کوپرنیکس که قبلاً به عنوان "نظارت جهانی برای محیط زیست و امنیت" (GMES^۳) شناخته شده است، ابتکار مشترک کمیسیون اروپا (EC) و آژانس فضایی اروپا (ESA^۴) است، که هدف آن اجرای خدمات مربوط به محیط زیست و امنیت است [۵].

در مقالات مختلفی از جمله مقاله حبیبی واحد زنجانی و همکاران [۶]، علی‌اکبر متکان و همکاران [۷]، آقای هدایتی و همکاران [۸]، ریاحی بختیاری و همکاران [۹]، رایگانی و همکاران [۱۰]، لیاقت و همکاران [۱۱]، تشخیص لکه‌های نفتی بر سطح دریا بررسی شده است ولی چگونگی انجام این فرآیند به طور واضح بیان نشده است، با وجود بررسی دقیق و پیاده‌سازی تشخیص لکه‌های نفتی و طبقه‌بندی این تصاویر همچنان جای خالی به کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی و در بهینه‌سازی این فرآیند حس می‌شود. تنها در مقاله آقای یاسر رضائی و همکاران [۱۲] در فصلنامه علمی پژوهشی سیگنال و سیستم‌ها علائم و پردازش داده به این مبحث یعنی طبقه‌بندی تصاویر مختلف از جمله لکه‌های نفتی و تعیین هاپیر

1. Automatic Identification System
2. Copernicus Idea
3. Global Monitoring for Environment and Security
4. European Space Agency
5. Kompsos Camera

جدول ۱ پارامترهای سنسورهای ماهواره‌ای و داده‌های باد در ایستگاه‌های AWS (نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکزیت مناطق نرمال برای دریافت داده‌های ماهواره‌ای در هر زمان).

ماهواره	TerraSAR-X	Sentinel-1
زمان کسب شده	۲۰۱۴/۱۲/۱۱ ۱۰:۴۰	۲۰۱۴/۱۲/۱۰ ۰۶:۴۵
حالت سنسور قطبش	۳۹-۳۱	۴۰/۵ - ۳۱/۸
پوشش بر حسب کیلومتر	۱۰۰	۱۵۰
وضوح بخش‌ها بر حسب متر	۱۸/۵	۲۷/۲۵
سرعت باد (m/s)	۴/۳	۶/۹
جهت باد بر حسب درجه	۳۲۳/۱	۳۴۷

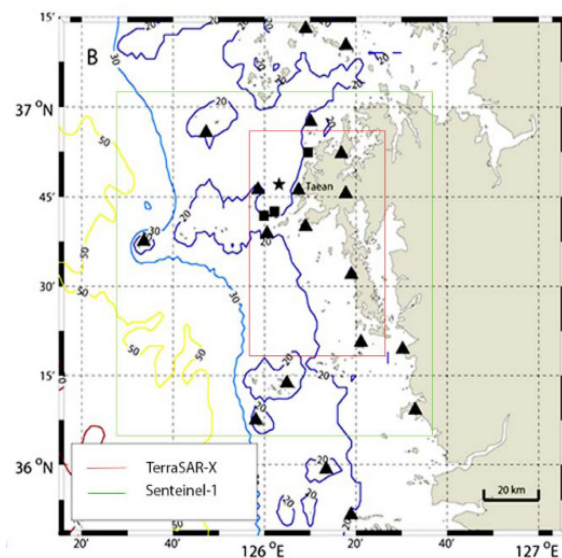
به‌دست‌آمده (۸ تا ۲۵ دسامبر ۲۰۰۷) از منطقه مورد مطالعه در شمال غربی کره نیز استخراج شده است. مستطیل سبز پوشش ماهواره Sentinel است و منطقه سنسور نوری TerraSAR-X با مستطیل قرمز مشخص شده است.

داده‌های ماهواره‌ای از حادثه تانکر هبی

در ۷ دسامبر ۲۰۰۷ در زمان محلی (۰۷:۱۵ LT UTC ۲۲:۱۵) تانکر نفت هبی^۲، حدود ۸ کیلومتری ساحل تین^۴ (ساحل غربی کره در دریای زرد) با یک کشتی جرثقیل برخورد کرد، که منجر به نشت تقریباً ۱۰/۹ تن نفت خام به دریا شد [۱۳]. نشت نفت در حدود (۰۷:۳۰ LT، ۹ دسامبر) در ایستگاه متوقف شد. محل منطقه آسیب‌دیده در شکل ۳ نشان داده شده است. عامل برخورد، طوفان دریایی شدید با ارتفاع موج قابل توجه ۳ تا ۵ m و سرعت باد بالای ۱۴ m/s تخمین زده شد.

بعد از ۱۷ ساعت از حادثه مقدار قابل توجهی از نشت نفت به ساحل نزدیک شد. ۹ روز پس از حادثه، ۱۶۷ km در امتداد ساحل جنوبی تین با نفت خام آلوده شده بود. سیل نفت نیز عظیم بود و منطقه‌هایی در دریای آزاد، از جمله نزدیک جزیره ججو، واقع در انتهای جنوبی شبه‌جزیره کره را به‌طور کامل در بر گرفت.

در شکل ۱ بیتومتری و موقعیت‌های ایستگاه هواشناسی خودکار (AWS) و مشاهدات فعلی جزر و مد نیز نشان داده شده است. در این مطالعه، تصاویر چندبندی با استفاده از تصحیح هندسی با اشاره به عکس‌های نوری هوایی مورد استفاده قرار گرفتند. مناطق تحت پوشش نفت توسط آستانه روشنایی تصویر استخراج شد. برای اطلاعات SAR، ابتدا کالیبراسیون رادیومتری^۱ برای محاسبه سطح مقطع رادار^۲ NRCS و همبستگی هندسی برای مطابقت با تصویر Sentinel-1 و عکس‌های هوایی اعمال شد. شکل ۲ تصاویر SAR Geocoded را که در ۲ زمان متفاوت به‌دست‌آمده است، نشان می‌دهد.



شکل ۲ نقشه پوشش محدوده ماهواره TerraSAR-X و Sentinel-1.

در شکل ۲ نقشه پوشش داده‌های ماهواره‌ای

1. Radiometric Calibration
2. Radar Cross-Section
3. Hebei
4. Taean



شکل ۳ تصاویر SAR از محل حادثه تانکر نفتی که در زمان‌های مختلف، الف - TerraSAR-X ب - Senteinel-1.

روی سطح دریا گردآوری شود.

تاکنون تحقیقات مهمی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به مقاله حاجتی و همکاران [۱۶] اشاره کرد که در آن از طبقه‌بندی کننده SVM جهت تفکیک عارضه نفتی توسط ماهواره ALOS و سنجنده PALSAR بهره گرفته شده است. از آنجائی که هزینه محاسباتی تحلیل تصاویر راداری با توجه به حجم داده و پیچیدگی محاسبات بالا می‌باشد به نظر می‌رسد استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی در کاهش هزینه‌های محاسباتی مؤثر باشد که در این تحقیق به کار گرفته شده است.

در این مقاله، نتایج اولیه از شبیه‌سازی حرکت لکه‌های نفتی در حادثه هبی ارائه شد، که پراکندگی و پیشگیری از حرکت سیل نفت، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های اقیانوس را شامل می‌شود. یک عامل راندگی باد در فرمول تجربی ساده استفاده شد که نتیجه عملکرد محدود در انتقال اولیه نفت است و علاوه بر این، مدل ارزیابی کمی برای ویژگی‌های جریان قوی و تغییرات فصلی باد در ساحل غربی کره ساخته شد. در این مدل، ضریب ریسندگی باد ثابت نیست و سبب اطمینان در اندازه‌گیری موقعیت جابه‌جایی لکه‌های نفتی می‌شود و ممکن است تغییر عامل

با این حال، تصاویر به دلیل پوشش ابر وسیع، تنها به مشاهده روزانه محدود می‌شد، به همین دلیل ساختار تصویربرداری سیل نفت توسط رادار SAR برای پوشش در کل مدت شبانه‌روز در دستور کار قرار گرفت [۱۴]. قدرت داده‌های باز پراکنش شده از رادار روزانه مصنوعی با زبری سطح اجسام (ثابت دی‌الکتریک) رابطه مستقیم دارد (هر چه سطح زبرتر باشد اطلاعات دقیق‌تری از هدف حاصل می‌شود). سطح آب دریا بر اثر وزش باد و طوفان، به حالت نوسانی نفت را به لایه‌های زیرین هدایت می‌کند. به همین دلیل دقت امواج سطحی^۱، رادار را کاهش می‌دهد.

به‌طور کلی، ویژگی‌های تاریک در تصاویر SAR روشی برای تشخیص نقاط نفت محسوب می‌شود. برای شناسایی ویژگی‌های نرمال نفت از اجسام شبیه به نفت از الگوریتم‌های طبقه‌بندی منطق فازی، شبکه عصبی و تجزیه و تحلیل قطبی سنجی توسط نرم‌افزارهای PolSAR و Matlab بهره گرفته می‌شود [۱۵].

