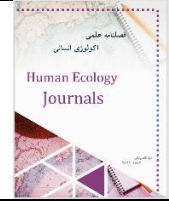




Online ISSN: 2821-1782

Journal of Human Ecology

journal homepage: <http://www.landscapeecologyjournals.ir/>



Research Paper

Detection of oil slicks in the Persian Gulf using MODIS sensor images

Parisa Khajavi ^{*} ^a Farshad Nemati ^b

^a Master's degree in environmental geology, University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

^b Master's student in remote sensing and geographic information system, Hormozgan University, Hormozgan, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022-12-18

Accepted: 2023-01-06

Keywords:

Oil spills environment
floating algae MODIS
Persian Gulf

ABSTRACT


The advances in technology have made it an alternative to traditional methods of monitoring, identifying and analyzing oil spills. SAR sensors are commonly used to detect oil spots, but their use of images is limited due to high costs, low crop width and poor time resolution. The MODIS sensor on the Terra and Okua platforms is taking pictures every two times from anywhere on the planet, with images at 250, 500, and 1000 meters resolution, which is a free and valuable resource for detecting oil spills. In this study, in order to detect oil spills during the three oil spill events in the years 2007, 2015, and 2016, oil spills were detected using surface-level images of MODIS. In the pre-processing stage, MODIS images were converted to atmospheric reflections. In order to detect oil spots, an indicator of oil spill detection was used to study the effect of oil spots on the concentration of water chlorophyll and phytoplankton, floating algae, water color, blue opacity and The surface water temperature was used from the indices and algorithms of OC3, CMI, FAI and SABI, NDVI, TWI and SST4 algorithms respectively. The results show that the oil spots in the OSI index output correspond to the pixels with the highest DN in the image per year, as well as oil spots, which reduce the concentration of chlorophylls, floating algae, water color and water surface temperature, and increasing the opacity of the water. For all indices and algorithms, oil spots are consistent with pixels with a minimum value of DNs. Among all the used methods, only the CMI for phytoplankton does not show any significant changes in the range of oil spills; therefore, it is suggested that the methods and indices used in this study be used to detect oil spots.

*Corresponding Author.

Email Addresses: p.khajavi94@gmail.com

To cite this article:

Khajavi, P., & Nemati, F. (2022). Detection of oil slicks in the Persian Gulf using MODIS sensor images. .. *Human Ecology*, 1(1), 55-78.

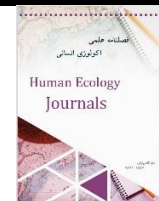
 Doi: [10.22034/el.2022.362725.1005](https://doi.org/10.22034/el.2022.362725.1005)



شاپای الکترونیکی: ۱۷۸۲-۲۸۲۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

[http:// www.landscapeecologyjournals.ir](http://www.landscapeecologyjournals.ir)



مقاله پژوهشی

آشکارسازی لکه‌های نفتی در خلیج فارس با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS

پریسا خواجوی^{۱*} فرشاد نعمتی^۲

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران.

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

دریافت مقاله:

۲۷ آذر ۱۴۰۱

پذیرش نهایی:

۱۶ دی ۱۴۰۱

پیشرفت‌های فناوری سنجش از دور آن را به جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی در پایش، شناسایی و تحلیل لکه‌های نفتی تبدیل کرده است. سنسورهای SAR معمولاً برای تشخیص لکه‌های نفتی استفاده می‌شوند، اما استفاده از تصاویر آن‌ها به دلیل هزینه‌های بالا، عرض برداشت کم و تفکیک زمانی ضعیف محدود است. سنجنده MODIS قرار گرفته بر روی سکوی ترا و اکوا در هر روز دو بار از هر نقطه از سطح کره زمین تصویر برداشت می‌کنند و تصاویر آن در قدرت تفکیک ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری هستند که منبع رایگان و ارزش شمندی جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی هستند. در این پژوهش به منظور آشکارسازی لکه‌های نفتی طی سه رخداد نشت نفت در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ اقدام به آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر سطح یک MODIS شد. در مرحله پیش پردازش تصاویر MODIS به بازتاب بالای اتمسفر تبدیل شدند، به منظور آشکارسازی لکه‌های نفتی، از شاخص آشکارسازی لکه‌های نفتی استفاده شد و به برای بررسی اثر لکه‌های نفتی بر غلظت کلروفیل آب و فیتوپلانکتون‌ها، جلبک‌های شناور، رنگ آب، کدورت آبی و دمای سطح آب به ترتیب از شاخص‌ها و الگوریتم‌های OC3، CMI، FAI، SABI، NDVI، TWI و SST4 استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که لکه‌های نفتی در خروجی شاخص OSI منطبق بر پیکسل‌های بالاترین DNها در تصویر مربوط به هر سال است، همچنین لکه‌های نفتی باعث کاهش غلظت کلروفیل، جلبک‌های شناور، رنگ آب و دمای سطح آب و افزایش کدورت آبی می‌شوند که در تصاویر خروجی مربوط به همه شاخص‌ها و الگوریتم‌ها لکه‌های نفتی منطبق بر پیکسل‌های با حداقل ارزش DNها است. در بین تمامی روش‌های مورد استفاده تنها شاخص CMI مربوط به فیتوپلانکتون‌ها تغییرات محسوس در محدوده لکه‌های نفتی نشان نمی‌دهد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی از روش‌ها و شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش استفاده گردد.

واژگان کلیدی:

لکه‌های نفتی؛

محیط زیست؛ جلبک‌های

شناور؛ MODIS؛

خلیج فارس

۱- مقدمه

تمامی عواملی که به طریقی سبب ورود مواد آلاینده به دریا می‌شوند، می‌توانند موجبات آلودگی آب را فراهم نمایند، برخی از این عوامل طبیعی و برخی غیرطبیعی می‌باشند. به‌طورجدی از جمله عوامل طبیعی که باعث آلودگی دریاهای می‌شوند می‌توان از عواملی نظیر طوفان‌ها، گردوغبار و آتش‌فشان‌ها، مواد زائد ناشی از ارگانیک‌های دریایی نام برد. عمده‌ترین عوامل آلوده‌کننده دریاهای غیرطبیعی و بخصوص انسان‌ها و فعالیت‌های انسانی نظیر پساب‌های صنعتی، زباله‌های شهری، تخلیه آب توازن و شستشوی کشتی‌ها به داخل دریا، نشت مواد نفتی ناشی از حوادث مربوط به نفت‌کش‌ها و سکوهای نفتی، زباله‌های اتمی آلودگی‌های شهری، مواد آلاینده ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، تردد کشتی‌ها، جنگ و سوانح دریایی و غیره همگی عوامل غیرطبیعی هستند که باعث آلودگی دریاهای می‌شوند. گسترش تدریجی این آلودگی‌ها به سواحل و جزایر، سبب بروز بیماری‌های مهلک و عوارض ژنتیکی بر روی انسان نیز می‌گردد. در سال‌های اخیر، نشت نفت به محیط‌های دریایی یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی دریا بوده است. آلودگی‌های نفتی جزو سمی‌ترین و بادوام‌ترین آلاینده‌های محیط‌های آبی و دریاهای به‌حساب می‌آیند که اثرات زیست‌محیطی و بیولوژیکی بسیار مخرب و پایداری بر محیط‌زیست منطقه دارند. در این فصل کلیات پژوهش مربوط به اثرات زیست‌محیطی لکه نفتی در خلیج فارس، علل و ضرورت آشکارسازی و پایش لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS پرداخته‌شده و سپس سؤالات، اهداف و فرضیات پژوهش مطرح‌شده‌اند.

۱-۱- بیان مساله

خلیج فارس به‌عنوان یکی از شاهراه‌های انتقال انرژی و نیز یکی از اصلی‌ترین مسیرهای ترانزیت کالا به اقصی نقاط جهان همواره در معرض آلودگی‌های زیادی قرارگرفته است که یکی از مهم‌ترین این آلودگی‌ها آلودگی نفتی بوده است که تاکنون موجب نابودی درصد بالایی از آبزیان و ماهیان این دریا شده است (مرکز مطالعات خلیج فارس، ۱۳۹۴). لکه‌های نفتی روی آب باعث افزایش جذب نور آفتاب و افزایش درجه حرارت محیط و به هم خوردن روند فعل‌وانفعالات اکولوژیک و زیستی در محیط می‌شوند چسبیدن لکه‌های نفتی به ریشه و ساقه گیاهان دریایی آن‌ها را می‌خشکاند و فتوسنتز گیاهان آبی بر اثر قرار گرفتن لایه‌های نفت روی سطح آب متوقف‌شده، جانوران آبی به علت اینکه آب‌شش آن‌ها با لایه‌ها و قطرات نفت پوشانده می‌شود، دچار اختلال شده و خفه می‌شوند (منافی، ۱۳۶۷). آلودگی نفتی به‌واسطه صدمات جبران‌ناپذیری که بر محیط‌زیست دریا و حیات گیاهی و جانوری وارد می‌کند، اثر مخربی بر زندگی انسان دارد. از طرفی نشت نفت اختلال قابل‌توجهی در اقتصاد مبتنی بر دریا داشته و از طرف دیگر پایش و کنترل آلودگی نفتی امری پرهزینه و زمان‌بر است. با این توضیحات و با توجه به اینکه دریا بستر بارزشی برای ذخایر نفتی و محل استخراج نفت و تردد کشتی‌های حامل هست، شناسایی سریع و جلوگیری از نشت نفت در دریاهای و کاهش اثرات مخرب بر اکوسیستم‌های دریایی امری ضروری است. امروزه پیشرفت‌های اخیر در فناوری سنجش‌ازدور آن را به جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی در پایش، شناسایی و تحلیل لکه‌های نفتی تبدیل کرده است (گلدروک و صاحبی، ۱۳۸۹). سنجش از راه دور ماهواره‌ای می‌تواند در کاهش تأثیرات زیست‌محیطی نشت نفت، با استفاده از تکنیک‌های تشخیص قابل‌اعتماد و مؤثر لکه‌های نفتی مؤثر واقع شود و اطلاعات مربوط به موقعیت و ویژگی‌های لکه نفتی را به‌سرعت استخراج کرده و به اشتراک بگذارد (Brekke & Solberg, 2005). سنسورهای^۱ مایکروویو^۲ فعال مانند رادار با دریچه مصنوعی^۳ (SAR)، معمولاً برای تشخیص لکه‌های نفتی استفاده می‌شوند (Hu et al, 2010). با این حال، استفاده از تصاویر آن‌ها به دلیل هزینه‌های بالا، محدود و عرض برداشت کم (به‌عنوان مثال ۱۰۰ کیلومتر برای Radarsat-1) و تفکیک زمانی ضعیف (به‌عنوان مثال ۲۴ روز برای Radarsat-1) محدود است. یکی دیگر از چالش‌ها در تشخیص نفت با داده‌های SAR، عدم تشخیص و تمایز بین لکه‌های نفتی و عوارض مشابه، مانند شکوفه‌های جلبک و مناطق با وزش بادهای ملایم است (Brekke & Solberg, 2005)، زیرا هر دو ممکن است به‌عنوان پیکسل‌های تیره در تصاویر SAR ظاهر شوند (Zhao et al, 2014). علاوه بر سنسورهای مایکروویو، چندین سنسور ماهواره‌ای نوری برای شناسایی لکه‌های نفتی استفاده‌شده است. تشخیص نفت با سنجنده‌های نوری روشی نوینی است (Casciello et al, 2011). سنجنده AVHRR^۴ برای نظارت زود هنگام و شناسایی نشت نفت توسط (Tseng & Chiu, 1994) قرارگرفته است (Tseng & Chiu, 1994)، با این وجود به دلیل تفکیک مکانی ۱/۱ کیلومتری تصاویر AVHRR، غالباً لکه‌های نفتی بر روی تصاویر آن قابل‌مشاهده و آشکارسازی نیستند (Zhao et al, 2014). سنسور نوری SeaWiFS در کنار OrbView نیز

¹ Sensors

² Microwave

³ Synthetic Aperture Radar

⁴ Advanced very-high-resolution radiometer

برای آشکارسازی لکه‌های نفتی مورد استفاده قرار گرفته است، لکن مشکل تفکیک مکانی ضعیف در تصاویر همه آن‌ها مشکلی مشترک است (Buhe et al, 2005). سنجنده MODIS^۱ قرار گرفته بر روی سکوی ترا^۲ و اکواد^۳ هر روز دو بار از هر نقطه از سطح کره زمین تصویر برداشت می‌کند و تصاویر آن در قدرت تفکیک ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری هستند. تصاویر MODIS منبع ارزشمندی جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی هستند (Zhao et al, 2014). تصاویر MODIS با وضوح متوسط از مزایای زیادی برای تشخیص نفت برخوردار هستند (Bulgarelli & Djavidnia, 2012). سنجنده MODIS با دارا بودن ۳۶ باند مرئی و مادون قرمز، امروزه به واسطه قدرت تفکیک زمانی بالا (دو بار برداشت از سطح کره زمین در روز)، قدرت تفکیک مکانی متوسط، سطح برداشت وسیع در هر فریم تصویر و قدر تفکیک رادیومتریک بالا (۱۱ بیتی^۴) می‌توان گفت امروزه جهت پایش مداوم آلودگی سطح دریا بهینه‌ترین منبع داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای محسوب می‌شود، همچنین تصاویر MODIS به واسطه تعداد باندهای متعدد در محدوده مادون قرمز انعکاسی و حرارتی امکان بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای رنگ دریا، زیست‌محیطی، کیفی و اقلیمی سطح آب را در اثر گسترش لکه‌های نفتی به استفاده از الگوریتم‌های مربوط به اندازه‌گیری هر پارامتر میسر می‌گرداند (Alawadi et al, 2010) در حالی که سنسورهای SAR تنها امکان جداسازی لکه‌های نفتی از سایر سطوح میسر می‌شود (Zhao et al, 2014).

