

## بررسی شاخص مناسب آشکارسازی لکه نفتی با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 (مطالعه موردی خلیج فارس ۲۶ بهمن ۹۴)

نادیا طالب پور<sup>۱</sup>، طاهر صفرراد<sup>۲\*</sup>، محمد اکبری نسب<sup>۳</sup>، معصومه رسولیان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر، پست الکترونیکی: [talebpoor.nadia@gmail.com](mailto:talebpoor.nadia@gmail.com)

۲- استادیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، پست الکترونیکی: [t.safarrad@umz.ac.ir](mailto:t.safarrad@umz.ac.ir)

۳- استادیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر، پست الکترونیکی: [m.akbarinasab@umz.ac.ir](mailto:m.akbarinasab@umz.ac.ir)

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر، پست الکترونیکی: [masoomehrasoolian@gmail.com](mailto:masoomehrasoolian@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۷

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۸

### چکیده

پژوهش پیش رو سعی دارد با استفاده از تصاویر سنجنده Sentinel-2 و بهره‌گیری از ویژگی‌های رفتار طیفی نفت با تاکید 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 بپردازد. در این راستا بعد از اخذ تصاویر مربوطه، پیش پردازش‌های مورد نیاز شامل تصحیحات هندسی و رادیومتریک روی تصاویر انجام شدند. با استفاده از منحنی رفتار طیفی نفت و آب و همچنین شاخص OIF، ترکیب‌های رنگی بهینه تشخیص داده شدند. با محاسبه شاخص NDWI و اعمال آستانه‌هایی روی آن، لکه‌ی نفتی به‌طور دقیق آشکارسازی گردید. نتایج این پژوهش مشخص نمود که الزاماً OIF بیشتر به معنای ترکیب مناسب‌تر نخواهد بود و لازم است که ترکیب‌های بهینه بر اساس نمودار رفتار طیفی و شاخص‌های تاثیرگذار در آشکارسازی لکه نفتی مورد توجه قرار گیرند که این امر افزایش دقت در آشکارسازی را موجب خواهد شد.

کلمات کلیدی: لکه‌های نفتی، سنجنش از راه دور، شاخص فاکتور بهینه، شاخص تفاضلی استاندارد شده آب، سنجنده

Sentinel-2

### ۱. مقدمه

همکاران، ۱۳۸۸). وجود جزایر متعدد در خلیج فارس نیز باعث محصور شدن آلودگی‌های نفتی در این ناحیه می‌شود. شناسایی لکه‌های نفتی، جلوگیری از نشت نفت در دریاها و کاهش اثرات مخرب بر زیست‌بوم‌های دریایی از مسایل مورد توجه سازمان‌های زیست‌محیطی، صنایع شیمیایی، شیلات و سایر سازمان‌های مربوطه است. (علمی‌زاده و فاضل پور، ۱۳۹۵) یکی از روش‌های پایش آلودگی آب دریا بهره‌گیری از فن‌آوری سنجنش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۵). در

موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است که از سمت شمال و جنوب توسط پرتودترین دریاها احاطه گردد. کشتی‌های نفت‌کش و تعداد بسیاری چاه‌های نفت در بستر یا سواحل دریاها آن وجود دارند. از آنجایی‌که حدود ۳۰ درصد از حمل و نقل نفتی کل جهان در خلیج فارس صورت می‌گیرد، از مناطقی است که همیشه در معرض آلودگی‌های نفتی قرار دارد (عریان و

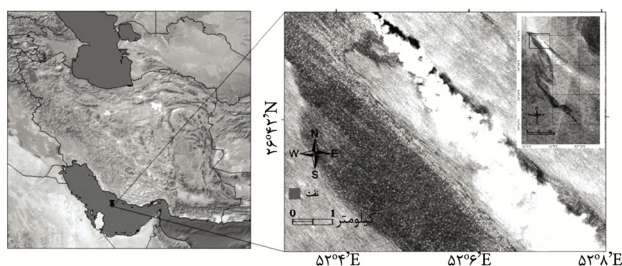
Garcia-Pineda، (۲۰۱۶)، Pisano و همکاران (۲۰۱۶)، Lavrova و همکاران (۲۰۱۷)، Frost و Barnes (۲۰۱۸)، ملکی نجف‌آبادی و راهداری (۱۳۸۸)، رنگزن و عبیداوی (۱۳۹۴)، چراغی و همکاران (۱۳۹۴) و خباز ثابت (۱۳۹۴) اشاره نمود.