هر تکنیک دارای مزایا و معایب است، چون حرکت توده نفت را نمی‌توان از تصاویر SAR یا داده‌های نوری پیش‌بینی کرد. از سوی دیگر، مدل‌های حمل و نقل نفت توانایی ارزیابی عددی دارند و قابل پیش‌بینی دقیق هستند. بنابراین، انتظار می‌رود که ترکیبی از شبیه‌سازی عددی و داده‌های سنجش از راه دور برای دقت تشخیص، طبقه‌بندی، و پیش‌بینی‌های نفتی

1. Gravitational-capillary

کوتاه‌مدت توسعه یافت و در آن زمان انتظار نداشت که از فضا قابل شناسایی باشد. با این وجود، از سال ۲۰۰۵، سازمان‌های مختلف با تشخیص انتقال AIS با استفاده از گیرنده‌های ماهواره‌ای آزمایش شده‌اند و از سال ۲۰۰۸ شرکت‌هایی مانند ExactEarth، ORBCOMM، Spacequest و Spire همچنین مأموریت‌های دولتی، گیرنده‌های AIS را در ماهواره‌ها مستقر کرده‌اند.

TDMA^۲ که توسط سیستم AIS مورد استفاده قرار می‌گیرد، مسائل فنی قابل توجهی را برای دریافت قابل اعتماد از پیام‌های AIS از انواع گیرنده‌ها ایجاد می‌کند.

در حالی که AIS در سراسر جهان مستقر شده است، از یک محدودیت عمده رنج می‌برد، زیرا انحنای زمین محدوده افقی آن را به حدود ۷۴ km از ساحل محدود می‌کند. این به این معنی است که اطلاعات ترافیک AIS فقط در اطراف مناطق ساحلی یا در کشتی به کشتی در دسترس است [۱۷].

منطقه مورد مطالعه

در شرق دریای زرد، جریان شدید جغرافیایی تحت تأثیر جزر و مد شکل می‌گیرد. جریان جزر و مدی یکی از پرنرژی‌ترین عوامل اقیانوسی در دریای زرد است، و فرآیندهای انتقال رسوب معلق توسط جزر و مد قوی به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در اطراف شبه‌جزیره تین در ساحل غربی کره جنوبی، دریا کم‌عمق است (۴۰ m) و در منطقه غرب، توپوگرافی پایین و نسبتاً صاف است و عمق آب (حدود ۲۵ m) می‌باشد. اداره هیدروگرافی و اقیانوس‌شناسی کره (KHOA)^۱، دامنه و جریان‌های جزر و مدی در مناطق ساحلی کره و منطقه آلوده را ارائه داده است. در شکل ۴ می‌توان تصویر ماهواره TerraSAR-X از جنوب غربی کره بعد از پخش شدن آلودگی نفتی مشاهده کرد.

فرسایش باد و متغیر سطح توزیع لکه‌های نفتی بهتر نمایان شود.

تصاویر شکل ۳ در ابعاد ۱۵ km با تکنیک اصلاح هندسی شامل عکس‌های سنسور نوری و روزنه مصنوعی از ماهواره‌های TerraSAR-x و Senteinel-1 می‌باشد. مناطق تحت پوشش نفت توسط آستانه گذاری استخراج شد و روشنایی تصویر، برای اطلاعات کالیبراسیون رادیومتری اولین بار برای محاسبه مقطع راداری متعارف (NRCS)، محاسبه شد. همبستگی هندسی نیز برای مطابقت با تصاویر کامپست ۲ و عکس هوایی استفاده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد تصاویر SAR Geocoded در ۲ زمان مختلف به دست آمده است. پراکندگی نفت طی ۲ روز پس از گسترش آن در جهت جنوب از منبع نشت نفت دیده می‌شود (تغییرات در شکل ۳ (الف) و (ب) در بازه ۸ و ۳۶ h). ۷ روز پس از حادثه در ۱۴ دسامبر، مقدار مشخصی از نفت ریخته شده به دریا از بین می‌رود، و بعضی به سمت جنوب می‌رسد. سطوح سرامیکی و سطوح تحت پوشش نفت توسط SAR با اطلاعات محل و روش‌های پردازش مناسب طبقه‌بندی تصویر، توسط نرم‌افزار PolSARpro پردازش شدند.

در این مقاله، داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های SAR ماهواره‌ای است که توسط دو ماهواره مختلف در باند C و باند X به دست آمده است و گزارش‌های AIS زمینی توسط کشتی‌های منطقه‌ای که توسط ماهواره‌ها روی سطح زمین پخش می‌شوند ارائه شده است. مجموعه داده‌های AIS برای شناسایی بیشتر اهداف دریایی از تصاویر SAR استفاده می‌شود. از این جهت که برای این اهداف، تصاویر به حقیقت زمین بسیار نزدیک است، بنابراین قبل از ادامه توضیحات داده SAR، مقدمه کوتاهی در مورد سیستم AIS زمینی بدانیم.

AIS^۱ یک سیستم شناسایی خودکار و پیام‌رسان چندمنظوره می‌باشد که در دهه ۱۹۹۰ به عنوان یک شبکه شدت بالا، شناسایی و به عنوان ردیاب

1. Automatic Identification System

2. Time Division Multiple Access

3. Korea Hydrographic and Oceanographic Agency

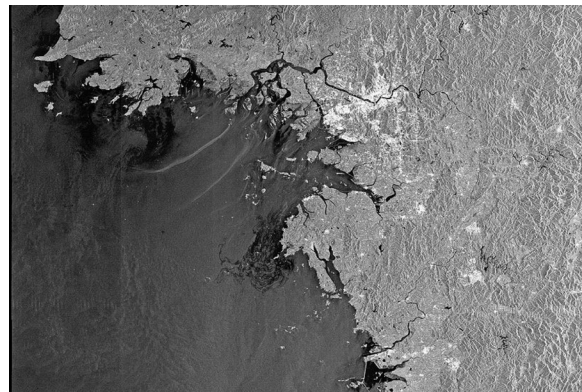
بالا در پیش‌بینی حرکت لکه‌های نفتی به کار گرفته شده است.

روند حل مسأله

قطبش کانال VV^۲ انتخاب ارجح‌تری برای الگوریتم‌های تشخیص لکه نفت است. در راستای بهره‌گیری از اطلاعات دقیق و سودمند تصاویر پلاریمتریک، اولین گام استخراج اطلاعات از این تصاویر می‌باشد. از سوی دیگر، درحالی‌که وضوح تصاویر خام اخذ شده کمتر از پوشش تشخیص نشت نفت SAR است، کانال VV پارامتری مهم برای تشخیص لکه نفتی و طبقه‌بندی تصاویر است. به این ترتیب، با توجه به داده‌های ماهواره‌ای SAR تکمیل شده با تراکم بالا به عنوان پشتیبانی از نیازهای خاص برنامه، انتخاب تراکم C باحالت قطبش VV به عنوان حالت پیش فرض انتخاب شد. این پژوهش شامل چهار مرحله اساسی می‌باشد. در ابتدا مجموعه‌ای از ویژگی‌های پلاریمتریک از طریق روش‌های موجود (ویژگی‌های داده اصلی، ویژگی‌های تجزیه هدف، و تفکیک کننده‌های SAR)، توسط نرم‌افزار Polsar استخراج شد. سپس در مرحله پیش‌پردازش به حذف نویز و نرمال‌سازی داده‌ها پرداخته و در گام بعد داده‌های آموزش ایجاد شد. سپس به حل هم‌زمان تفکیک مواد شبیه نفت (Lookalike)، انتخاب ویژگی و تعیین پارامترهای بهینه با استفاده از شبکه عصبی CNN پرداخته، به صورتی بعد از کانولوشن، داده‌های ورودی در یک لایه ذخیره می‌شوند و نتایج طبقه‌بندی با استفاده از ساختار شبکه آموزش دیده به دست می‌آیند. پس از ارزیابی شایستگی هر جواب در هر مرحله از تکرار توسط طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و حرکت به سمت جواب بهینه سعی در انتخاب بهترین جواب پیشنهادی شد و اجرای الگوریتم تا فراهم شدن شرط توقف ادامه پیدا کرد.

1. wind Driven Optimization

2. Vertical-Vertical Channel Polarisation



شکل ۴ تصویر ماهواره TerraSAR-X از جنوب غربی کره بعد از پخش شدن آلودگی نفتی.

بر اساس این داده‌ها، دامنه جزر و مد (بیشینه: $5/73$ m، کمینه: $2/86$ m) و سرعت حرکت جریان‌های جزر و مد تقریباً $0/1-1/6$ متر بر ثانیه در جنوب غربی است. جهت سیل و جریان تناوبی در شمال و جنوب غرب هنگامی که تغییرات فصلی وجود دارد، به ترتیب، حداکثر سرعت باد $1/52$ m/s و حداکثر بارندگی $1/65$ m/s است [۱۸].

به طور کلی، برای ردیابی نفت از مدل‌های عددی ذرات مجازی استفاده می‌شود [۱۹]. این ذرات در مدل‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، که در میان بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی، مدل Korotenko و همکاران، اندازه‌گیری هیبریدی را توسعه داد و دقت حدود 15% افزایش یافت. این مدل براساس الگوریتم ردیابی ذرات Lagrangian است که شامل اثرات تبخیر سطح و تجزیه ذرات توسط یک مدل حمل و نقل و هیدرودینامیکی است [۲۰].