در بین سنجنده‌های نوری، سنجنده MODIS با توجه به قدرت تفکیک مکانی، زمانی، رادیومتریک و طیفی به صورت توانمند، بهترین عملکرد را در قیاس با سایر سنجنده‌های نوری داراست و از آنجایی که این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون قرمز انعکاسی و حرارتی است امکان بررسی تغییرات رنگ دریا و دمای سطح آب را در محدوده‌های دارای نشت نفت میسر می‌گرداند. مهم‌ترین مساله در ارتباط با آلودگی نفتی خلیج فارس و تصاویر MODIS جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی این است که تاکنون پژوهی پیرامون آشکارسازی لکه‌های نفتی در خلیج فارس با استفاده از تصاویر MODIS صورت نگرفته است؛ بنابراین پژوهش پیش رو با عنوان آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از سنجنده MODIS، در صدد پاسخگویی به پرسش‌های زیر است:

آیا تصاویر MODIS قابلیت جداسازی کامل لکه‌های نفتی را از سطوح آبی دارا هستند؟

با بررسی تغییرات غلظت عناصر آبی، کدورت آب و دمای سطح با تصاویر MODIS می‌توان به حضور و یا عدم حضور لکه‌های نفتی پی برد؟

۲-۱- ضرورت تحقیق

خلیج فارس یکی از آلوده‌ترین دریاهای جهان است. برآورد شده است که آلودگی نفتی در منطقه خلیج فارس ۴۷ برابر میانگین تخمین زده شده برای یک محیط دریایی مشابه است (واقفی و همکاران، ۱۳۹۰). جنگ در دهه‌های گذشته بارهای آلودگی نفتی را در منطقه افزایش داد حدود ۸۰۰ سکوی نفت و گاز دریایی و ۲۵ پایانه بزرگ نفتی در منطقه خلیج فارس وجود دارد هر سال حدود ۲۵۰۰۰ تانکر نفتی معادل ۶۰ درصد از صادرات نفتی جهان از تنگه هرمز عبور می‌کند و روزانه ۱۷ میلیون بشکه نفت از خلیج فارس توسط کشتی‌ها جابجا می‌شود (Sale et al, 2011). میزان نشت نفت در خلیج فارس سه برابر دریای شمال و دو برابر دریای کارائیب است (روزبهبانی و همکاران، ۱۳۸۸). حدود ۴۵ درصد از آلودگی‌های نفتی هنگام تخلیه از کشتی ایجاد می‌شود (دادور و همکاران، ۱۳۹۴). نفت هنگام ورود به دریا با توجه به شرایط جوی و شکل ساختمانی آن دستخوش تغییراتی مانند تبخیر، تعلیق، ترکیب، ترسیب و تجزیه می‌گردد. هیدروکربن‌های سبک موجود در نفت به سرعت تبخیر و از محیط خارج می‌شوند ولی در نهایت با ریزش‌های جوی دوباره به دریا بازمی‌گردند. خلیج فارس نیز از آلوده‌ترین مناطق دریایی از نظر زیست‌محیطی می‌باشد به نحوی که می‌توان گفت کمتر نقطه‌ای با چنین ابعادی با ویرانی محیط‌زیست مواجه بوده است (لطفی و همکاران، ۱۳۸۹). شرایط هیدرولوژی، چگونگی گسترش و جریان‌های آبی و ساختار خلیج فارس از نظر زمین‌شناسی و عمق کم (به واسطه‌ی قرار گرفتن آن بر روی فلات قاره) همگی موجب افزایش بحران زیست‌محیطی در اثر نشت نفت می‌گردد به طوری که علاوه بر اثرات حاد و سریع آلودگی بر حیات آبریزان منطقه، اثرات زیان‌بار آن همچنان تداوم داشته و مشاهده می‌گردد بنابراین قدرت بازسازی ذخایر کاهش یافته و پیامدهای زیست‌محیطی و ناهنجاری‌های اکولوژیکی از جمله کاهش ذخایر، نوسانات و تغییرات فراوانی گونه‌ها (حذف گونه‌های ناسازگار و جانمایی گونه‌های سازگار) و کم شدن تنوع گونه‌ای، نابودی و در معرض قرار گرفتن بسیاری از زیستگاه‌ها را به دنبال خواهد داشت (عوفی، ۱۳۹۵). مقادیر قابل توجهی از مواد نفتی و مشتقات آن پس از طی مراحل و انتشار و اختلاط توسط باد و امواج تجزیه می‌شوند

¹ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

² Terra

³ Aqua

⁴ Bit

اما آن مقدار از نفت را که تجزیه نمی‌شود و به‌صورت ذرات معلق در دریا شناور می‌ماند را گاهی ماهیان می‌خورند و دچار مسمومیت می‌شوند. توجه به نکات مطرح‌شده لزوم پایش مداوم و روزانه سطح آب دریا را در زمان رخداد نشت نفت جهت شناسایی مناطق، زیستگاه‌ها و تأسیسات دریایی موجب می‌شود و از آنجایی که سنجنده‌های راداری با عرض برداشت کم و دامنه زمانی طولانی بین هر برداشت این کار را انجام می‌دهند ضروری است که از سنجنده‌های با توان تفکیک زمانی بالاتر و عرض برداشت وسیع‌تر استفاده شود. در بین سنجنده‌های نوری سنجنده که برداشت روزانه از تمامی نقاط کره زمین دارند، سنجنده MODIS بیشترین تفکیک مکانی را در قیاس با سایر سنجنده‌های نوری دارد، اما تاکنون در ایران پژوهشی به‌منظور آشکارسازی لکه‌های نفتی با تصاویر سنجنده MODIS و تأثیرات آن بر پارامترهای زیست‌محیطی خلیج فارس صورت نگرفته است، بنابراین ضروری تا به‌منظور بررسی قابلیت این سنجنده در آشکارسازی لکه‌های نفتی پژوهشی صورت گیرد.

۳-۱- پیشینه تحقیق

۳-۱-۱- مطالعات داخلی

تیموری، ۱۳۹۴ در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان امکان‌سنجی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی و آشکارسازی نیمه‌خودکار لکه‌های نفتی در دریاها و اقیانوس‌ها (مطالعه موردی) خلیج فارس، از تصاویر راداری و نوری سنجنده‌های MODIS و MERIS^۱ استفاده کرد. نتایج آن‌ها حاصل از تلفیق روش‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور نوری و راداری در آشکارسازی لکه‌های نفتی نشان داد که این تکنیک ۰/۷۸ موارد نشت نفت تأیید شده را قادر به آشکارسازی است. مقایسه نتایج SAR با نتایج سنجنده‌های MODIS و MERIS در آشکارسازی لکه‌های نفتی نشان داد که سنجنده‌های MODIS و MERIS قادر به آشکارسازی لکه‌های نفتی که ابعادشان از یک کیلومتر مربع کمتر است، نیستند.

سرحدی زاده و حجازی، ۱۳۹۰ مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی، گسترش و پخش آلودگی‌های نفتی با استفاده از نرم‌افزار GIS در محیط‌های آبی ارائه کرده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود با استفاده از روش احجام محدود و میانگین‌گیری بر روی دو مرز آبی بزرگ خلیج فارس و دریای عمان در جنوب دریای خزر در شمال به آشکارسازی آلودگی‌های نفتی پرداخته‌اند.

مدحجی، ۱۳۹۲ در پژوهشی به بررسی تأسیسات نفتی با استفاده از تصاویر SAR (مطالعه‌ی موردی: میدان نفتی مارونه) پرداخته است، او در پژوهش خود با مشخص کردن دو آستانه‌ی High و Low به آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی اشاره کرده است که با نزدیک شدن به آستانه‌ی High بر غلظت و میزان شدت مواد نفتی افزوده می‌شود.

متکان و همکاران، ۱۳۹۳ در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی قابلیت ویژگی‌های تجزیه هدف در کشف آلودگی‌های نفتی دریا با استفاده از داده‌های پلاریمتری SAR از روش‌های مختلف تجزیه هدف به کشف نقاط تاریک محتمل بر آلودگی‌های نفتی و با استفاده از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان، به تعیین آلودگی‌های قطعی نفت در خلیج فارس استفاده کردند آن‌ها از تصاویر PALSAR سنجنده ALOS^۲ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که؛ پلاریزاسیون VV نسبت به پلاریزاسیون HH جهت کشف آلودگی‌های نفتی مناسب‌تر است و از بین روش‌های تجزیه هدف، روش KROGAGER با دقت ۹۷/۳٪ بهترین نتیجه را در بارز سازی لکه‌های نفتی دارد.

طالبی، ۱۳۹۵ در پژوهشی با عنوان بررسی شاخص مناسب آشکارسازی لکه نفتی با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-۲ و بهره‌گیری از ویژگی‌های رفتار طیفی نفت با تأکید بر کمیتهای آماری، به آشکارسازی لکه نفتی ایجادشده در حادثه نشت نفت از سکوی پارس جنوبی در تاریخ ۲۶ بهمن ۹۴ واقع در منطقه خلیج فارس پرداختند. آن‌ها با استفاده از منحنی رفتار طیفی نفت و آب و همچنین شاخص OIF، ترکیب‌های رنگی بهینه و با محاسبه شاخص NDWI^۳ و اعمال آستانه‌هایی روی آن، لکه‌ی نفتی را به‌طور دقیق آشکارسازی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که الزاماً OIF^۴ بیشتر به معنای ترکیب مناسب‌تر نخواهد بود و لازم است که ترکیب‌های بهینه بر اساس نمودار رفتار طیفی و شاخص‌های تأثیرگذار در آشکارسازی لکه نفتی موردتوجه قرار گیرند که این امر افزایش دقت در آشکارسازی را موجب خواهد شد.

¹ Medium Resolution Imaging Spectrometer

² Advanced Land Observing Satellite

³ Normalized Difference Water Index

⁴ Optimum Index Factor

کیخسروی، ۱۳۹۵ در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان آشکارسازی لکه‌های نفتی خلیج فارس با استفاده از تصاویر راداری (SAR)، از تصاویر راداری Sentinel-A جهت آشکارسازی لکه نفتی در غرب خلیج فارس استفاده کرد. تکنیک وی جهت آشکارسازی لکه نفتی، تکنیک موسوم به حد آستانه دار بود. نتایج پژوهش وی نشان داد که از میان عوامل محیطی از قبیل میزان باد در سطح آب، دمای سطح آب و ارتفاع آب دریا، تنها عامل محیطی تأثیرگذار بر روی شناسایی لکه‌های نفتی باد می‌باشد و می‌توان از دیگر عوامل چشم‌پوشی نمود. همچنین مشخص شد که با توجه به شرایط جغرافیایی خلیج فارس این روش قابلیت شناسایی آلودگی‌های نفتی این منطقه را دارد.

۲-۳-۱- مطالعات خارجی

Lacava et al, 2017 در پژوهشی با عنوان یک تکنیک ماهواره‌ای قوی (RST) مبنی بر تصاویر MODIS جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی، اقدام به آشکارسازی لکه‌های نفتی در محدوده دریایی قبرس کردند. آن‌ها با تبدیل تصاویر MODIS به بازتاب بالای اتمسفر و حذف اثر پراکندگی ریلی^۱ اقدام به بارز سازی و لکه‌های نفتی کردند. همچنین آن‌ها از شاخص جلبک شناور (FAI)^۲ جهت بررسی تغییرات سبزیگی در محل لکه‌های نفتی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این روش دقت و قابلیت بالایی در آشکارسازی لکه‌های نفتی دارا است.

Keshavarz et al, 2017 جهت آشکارسازی لکه‌ها نفتی در خلیج مکزیک از تصاویر سنجنده Hyperspectral AISA به منظور آشکارسازی لکه نفتی استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از امضای طیفی به دست آمده از لکه‌های نفتی با درصد‌های مختلف و آب بر روی تصویر AISA اقدام به طبقه‌بندی طیفی به روش زاویه نگر طیفی (SAM)^۳ کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که این روش، تکنیک مطلوبی جهت بارز سازی لکه‌های نفتی است و لکه‌های نفتی را با غلظت گوناگون را میتوان با استفاده از این روش و تصاویر شناسایی کرد.

Zhao et al, 2014 در پژوهش یا عنوان بررسی پتانسیل سنجنش از راه دور نوری برای تشخیص نشت نفت در آب‌های کم عمق ساحلی مطالعه موردی در خلیج فارس به آشکارسازی لکه‌های نفتی در چندین رخداد لکه نفتی در خلیج فارس طی سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ پرداختند. آن‌ها به منظور آشکارسازی لکه‌های نفتی با تبدیل تصاویر MODIS به بازتاب بالای اتمسفر، شاخص FAI و داده‌های جهت وزش باد با ابعاد ۲۵ کیلومتری استفاده کردند. تصاویر مورد استفاده آن‌ها نیز تصاویر MODIS و تصاویر هم‌زمان لندست بود. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که روش تبدیل تصاویر MODIS به بازتاب بالای اتمسفر به همراه شاخص FAI روش مؤثر و مطلوبی در آشکارسازی لکه‌های نفتی است.

Brekke & Solberg, 2005 در پژوهشی تحت عنوان شناسایی نشت نفت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور دریافتند که تصاویر SAR برای تشخیص عملیاتی نشت نفت بهترین عملکرد را نسبت به سنجنده‌های نوری دارد و این سنسور با توجه به وجود موانع بر سر راه خود مانند ابر، در تمام طول روز قابلیت تشخیص و امکان پوشش گسترده وجود دارد.

Marghani, 2014 در پژوهشی تحت عنوان استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تشخیص نشت نفت از داده‌های ماهواره‌ای Sar, Radarsat-2 استفاده کرده است، در این پژوهش برای تشخیص نشت نفت از الگوریتم ژنتیک بهره برده که این روش با استفاده از داده‌های متوالی SAR, Radarsat2 در خلیج مکزیک به دست آمده و نتیجه گرفته می‌شود که الگوریتم ژنتیک می‌تواند به عنوان یک ابزار برای شناسایی و تشخیص خودکار نشت نفت مورد استفاده قرار بگیرد.

Mokhtari et al, 2015 به بررسی توزیع فضایی خطرات ناشی از نشت نفت در شمال خلیج فارس پرداخته‌اند. آنها در پژوهش خود یک مدل پیش‌بینی مکانی برای احتمال نشت نفت در شمال خلیج فارس ارائه کردند، در مدل ارائه شده نشت نفت در هر پیکسل به عنوان تابعی از چهار پروکسی مانند مسیر کشتی‌ها، سواحل، تأسیسات و چاه‌های نفتی است که این پیکسل‌ها با استفاده از مدل خطی عمومی یا تابع چند جمله‌ای در نرم افزار R اجرا می‌شود و با استفاده از این مدل محل نشت نفت را گزارش می‌دهند این آزمون بیش از صدبار تکرار شده و دقت این مدل‌ها ۰/۷۹ درصد می‌باشد. در این مدل در بخش قسمت شمال خلیج فارس جایی که تأسیسات اصلی و ترکیب ترافیک کشتی‌ها بود احتمال نشت نفت بسیار زیاد بود و این مدل تقریباً می‌تواند نشت نفت را پیش‌بینی کند و همچنین می‌تواند به عنوان مدلی برای شبیه‌سازی نفتی مورد استفاده قرار بگیرد.