در پژوهش پیش‌رو سعی شده است تا با استفاده از تصاویر سنجنده Sentinel-2 و بهره‌گیری از ویژگی‌های رفتار طیفی نفت و آب با تاکید بر کمیت‌های آماری به آشکارسازی لکه نفتی ایجاد شده در حادثه نشت نفت از سکوی پارس جنوبی واقع در منطقه خلیج فارس پرداخته شود. استفاده از تصاویر این سنجنده با توجه به مزیت‌های بیشتر (قدرت تفکیک مکانی و طیفی بهتر) آن نسبت به سنجنده‌های TM, ETM, AVHRR و MODIS اهمیت این پژوهش را دوچندان می‌کند.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش سکوی پارس جنوبی واقع در منطقه خلیج فارس است (شکل ۱) که در تاریخ ۹۴/۱۱/۲۱ در حادثه نشت نفت ناشی از فعالیت سکوی حفاری DC12 در مجاورت چاه spol a2 در حین عملیات حفاری رخ داد. پاکسازی آلودگی با اعزام یک فروند یدک‌کش به همراه تجهیزات و تیم کارشناسی برای انجام عملیات و امحاء آلودگی در تاریخ ۹۴/۱۱/۲۹ صورت گرفت (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۵).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه، تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 در تاریخ ۲۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴

### ۲-۲ روند/انجام پژوهش

شمای کلی این پژوهش برای شناسایی نشت نفت در شکل ۲ نشان داده شده است. داده‌های ورودی تصاویر سنجنده

گذشته به دلیل محدودیت قدرت تفکیک مکانی ماهواره‌ها، شناسایی آلودگی‌های نفتی مشکل بوده است، اما امروزه امکان شناسایی و کنترل تراوشات نفتی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای وجود دارد. Hu و همکاران (۲۰۰۳) نشت نفت در دریای ماراکایبو<sup>۱</sup> در کشور ونزوئلا را با استفاده از باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر سنجنده مادیس بررسی کردند. در تحقیقی مشابه، Grimaldi و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR به بررسی نشت نفت در ساحل بین کویت و عربستان سعودی در ژانویه ۱۹۹۱ پرداختند. Zhao و همکاران (۲۰۱۴) با مقایسه تصاویر MODIS و Landsat-7 و ETM+ و Landsat-8 در خلیج فارس، نشان دادند که تصاویر Landsat برای این منظور مناسب‌تر هستند. Xing و همکاران (۲۰۱۵a) حادثه نشت وسیع نفت در خلیج مکزیک که در سال ۲۰۱۰ ایجاد شده بود را با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر Landsat-5 TM و ETM+ و Xing و همکاران (۲۰۱۵b) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat خطر نشت نفت را در دریای Bohai بررسی نمودند. در مطالعه‌ای Mo و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های لندست طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ و با اعمال شاخص NDVI<sup>۲</sup> به بررسی طول عمر تأثیرات ناشی از نشت نفت در پوشش گیاهی پرداختند و از داده‌های AVIRIS در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ برای اعتبارسنجی نتایج لندست استفاده نمودند. Prakash و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به ردیابی لکه‌های نفتی در خلیج مکزیک با تصاویر MODIS با بهره‌گیری از سه الگوریتم شامل آستانه‌گذاری با شاخص، مقدار و تابع پرداختند. Karathanassi و Kolokoussis (۲۰۱۸) نیز در تحقیقی شناسایی نشت نفت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 را در ۶ کیلومتری جنوب جزیره زیکتس<sup>۳</sup> در یونان و شرق جزیره سالامینا<sup>۴</sup> و جنوب آتن<sup>۵</sup> مورد توجه قرار دادند. مطالعاتی نیز در زمینه معرفی و ارزیابی روش‌ها و تکنیک‌های بکار رفته با استفاده از تصاویر SAR برای آشکارسازی لکه‌های نفتی انجام شده که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات Solberg و همکاران (۱۹۹۹)، Nirchio و همکاران (۲۰۰۵)، Wei و همکاران (۲۰۱۵)، Mityagina و همکاران (۲۰۱۵) و