در این مقاله، جریان حرکت نفت توسط باد (با ضریب کشیدگی ثابت) و انتشار تصادفی ذرات نفت توسط میانگین الگوریتم (WDO) در 3 بعد که شامل اثرات تبخیر، امولسیون و تجزیه ذرات با استفاده از طول عمر ذرات نفتی از لحاظ تجربی مشتق شد و وابسته به عواملی مانند انواع نفت و ضخامت آن می‌شود. این مدل، نیاز به اطلاعات بسیاری بر روی نفت و محیط زیست آلوده شده دارد، بنابراین پیچیده و زمان‌بر است، اما به دلیل دقت

شبیه‌سازی جنبش توپوگرافی^۱ استفاده شد. در ادامه، مدل شبیه‌سازی داده‌های میدان‌های جزر و مد و نتایج آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی کمی و بحث در مورد دقت شبیه‌سازی با مقایسه مقادیر لکه‌های نفتی که شبیه‌سازی شده بود مقایسه شد و دو مدل ثابت و متغیر برای مقایسه رانش باد با داده‌های ماهواره‌ای به دست آمد و حاصل نتایج ارائه شد.

پیش پردازش حذف نویز

نویز لکه، تفسیر تصاویر SAR را پیچیده می‌کند و همچنین دقت طبقه‌بندی را کاهش می‌دهد. از طرفی، نویز لکه به‌طور قابل توجهی بر دقت پارامترهای تجزیه هدف استخراج‌شده تأثیر می‌گذارد. بنابراین، کاهش نویز لکه، گامی مهم برای استخراج اطلاعات مفید از تصاویر پلاریمتری SAR است. تأثیر نویز لکه بر ویژگی‌های تجزیه هدف در چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.

در این پژوهش به‌منظور انجام عملیات کاهش نویز، از فیلتر حذف نویز Boxcar استفاده شده است. این فیلتر دارای چند مزیت است: یکی اینکه نسبت به سایر روش‌های فیلترگذاری ساده‌تر است و دارای محاسبات کمتری است. دوم اینکه روش مؤثری جهت کاهش نویز لکه در مناطق همگن است و در آخر این فیلتر میانگین را نگه می‌دارد. بنابراین با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش مربوط به سطح دریا است که محیطی همگن است از این فیلتر جهت کاهش نویز لکه بر روی ماتریس همدوسی به‌منظور استخراج پارامترهای تجزیه هدف ناهمدوس استفاده شده است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش دریا بوده (که کاملاً هموار است) نیاز به تصحیح هندسی نبوده است. همچنین در این مطالعه از داده‌های Single Look استفاده شده است [۲۳].

سپس برای محاسبه داده‌های باد از یک فرمول تجربی استفاده شد. پراکندگی و پیش‌گیری از نشت نفت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های اقیانوسی برآورد شد [۲۱]، اما در فرمول تجربی ساده از یک عامل ثابت باد استفاده شد، که منجر به عملکرد محدود در حمل‌ونقل اولیه هدف‌های شبیه نفت می‌باشد [۲۲]. طبقه‌بندی تصاویر رادار دیافراگم مصنوعی (SAR) را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد: استخراج ویژگی‌های مناسب و برچسب‌گذاری ویژگی‌ها بر اساس مجموعه‌ای از قواعد تصمیم‌گیری (به‌عنوان مثال جداسازی کلاس از ویژگی‌ها یا classifier). در مرحله اول، جداسازی با استفاده از داده‌های چند کاناله توسعه می‌یابد. با توجه به اینکه اطلاعات زیادی در مورد ساختارهای پراکندگی وجود دارند، ویژگی‌های قطبی سنجی نقش مهمی را در جداسازی کلاس‌ها ایفا می‌کنند. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در ساحل غربی کره دارای ویژگی‌های جریان قوی و تنوع فصلی باد است، در این شرایط، عامل ثابت رانش باد می‌تواند سبب عدم اطمینان در حرکات نفت شود، و در عوض فاکتور رانش باد ممکن است بتواند، توزیع دانه‌های سطحی نفت را بهتر نشان دهد. تأثیر رانش باد در مدل جابه‌جایی و کشف لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، موضوع اصلی این مقاله است. با استفاده از همان فرمول تجربی ساده که قبل‌تر ذکر شد، فقط نیاز به اطلاعات در مورد سرعت جریان باد و پیش‌بینی توزیع فضایی و زمانی از نقاط نفت هست. بنابراین با اطلاعات کمی در زمان واقعی یا نزدیک به زمان واقعی می‌توان نتایج را با نتایج کمی از داده‌های اپتیکی و SAR مقایسه کرد. در این مقاله برخلاف پژوهش‌های پیشین، عامل رانش باد به‌طور تقریبی در بازه (۰/۰۱ تا ۰/۰۶) به‌صورت خطی محاسبه شد تا بهترین و نزدیک‌ترین جواب مناسب برای تصاویر ماهواره‌ای به دست آمد. برای پردازش اطلاعات ماهواره‌ای مربوط به تصادفات تانکر نفت هبی و داده‌های ماهواره‌ای قبل از حادثه از روش

1. Topography Simulator

این تصاویر برای یافتن لایه C3 فیلتر می‌شوند. S4 توسط C3 طبق همان فرآیند تولید می‌شود که S2 توسط C1 تولید شد. در نهایت، این مقادیر پیکسل به‌عنوان ورودی شبکه عصبی سنتی برای دریافت خروجی شبیه‌سازی‌شده و به یک بردار متصل می‌شوند.

لایه C لایه استخراج ویژگی است. ورودی هر نورون به LRF از لایه قبلی متصل می‌شود و سپس ویژگی‌های محلی استخراج می‌شوند. هنگامی که این ویژگی‌های محلی استخراج می‌شود، ارتباط بین موقعیت آن و ویژگی‌های دیگر نیز تعیین می‌شود. لایه S یک لایه نقشه‌برداری از ویژگی است و هر لایه شبکه از چندین نقشه ویژگی تشکیل شده است. هر یک از ویژگی‌ها از یک ماهواره نقشه‌برداری شده و وزن کلیه نورون‌ها بر روی ماهواره برابر است. تابع sigmoid به‌عنوان تابع فعال‌سازی CNN عمل می‌کند، بنابراین ویژگی‌های نقشه‌برداری دارای تغییرات جابه‌جایی است.

روند آموزش CNN به چهار مرحله تقسیم می‌شود:

۱- یک نمونه (X, YP) از مجموعه نمونه گرفته‌شده و X وارد شبکه می‌شود.

۲- خروجی واقعی (OP) محاسبه می‌شود.

۳- تفاوت بین OP و خروجی ایده آل YP به دست می‌آید.

۴- ماتریس وزن با روش backpropagation algorithm براساس حداقل خطا تنظیم می‌شود.

در مراحل ۱ و ۲، اطلاعات از طریق ورودی به لایه خروجی و سپس از طریق تبدیل تدریجی منتقل می‌شود. نتایج نهایی با استفاده از ضرب ورودی و ماتریس وزن هر لایه به دست می‌آیند. نتایج طبقه‌بندی با استفاده از ساختار شبکه آموزش‌دیده به دست می‌آید.

طبقه‌بندی داده‌ها بر اساس شبکه عصبی CNN

شبکه عصبی پیچشی^۱ (CNN) رده‌ای از شبکه‌های عصبی عمیق هستند که معمولاً برای انجام تحلیل‌های تصویری یا گفتاری در یادگیری ماشین استفاده می‌شوند. شبکه‌های پیچشی به‌منظور کمینه کردن پیش‌پردازش‌ها از گونه‌ای از پرسپترون‌های چندلایه استفاده می‌کنند [۲۴].

CNN یک شبکه عصبی Feed Forward است و عملکرد عالی برای تشخیص تصویر دارد. دارای ادراک چندلایه است که برای تشخیص ابعاد دوبعدی طراحی شده است. ساختار اصلی CNN شامل دولایه است: در لایه استخراج ویژگی، ورودی هر نورون به LRF^۲ لایه قبلی متصل می‌شود. لایه بعدی مربوط به نقشه‌برداری ویژگی است. هر لایه از شبکه محاسباتی تعدادی نقشه ویژگی تشکیل شده است و هر نقشه ویژگی یک ماهواره را پوشش می‌دهد و همه نورون‌ها در آن ماهواره وزن مشابهی دارند. LRF و به اشتراک‌گذاری وزن (WS^۳) در ساختار CNN می‌تواند به میزان قابل‌توجهی تعدادی از پارامترهای ساختار شبکه را کاهش دهد و آموزش را سرعت بخشند. ساختار شبکه بسیار متناقض با پویای پویای WS^۳ در ساختار شبکه عصبی، پیچیدگی مدل شبکه و میزان وزن را کاهش می‌دهد. این مزیت زمانی که ورودی شبکه، یک تصویر چندبعدی است، نمایان می‌شود. بنابراین تصویر را می‌توان به‌صورت ورودی و به‌طور مستقیم در شبکه استفاده کرد و هیچ نیازی به استخراج ویژگی‌های پیچیده و پردازش‌های بازسازی داده‌های موردنیاز الگوریتم سنتی تشخیص، نخواهد بود. CNN عمده‌تاً شامل لایه متقاطع مجاور و لایه استخراج^۴ است. تصویر ورودی با فیلترهای قابل تعویض و یک روند افزایشی پیچیده آموزش‌دیده می‌شوند. پس از کانولوشن، نقشه‌های ویژگی در لایه C1 تولید می‌شوند، چهار پیکسل از هر گروه در نقشه ویژگی، سپس وزن باهم ترکیب‌شده، از این‌رو لایه‌های S2 با استفاده از تابع sigmoid به‌دست‌آمده است. سپس

1. Convolutional Neural Network

2. Local Receptive Field

3. Weights Shared

4. Pool Layer

پراکندگی کم آنتروپی، ساختار پراکندگی تحت تأثیر پراکندگی تک غالب قرار می‌گیرد و مقدار SERD نسبت بزرگ می‌شود. در ناحیه پراکندگی بالای نفت، ساختار پراکندگی در سطح اقیانوس پیچیده است و پراکندگی تک غالب نیست، به همین دلیل SERD کوچک‌تر است.