¹ Rayleigh scattering

² Floating Algae Index

³ Spectral Angle Mapper

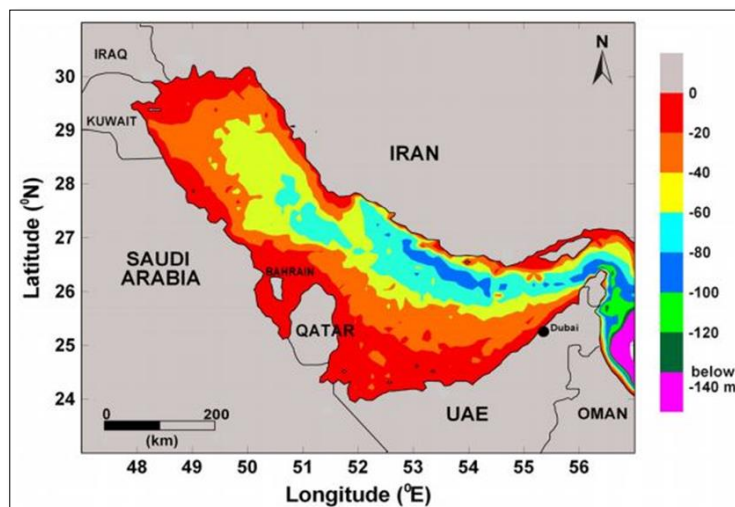
۳-۳-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پیشینه پژوهش

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که سنجنده‌های راداری و نوری عمدتاً جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی در دورسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرکدام بنا به شرایط جوی، عرض برداشت، هزینه تصویربرداری و غیره دارای معایب و محاسن خاص خود هستند. در پژوهش‌هایی که با استفاده از تصاویر سنجنده‌های نوری همچون MODIS صورت گرفته است، اغلب تنها از یک یا دو تکنیک جهت بارز سازی لکه‌های نفتی استفاده شده است و سایر تغییراتی که در اثر حضور لکه‌های نفتی در دریا صورت می‌گیرد، همچون تغییرات سبزیگی، تغییرات میزان کلروفیل دریا، تجمع و تفرق جلبک‌ها، کدورت آب و غیره مورد بررسی قرار نگرفته‌اند؛ بنابراین پژوهش پیش رو علاوه بر آشکارسازی لکه‌های نفتی، به بررسی اثرات لکه‌های نفتی بر غلظت کلروفیل، فیتوپلانکتون‌ها، جلبک‌ها، رنگ دریا، کدورت آبی و دمای سطح آب طی سه رخداد نشت نفت در خلیج فارس می‌پردازد و اثر کلی لکه‌های نفتی را بر این پارامترها روشن می‌کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت خلیج فارس

خلیج فارس، پیشرفتگی آب در سرزمینی است که تا محور ۱۰۰۰ کیلومتر (از اروندرود تا تنگه هرمز) ادامه دارد. مدخل آن در تنگه هرمز، با حدود ۸۵ کیلومتر و بخش پایانی آن در رأس خلیج فارس، با حدود ۳۲۰ کیلومتر بوده و بیشترین عرض آن شامل ۳۲۵ کیلومتر است. مساحت این خلیج ۲۲۶ هزار کیلومترمربع و ژرفای متوسط آن ۳۵ متر ثبت شده است که در پاره‌ای از نقاط به ۹۰ تا ۱۰۰ متر نیز می‌رسد. خلیج فارس دریای کم‌عمقی به شمار می‌آید (شکل ۳-۱) که به لحاظ زیست‌محیطی اهمیت بسیاری دارد و از طرفی خلیج فارس در منطقه‌ای فرورفته است که در جنوب آن فلاتی لم‌بزرگ که سواحل آن به‌طور نسبی خشک و سوزان در هر جا که اندکی آب پیداشده جماعتی در آنجا زندگی را آغاز کرده‌اند و در شمال آن، فلات دیگری با نمایی از کوهپایه‌های زاگرس قرار گرفته که منطقه خشک و گرمسیری است (همایون، ۱۳۸۰).



شکل ۱. موقعیت و عمق خلیج فارس (Sale et al, 2011).

۲-۲-۱- آلودگی‌های نفتی در خلیج فارس

از آنجاکه خلیج فارس به دلیل داشتن منابع متعدد هیدروکربوری و موقعیت جغرافیایی و سیاسی ویژه دارای اهمیت زیادی در جهان است امکان آلودگی‌های هیدروکربوری نیز در آن زیاد است. بر اثر ریزش مواد نفتی حاصل از اکتشاف و استخراج نفت در آب‌های خلیج فارس سالانه معادل یک میلیون و ۲۰۰ هزار بشکه آلودگی نفتی ایجاد می‌شود (روزانه معادل ۳/۳۰۰ بشکه نفت)، به همین دلیل است که آب‌های خلیج فارس با ۴۷ برابر آلودگی بیشتر در مقایسه با آب‌های آزاد جهان، نام آلوده‌ترین محیط‌زیست آبی را به خود گرفته است (دانیالی و همکاران، ۱۳۹۰).

مهم‌ترین آلودگی آب‌های خلیج فارس، ناشی از مواد نفتی است زیرا این منطقه هم ذخایر عظیم نفت دارند و هم پالایشگاه‌های متعددی در حوزه آن مشغول به کار هستند و هم کشتی‌های نفت‌کش متعددی برای حمل این ماده و واردات و صادرات دیگر کالاها در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان رفت‌وآمد دارند. نفت از منابع گوناگونی وارد دریا می‌شود، برای مثال نشت‌های نفتی طبیعی، تخلیه‌های صنعتی از صنایع واقع در خشکی، تخلیه معمول از کشتی‌ها و لکه‌های نفتی که به سبب ریزش نفت به صورت تصادفی یا بی‌توجهی به دریا حادث می‌شوند را می‌توان نام برد. به دست آوردن ارقام صحیح از مقدار کل نفتی که به اقیانوس‌های جهان وارد می‌شود بسیار مشکل است ولی IMO^۱ این تعداد را در حدود ۱۶ میلیون بشکه نفت در سال از تمامی منابع به دریا تخمین می‌زند (دانه‌کار، ۱۳۸۷). در خلال سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۸۱، ۵/۱۴۵ میلیون تن، در سال ۱۹۸۷-۱۹۸۶، ۱/۱ میلیون تن و در سال ۱۹۸۸ ۹/۹ میلیون تن که جمع کل نفت ریخته شده معادل ۲۲/۳ میلیون تن بود با در نظر گرفتن مساحت خلیج فارس که ۲۳۲ هزار و ۸۵۰ کیلومترمربع است، در هر کیلومترمربع ۹۶ تن نفت در خلیج فارس نفت خام انتشار یافت که این ارقام ۷۰ درصد از ظرفیت کل نفت‌کش‌هایی است که در مدت هشت سال جنگ آسیب‌دیده‌اند (لطفی و همکاران، ۱۳۸۹)، همچنین در طول جنگ، چاه‌های نفتی اردشیر، فروزان، نصر، نوروز و الامیه تخریب شدند که مقدار بسیار زیادی نفت به دریا ریخت، به‌عنوان مثال اگر چاه‌های نفت نوروز را در نظر بگیریم از ژانویه تا سپتامبر ۱۹۸۳، مقدار ۲۹۰ تا ۴۹۰ هزار تن نفت از این چاه‌ها به خلیج فارس ریخته شده است. آمار جهانی آلودگی نشان می‌دهد ۱۵/۴ درصد کل آلودگی‌ها از ترابری نفت‌کش‌ها و ۴/۴ درصد مربوط به بهره‌برداری دریایی است تخمین‌ها راجع به منطقه خلیج فارس نشان می‌دهد که ۵۷/۱ درصد آلودگی نفتی مربوط به حمل‌ونقل نفت‌کش‌ها و ۲۴/۴ درصد مربوط به بهره‌برداری در دریاست (کیخسروی، ۱۳۹۵).

۳-۲- آشکارسازی و تشخیص لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر MODIS

۳-۲-۱- سنجنده MODIS

سنجنده ی MODIS یکی از سنجنده‌های اصلی ماهواره‌های تراو اکوا است که تصویربرداری آن از مارس ۲۰۰۰ شروع شد. سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند دریافتی از طول موج ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است. قدرت تفکیک باندهای یک و دو ۲۵۰ متر، باندهای سه تا هفت، ۵۰۰ متر و باندهای هشت تا ۳۶، هزار متر است. از ۳۶ باند این سنجنده، ۱۶ باند آن در ناحیه ۳/۶۶ تا ۱۴/۳۸۳ میکرومتر و دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متری هستند. قدرت تفکیک رادیو متریک این سنجنده نیز یازده بیت است (Schaaf et al, 2002).

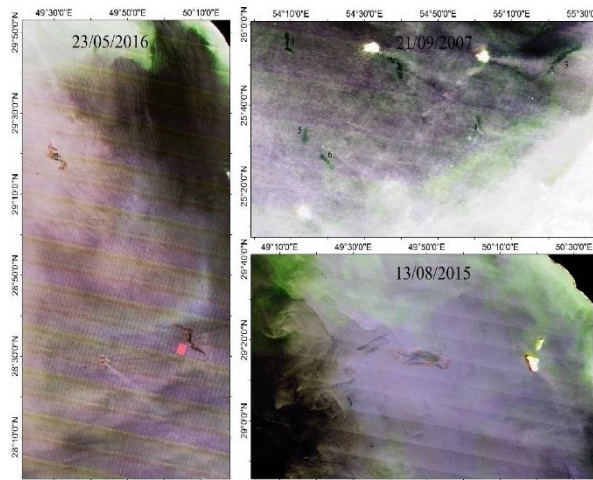
¹ International Maritime Organization

جدول ۱. مشخصات و کار آبی باندهای سنجنده MODIS (Zhang et al, 2003).

شماره باند	کاربرد اصلی	پهنای باند nm	شماره باند	کاربرد اصلی	پهنای باند nm
۱	تعیین محدوده ابرها و زمین‌ها (کاربری اراضی)	۶۷۰-۶۲۰	۱۹		۹۶۵-۹۱۵
۲		۸۷۴-۸۴۱	۲۰		
۳			۲۱	تعیین درجه حرارت سطح زمین و ابر	۳/۳-۶۶۰/۸۴۰ ۳/۳-۹۲۹/۹۸۹ ۳/۳-۹۳۹/۹۸۹ ۴/۴-۰۲۰/۰۸۰
۴		۴۷۹-۴۵۹	۲۲		
۵	شناخت ویژگی‌های ابرها و یا زمین‌ها (کاربری اراضی)	۵۶۵-۴۴۵	۲۳		
۶		۱۲۵۰-۱۲۴۰	۲۴	تعیین درجه حرارت جو	۴/۴-۴۳۳/۴۹۸ ۴/۴-۴۸۲/۵۴۹
۷		۱۶۲۵-۱۶۲۸	۲۵		
۸		۲۱۵۵-۲۰۱۵	۲۶	مطالعه ابرهای سیروس	۱/۱-۳۶۰/۳۹۰
۹			۲۷	تعیین میزان بخار آب	۶/۶-۵۳۵/۸۹۵ ۷/۷-۱۷۵/۴۷۵ ۸/۸-۴۰۰/۷۰۰
۱۰		۴۲۰-۴۰۵	۲۸		
۱۱	رنگ اقیانوس‌ها- فیتوپلانکتون‌ها- بیوژئوشیمیایی	۴۴۸-۴۳۸	۲۹		
۱۲		۴۹۳-۴۸۳	۳۰	مطالعات لایه ازن	۹/۹-۵۸۰/۸۸۰
۱۳		۵۳۶-۵۲۶	۳۱	تعیین درجه حرارت ابر و سطح زمین	۱۰/۱۱-۸۷۰/۲۸۰ ۱۱/۱۲-۷۷۰/۲۷۰
۱۴		۵۵۶-۵۴۶	۳۲		
۱۵		۶۷۲-۶۶۲	۳۳	تعیین ارتفاع نوک ابر	۱۳/۱۳-۱۸۵/۴۸۵ ۱۴/۱۴-۴۸۵/۷۸۵ ۳/۱۴-۷۸۵/۰۸۵ ۱۴/۱۴-۰۸۵/۳۸۵
۱۶		۶۸۳-۶۷۳	۳۴		
۱۷	تعیین میزان بخار آب موجود در جو	۷۵۳-۷۴۳	۳۵		
۱۸		۸۷۷-۸۶۲	۳۶		
		۹۲۰-۸۹۰			
		۹۴۱-۹۳۱			

۲-۳-۲- داده‌های مورد استفاده و مبنای انتخاب تاریخ تصاویر

برای آشکارسازی لکه‌های نفتی بر روی تصاویر MODIS در زمان رخداد نشت نفت طی سالهای ۲۰۰۷، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در خلیج فارس از سه تصویر دارای رخداد لکه نفتی استفاده شده است (شکل-۲).