<sup>۱</sup> Maracaibo

<sup>۲</sup> Normalized Difference Vegetation Index

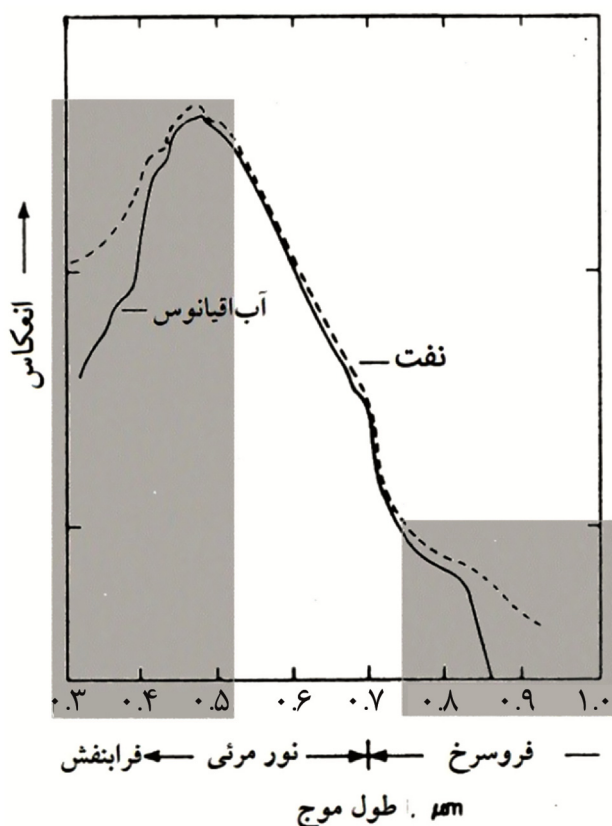
<sup>۳</sup> Zakynthos

<sup>۴</sup> Salamina

<sup>۵</sup> Athens

### ۲-۳-۲ رفتار طیفی لکه‌های نفتی

مقدار انرژی که به سنجنده می‌رسد بستگی زیادی به چگونگی تعامل انرژی و جسم دارد. اگر برای هر جسم مقدار انرژی منعکس شده از کل انرژی رسیده به جسم را در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری و آن‌ها را به صورت یک نمودار ترسیم نماییم، منحنی حاصل را منحنی رفتار طیفی می‌گویند (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۳). در شکل ۳ منحنی رفتار طیفی آب و نفت نمایش داده شده است. با توجه به اینکه هر پدیده منحنی رفتار طیفی مربوط به خود را دارد، می‌توان بر اساس طول موج‌هایی که در آن منحنی رفتار طیفی پدیده‌ها بیشترین اختلاف را باهم دارند، آن پدیده‌ها را به راحتی از هم شناسایی کرد (مجیدحسینی و همکاران، ۱۳۹۵).

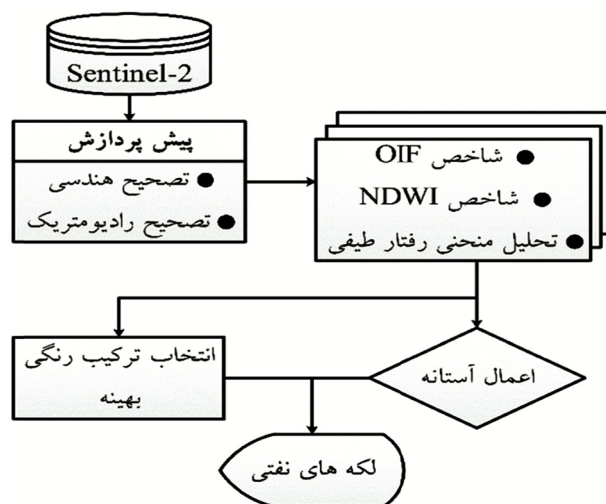


شکل ۳: محدوده‌ی قابل شناسایی دو پدیده‌ی آب و نفت توسط نمودار رفتار طیفی (Butler et al., 1988)

### ۲-۳-۴ فاکتور شاخص بهینه (OIF)

برای استفاده‌ی مطلوب از داده‌های چند طیفی جهت تشخیص لکه نفتی لازم است بهترین ترکیب رنگی مشخص شود. انتخاب

Sentinel-2 مربوط به تاریخ ۲۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴ هستند که از وب‌گاه سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا تهیه شده‌اند. این داده‌ها خام هستند و طی فرآیند پیش‌پردازش، تصحیح هندسی و رادیومتریکی خواهند شد. شاخص‌های OIF و NDWI جهت بررسی لکه نفتی با تاکید بر ویژگی‌های طیفی، از طریق اعمال آستانه، بررسی شدند (شکل ۲).