PH به شرح زیر است:

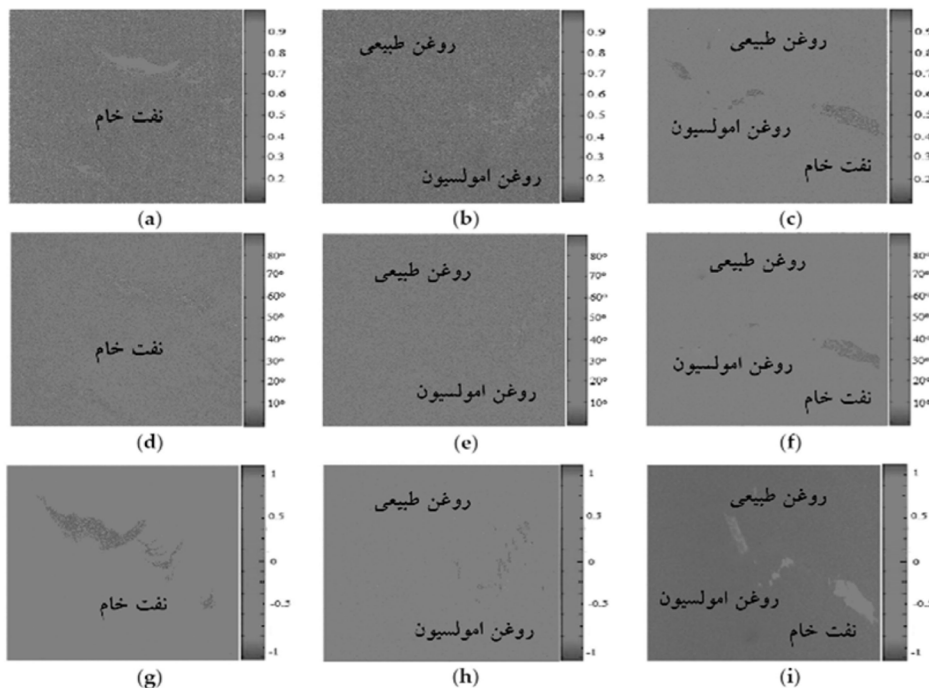
$i = 1, 2, 3$ مقادیر ویژه $T3$ هستند. مقدار PH نسبت حداقل و حداکثر خاصی دارد، که این مقدار خاص مربوط به قطبش زدایی پرتوهای بهینه است. PH یک اندازه از مؤلفه‌ی غیرقطبی در میانگین echo است. در ناحیه‌ای که تحت فشار نفت قرار می‌گیرد، تفاوت بین حداقل و حداکثر مقدار اختصاصی زیاد نیست و PH بزرگ است. سه ویژگی قطبی سنجی در اینجا به‌عنوان پایه‌ای برای طبقه‌بندی لکه‌های نفت و دودکش‌ها استفاده می‌شود. در شکل ۵ می‌توان نمودار شبیه‌سازی سه ویژگی انتخاب شده را در نفت خام مشاهده کرد.

جداسازی لکه‌های نفت از اجسام شبیه نفت بر اساس شبکه عصبی CNN

در این مقاله، آنتروپی پراکندگی قطبش، پراکندگی آلفا، SERD^۱ و ارتفاع پایه (PH) برای سه نوع لکه تیره (روغن گیاهی، امولسیون و نفت خام) استخراج شد. تجزیه این چهار ویژگی بر اساس تجزیه خاصی از ماتریس مختلط پیچیده (3×3) [T3] به دست آمد. SERD به شرح زیر بیان می‌شود:

مقادیر ویژه $T3$ و مقدار زاویه پراکندگی را می‌توان با توجه به بردار مشخصه مربوط به مقدار مشخصه حل کرد. SERD به زبری سطح که رابط مستقیم با ثابت دی‌الکتریک مواد دارد بسیار حساس است. مقدار SERD نشان‌دهنده نسبت پراکندگی تک غالب در ساختار پراکندگی است. هر چه مقدار SERD بزرگ‌تر باشد، نسبت پراکندگی تک غالب در مکانیسم پراکندگی بیشتر می‌شود.

به‌طور کلی، نفت موجب سرخ شدن مویرگی و امواج کوتاه‌گرانشی در سطح اقیانوس می‌شود. در ناحیه



شکل ۵ نمودار شبیه‌سازی سه ویژگی انتخاب‌شده (آنتروپی، آلفا، SERD) (a, b, c, d, e, f, g, h, i)

به صورت برابر تعیین می‌شود. اگرچه معادلات توسعه‌یافته توسط Fay JA و Hoult نمی‌توانند به‌طور کامل این فرآیند پیچیده را توضیح دهند ولی هم‌اکنون تنها مرجع موثق در حال توسعه در این زمینه به حساب می‌آید. این مطالعات، مدل‌های مناسبتری، از جمله جایجایی‌های نفتی ناشی از جریان باد، نیروهای ویسکوزیته، تنش سطحی و فرآیندهای سرنوشت سازی مانند تبخیر، امولسیون و انحلال است [۲۵ و ۲۶]. مدل شبیه‌سازی ما در بخش زیر شرح داده شده است که شبیه به مدل Dietrich است [۲۷]، اما با عوامل مختلف رانش باد و تغییرات جزر و مد دریایی بسیار قوی، سازگار است. مدل پیشنهادی از شبیه‌سازی عددی برای پیش‌بینی حرکت لکه‌های نفتی از ذرات مجازی استفاده می‌کند که مکان‌های نفت استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهند. برای تعیین مختصات ذرات مجازی، یک روش جستجو سلولی شبکه مورد استفاده قرار گرفت. در این جستجو، هر تصویر با سلول‌های شبکه‌ای که اندازه آن از ۱۰ تا ۸۵۰ m بسته به تراکم تصاویر فضایی است پوشانده شد. سلول‌های پیش‌فرض نفتی استخراج و به‌عنوان ذرات مجازی تعریف شد. سپس ذرات توسط سرعت جریان سطحی که در آن دو پارامتر، جریان جزر و مد و جریان باد مورد توجه قرار گرفته بیان شده است [۲۸].

$$V_{oil} = V_{current} + (V_{wind} * Q) \quad (1)$$

V_{oil} و $V_{current}$ به ترتیب، سرعت جغرافیای نفت و جریان جزر و مد است، V_{wind} سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر و Q عامل رانش باد است. همان‌طور که در معادله ۱، جریان ناشی از باد با توجه به قطر Q و سرعت باد در امتداد جهت فعلی، بیان می‌شود، عامل متغیر باد می‌تواند از ۰/۱ تا ۰/۰۶ باشد. اما در بسیاری از برنامه‌های پیش‌بینی جرم نفت، Q به‌عنوان ۰/۰۳ ثابت است [۲۹]. در مطالعه حاضر، معادله ۱ در فرم برداری دوبعدی برای محاسبه

روند یادگیری شبکه بر اساس مقدار خاکستری تمام پیکسل‌های تصویر ورودی در CNN اصلی است. باین حال، در این مقاله، فرآیند یادگیری شبکه بر اساس ارزش‌های ویژگی است. هر نمونه ورودی از تصاویر ویژگی انتخاب شده و در مجموع ۶۳۰۰ نمونه از سه نوع تصاویر انتخاب شده، از جمله ۲۱۰۰ نمونه نفت خام، ۲۱۰۰ نمونه روغن گیاهی و ۲۱۰۰ نمونه امولسیون روغن انتخاب شدند. اندازه ROI^۱ (نمونه ورودی) 28×28 است و پارامتر در آن تحلیل می‌شود. CNN به مجموعه داده‌های آموزشی ۵۴۰۰ نمونه، از جمله ۱۸۰۰ نفت خام، ۱۸۰۰ روغن گیاهی و ۱۸۰۰ نمونه امولسیون روغن اعمال می‌شود.