شکل ۲. تصاویر مورد استفاده جهت آشکارسازی لکه های نفتی طی سالهای ۲۰۰۷، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶

۳-۳-۲- آنالیز نسبت‌های باندهای ۱

در مجموع روش‌های آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر مرئی در سه دسته تعریف می‌شوند که شامل روش تابش خورشیدی (برق خورشید)، طیف‌سنجی صحرایی و طبقه‌بندی تصویر دارای لکه نفتی به روش طیف مینا و روش‌های بارزسازی پیکسل مینا می‌شوند، روش تابش خورشیدی تنها زمانی که خورشید بر روی لکه نفتی تابش مستقیم داشته باشد قابل استفاده است (جعفری گلدرق و صاحبی، ۱۳۸۹). روش طیف‌سنجی صحرایی به دلیل عدم آگاهی از تاریخ‌های وقوع نشت نفتی، هزینه‌های اندازه‌گیری صحرایی اغلب مشکل است بنابراین در این پژوهش از روش‌های پیکسل مینا جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی استفاده شده است. در روش پیکسل مینا در گام نخست از تکنیک نسبت‌های باندهای استفاده شده است. این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر است، باندهای که میزان بازتابش از هدف مورد نظر در آن بیشتر باشد در صورت کسر و باندهای که میزان جذب برای همان هدف در آن بالاتر باشد در مخرج کسر قرار می‌گیرد. با به‌کارگیری این روش می‌توان اثر توپوگرافی و سایه‌ها در تصویر را به حداقل رساند و اختلاف بین درجات روشنایی تصویر را بارز سازی نمود (Rouskov et al, 2005). علت اینکه با این عمل بسیاری از پدیده‌هایی را که در حالت تک باندهای قابل تفکیک نیستند، می‌توان متمایز ساخت این است که نسبت‌گیری، تغییرات شیب منحنی بازتاب‌های طیفی بین دو باند را به تصویر می‌کشد. روش نسبت‌گیری برای آشکارسازی پدیده‌ها مفید است، این روش برای کاهش اثر زاویه تابش خورشید و پستی بلندی مؤثر است. با محاسبه نسبت مقادیر درجه روشنایی در دو تصویر، تصاویر جدیدی ساخته می‌شود که مفهوم کلی آن به صورت رابطه ۳-۵ فرموله می‌شود.

$$DN_{new} = m \left(\frac{DNA \pm K1}{DNB \pm K2} \right) + N \quad 3-5$$

که DNA، DNB و DN های تصاویر ورودی A و B هستند. K1 و K2 فاکتورهای برای حفظ و نگهداری مسیر تابش^۲ موجود در دو تصویر ورودی و m و n، فاکتورهای مقیاس برای دامنه خاکستری هستند (Coppini et al, 2011).

هر لکه نفتی با توجه به غلظت خود دارای رفتار طیفی مخصوصی است (Andreou et al, 2011). به‌طور کلی قوی‌ترین محدوده بازتاب لکه‌های نفتی در ناحیه ۶۰۰-۷۰۰ نانومتر و قوی‌ترین ناحیه جذب آن‌ها در محدوده ۶۷۰ و ۸۲۰-۸۵۰ نانومتر است (Andreou et al, 2011)، همچنین لکه‌های نفتی دارای یک ناحیه جذبی در طول موج آبی (۴۵۰ نانومتری) هستند (Sun et al, 2013). رفتار طیفی لکه‌های نفتی در محدوده‌های ذکر شده باعث معرفی نسبت باندهای آشکارسازی لکه‌های نفتی (OSI^۳)، توسط (Fingas & Brow, 2012) شده است.

نسبت‌های باندهای معرفی شده برای آشکارسازی لکه نفتی با استفاده از تصاویر MODIS در ناحیه طول موج آبی، قرمز و مادون قرمز معرفی شده توسط Servantana & Sink مطابق رابطه ۳-۶ است.

¹ Band Ratio

² PATH RADIANCE

³ Oil Spil Index

$$OSI = (B3/B1) - (B2/B1) / (B3/B1) + (B2/B1)$$

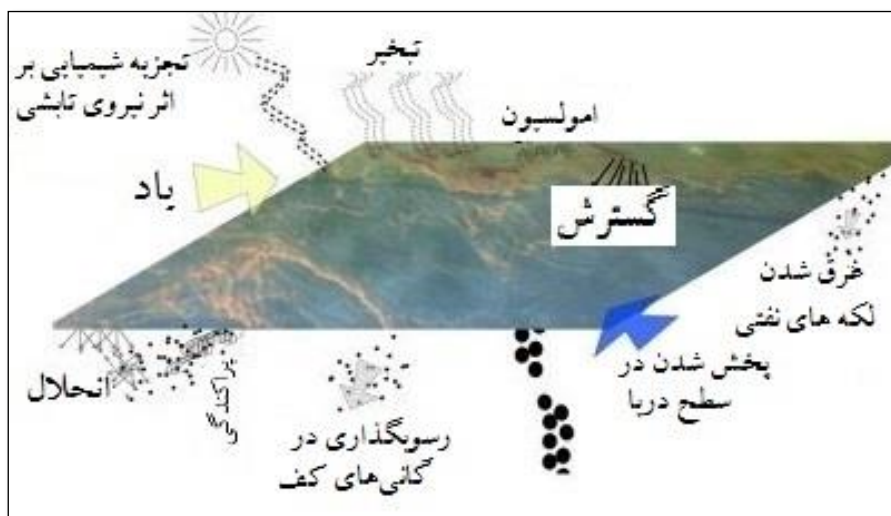
۳-۶

در این رابطه، B1: باند ۱ سنجنده MODIS است که دارای پهنای باند ۶۲۰-۶۷۰ نانومتری است، B2: باند ۲ سنجنده MODIS است که دارای پهنای باند، ۸۴۱-۸۷۴ نانومتری است و B3: باند ۳ سنجنده MODIS است که دارای پهنای باند ۴۷۹-۵۴۹ نانومتری است (Brekke & Solberg, 2005).

در این پژوهش در گام ابتدایی، اقدام به آشکارسازی لکه‌های نفتی در تاریخ‌های وقوع رخداد نشت و گسترش لکه نفتی در سطح خلیج فارس با استفاده از شاخص آشکارسازی لکه‌های نفتی شده است.

۴-۲- بررسی تغییرات حاصل از لکه‌های نفتی در سطح آب

مفسران باتجربه، لکه‌های نفتی را بر اساس پارامترهای زیست‌محیطی آب‌ها و الگوهای فضایی تشخیص و تخمین می‌زنند. این الگوهای فضایی می‌توانند کلیدی برای تشخیص و اعتبارسنجی نقشه لکه‌های نفتی مستخرج از داده‌های سنجش‌ازدور باشند (Leifer et al, 2012). فرآیند گسترش یک لکه نفتی بر سطح آب در روزهای ابتدایی گسترش لکه نفتی (شکل ۳-۱۱) شامل؛ تغییرات فیزیکی و شیمیایی در پارامترهای زیست‌محیطی آب و آب هوا است که برخی از آنان عبارت‌اند از تأثیر در تبخیر از سطح آب دریا، فرآیند امولسیون، گسترش و انتشار لکه نفتی در سطح دریا، نازک شدن، غرق شدن در اعماق دریاها، غرق شدن و رسوب در میان کانی‌های کف دریا، پراکندگی در سطح آب و یا اعماق، انحلال، تغییرات جهت گسترش در اثر وزش باد، تجزیه در اثر نور خورشید و تغییرات بیوفیزیکی و بیولوژیکی در سطح آب‌ها است (NRC, 2003). حضور لکه‌های نفتی نیز باعث تغییر در توزیع و تراکم جلبک‌های سطح دریا، میکروفیت‌ها، غلظت کلروفیل و رنگ آب دریا می‌شود (Lacava et al, 2017).



شکل ۳. سرنوشت لکه‌های نفتی در دریا (Leifer et al, 2012)

با توجه به تغییراتی که در اثر حضور لکه‌های نفتی در سطح دریا ایجاد می‌شود برای بررسی اثر لکه‌های نفتی بر پارامترهای زیست‌محیطی و اقلیمی سطح آب و درواقع آشکارسازی لکه‌های نفتی به این طریق اقدام به بررسی تغییرات رنگ دریا، تغییرات غلظت جلبک‌های شناور، تغییرات غلظت کلروفیل آب، تغییرات غلظت میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتونها، کدورت آبی و دمای سطح آب با استفاده از داده‌های MODIS برای تصاویر دارای رخداد لکه نفتی شده است که روش‌ها و اساس علمی محاسبه هر پارامتر در ادامه آمده است.

۱-۴-۲- تغییرات بازتاب جلبک سطح دریا

معروفترین شاخص اندازه‌گیری، بررسی توزیع و غلظت جلبک‌های دریا شاخص FAI است. شاخص FAI برای شناسایی جلبک‌های شناور و تغییرات غلظت جلبک‌ها در ناحیه لکه‌های نفتی توسط (Lacava et al, 2017) و (Zhao et al, 2014) استفاده شده است. این شاخص مطابق رابطه ۳-۷، محاسبه می‌گردد.

۳-۷

$$FAI = R_{RC,NIR} - R_{RC,RED} - [R_{RC,SWIR} - R_{RC,RED}] \times (\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}) / (\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED})$$

در این رابطه، λ : طول موج، R_{RC} : تصحیح TOA صورت گرفته بر روی باند (تبدیل Radiance به Reflectance)، RED: باند شماره ۱ MODIS با بازتاب ۶۴۵ نانومتر، NIR: باند شماره ۲ MODIS با بازتاب ۸۵۹ نانومتر و SWIR: باند شماره ۵ MODIS با بازتابندگی ۱۲۴۰ نانومتر. در این پژوهش یکی از روش‌های مورد استفاده برای بررسی توزیع و غلظت جلبک‌های شناور در اثر حضور لکه‌های نفتی شاخص FAI است که در هر رخداد نشت نفت از آن استفاده شده است.

از دیگر روش‌های اندازه‌گیری، بررسی و توزیع غلظت جلبک‌های دریا روش SABI است. SABI یک الگوریتم تجربی است که برای شناسایی زیست‌توده شناور سطح دریا ساخته شده است که دارای پاسخ مادون قرمز، برابر با پوشش گیاهی زمین است که این عمل را با به‌کارگیری محدوده‌های طیفی حساس به اقیانوس؛ آبی (مشخصه آب پاک) و سبز (مشخصه سبزیگی آب) مطابق رابطه ۳-۸، انجام می‌دهد (Alawadi et al, 2010).

$$SABI = \frac{X_{NIR} - X_R}{X_B - X_G} \quad ۳-۸$$

در این رابطه، X : تابش بالای اتمسفر که از تصحیح TOA برای هر باند حاصل می‌شود، NIR: باند مادون قرمز سنجنده MODIS با بازتابندگی ۸۶۹ نانومتر، RED: باند قرمز سنجنده MODIS با بازتابندگی ۶۴۵ نانومتر، B: باند آبی سنجنده MODIS با بازتابندگی ۴۶۹ نانومتر و G: باند سبز سنجنده MODIS با بازتابندگی ۵۵۵ نانومتر است (Alawadi et al, 2010). هم‌زمان با شاخص FAI، از روش SABI نیز به‌منظور بررسی غلظت جلبک‌های شناور دریا برای ردیابی لکه‌های نفتی استفاده گردید.

۲-۴-۲- تغییرات رنگ دریا

شاخص نرمال شده پوشش گیاهی $(NDVI)^2$ برای نقشه‌برداری و شناسایی پوشش گیاهی دریایی و تغییرات رنگ دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص متکی بر ناحیه قرمز و مادون قرمز نزدیک است که آب حداقل بازتاب را در آن داراست بنابراین جهت شناسایی تغییرات سبزیگی و فعالیت‌های فتوسنتز در سطح دریا و ناحیه لکه‌های نفتی شاخص مطلوبی است (Hu, 2009). این شاخص مطابق رابطه ۳-۹، برای تصاویر MODIS محاسبه می‌گردد.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad ۳-۹$$

در این رابطه، NIR: باند مادون قرمز MODIS (باند ۲) با بازتابندگی ۸۵۹ نانومتر و RED: باند قرمز سنجنده MODIS (باند ۱) با بازتابندگی ۶۴۵ نانومتر است. در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات رنگ دریا در محدوده لکه‌های نفتی از شاخص NDVI استفاده شده است.

۳-۴-۲- میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون

میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتونها موجودات ریز دریایی هستند که سرآغاز حلقه غذایی در دریا محسوب می‌شوند. به‌منظور بررسی تغییرات غلظت آن‌ها در اثر حضور لکه‌های نفتی از شاخص CMI^3 استفاده شده است. شاخص CMI، مطابق رابطه ۳-۱۰، به دست می‌آید (Liang et al, 2015).

۳-۱۰

¹ Surface Algal Bloom Index

² Normalized Difference Vegetation Index

³ Cyanobacteria and Macrophytes Index

$$CMI = R_{rc, GREEN} - R_{rc, BLUE} - [R_{rc, SWIR} - R_{rc, BLUE}] \times (\lambda_{GREEN} - \lambda_{BLUE}) / (\lambda_{SWIR} - \lambda_{BLUE})$$

در این رابطه، λ : طول موج، R_{rc} : تصحیح TOA صورت گرفته بر روی باند (تبدیل Radiance به Reflectance)، RED: باند شماره ۱ MODIS با بازتاب ۶۴۵ نانومتر، NIR: باند شماره ۲ MODIS با بازتاب ۸۵۹ نانومتر، SWIR: باند شماره ۵ MODIS با بازتابندگی ۱۲۴۰ نانومتر و BLUE: باند آبی سنجنده MODIS با بازتابندگی ۴۶۹ نانومتر است.

۴-۲-۴-۴- شفافیت و کدورت آبی

لکه‌های نفتی باعث تغییرات شفافیت و کدورت آب می‌شوند برای تشخیص این عامل در اثر حضور لکه‌های نفتی از شاخص آب گل‌آلود (TWI) مطابق رابطه ۳-۱۱، استفاده شده است (Feng et al, 2012).

$$TWI = R_{rc, RED} - R_{rc, SWIR} \quad 3-11$$

در این رابطه؛ R_{rc} : تصحیح TOA صورت گرفته بر روی باندهای مورد استفاده (تبدیل Radiance به Reflectance)، RED: باند شماره ۱ MODIS با بازتاب ۶۴۵ نانومتر و SWIR: باند شماره ۵ MODIS با بازتابندگی ۱۲۴۰ نانومتر است.

۴-۲-۴-۵- کلروفیل آبی

از دیگر ابعاد حضور و گسترش لکه‌های نفتی در سطح آب، تغییر و ناپهنجاری در میزان کلروفیل آبی دریا است. جهت بررسی میزان کلروفیل دریا در تصاویر دارای لکه نفتی از الگوریتم OC3، برای تصاویر MODIS مطابق رابطه ۳-۱۲، استفاده شده است (Alawadi et al, 2010).

$$chl\ a \left(\frac{\mu g}{L} \right) = 10^{(a + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^2 + a_a R^2)} \quad 3-12$$

$$R = \log [\max (R_{rs443}, R_{rs488}) / R_{rs551}]$$

$$a = [0.283, -2.753, 1.457, 0.659, -1.403]$$

در این رابطه، chl a: میزان کلروفیل آبی دریا برحسب میلی‌گرم در متر مکعب (mg / m^3)، R_{rs} : بازتاب TOA در باندهای ۹ (۴۴۳nm)، ۱۰ (۴۸۸ nm) و ۱۲ (۵۵۱ nm)، سنجنده MODIS هستند (حمزه ئی، ۱۳۹۰).