شکل ۲: مراحل اجرای پژوهش به صورت شماتیک

۲-۳-۴ داده‌ها

### ۲-۳-۱ سنجنده Sentinel-2

سنجنده Sentinel-2 برای جمع‌آوری اطلاعات چندطیفی از سطح زمین طراحی و ساخته شده است. تصاویر این سنجنده، پیوستگی باندهای اسپات ۵ و ۶ را افزایش داده و مکمل تصاویر لندست هستند. تصاویر ماهواره Sentinel-2 دارای تفکیک زمانی بالا (۵ روز)، عرض برداشت زیاد (۲۹۰ کیلومتر)، ۱۳ باند طیفی با توان تفکیک مکانی و رادیومتریکی بالا (جدول ۱)، دقت هندسی بالا و پوشش جهانی هستند (عزت‌آبادی پور، ۱۳۹۵؛ Sentinel-2, 2018).

جدول ۱: قدرت تفکیک مکانی و محدوده طول موج‌های Sentinel-2 و پهنای هر باند آن (SENTINEL2 -- Sentinel-2 Products, n.d.)

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
طول موج مرکزی (نانومتر)	۴۴۳	۴۹۰	۵۶۰	۶۶۵	۷۰۵	۷۴۰	۷۸۳	۸۴۲	۸۶۵	۹۴۵	۱۳۷۵	۱۶۱۰
قدرت تفکیک مکانی (متر)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۶۰	۶۰	۲۰
پهنای باند (نانومتر)	۲۰	۶۵	۳۵	۳۰	۱۵	۱۵	۲۰	۱۱۵	۲۰	۲۰	۳۰	۹۰

محققان در زمینه‌های متفاوتی شاخص NDWI را بکار بردند که از جمله آن‌ها می‌توان پژوهش‌های II و همکاران (۲۰۱۱)، محمدی و شتابی (۱۳۸۸) و کوهشاهی و همکاران (۱۳۹۵) را نام برد. این شاخص توانایی تشخیص آب‌های کم عمق (Mishra and Prasad, 2015) را نداشته و در مواردی که زمین‌های ساخته شده در کنار منابع آب قرار می‌گیرند، مساحت پهنه‌های آب را بیشتر از واقعیت نشان می‌دهند (Xu, 2006). در پژوهش حاضر چون منطقه مورد مطالعه در آب‌های عمیق خلیج فارس قرار دارد، معایب گفته شده برای آن صادق نخواهد بود.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱- انتخاب باندهای مناسب با استفاده از منحنی رفتار طیفی جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی

با بررسی طیف نموداری شکل ۳ که بر اساس رفتار طیفی آب و نفت در یک محیط آزمایشگاهی رسم شده است، تفاوت آشکاری در محدوده‌ی ۳۰۰ تا ۵۲۵ نانومتر و نیز در محدوده ۷۶۳ تا ۹۵۵ نانومتر وجود دارد و در این طول‌موج‌ها مقدار بازتاب لکه‌های نفتی بیشتر از آب دریا است. با توجه به گستره طول‌موجی باندهای سنتینل-۲ (جدول ۱) محدوده‌ی باندهای ۱، ۲، ۷، ۸، ۸a و ۹ توانایی شناسایی این دو پدیده را دارند که به ترتیب با آشکارسازی در محدوده‌ای با طول موج مرکزی ۴۴۳، ۴۹۰، ۷۸۳، ۸۴۲ و ۸۶۵ و ۹۴۵ نانومتر برای تمایز این دو پدیده مناسب هستند. از طرفی در محدوده‌ی امواج مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) آب، تمامی طول‌موج‌های مادون قرمز را جذب می‌کند و در محدوده‌ی دریا اگر پدیده‌ای به جز آب وجود داشته باشد، مقدار انعکاسی بیشتری خواهد داشت. بنابراین نشئت نفت به‌عنوان لکه‌ی نفتی در منابع آب باعث می‌شود که در این محدوده بازتاب بالاتر رود. طبق جدول ۱ امواج مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه در محدوده‌ی باندهای ۱۱ و ۱۲ قرار می‌گیرند. در حالت کلی برای ۱۳ باند این سنجنده، ۲۸۶ ترکیب رنگی وجود دارد و از آنجا که برای تمایز این دو پدیده ۸ باند مناسب وجود دارد، ۵۶ ترکیب رنگی می‌توان انتخاب کرد و مجموعه را به کمتر از ۲۱ درصد کل ترکیب‌ها محدود کرد.