دقت طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های آزمایشی ۹۰۰ نمونه (به‌طور مساوی بین نمونه‌های نفتی خام، گیاهی و امولسیون تقسیم شده)، $91/33\%$ است. برای به دست آوردن نتایج قابل اطمینان آماری و جلوگیری از برابری، از روش اعتبارسنجی متقابل^۲ به‌طور دقیق اجرا شد. همچنین در فاز اول عوامل مؤثری مانند توان، اکسترمم توان دریافتی، اکسترمم کل شدت پراکنش شده، اکسترمم درجه قطبیدگی، نسبت قطبیدگی، نسبت ناقطبیدگی، قطبش جزء به جزء، ارتفاع پایه و ضریب همبستگی محاسبه شد.

شبیه‌سازی جابه‌جایی نفت

برای شبیه‌سازی حمل و نقل نفت کارهای پیشگامی در مدل‌سازی حرکت سیل نفت توسط Fay JA، و Hoult به نام نفوذ جاذبه انجام شده است. در مرحله اول که شعاع نفوذ، نرم و صاف است، نیروی ناشی توسط جاذبه متعادل شده و در مرحله دوم ضخامت نفت تحت تأثیر گرانش-ویسکوز، بیشتر می‌شود. برای کاهش خطا و وابستگی زمانی به دلیل نیروهای گرانشی و فشار گرانشی افقی ضریب تعادل تعیین می‌شود. در مرحله نهایی، نیروها به دلیل ویسکوزیته و تنش سطحی کششی، لکه‌های نفت را بسیار نازک می‌کند و وابستگی زمانی شعاع

1. Region of Interest

2. K-fold Cross Validation

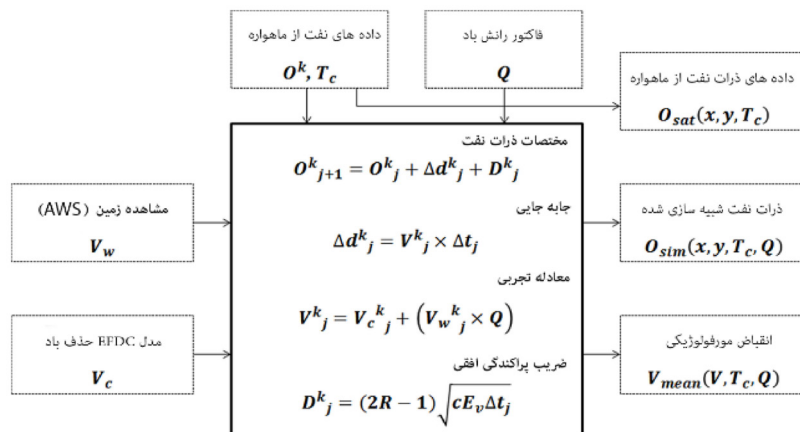
تحت تأثیر قرار گرفته است. این سرعت تصادفی را می‌توان با ضریب انتشار دوبعدی توصیف کرد. در نتیجه، حرکت ذرات از لحاظ سرعت ذرات و ضریب پراکنش افقی تعریف می‌شود. O_{sim} و O_{sat} در شکل ۶، ذرات نفت استخراج شده را از تصاویر ماهواره‌ای و نتایج شبیه‌سازی به ترتیب در زمان پایان T_c و موقعیت (y, x) توصیف می‌کنند. V_{mean} میانگین سرعت جریان فعلی در ابتدا تا پایان زمان در هر مورد شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در هر شبکه، که برای استفاده از تصاویر نرمال شبیه‌سازی شده با پردازش تصویر مورفولوژی کی برای ارزیابی کمی استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌کنید، تنها پارامترهای موردنیاز در این شبیه‌سازی زمینه‌های جریان و باد هستند.

اندازه‌گیری داده‌های باد

اداره هواشناسی کره (KMA) شبکه‌هایی با چگالی بالا از AWS را در کره جنوبی مستقر کرد تا مشاهدات زمان واقعی از پارامترهای هواشناسی سطحی از جمله دما، سرعت و جهت باد، فشار و بارندگی را به‌طور دقیق تری محاسبه کند. داده‌های باد از ۱۹ ایستگاه AWS در ارتفاع‌های مختلف در اطراف موقعیت برخورد حاصل شد. داده‌ها حاوی سرعت و جهت متوسط باد به مدت ۱ min است.

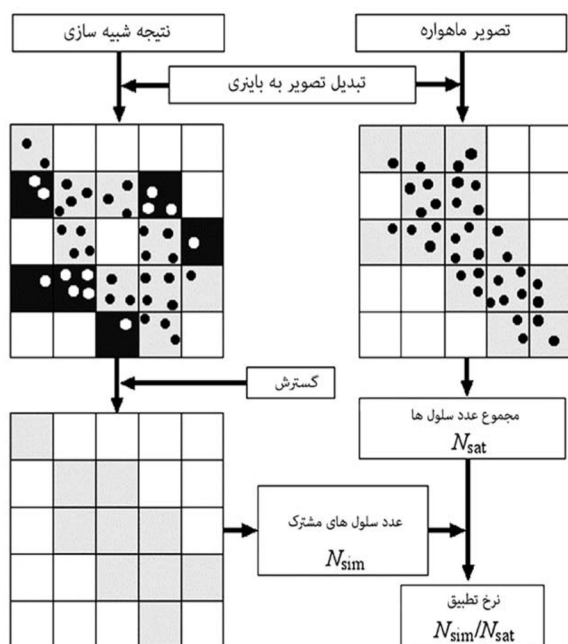
تغییرات فضایی و زمانی سیال‌های نفتی با Q به‌عنوان متغیر استفاده می‌شود. توجه داشته باشید که این مدل اثر ضریب نفت، پراکندگی، پخش، تبخیر و هوازدگی را در نظر نمی‌گیرد، اما این در واقع نقص نفت است، یعنی اگر ذرات نفتی به خط ساحلی برسند، در آن موقعیت ثابت می‌شوند.

شکل ۶ نمودار جریان شبیه‌سازی حرکت لکه‌های نفت را نشان می‌دهد که O_{kj} و ΔD_{kj} به ترتیب مختصات و جابه‌جایی یک‌ذره مجازی را نشان می‌دهند. T_c و Δt_j زمان به دست آوردن تصاویر ماهواره‌ای و گام زمان برای جابه‌جایی ذرات است. V_{kj} سرعت جریان سطحی محاسبه‌شده از فرمول تجربی با ورودی‌های باد و جریان جزر و مد است. k برابر با ۱ و ۲، N_p تعداد ذرات نفتی و $z = 1, 2$ ، Nt تعداد مراحل زمان است. گام زمانی شبیه‌سازی ۳۰ min است. V_c و V_w به ترتیب سرعت باد و باد جوی را نشان می‌دهند و Q عامل رانش باد است. D_{kj} ضریب پراکنش افقی با واحد فاصله است، R یک عدد تصادفی در فاصله بین ۰ تا ۱ است، Ev ضریب آشفستگی بوده و مقدار آن برابر $10 \text{ m}^2/\text{s}$ است و c ضریب پوسته پوسته شدن بوده و برابر با ۱۲ است [۳۰]. حرکات نفتی در سطح دریا توسط یک روش، که موجب گسترش انتشار افقی می‌شود



شکل ۶ نمودار شبیه‌سازی عددی حرکت باد با استفاده از فرمول تجربی.

پردازش تصویر مورفولوژیکی به صورت زیر گسترش می‌یابد. در طی شبیه‌سازی، یک ذره در طول مسیر با سرعت مشخص شده توسط معادله (۱) حرکت می‌کند [۳۳]. سپس میانگین بردار سرعت (متوسط سرعت و جهت) V_{mean} این ذره محاسبه می‌شود و نقطه اولیه آن به موقعیت ذره در انتهای شبیه‌سازی اختصاص داده می‌شود. اگر یک سلول در نقطه پایانی بردار V_{mean} یک سلول غیرهمپوشانی است، به سلول همپوشانی تبدیل می‌شود که در شکل ۷ (سلول در مرکز) نشان داده شده است. اگر بردار V_{mean} از طریق چندین سلول عبور کند، این سلول‌ها نیز به عنوان سلول‌های همپوشانی در نظر گرفته می‌شوند. به طور فیزیکی، این فرآیند به این معنی است که سلول‌هایی که از طریق یک ذره مجازی نفت با سرعت متوسط در یک جهت متوسط در طول دوره شبیه‌سازی گذر کرده‌اند، با لکه‌های نفتی پوشیده شده‌اند. نرخ تطبیق به عنوان تعداد سلول‌های همپوشانی در تصویر شبیه‌سازی شده N_{sim} تعریف شده بر تعداد سلول‌ها در تصویر ماهواره‌ای N_{sat} تعریف می‌شود.



شکل ۷ نمودار شبیه‌سازی عددی حرکت باد با استفاده از فرمول تجربی.