۴-۲-۴-۶- دمای سطح آب

یکی دیگر از پارامترهای سطح آب دریاها که به‌واسطه حضور لکه‌های نفتی شاهد تغییرات و دگرگونی است، دمای سطح آب است که به‌واسطه برآورد آن با تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به حضور یا عدم حضور لکه‌های نفتی در سطح آب دریا پی برد. در این پژوهش به‌منظور برآورد SST خلیج فارس، از الگوریتم SST4 که از مجموع الگوریتم‌های پنجره مجزا^۳ است برای تصاویر MODIS استفاده شده است. الگوریتم SST4، مطابق رابطه ۳-۱۳ محاسبه می‌گردد (Alawadi et al, 2010).

$$SST4 = a_0 + a_1 y_{3.9} + a_2 (y_{3.9} - y_4) + a_3 (\sec(sza) - 1) \quad 3-13$$

در این رابطه، SST4: دمای سطح آب برحسب کلوین، a_0 ، a_1 ، a_2 و a_3 : ضرایب ثابتی هستند که به ترتیب برابر با؛ -0.002 ، 0.0046 ، 0.5065 و $1/5828$ می‌باشند، $y_{3.9}$: دمای درخشایی باند ۲۰ سنجنده MODIS، y_4 : دمای درخشایی باند ۲۳ سنجنده MODIS و sza : زاویه زینت سنجنده است.

¹ Turbid Water Index

² Chlorophyll

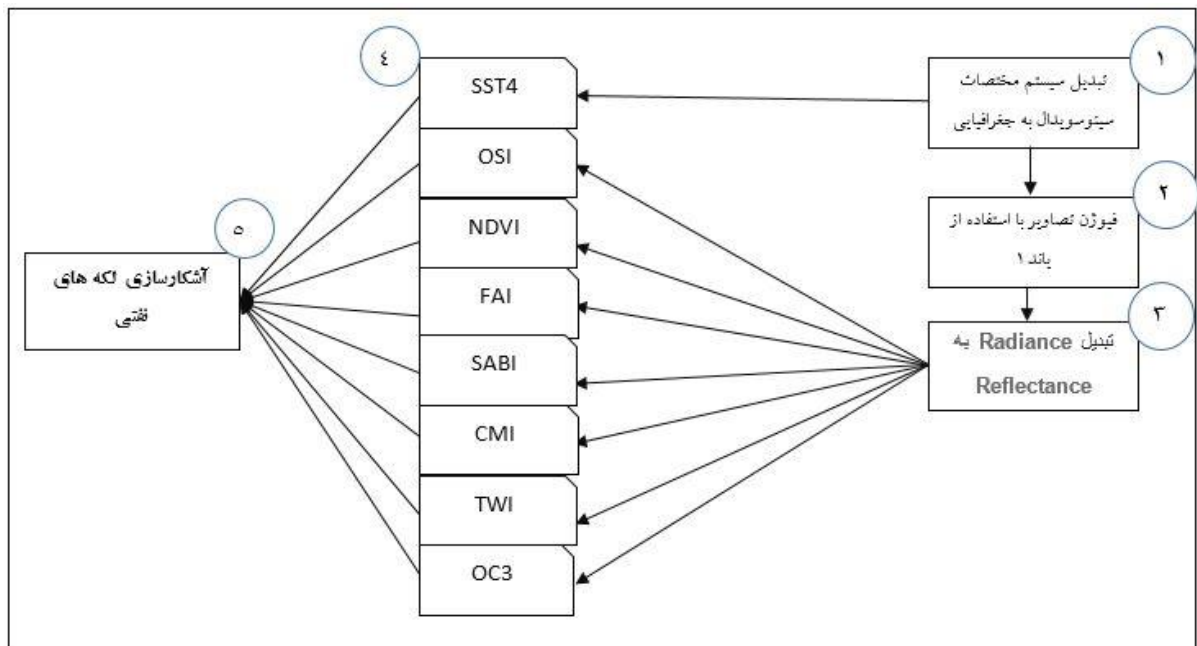
³ Split Window

به منظور محاسبه دمای درخشایی باندهای ۲۰ و ۲۳ سنجنده MODIS، از عکس قانون پلانک مطابق رابطه ۳-۱۴، استفاده شده است.

$$T = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda \cdot \ln\left(\left(\frac{2hc^2}{L\lambda^5}\right) + 1\right)} \quad 3-14$$

در این رابطه، T : دمای درخشایی (ظاهری)، λ : طول موج بر حسب nm، h : ثابت پلانک، k : ثابت استفان بولتزمن و L : گسیل انرژی است (مسعود نیا و همکاران، ۱۳۹۱).

پس از محاسبه دمای درخشایی، دمای سطح آب نیز با استفاده از دمای درخشایی برای تاریخ‌های رخداد لکه نفتی به منظور بررسی تغییرات دمایی سطح آب در اثر گسترش لکه‌های نفتی، محاسبه شده است. چهارچوب و روش‌های آشکارسازی لکه‌های نفتی در مجموع شامل شکل ۴ است.

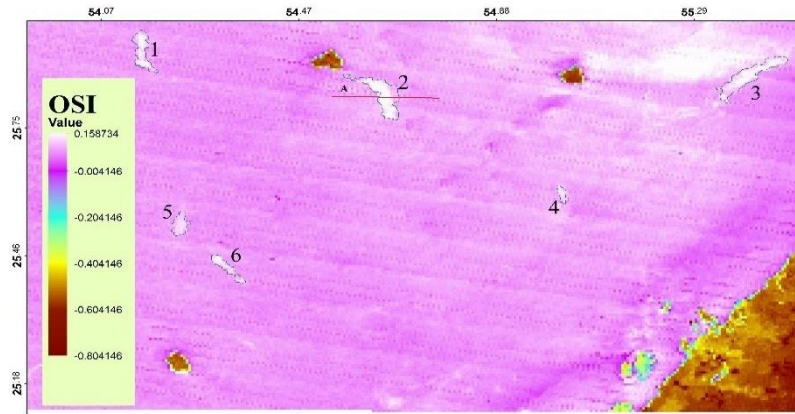


شکل ۴. فرآیند عملیاتی آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS

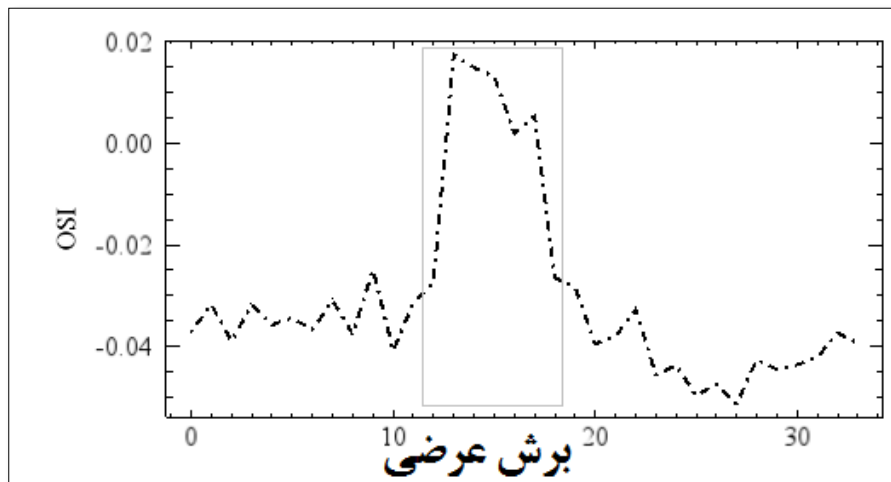
۳- یافته‌ها

۳-۱- آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از شاخص OSI

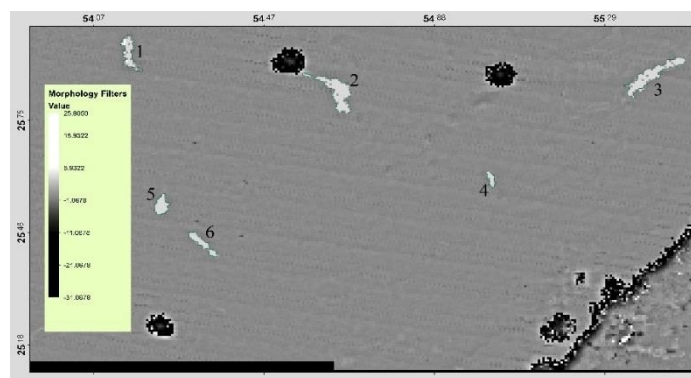
در تصویر خروجی شاخص OSI، برای سال ۲۰۰۷، شش لکه نفتی قابل تشخیص است (شکل ۵-۵). در تصویر خروجی شاخص OSI، لکه‌های نفتی دارای حداکثر بازتاب در تصویر هستند که در تصویر سال ۲۰۰۷ به رنگ روشن قابل تمیز از سایر سطوح هستند. بررسی پروفیل طیفی لکه نفتی در موقعیت A، نشان می‌دهد که سطح آبی فاقد لکه نفتی اغلب دارای DN منفی و لکه نفتی بازتابی بالاتر از سطوح آبی به سمت DN مثبت دارد (شکل ۶-۶). در تصویر سال ۲۰۰۷، علاوه بر لکه‌های نفتی برخی از سطوح دیگر نیز بازتابی مشابه لکه‌های نفتی دارند که مهم‌ترین آن پهنه‌ای وسیع در شمال لکه نفتی شماره ۳ است. این سطوح اغلب نشان‌دهنده ناآرامی‌های سطح دریا به واسطه امواج هستند. تفکیک سایر سطوح از لکه‌های نفتی با استفاده از فیلتر مورفولوژی با ابعاد کرنل 5×5 مطابق شکل ۷، صورت گرفته است که در این تصویر، شش لکه نفتی با بازتاب حداکثر در تصویر قابل تشخیص و جداسازی از سایر سطوح است. در تصویر خروجی شاخص OSI و فیلتر مورفولوژی، سطوح خشکی که در پشت خط ساحلی قرار دارند و جزایر کمترین بازتاب را دارا هستند.



شکل ۵. آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از شاخص OSI برای تصویر سال ۲۰۰۷



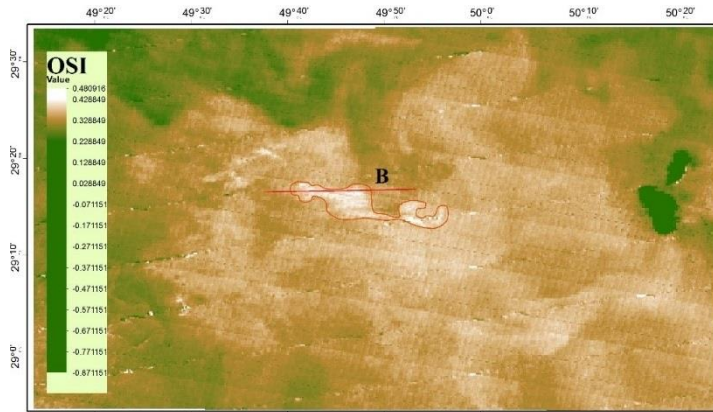
شکل ۶. پروفیل طیفی در موقعیت A بر روی تصویر خروجی شاخص OSI در سال ۲۰۰۷



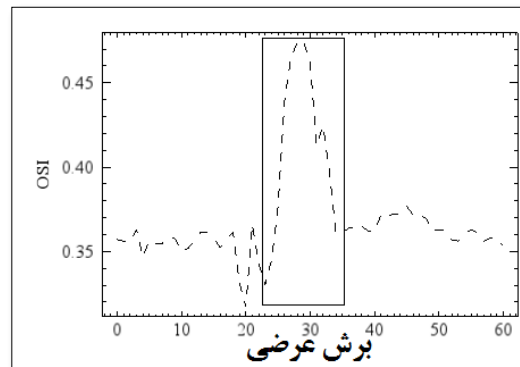
شکل ۷. نتایج فیلتر مورفولوژی با ابعاد کرنل ۵×۵ جهت تشخیص لکه‌های نفتی از سایر سطوح (آب‌و خاک) برای تصویر سال ۲۰۰۷

در تصویر خروجی شاخص OSI مربوط به سال ۲۰۱۵ نیز محدوده لکه‌های نفتی منطبق بر حداکثر بازتاب پیکسل‌های تصویر است (شکل- ۸). در این تصویر نیز علاوه بر لکه‌های نفتی، پیکسل‌هایی با DNهای همسان با DNهای لکه‌های نفتی وجود دارند و سطح وسیعی از تصویر نیز دارای روشنایی نزدیک به میزان روشنایی لکه‌های نفتی است. بررسی پروفیل طیفی در موقعیت B، بر روی لکه نفتی (شکل-

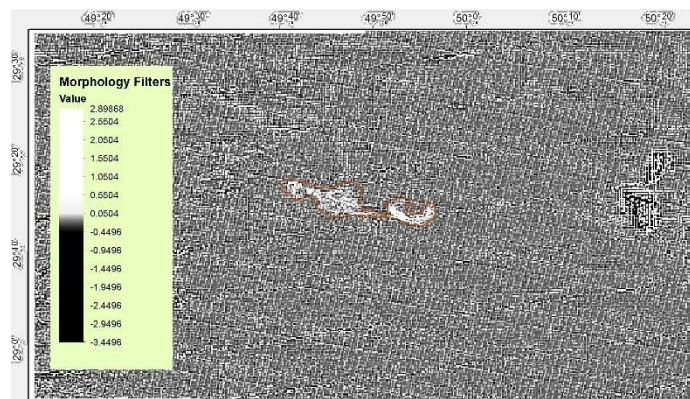
۹) نیز نشان از انطباق لکه‌های نفتی بر DNهای حداکثر تصویر خروجی شاخص OSI دارد. تفکیک پیکسل‌های دارای لکه نفتی در خروجی تصویر OSI با استفاده از فیلتر مورفولوژی با ابعاد کرنل 5×5 مطابق شکل ۱۰ صورت گرفته است. در تصویر خروجی شاخص OSI نیز سطوح خشکی همچون جزایر منطبق بر پیکسل‌های با DNهای حداقل هستند.