ترکیب باندهای مناسب به روش‌های مختلفی انجام می‌پذیرد. یک روش با استفاده از مقایسه چشمی تصاویر حاصل از ترکیب‌های رنگی مختلف است که بسیار مشکل و وقت‌گیر است. روش دیگر استفاده از کمیت‌های آماری فاکتور شاخص بهینه (OIF) است که به‌منظور تعیین بهترین ترکیب رنگی کاذب سه باندهای داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص بر اساس کمیت‌های آماری، انحراف معیار (SD)<sup>۱</sup> و ضریب همبستگی (CC)<sup>۲</sup> بین باندهای مختلف به‌منظور به حداقل رسانیدن داده‌های کم ارزش و حداکثر استفاده از اطلاعات مفید در انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی کاذب (FCC<sup>۳</sup>) است (علوی پناه، ۱۳۹۵؛ سرمستی و همکاران، ۱۳۹۲). محققان در تحقیقات متعددی استفاده از روش فاکتور شاخص بهینه (OIF) را جهت بررسی تصاویر ماهواره‌ای پیشنهاد داده‌اند (Chavez و همکاران، ۱۹۸۲؛ مهدوی و همکاران، ۱۳۹۴؛ رضوانی اصل و مختاری، ۱۳۹۴؛ یوسفوند و همکاران، ۱۳۹۵). شاخص OIF به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود (Jensen, 2005).

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{OIF} = \frac{\sum \text{SD}}{\sum \text{CC}}$$

هرچند این شاخص از طریق ارزیابی کمی ویژگی‌های آماری تصویر، سبب ساده‌سازی انتخاب تصاویر رنگی از بین انتخاب-های در دسترس می‌شود (Qaid and Basavarajappa, 2008) اما با در نظر نگرفتن رفتار طیفی پدیده‌هایی که محقق در تلاش برای آشکارسازی آنها است، انتخاب ترکیب رنگی بهینه مورد نظر محقق لزوماً عملی نمی‌شود.

#### ۳-۲-۵- شاخص NDWI

در ناحیه مادون قرمز نزدیک (NIR)<sup>۴</sup> و مادون قرمز کوتاه (SWIR)<sup>۵</sup> آب جذب زیاد و مواد نفتی موجود در آب دریا بازتاب زیاد دارند. Gao (1996) شاخص NDWI را برای برجسته کردن پهنه‌ی آبی پیشنهاد داد (رابطه ۲).

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

<sup>1</sup> Standard deviation

<sup>2</sup> correlation coefficient

<sup>3</sup> False color composite

<sup>4</sup> Near Infrared

<sup>5</sup> short wave infrared

که ترکیب رنگی ۱۲، ۱۱، ۸ با وجود داشتن مقدار OIF کمتر نسبت به ترکیب ۱۲، ۸، ۱ دارای وضوح و دقت بیشتری در آشکارسازی لکه نفتی است. از بین ۲۵ ترکیب اولی که حائز بیشترین مقدار OIF هستند با توجه به نمودار رفتار طیفی و بازتاب لکه‌های نفتی در منابع آب، ترکیبات حاوی باندهای ۱۱، ۱۲ و ۸ مناسب‌تر به نظر می‌رسند. اما به دلیل اینکه باندهای ۱۱ و ۱۲ دارای همبستگی زیاد (۸۹٪) هستند، بنابراین مقدار OIF کاهش می‌یابد. درحالی‌که این کاهش به معنای نامناسب بودن این دو باند یا به عبارت دیگر ارجحیت ترکیب ۱۲، ۸، ۱ نسبت به ترکیب ۱۲، ۱۱، ۸ نیست. در نتیجه مقادیر OIF باید بر اساس نمودار رفتار طیفی مورد تجدید نظر قرار بگیرد و الزاماً OIF بیشتر به معنای ترکیب مناسب‌تر نخواهد بود. بنابراین لازم است که بر اساس نمودار رفتار طیفی شاخص‌های دیگری برای بالا بردن دقت شناسایی اعمال شود.