قانون تبدیل هلمن^۱ به منظور تبدیل سرعت باد اندازه‌گیری شده به سرعت باد در ارتفاع m ۱۰ و به شرح زیر تعریف شده است [۳۱]:

$$U(z) = U(z_a) * (z/z_a)^\alpha \quad (2)$$

در این معادله، $U(z)$ سرعت باد در ارتفاع z است و $U(z_a)$ سرعت باد در ارتفاع z_a است که در این مطالعه، ارتفاع m ۱۰ در نظر گرفته شده است. α ضریب اصطحکاک یا شاخص هلمن است که تابعی از توپوگرافی و زبری در یک سیکل اندازه‌گیری است. اگر ویژگی‌های α هنوز تعیین نشده باشند، مقدار 0.14 یک تقریب خوب برای شروع محاسبه است [۳۲]. این مقدار برای تبدیل سرعت باد به ارتفاع m ۱۰ مورد استفاده قرار گرفت و متوسط سرعت و جهت باد در طول m ۳۰ در هر ایستگاه AWS بود. میدان باد در فاصله m ۵۰۰ با همان داده‌های جاری و با استفاده از درون‌یابی خطی و روش نزدیک‌ترین همسایه تولید می‌شود.

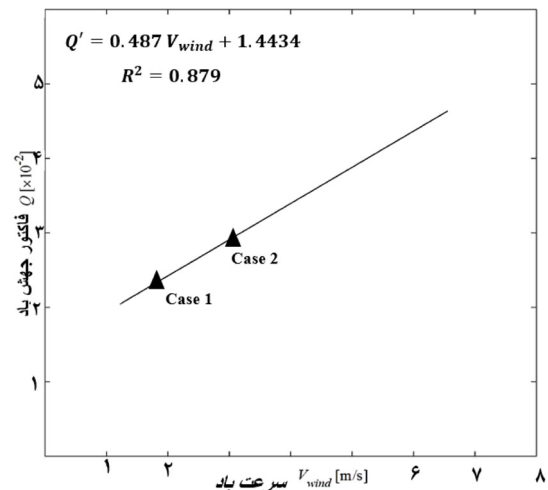
ارزیابی کمی و بحث

در کاربردهای عملی، حرکت لکه‌های نفتی، در یک سیستم مختصاتی که از شبکه‌های مش تشکیل شده است، پیش‌بینی می‌شود. در مطالعه حاضر، اندازه سلول همانند میدان‌های جریان و باد، یعنی $500 \times 500 m$ ، برای تبدیل به تصویر دودویی استفاده شد. در روش ارزیابی که در شکل ۷ نشان داده شده است، سلول‌هایی که حاوی ذرات مجازی در تصویر دودویی شبیه‌سازی شده‌اند، ابتدا مورد نظر هستند. این سلول‌ها بارنگ‌های خاکستری تیره و روشن در شکل ۷ نشان داده شده است. سپس سلول‌هایی انتخاب می‌شوند که با تصاویر دودویی ماهواره‌ای حاوی ذرات نفتی همپوشانی دارند. سلول‌های همپوشانی در تصویر شبیه‌سازی شده با رنگ خاکستری روشن نشان داده شده است در حالی که سلول‌های غیرهمپوشانی در رنگ خاکستری تیره نشان داده می‌شوند. در مرحله بعد، ذرات مجازی شبیه‌سازی شده، با استفاده از عناصر ساختاری در

1. Hellman Exponential Law

از مقایسه پارامترهای جهش و سرعت باد توسط داده‌های ماهواره‌های TerraSAR-x و Sentinel-1 با داده‌های شبیه‌سازی‌شده، نمودار خطی شکل ۸ به دست آمد. ماهواره case1 ماهواره TerraSAR-x و case2 ماهواره Sentinel را نشان می‌دهد.

از مقایسه پارامترهای جهش و سرعت باد توسط داده‌های ماهواره‌های TerraSAR-x و Sentinel-1 با داده‌های شبیه‌سازی‌شده، نمودار خطی شکل ۸ به دست آمد. ماهواره case1 ماهواره TerraSAR-x و case2 ماهواره Sentinel را نشان می‌دهد.



شکل ۸ نمودار شبیه‌سازی عددی حرکت باد با استفاده از فرمول تجربی.

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، تقریباً یک رابطه خطی وجود دارد. گام دیگری برای بهبود الگوریتم شبیه‌سازی و افزایش میزان تطبیق با استفاده از معادله رگرسیون خطی^۱ برای فاکتور رانش و وابسته به باد، فرمول تجربی اصلاح شده برای سرعت لغزش نفت می‌باشد، اکنون به صورت زیر تعریف شده است.

$$V_{oil} = V_{current} + (V_{wind}) * Q' \quad (3)$$

$$Q' = aV_{wind} + b \quad (4)$$

ثابت‌های a و b به ترتیب برابر با ۰/۰۰۴۸۶۵ s/m و

پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

شبیه‌سازی حرکت ذرات برای ۲ حالت انجام شد. در حالت اول، ذرات نفتی که مربوط به موقعیت تانکر هبی هستند، در فواصل ۳۰ min گسترش می‌یابند، از زمان حادثه (در زمان محلی ۰۷:۱۵، ۷ دسامبر) تا زمانی که داده‌های ماهواره‌ای ثبت شوند. با استفاده از معادله ۳ با داده‌های فعلی ناشی از باد و ذرات مجازی تا زمان جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای، به ترتیب (در زمان محلی ۱۱:۰۴، ۸ دسامبر)، ردیابی می‌شوند. مکان‌های ذرات مجازی برای مقایسه با تصویر ماهواره‌ای شبیه‌سازی شده است.

جدول ۲ متوسط سرعت باد، فاکتور رانش باد و میزان هماهنگی نتایج شبیه‌سازی در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای

بالاترین میزان مطابقت	فاکتور جهش باد	سرعت باد	شبیه‌سازی نمونه‌ها
۶۹/۹۴	۰.۲۹/۰	۰.۷/۳	نمونه اول
۳۳/۷۱	۰.۲۳/۰	۸۲/۱	نمونه دوم

نتیجه‌گیری

عامل ثابت رانش باد می‌تواند عدم اطمینان برای نتایج پیش‌بینی حرکت لکه‌های نفتی با استفاده از فرمول تجربی باشد. در این مطالعه اثر ضریب رگبار باد در مورد حادثه هبی با شرایط شدید جزر و مدی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی عددی با ۲ مجموعه داده از تصویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که بهترین پارامترهای سازگاری با عوامل مختلف رانش باد به‌دست‌آمده است و فاکتور رانش بهینه، به‌صورت خطی متناسب با سرعت باد است. بر اساس رابطه رگرسیون، یک معادله تجربی پیشنهاد شده است و با استفاده از این

معادله، حرکت سیل نفت با استفاده از شبیه‌سازی عددی مجدداً محاسبه شد. مقایسه نتایج با داده‌های ماهواره‌ای نشان داد که میزان بالای تطبیق بیش از ۶۰٪، به‌ویژه، مدل جدید با افزایش دقت تطبیق ۹٪ در سرعت باد شدید و شرایط جوی ناپایدار در جزر و مد در مقایسه با مدل متعارف بهبود یافت. برای اعتبار دقیق‌تر، مطالعات بیشتر در مورد سایر مکان‌هایی که دارای شرایط متفاوت هستند، نیاز به داده‌های بیشتر مانند توپوگرافی انتهایی، جریان سطحی غالب و غیره نیاز است، زیرا مدل کنونی از داده‌های محدود به‌عنوان نتیجه اولیه حاصل شد.

مراجع

- [1]. Brown C E, Fingas M (2003) Synthetic aperture radar sensors : viable for marine oil spill response? Proceedings of the 26, Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, 1116, 1: 299-310; 26.
- [2]. Rezaee A (2008) Extracting edge of images with ant colony, Journal Of Electrical Engineering-Bratislava, 1, 59: 1, 57.
- [3]. Velotto D, Bentes C, Tings B, Lehner S (2016) First compraison of sentinel-1 and terraSAR-X data in the framework of maritime targets detection: South Italy Case, 993-1006, 4.
- [4]. ESA Communications, Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services, 2012.
- [5]. ESA telecommunications and integrated applications, satellite - Auomatic indentification system (SAT-AIS), 2016.
- [6]. حبیبی واحد زنجانی ش (۱۳۹۳) پیش‌بینی کیفی و کمی بررسی فرآیندهای مؤثر بر سطح لکه نفت و میعان‌ات گازی حاصل از ریزش اتفاقی در سواحل شمالی خلیج فارس، پژوهش نفت، ۲۴، ۷۷: ۱۴۷-۱۳۵.
- [7]. متکان ع ا، حاجب م، آذرخش ز (۱۳۹۳) بررسی کاربرد سنجش‌ازدور در آشکارسازی آلودگی‌های نفتی دریا، علوم محیطی، ۱۲: ۱.
- [8]. هدایتی مقدم ا، میرمحمدی س ا، حسشینی ع، امانیزاده ف (۱۳۹۹) بهینه‌سازی فرآیند جداسازی گازی با استفاده از غشا پلیمری اصلاح شده بر پایه الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی. پژوهش نفت، ۳۰، ۹۹-۴: ۹۶-۱۰۴.
- [9]. ریاحی بختیاری ح ر، خلیلیان ع ا (۱۳۹۶) استخراج لکه‌های نفتی در پهنه خلیج فارس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ژئوماتیک، ۲۴.
- [10]. رایگانی ب، نجفی یاسوری م، بداق جمالی ج، سرخیل ح. (۱۳۹۸). شناسایی لکه‌های آلودگی‌های نفتی با استفاده از سری زمانی داده‌های سنجنده مودیس (مطالعه موردی: آب‌های خلیج فارس). پژوهش نفت ۲۹، ۹۸-۵: ۹۷-۱۰۶.
- [11]. لیاقت م، نورایی‌نژاد، م ر، آدابی م ح (۱۴۰۰) تفسیر الکتروفاسیس‌ها با استفاده از شبکه عصبی SOM و ارتباط آن با لیتوفاسیس‌های گروه خامی در میدان نفتی مارون (جنوب غرب ایران)، پژوهش نفت، ۳۱، ۱۴۰۰-۱: ۹۶-۱۱۱.
- [12]. رضایی ع ر، درکه ف، آذرخش ز (۱۴۰۰) طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری رادار مبتنی بر ماشین