شکل ۸. آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از شاخص OSI برای تصویر سال ۲۰۱۵

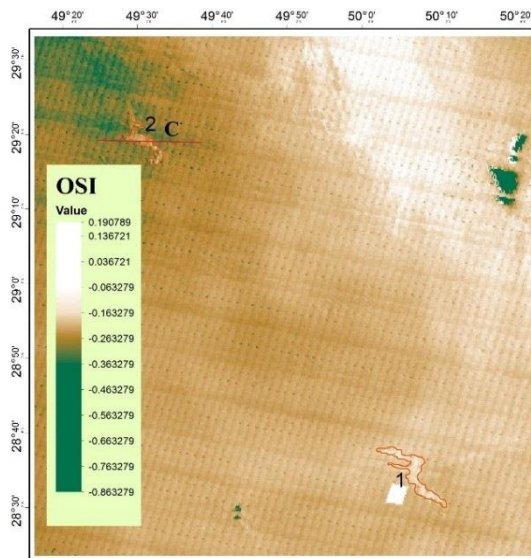


شکل ۹. پروفیل طیفی در موقعیت A بر روی تصویر خروجی شاخص OSI در سال ۲۰۱۵

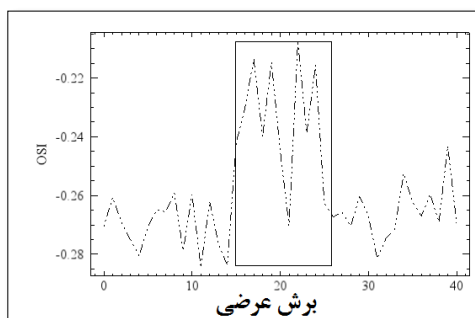


شکل ۱۰. نتایج فیلتر مورفولوژی با ابعاد کرنل 5×5 جهت تشخیص لکه‌های نفتی از سایر سطوح (آب‌و‌خاک) برای تصویر سال ۲۰۱۵ خروجی تصویر مربوط به شاخص OSI برای تصویر دارای لکه نفتی در سال ۲۰۱۶ نیز مشابه سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ علاوه بر آشکارسازی لکه‌های نفتی، دارای پیکسل‌های با بازتاب مشابه در پهنه وسیعی است (شکل-۱۱). جهت تفکیک این سطوح از لکه‌های نفتی نیز از فیلتر

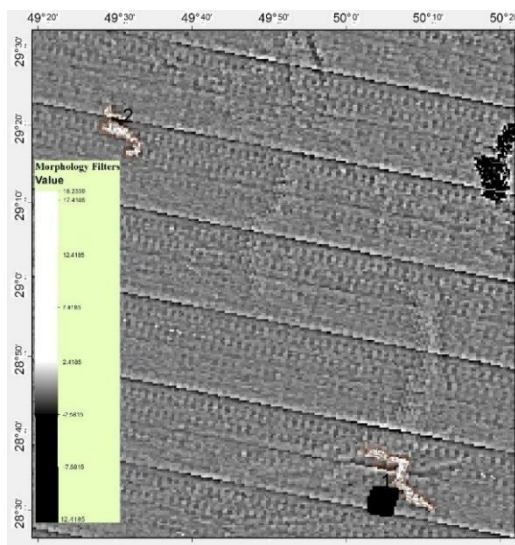
مورفولوژی با ابعاد ۵×۵ که بهترین عملکرد را در تفکیک لکه‌های نفتی از سایر سطوح داشته استفاده شد که نتایج آن در قالب شکل ۱۳ آورده شده است.



شکل ۱۱. آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از شاخص OSI برای تصویر سال ۲۰۱۶



شکل ۱۲. پروفیل طیفی در موقعیت A بر روی تصویر خروجی شاخص OSI در سال ۲۰۱۶



شکل ۱۳. نتایج فیلتر مورفولوژی با ابعاد کرنل ۵×۵ جهت تفکیک لکه‌های نفتی از سایر سطوح (آب‌وخاک) برای تصویر سال ۲۰۱۶

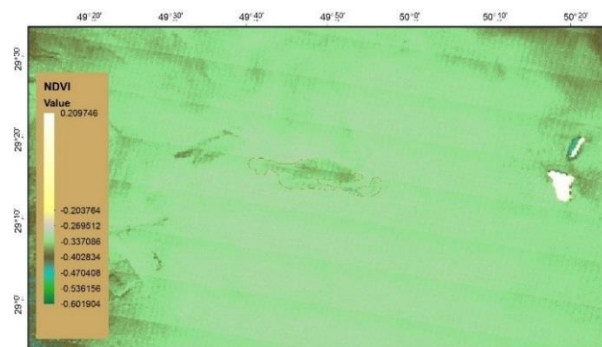
۳-۲- بررسی تغییرات ویژگی‌های سطح آب دریا در اثر وجود لکه‌های نفتی

۳-۲-۱- سبزی‌نگی دریا

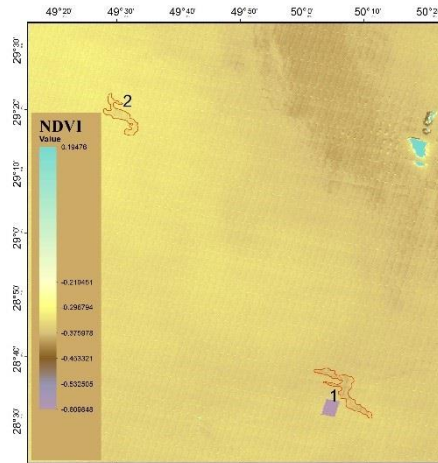
بررسی تغییرات رنگ دریا با استفاده از شاخص نرمال شده پوشش گیاهی نشان از تغییرات سبزی‌نگی دریا در اثر وجود لکه‌های نفتی دارد. خروجی تصویر شاخص NDVI برای تصویر سال ۲۰۰۷، نشان می‌دهد که سطوح منطبق بر لکه‌های نفتی دارای حداقل DN های تصویر خروجی شاخص NDVI هستند که به سهولت قابل تشخیص از سطوحی آبی مجاور خود می‌باشند ولی سطوح با DN های غیر از لکه‌های نفتی در این تصویر نیز همچون پهنه شمالی لکه نفتی شماره ۳ و حواشی جزایر نخل امارات نیز حضور دارند که با استفاده از تفسیر چشمی و نقش این پهنه از همدیگر قابل تمایز هستند (شکل-۱۴). تصویر خروجی NDVI برای سال ۲۰۱۵ نیز نشان از تغییرات کاهشی سبزی‌نگی در محدوده لکه نفتی است که نسبت به سطوح اطراف، لکه نفتی دارای پیکسل‌های با حداقل DN های تصویر است ولی سطوح با مقادیر DN های مشابه با لکه‌های نفتی در این تصویر حضور گسترده‌ای دارند که تشخیص آنان با شاخص NDVI از لکه‌های نفتی خیلی مشکل است (شکل-۱۵). خروجی شاخص NDVI برای تصویر سال ۲۰۱۶ نیز نمایانگر انطباق لکه‌های نفتی بر DN های حداقلی تصویر است که باعث تمایز این لکه‌های نفتی نسبت به سطوح اطراف می‌شود ولی در این تصویر نیز علاوه بر لکه‌های نفتی، دیگر سطوح منطبق بر DN های حداقل وجود دارد (شکل-۱۶). در مجموع بررسی تغییرات سبزی‌نگی دریا در اثر حضور لکه‌های نفتی با شاخص NDVI نشان از کاهش سبزی‌نگی دریا و انطباق لکه‌های نفتی بر پیکسل‌های با حداقل DN ها در خروجی شاخص NDVI دارد.



شکل ۱۴. نتایج خروجی شاخص NDVI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷



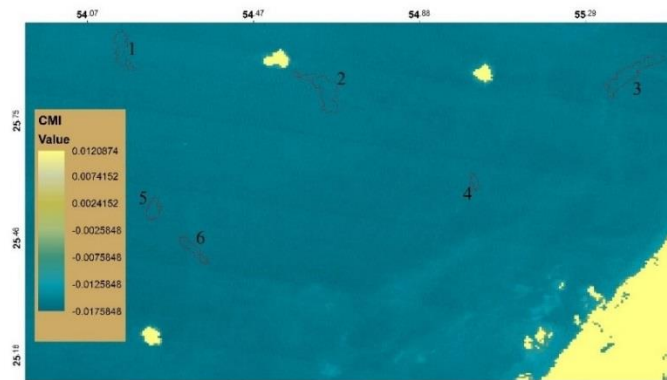
شکل ۱۵. نتایج خروجی شاخص NDVI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵



شکل ۱۶. نتایج خروجی شاخص NDVI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

۲-۲-۳- میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون‌ها

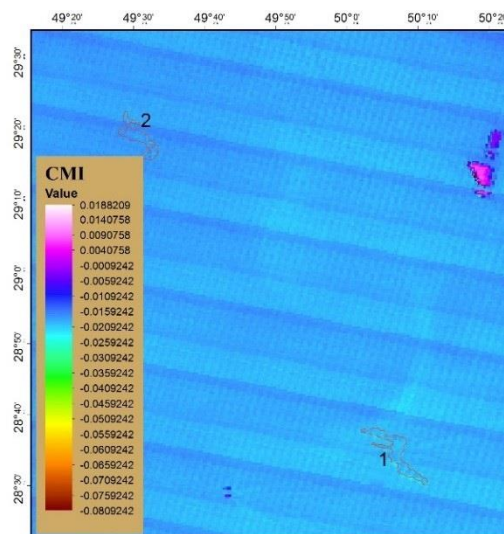
بررسی تغییرات غلظت میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون‌ها با استفاده از شاخص CMI برای تصویر هر سه سال (اشکال-۱۷، ۱۸ و ۱۹) نشان می‌دهد که به‌طور کلی در اثر وجود لکه‌ها نفتی در غلظت میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون‌ها تغییرات خاصی ایجاد نمی‌شود که بتوان آن را با استفاده از تصاویر MODIS مورد بررسی و آشکارسازی قرارداد. یکی از مهم‌ترین دلایل عدم بازسازی و مشخص شدن تغییرات میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون‌ها در اثر حضور لکه‌های نفتی در خروجی تصویر شاخص CMI، محدود بودن دامنه DN‌های تصویر است که اختلاف بین حداقل و حداکثر DN‌های تصویر طی هر سه دوره کمتر از ۰/۱ است. این عامل باعث می‌شود نتوان در تصویر خروجی شاخص CMI اختلاف فراوانی را در اثر حضور لکه‌های نفتی بررسی و شاهد باشیم.



شکل ۱۷. نتایج خروجی شاخص CMI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷



شکل ۱۸. نتایج خروجی شاخص CMI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵



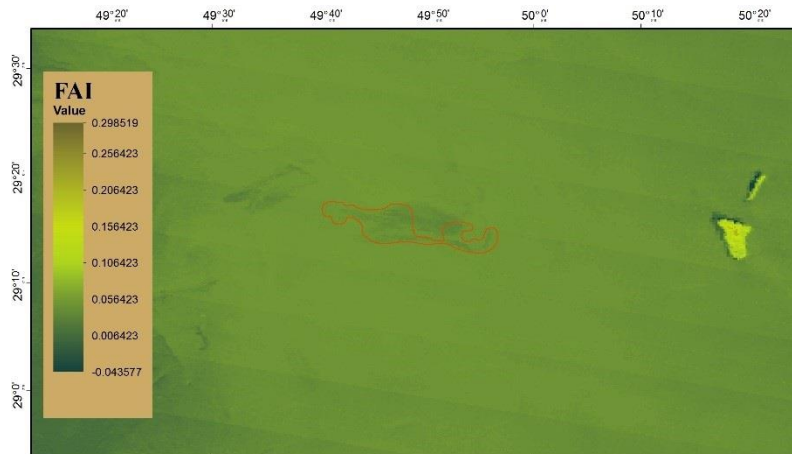
شکل ۱۹. نتایج خروجی شاخص CMI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

۳-۲-۳- جلبک‌های شناور

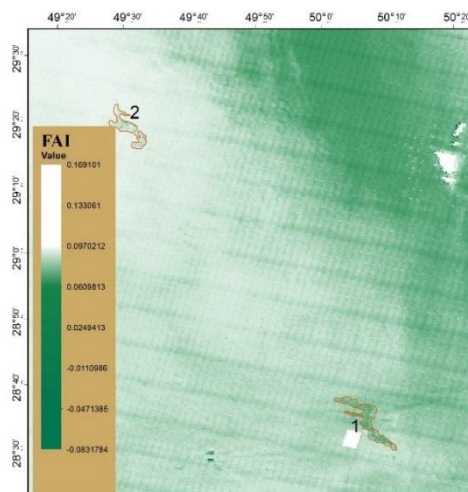
بررسی تغییرات غلظت جلبک‌های شناور در اثر وجود لکه‌های نفتی با استفاده از شاخص FAI، نشان‌دهنده کاهش غلظت جلبک‌های شناور در محدوده لکه‌های نفتی دارد. خروجی تصویر FAI برای سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد که در این تصویر پیکسل‌های دارای لکه‌های نفتی منطبق بر DN های حداقل تصویر و بیشترین DN های تصویر منطبق بر جزایر و سطوح خشکی است و در این تصویر مشکل سطوح با DN های همسان لکه نفتی نیز همچنان پابرجاست (شکل-۲۰). تصویر خروجی شاخص FAI برای سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ نیز مبین انطباق محدوده لکه نفتی بر DN های حداقلی در تصویر است. در این تصویر نیز پیکسل‌های با DN های همسان با لکه‌های نفتی وجود دارد و مشکل تفکیک آن‌ها از لکه‌های نفتی وجود دارد. خروجی تصویر شاخص FAI برای سال ۲۰۱۵ نیز حاکی از انطباق لکه‌های نفتی بر حداقل DN های تصویر دارد (شکل-۲۱ و ۲۲).



شکل ۲۰. نتایج خروجی شاخص FAI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷

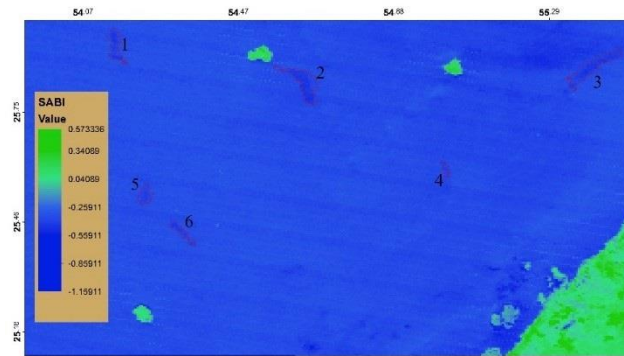


شکل ۲۱. نتایج خروجی شاخص FAI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵



شکل ۲۲. نتایج خروجی شاخص FAI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

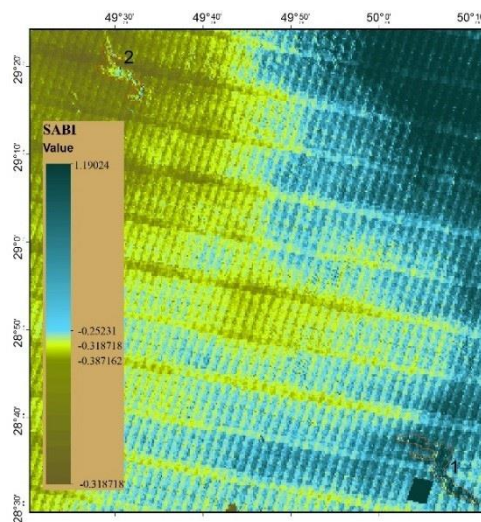
بررسی تغییرات غلظت جلبک‌های شناور با استفاده از شاخص SABI نیز نتایج مشابه با خروجی تصاویر شاخص FAI دارد و در خروجی این تصاویر نیز لکه‌های نفتی منطبق بر DN های حداقل در تصویر هستند (اشکال-۲۳، ۲۴ و ۲۵).



شکل ۲۳. نتایج خروجی شاخص SABI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷



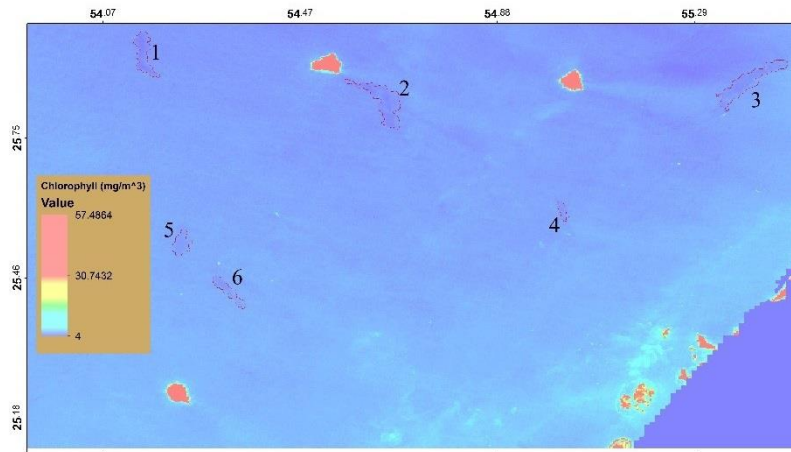
شکل ۲۴. نتایج خروجی شاخص SABI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵



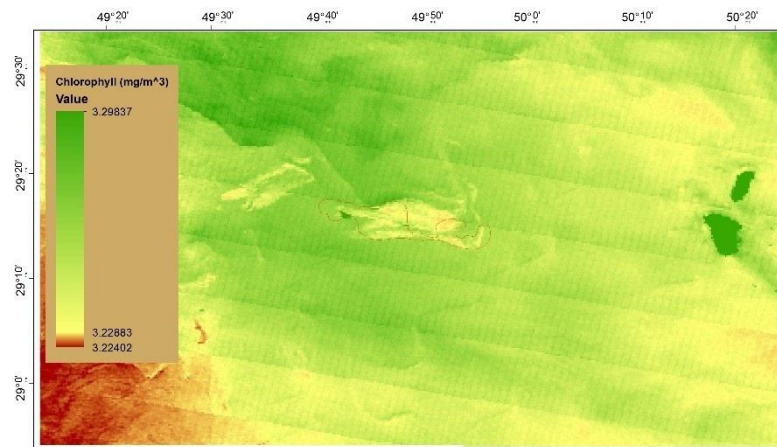
شکل ۲۵. نتایج خروجی شاخص SABI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

۴-۲-۳- کروفیل آب

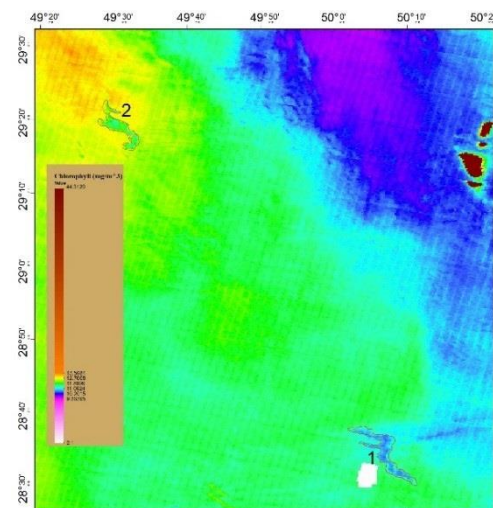
بررسی تغییرات غلظت کلروفیل آب در تصاویر دارای لکه نفتی نیز نشان‌دهنده کاهش غلظت کلروفیل در محدوده لکه‌های نفتی است. در خروجی تصویر مربوط به غلظت کلروفیل ماه اکتبر در سال ۲۰۰۷، کمترین غلظت کلروفیل منطبق بر پیکسل‌های محدوده لکه‌های نفتی است و بیشترین مقدار کلروفیل آب نیز در محدوده سواحل امارات متحده عربی قابل تشخیص است (شکل-۲۶). در تصویر خروجی سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ نیز محدوده لکه‌های نفتی منطبق بر کمترین غلظت کلروفیل آب دریا است (شکل- ۲۷ و ۲۸).



شکل ۲۶. نتایج خروجی شاخص OC3 برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷



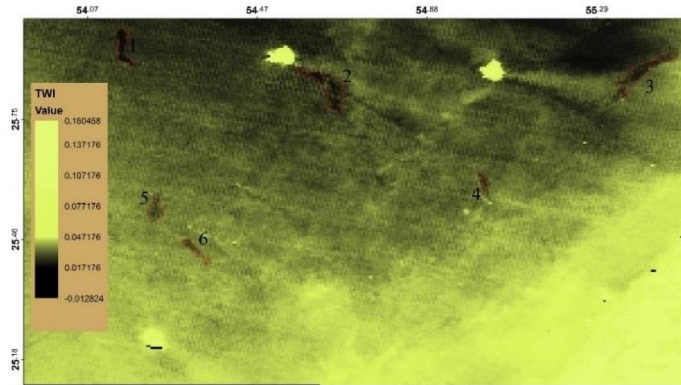
شکل ۲۷. نتایج خروجی شاخص OC3 برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵



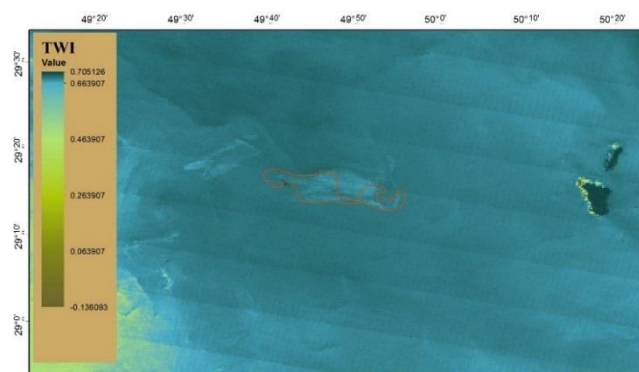
شکل ۲۸. نتایج خروجی شاخص OC3 برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

۵-۲-۳- کدورت آب

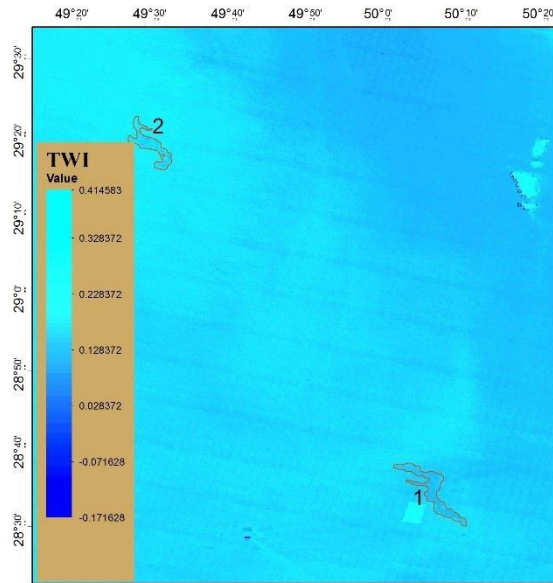
بررسی کدورت آبی با استفاده از شاخص TWI برای هر سه تصویر دارای رخداد لکه نفتی، نشان می‌دهد که لکه‌های نفتی در تصاویر مربوط به سه دوره، رفتار یکسانی را در شفافیت و زلال بودن آب دریا ندارند. در تصویر سال ۲۰۰۷، تمامی لکه‌های نفتی منطبق بر پیکسل‌های با حداقل DNهای خروجی شاخص TWI، هستند که نشان از کدر بودن آب دریا در اثر حضور لکه‌های نفتی است (شکل ۲۹-۴). در تصویر سال ۲۰۱۶ مجدداً لکه‌های نفتی منطبق بر پیکسل‌های با حداکثر تیرگی هستند (شکل ۳۱-۳). در بیان علت این ناهماهنگی‌ها می‌توان تغییرات غلظت لکه نفتی، زاویه تابش خورشید، تلاطم و ناآرامی‌های دریا و غیره را دخیل دانست.



شکل ۲۹. نتایج خروجی شاخص TWI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷



شکل ۳۰. نتایج خروجی شاخص TWI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵

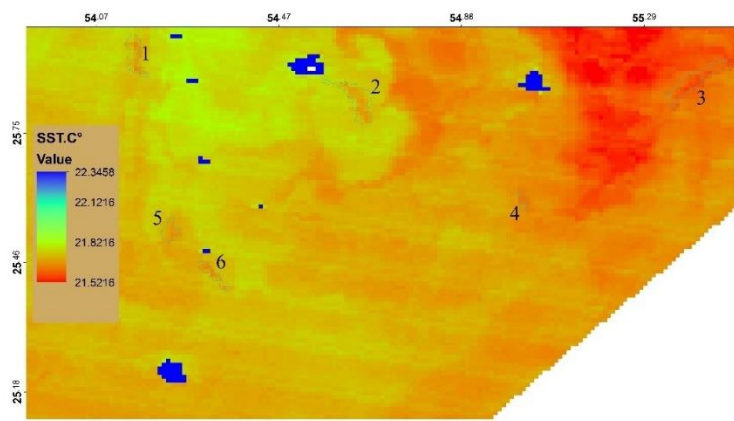


شکل ۳۱. نتایج خروجی شاخص TWI برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

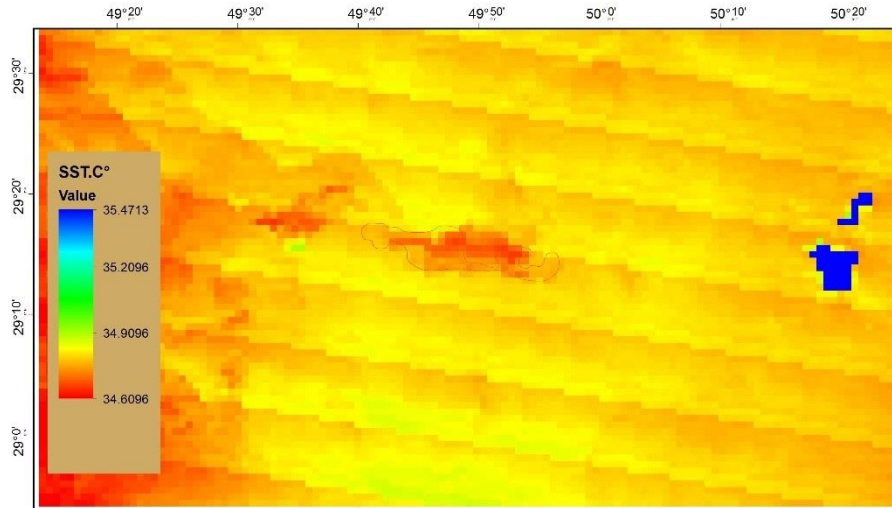
۶-۲-۳-دمای سطح آب

در بین تمامی پارامترهای مورد بررسی تنه‌های دمای سطح آب در محدوده مادون قرمز حرارتی و با استفاده از باندهای ۲۰ و ۲۳ سنجنده MODIS با تفکیک مکانی یک کیلومتر محاسبه شده است و سایر پارامترها با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و با استفاده از ادغام مکانی باند ۱ سنجنده MODIS با تفکیک ۲۵۰ متر که در محدوده اپتیک قرار دارند محاسبه شده‌اند؛ بنابراین تفاوت پارامتر SST4 با سایر پارامترها قرارگیری در محدوده حرارتی و تفکیک مکانی یک کیلومتری است.

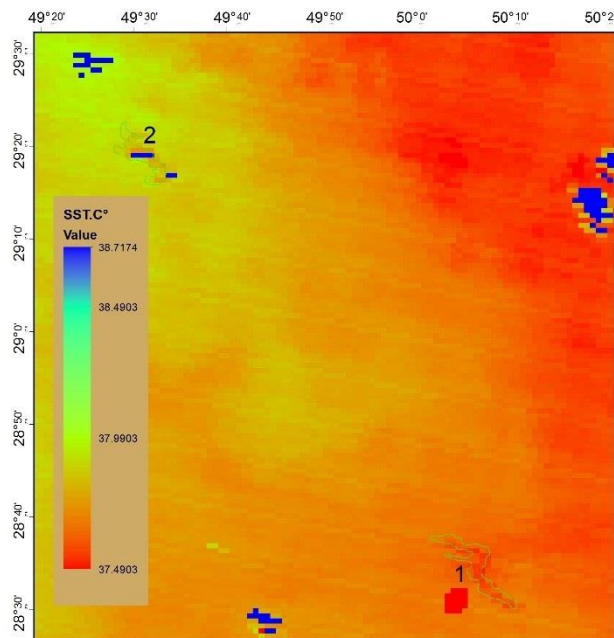
خروجی تصویر SST4 برای سال ۲۰۰۷، نشان‌دهنده کاهش دمای سطح آب در محدوده لکه‌های نفتی و انطباق آن بر DN های تقریباً حداقلی در تصویر حرارتی است (شکل-۳۲). همچنین در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ نیز دمای سطح آب در محدوده لکه‌های نفتی منطبق بر حداقلی‌ترین مقدار دمایی است (شکل-۳۳ و ۳۴) که این عامل نشان می‌دهد در صورت آرام بودن دریا کاهش دمای سطح آب به واسطه حضور لکه‌های نفتی قابل تشخیص است.