- بردار پشتیبان و الگوریتم جستجوی گرانشی دودویی: فصل‌نامه علمی پردازش و علائم داده، ۱۸، ۱: ۱۰۲-۷۸.
- [13]. Migliaccio M, Gambardella A, Tranfaglia M (2007) SAR polarimetry to observe oil spills, *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 45, 2: 506-511.
- [14]. Fingas M F, Brown C E (1997) Review of oil spill remote sensing, *Spill Sci Technol Bull*, 4, 4: 199-208.
- [15]. Matkan A, Hajeb M, Azarakhsh Z (2013) Oil spill detection from SAR image using SVM based classification, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, SMPR*, 1: W3.
- [16]. Hajati F, Rezaee A, Gheisari S (2021) Genetic algorithms for scheduling examinations, In *International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 524-532.
- [17]. Satellite data, Atlantis leaves Columbus with a radio eye on Earth's sea traffic (2009) ESA, Archived from the original on 8 December 2009, Retrieved 6 December 2009.
- [18]. Uehara K, Saito Y (2003) Late quaternary evolution of the yellow/east china sea tidal regime and its impacts on sediments dispersal and seafloor morphology, *Sediment Geology*, 162, 1: 25-38.
- [19]. Reed M, Johansen Q, Brandvik P J, Daling P, Lewis A, Fiocco R, Prentki R (1999) Oil spill modeling towards the close of the 20th century, *Overview of the State of the Art, Spill Sci Technol Bull*, 5, 1: 3-16.
- [20]. Korotenko K A, Mamedov R M, Kontar A E, Korotenko L A (2004) Particle tracking method in the approach for prediction of oil slick transport in the sea, *Modelling Oil Pollution Resulting from River Input, Journal of Marine Systems*, 48, 1: 159-170.
- [21]. Kim D J, Moon W M, Kim Y S (2010) Application of TerraSAR-X data for emergent oil-spill monitoring, *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 48, 2: 852-863.
- [22]. Leifer I, Lehr W J, Simecek-Beatty D, Bradley E, Clark R, Dennison P, Wozencraft J (2012) State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill, *Remote Sens Environ*, 124: 185-209.
- [23]. Fay J A (1969), The spread of oil slicks on a calm sea, In: Hoult D, editor, *Oil on the Sea*, New York: Plenum Press, 53-64.
- [24]. Rafiei A, Rezaee A, Hajati F, Gheisari S, Golzan M (2021) SSP: Early prediction of sepsis using fully connected LSTM-CNN model, *Computers in biology and medicine*, 1, 128: 104110.
- [25]. Fay J A (1971) Physical processes in the spread of oil on a water surface, *Proc Joint Conf Prevention Control of Oil Spills*, Washington D.C: American Petroleum Institute, 653-663.
- [26]. Hoult D P (1972) Oil spreading on the sea, *Ann Rev Fluid Mech*, 4: 341-367.
- [27]. Dietrich J C, Trahan C J, Howard M T, Fleming J G, Weaver R J, Anaka S, Twilley R R (2012) Surface trajectories of oil transport along the Northern Coastline of the Gulf of Mexico, *Continental Shelf Research*, 41: 17-47.
- [28]. Korotenko K A, Mamedov R M, Kontar A E, Korotenko L A (2004) Particle tracking method in the approach for prediction of oil slick transport in the sea, modelling oil pollution resulting from river input, *Journal of Marine Systems*, 48, 1: 159-170.
- [29]. IMO (1988) Manual on oil pollution section IV, London, England, International Maritime Organization (IMO).
- [30]. van Cooten S, Kelleher K E, Howard K, Zhang J, Gourley J J, Kain J S, Spence L (2011) The CI-FLOW project: a system for total water level prediction from the summit to the sea, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 11: 1427-1438.
- [31]. Lehr W J, Simecek-Beatty D (2000) The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms, *Spill Sci Technol Bull*, 6, 3-4: 247-253.
- [32]. Reed M, Johansen Q, Brandvik P J, Daling P, Lewis A, Fiocco R, Prentki R (1999) Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state of the art, *Spill Science and Technology Bulletin*, 5 1: 3-16.
- [33]. Añuelos-Ruedas F, Camacho C Á, Rios-Marcuello S (2011) Methodologies used in the extrapolation of wind speed at different heights and its impact in the wind energy resource assessment in a region, In: *Suvire GO, Editor, Wind Farm - Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment, Croatia: InTech*, Accessed, 13.
- [34]. RETScreen Software Online User Manual, Available: <http://www.retscreen.net/download.php/ang/440/0/PSH3.pdf>. Accessed 2013 Dec 13.
- [35]. Dougherty E R (1992) An introduction to morphological image processing, USA: SPIE Optical Engineering Press.
- [36]. Rezaee A (2010) Using genetic algorithms for designing of FIR digital filters, *ICTACT Journal on Soft Computing*, 1, 1: 18-22.
- [37]. Rezaei A R, Khalili M (2021) Ripe detection and estimation of rapeseed crop yield based on remote sensing image processing.



The Effect of Wind Speed in Discovery of Oil Spill by Polarimetric Radar

Alireza Rezaee*, Yaser Rezaei, Milad Asadpour

Mechatronics and mems part, Interdisciplinary Technology group, faculty of new sciences and technologies, university of Tehran, Tehran, Iran

arrezaee@ut.ac.ir

DOI: 10.22078/PR.2022.4512.3036

Received: May/27/2021

Accepted: March/06/2022

Introduction

Among marine environmental disasters, oil spills in coastal waters are seriously affecting the ecosystem, fisheries and the economy. Oil pollution causes irreparable damage to the marine environment and plant and animal life. Oil spills have a significant disruption to the sea-based economy and have a devastating effect on human life. Annually, 48% of ocean pollution is related to fuel and 29% to crude oil, and carrier tanker accidents account for only 5% of the pollution entering the sea. Intentional contamination is also more common than contamination reported from shipwrecks. About 45% of oil pollution occurs when unloading from a ship. Given that such spills occur frequently, regular oil spills can pose a much greater threat to marine environments and ecosystems than oil and tanker accidents. The impact of not monitoring petroleum products is apparently unknown, but a major environmental impact is that seabirds land on it by mistake. Quick and accurate determination of the location of oil pollution is a great help in reducing the damage caused by them [1].

Radar imaging systems, using a wide range and different polarizations of electromagnetic waves due to having rich information related to different aspects of ground targets, and extracting various features for ground surface imaging, provide useful information related to coatings. Provide ground. This information provided in the field of phase and amplitude, allows the diagnosis and identification of various geographical features [1]. Therefore, radar imaging systems have been considered as an efficient and powerful tool in the study of the earth's surface.

In various articles including the article of Ms. Shahla Habibi, Zanjani et al. [2], Mr. Ali Akbar Motakan et al. [3], Mr. Kaykhosravi Abbas et al. Behzad Raigani

et al. [4], Mr. Dariush Yousefi Kobria et al. This focus is on this issue, despite the careful study and implementation of oil slick detection and classification of these images, there is still a gap in the use of artificial intelligence algorithms and in the optimization of this process, only in the article by Mr. Yaser Rezaei et al. [5] in Quarterly Signals and signaling systems and data processing have dealt with this issue, ie the classification of various images, including oil slicks, and the determination of hyper parameters. This article addresses this issue.

Materials and Methods

In this paper, several images collected using space operating systems from December 8 to 25, 2007, one optical image obtained by the Compass-2 MSC (multitherapy camera) and two SAR images by Sentinel-1 and TerraSARX for comparison Used with simulation results.

Figure 1 shows coverage areas and Table 1 shows data capture time, sensor mode, polarization, arc width, spatial resolution, wind direction and wind data at AWS automated meteorological stations. In this study, multidimensional images were used using geometric correction with reference to aerial optical images. The oil-covered areas were extracted by the image light threshold. For SAR information, radiometric calibration was first performed to calculate the radar cross-section (NRCS) and geometric correlations were applied to match the Senteinel-1 image and aerial photographs. Figure 2 shows the SOC Geocoded images obtained at 2 different times. In this paper, the preliminary results of simulating the movement of oil slicks in the Hebei accident are presented, which include the dispersion and prevention of oil flood movement, using satellite data and ocean models.