شکل ۳۲. نتایج خروجی شاخص SST4 برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۰۷



شکل ۳۳. نتایج خروجی شاخص SST4 برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۵



شکل ۳۴. نتایج خروجی شاخص SST4 برای تصویر دارای لکه‌های نفتی در سال ۲۰۱۶

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش که به منظور آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS در سه تاریخ رخداد نشت نفتی طی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ شد در گام ابتدایی تصاویر MODIS به استفاده از تصحیح TOA به بازتاب بالای اتمسفر تبدیل شدند. در گام دوم جهت تفسیر چشمی تصاویر مربوط به رخداد نشت نفت با استفاده از آزمون OIF ترکیب‌های رنگی بهینه برای تفسیر محدوده لکه‌های نفتی استخراج شدند. در مرحله پردازش و استخراج محدوده لکه‌های نفتی از شاخص OSI استفاده گردید سپس با توجه به فعل‌وانفعالات مربوط به گسترش و تجزیه لکه‌های نفتی در سطح دریا، اقدام به بررسی تغییرات رنگ دریا در اثر حضور وجود لکه‌های نفتی با استفاده از شاخص NDVI، تغییرات غلظت جلبک‌های شناور با استفاده از شاخص FAI و SABI، تغییرات غلظت کلروفیل با استفاده از الگوریتم OC3، تغییرات کدورت آب با شاخص TWI، تغییرات غلظت میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون‌ها با استفاده از شاخص CMI و تغییرات دمای سطح آب به وسیله الگوریتم SST4 شد.

نتایج نشان می‌دهد که در تصاویر مربوط به خروجی شاخص OSI، لکه‌های نفتی پیکسل‌های با بیشترین مقدار DN را در خروجی تصویر دارا هستند ولی همیشه در خروجی‌های این تصاویر به دلیل وجود ناآرامی‌های سطح دریا، پیکسل‌های با DN های همسان با لکه‌های نفتی وجود دارد که با استفاده از فیلترها و تفسیر چشمی به کمک بافت تصویر و نقش عوارض می‌توان آن‌ها را از لکه‌های نفتی تفکیک کرد. بررسی پارامترهای سطح آب دریا با استفاده از شاخص‌ها و الگوریتم‌های اندازه‌گیری هرکدام نشان می‌دهد که به‌استثنای میکروفیت‌ها و فیتوپلانکتون‌ها که در تصویر خروجی مربوط به شاخص آن‌ها (CMI) نمی‌توان لکه‌های نفتی را ردیابی کرد، لکه‌های نفتی باعث کاهش سبزیگی آب دریا، کاهش غلظت کلروفیل، کاهش غلظت جلبک‌های شناور، کاهش شفافیت آب و کاهش دمای سطح آب می‌شوند و به‌واسطه بررسی این پارامترها و روش‌های اندازه‌گیری مربوط به آن‌ها می‌توان به وجود لکه‌های نفتی پی برد.

از ضروری‌ترین اقدامات جهت انجام یک پژوهش مرتبط با داده‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور انجام تحلیل صحت سنجی این داده‌ها است. در صحت سنجی نتایج و رخداد نشت نفتی با توجه به ماهیت سطح (سطح آب) حضور پژوهشگر در عرصه با موانع و مشکلات زیادی از جمله وسایل ترابری، نبود طیف‌سنج پرتابل و مشکلات مربوط به طیف‌سنجی در محل، رخداد نشت نفت به‌صورت اتفاقی و غیره است که تقریباً این عوامل همگی حضور محقق را در عرصه غیرممکن می‌کند و در صورت ممکن بودن صرف هزینه زیادی را طلب می‌کند. در تمامی پژوهش‌های صورت گرفته جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی با استفاده از تصاویر MODIS از جمله Hu et al, 2010, Alawadi et al, 2008, Bulgarelli & Djavidnia, 2012, Lacava et al, 2017, Zhao et al, 2014 و تیموری، ۱۳۹۵، هیچ‌کدام از محققین اقدام به صحت سنجی و یا موفق به یافتن پارامترهایی که بتوانند نتایج پژوهش خود را با آن صحت سنجی کنند نبوده‌اند و اساساً مطالعات مبتنی بر تغییرات رنگ دریا و اقیانوس‌ها با استفاده از سنجش‌ازدور به‌طور کلی فاقد داده‌های صحت سنجی هستند.

مراجع

۱. تیموری. حسن، (۱۳۹۵)، امکان‌سنجی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی و آشکارسازی نیمه اتوماتیک لکه‌های نفتی در دریاها و اقیانوس‌ها، مطالعه موردی: خلیج فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین. تهران.
۲. جعفری گلدرق، یونس و صاحبی. محمدرضا، (۱۳۸۹)، بررسی روشهای آشکارسازی مواد نفتی نشت شده در دریاها و اقیانوس‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران.
۳. حمزه ئی. صمد، صدیق مرتضوی. محمد، علی‌اکبری بیدختی. عباسعلی و غیبی. ابوالحسن، (۱۳۹۰)، بررسی وقوع و گسترش کشتن قرمز در خلیج فارس و دریای عمان با تحلیل داده‌های سنجنده MODIS. انسان و محیط‌زیست، ۹(شماره ۳(۱۸-پیاپی ۲۹))، ۴۸-۳۹.
۴. دانیالی. سیدرحمان، محمدی. فاطمه و ابوالحسنی. علیرضا، (۱۳۹۰)، بررسی اثرات آلودگی نفتی بر جانداران و اکوسیستم آبی خلیج فارس و دریای عمان، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست، تهران.
۵. دادور. اسماء، شیخ‌زاده. زهرا و پورخیزا. حمیدرضا، (۱۳۹۴)، بررسی اثرات آلودگی نفتی بر اکوسیستم صخره‌های مرجانی خلیج فارس، سومین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دستداران محیط‌زیست، تهران..
۶. سرحدی زاده. احسان و حجازی. کوروش، (۱۳۹۲)، مدل‌سازی گسترش و پخش آلودگی‌های نفتی با روش احجام محدود در محیط‌های آبی (مارونه)، مجله آب و فاضلاب، شماره؛ ۲۲، چاپ؛ ۷۲.
۷. طالبی. احسان، (۱۳۹۵)، خلیج فارس ویژگی‌ها و مشکلات محیط‌زیستی، کنفرانس بین‌المللی منابع طبیعی، مهندسی کشاورزی، محیط‌زیست و توسعه روستایی، تهران
۸. عوفی. فریدون، ربانی‌ها. مهناز، کد. برایان و لایت. جواد، (۱۳۹۵)، تنوع گونه‌ای و طبقه‌بندی زیستگاهی ماهیان خلیج فارس، دومین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر.
۹. کیخسروی. عباس، (۱۳۹۵)، آشکارسازی لکه‌های نفتی خلیج فارس با استفاده از تصاویر راداری (SAR)، دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، هرمزگان.
۱۰. لطفی. حیدر، بقایی. حمید، موسوی. سید رضا، خیام باشی. سهیل، (۱۳۸۹)، محیط‌زیست خلیج فارس و حفاظت از آن، فصلنامه علمی و پژوهشی جغرافیای انسانی، سال سوم، شماره اول. تهران.

۱۱. متکان، علی اکبر و حاجب، محمد (۱۳۹۳)، معرفی و ارزیابی مهم‌ترین روش‌های آشکارسازی لکه‌های نفتی از تصاویر SAR، فصلنامه علمی و پژوهشی علوم محیطی، دوره ۱۲ شماره یکم، ص ۱۰-۱.
۱۲. محمدی روزبهانی، مریم، چوبکار، نسرین و رومیانی، لاله، (۱۳۸۸)، بررسی عوامل تهدیدکننده اکوسیستم‌های مرجانی و ارزیابی سکوهای نفتی به‌عنوان مرجان مصنوعی در خلیج فارس، همایش بین‌المللی خلیج فارس، بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر.
۱۳. مدحجی، موسی، (۱۳۹۲)، بررسی تأسیسات نفتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Multispectral سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی علوم زمین، تهران.
۱۴. مرکز مطالعات خلیج فارس (Pgsc) آلاینده‌های خلیج فارس، ۱۳۹۴.
۱۵. مسعودنیا، محمد، فهندژ سعدی، مهدی، پناهی آزاد، مریم و کشوری، محمد، (۱۳۹۱)، تأثیرات آلودگی‌های نفتی بر اکوسیستم خلیج فارس و روش‌های پاکسازی آلودگی‌های نفتی، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران.
۱۶. منافی، هادی، (۱۳۶۷)، حفاظت محیط‌زیست، مجموعه مقالات سمینار بررسی مسائل خلیج فارس، انتشارات وزارت امور خارجه دفتر مطالعات سیاسی بین‌المللی.
۱۷. واقفی، محمد، زارعی، مجید و نبی‌الهی، مریم، (۱۳۹۰)، آلاینده‌های دریایی خلیج فارس و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن، کنفرانس ملی بهره‌برداری از آب دریاها کرمان.
۱۸. همایون، ناصر، (۱۳۸۰)، خلیج فارس، انتشارات دفتر پژوهش‌های فرهنگی، تهران.
19. Brekke, C., & Solberg, A. H. (2005). Oil spill detection by satellite remote sensing. *Remote sensing of environment*, 95(1), 1-13.
20. Bulgarelli, B., & Djavidnia, S. (2012). On MODIS retrieval of oil spill spectral properties in the marine environment. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 9(3), 398-402.
21. Buhe, A., Tsuchiya, K., Kaneko, M., Ohtaishi, N., & Mahmut, H. (2007). Oases and Forest in Xinjiang, China Retrieved From ASTER Data. *Advances in Space Research*. *Advances in Space Research*, 9(1), 39-45.
22. Alawadi, F. (2010, October). Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). In *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2010 (Vol. 7825, p. 782506)*. International Society for Optics and Photonics.
23. Casciello, D., Lacava, T., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2011). Robust satellite techniques for oil spill detection and monitoring using AVHRR thermal infrared bands. *International journal of remote sensing*, 32(14), 4107-4129.
24. Coppini, G., De Dominicis, M., Zodiatis, G., Lardner, R., Pinardi, N., Santoleri, R., ... & Georgiou, G. (2011). Hindcast of oil-spill pollution during the Lebanon crisis in the Eastern Mediterranean, July–August 2006. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), 140-153.
25. Fingas, M., & Brown, C. (2012). Oil spill remote sensing. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 7491-7527). Springer, New York, NY
26. Feng, L., Hu, C., Chen, X., Tian, L., & Chen, L. (2012). Human induced turbidity changes in Poyang Lake between 2000 and 2010: Observations from MODIS. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C7).
27. Hu, C. (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2118-2129.
28. Hu, C., Lee, Z., Ma, R., Yu, K., Li, D., & Shang, S. (2010). Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) observations of cyanobacteria blooms in Taihu Lake, China. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C4).
29. Keshavarz, A., Hashemizadeh, K., & Mohammad, S. (2017). Analysis of Hyperspectral Imagery for Oil Spill Detection Using SAM Unmixing Algorithm Techniques. *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 6(2), 1-16.
30. Lacava, T., Ciancia, E., Coviello, I., Di Polito, C., Grimaldi, C. S., Pergola, N., ... & Tramutoli, V. (2017). A MODIS-based Robust Satellite Technique (RST) for timely detection of oil spilled areas. *Remote Sensing*, 9(2), 128.
31. Leifer, I., Lehr, W. J., Simecek-Beatty, D., Bradley, E., Clark, R., Dennison, P., ... & Reif, M. (2012). State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill. *Remote Sensing of Environment*, 124, 185-209.

32. Liang, Q., Zhang, Y., Ma, R., Loisel, S., Li, J., & Hu, M. (2017). A MODIS-based novel method to distinguish surface cyanobacterial scums and aquatic macrophytes in Lake Taihu. *Remote Sensing*, 9(2), 133.
33. Marghany, M. (2014). Utilization of a genetic algorithm for the automatic detection of oil spill from RADARSAT-2 SAR satellite data. *Marine pollution bulletin*, 89(1-2), 20-29.
34. Mokhtari, S., Hosseini, S. M., Daneshkar, A., Azad, M. T., Kadlec, J., Jolma, A., & Naimi, B. (2015). Inferring spatial distribution of oil spill risks from proxies: Case study in the north of the Persian Gulf. *Ocean & Coastal Management*, 116, 504-511.
35. NRC (2003). *Oil in the sea III: Inputs, fates, and effects* (pp. 265). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
36. Rouskov, K., Popov, K., Stoykov, S., & Yamaguchi, Y. (2005). Some applications of the remote sensing in geology by using of ASTER images. In Scientific Conf. "SPACE, ECOLOGY, SAFETY" with Int. Participation (pp. 167-173).
37. Sale, P. F., Feary, D. A., Burt, J. A., Bauman, A. G., Cavalcante, G. H., Drouillard, K. G., ... & Van Lavieren, H. (2011). The growing need for sustainable ecological management of marine communities of the Persian Gulf. *Ambio*, 40(1), 4-17.
38. Schaaf, C. B., Gao, F., Strahler, A. H., Lucht, W., Li, X., Tsang, T., ... & Lewis, P. (2002). First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 135-148.
39. Tseng, W. Y., & Chiu, L. S. (1994, August). AVHRR observations of Persian Gulf oil spills. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS'94. Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation., International* (Vol. 2, pp. 779-782). IEEE.
40. Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C., Gao, F., ... & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote sensing of environment*, 84(3), 471-475.
41. Zhao, J., Temimi, M., Ghedira, H., & Hu, C. (2014). Exploring the potential of optical remote sensing for oil spill detection in shallow coastal waters-a case study in the Arabian Gulf. *Optics Express*, 22(11), 13755-13772.