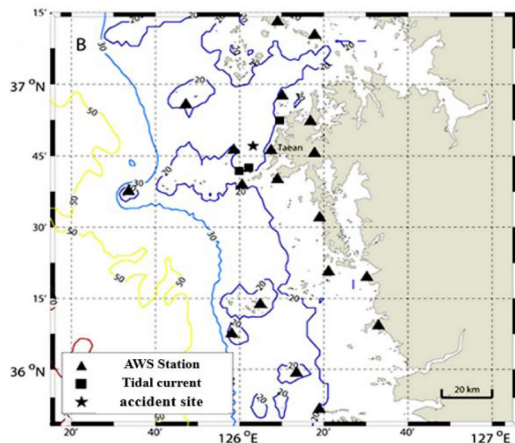


Fig. 1 Map of satellite data and information coverage in the study area (around Hebei Oil Tanker).

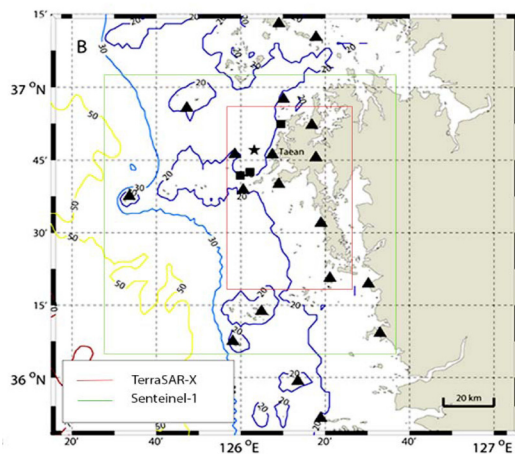


Fig. 2 TerraSAR-X and Senteinel-1 satellite coverage area map.

A wind drift factor was used in the simple experimental formula, which is the result of limited performance in the initial oil transfer, and in addition, a quantitative evaluation model was developed for strong wind characteristics and seasonal wind changes on the west coast of Korea. In this model, the wind spinning coefficient is not constant and causes confidence in measuring the position of oil slick movement, and the change of wind erosion factor and the variable of oil slick distribution level may be more visible.

In this paper, the data used include satellite SAR data obtained by two different satellites in the C-band and X-band, and ground-based AIS reports are provided by regional ships broadcast by satellites on the ground. AIS datasets SAR images are used to further identify naval targets.

In this paper, the flow of oil by wind (with constant elongation coefficient) and the random diffusion of oil particles by the average algorithm (WDO) in 3 dimensions, including the effects of evaporation, emulsion and particle decomposition using the life of petroleum particles are experimentally derived.

It depends on factors such as the type of oil and its thickness. This model requires a lot of information on the oil and the polluted environment, so it is complex and time consuming, but it has been used because of its high accuracy in predicting the movement of oil slicks. This research consists of four basic steps. At first, a set of polarimetric features were extracted by existing methods (main data features, target parsing features and SAR separators) by Polarsar software, then in the preprocessing stage to remove noise and normalize. The data was processed and in the next step the training data was generated, then the solution of all time separation of oil-like materials (Lookalike), feature selection and determination of optimal parameters were used using CNN neural network. And the classification results are obtained using a trained network structure. After evaluating the suitability of each answer at each stage of repetition by classifying the support vector machine and moving towards the optimal answer, an attempt was made to select the best suggested answer and the algorithm continued until the stop condition was provided. An experimental formula was then used to calculate wind data. Dispersion and oil spill prevention were estimated using satellite data and ocean models [7].

Results and Discussion

In practical applications, the movement of oil slicks is predicted in a coordinate system consisting of mesh networks. In the present study, the cell size was used as the binary and wind fields, ie 500×500 m, to be converted to a binary image. Cells that simulate virtual particles in a binary image are considered first. Cells are then selected that overlap with binary images of satellite particles containing petroleum particles. In the next step, the simulated virtual particles are expanded as follows, using structural elements in morphological image processing. During the simulation, a particle moves along the path at the speed specified by Equation (1) [8].

$$V_{oil} = V_{current} + (V_{wind} * Q) \quad (1)$$

Then the average velocity vector (average velocity and direction) V_{mean} of this particle is calculated and its initial point is assigned to the position of the particle at the end of the simulation. Physically, this process means that cells that have passed through a virtual medium-velocity oil particle at a moderate direction during the simulation period are covered with oil stains. The matching rate is defined as the number of overlapping cells in the N_{sim} simulated image as defined as the number of cells in the N_{sat} satellite image.

Comparing the jump and wind speed parameters by Senteinel-1 and TerraSAR-x satellites with the simulated data, the following line graph is obtained: case1 shows TerraSAR-x satellite and case2 shows Senteinel satellite.

Comparing the jump and wind speed parameters by Senteinel-1 and TerraSAR-x satellites with the simulated data, the following line graph is obtained in Figure 3: case1 shows TerraSAR-x satellite and case2 shows Senteinel satellite.

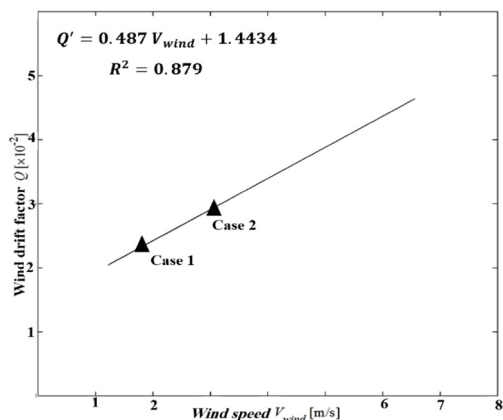


Fig. 3 Numerical simulation diagram of wind motion using an experimental formula.

As shown in Figure 3, there is almost a linear relationship between wind speed and wind drift factor.

Table 1 shows the numerical results obtained from two simulated samples in comparison with satellite images in Figure 3, as can be seen from the last column of the table, there is a good match between the simulated sample and the experimental sample.

Table 1 Mean wind speed, wind drift factor and degree of coordination of simulation results compared to satellite images.

Simulation of samples	w i n d speed	Wind jump factor	Highest level of compliance
The first example	3.07	0.029	94.69
The second example	1.82	0.023	71.33

Conclusions

The constant factor of wind drift can be the uncertainty for the results of predicting the movement of oil slicks using the experimental formula. In this study, the effect of wind storm coefficient on Hebei incident with severe tidal conditions and comparing the results of numerical simulation with 2 data sets from satellite image were investigated. It was found that the best parameters for adaptation to different wind drift factors were obtained and the optimal drift factor was linearly proportional to the wind speed. Based on the regression relation, an experimental equation is proposed and using this equation, the oil flood motion was recalculated using numerical simulation. Comparison of the results with satellite data showed that the high rate of adaptation was more than 60%, especially the new model with an increase in adaptation accuracy of 90% at high wind speeds and unstable weather conditions at low tide compared to the conventional model. For more accurate validation, further studies of other sites

with different conditions require more data, such as terminal topography, dominant surface flow, etc., because the current model is derived from limited data as a preliminary result.

References

1. Brown C E, Fingas M (2003) Synthetic aperture radar sensors: viable for marine oil spill response? Proceedings of the 26, Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, 1116, 299-310; 26
2. Ragani B, Najafi Yasuri M, Badagh Jamali J, Sarkhil H (2018) Identification of oil pollution spots using MODIS sensor data time series (case study: Persian Gulf waters), Oil Research 29, 5-98, 106-97.
3. Liaqat M, Nurai-nejad M R, Adabim H (1400) Electrofacies interpretation using SOM neural network and its relationship with Khami group lithofacies in Maron oil field (southwest of Iran) Oil Research, 31, 1400-1: 96-111.
4. Hedayati Moghadam A, Mirmohammadi S A, Hasshini A, Amanizadeh F (2019) Optimization of gas separation process using modified polymer membrane based on genetic algorithm and neural network, Oil Research, 30, 4-99, 96-104.
5. Raigani B, Najafi Yasouri M, Badaq Jamali J, Sarkhil H (2017) Identification of oil pollution spots using the time series of Modis sensor data (Case study: Persian Gulf waters), Journal of Petroleum Research, 3: 79-87.
6. Yousefi Kobria D, Abbaskhanian G, Ghanbari P (2019) Identification of Caspian Sea oil pollution spots by remote sensing (Case study: Baku oil extraction facilities), Journal of Environmental Sciences, 18, 3: 52-166.
7. Kim D J, Moon W M, Kim Y S (2010) Application of TerraSAR-X data for emergent oil-spill monitoring, IEEE Trans Geosci Remote Sens, 48 2: 852-863.
8. Dougherty E R (1992) An Introduction to Morphological Image Processing USA, SPIE Optical Engineering Press, 30, 9: 1, e87393.
9. Matkan A, Hajeb M, Azarakhsh Z (2013) Oil spill detection from SAR image using SVM based classification, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, SMPR, 1: W3.
10. Uehara K, Saito Y (2003) Late Quaternary evolution of the Yellow/East China Sea tidal regime and its impacts on sediments dispersal and seafloor morphology, Sediment Geology, 162, 1: 25-38.
11. Rezaee A (2008) Extracting edge of images with ant colony, Journal Of Electrical Engineering-Bratislava, 1, 59: 1.