### ۲-۳ انتخاب باندهای مناسب با استفاده از فاکتور شاخص بهینه جهت آشکارسازی لکه‌های نفتی

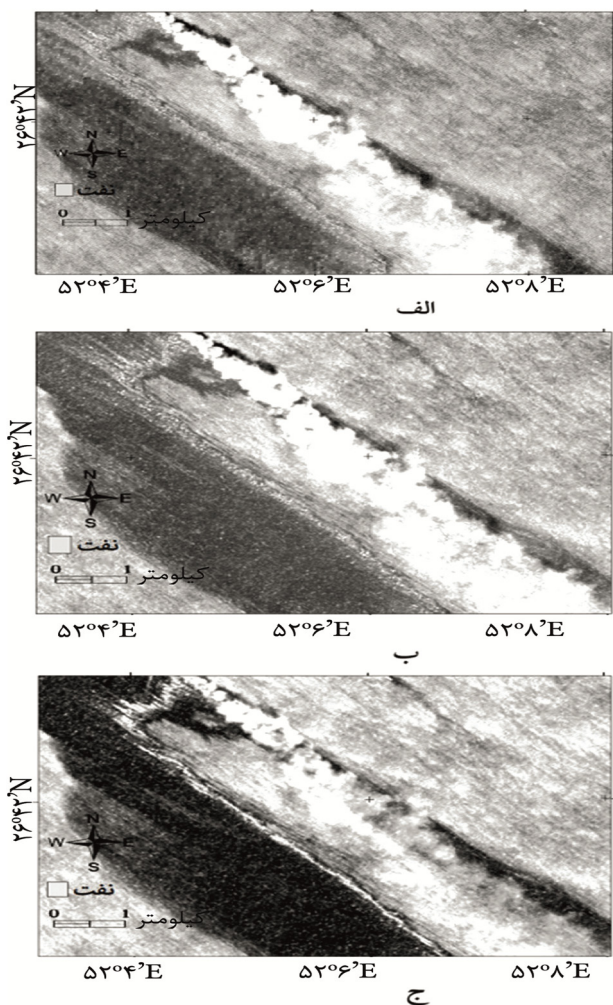
برای انتخاب بهترین ترکیب از بین ۵۶ ترکیب رنگی به دست آمده از شاخص OIF استفاده شد. جدول ۲ نتایج خروجی فاکتور شاخص بهینه را برای ترکیب‌های باندهای سنجنده سنتینل-۲ نشان می‌دهد. ۱۰ ترکیب به ترتیب اولویت آورده شده است.

جدول ۲: شاخص فاکتور بهینه برای ترکیب‌های باندهای Sentinel-2

شماره	RGB	$\sum SD$	$\sum Cc$	OIF	قدرت تفکیک
۱	۱۸،۱۲	۰،۱۲	۰،۷	۰،۱۷	۶۰،۱۰،۲۰
۲	۲،۷،۱۲	۰،۱۳	۰،۸۶۷	۰،۱۵	۱۰،۲۰،۲۰
۳	۱۲،۸،۲۸	۰،۱۴	۰،۸۹۶	۰،۱۵	۱۰،۲۰،۲۰
۴	۲۹،۱۲	۰،۱۲	۰،۷۸۳	۰،۱۵	۱۰،۶۰،۲۰
۵	۱۲،۸،۱۸	۰،۱۲	۰،۸۷	۰،۱۴	۶۰،۲۰،۲۰
۶	۱،۷،۱۲	۰،۱۲	۰،۸۶	۰،۱۴	۶۰،۲۰،۲۰
۷	۲۸،۱۲	۰،۱۳	۰،۹۸۹	۰،۱۴	۱۰،۱۰،۲۰
۸	۱،۹،۱۲	۰،۱	۰،۷۸۷	۰،۱۳	۶۰،۶۰،۲۰
۹	۱،۲،۱۲	۰،۱۲	۰،۹۲۷	۰،۱۳	۶۰،۱۰،۲۰
۱۰	۲،۱۱،۱۲	۰،۱۵	۱،۱۹	۰،۱۲	۱۰،۲۰،۲۰

با توجه به جدول ۲، ترکیب رنگی با بالاترین OIF دارای محتوی بیشترین اطلاعات می‌باشد. نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص OIF، منطبق با ویژگی‌های رفتار طیفی لکه نفتی است. بدین صورت که ترکیب‌های بهینه حاوی باندهایی هستند که در آن لکه نفتی بیشترین تمایز را با آب دریا دارند. براساس این جدول، بهترین ترکیب رنگی ۱، ۸، ۱۲ است که بالاترین اطلاعات را در خود جای داده است. همچنین با دقت در این جدول در می‌یابیم که با توجه به تکرارپذیری زیاد باندهای ۱۲، ۱۱، ۱، ۲ و ۸ ترکیبات رنگی شامل باندهای ذکر شده نیز مناسب هستند. باندهای ۱۲، ۱۱، ۲ و ۸ قدرت تفکیک مکانی بالاتری نسبت به باند ۱ دارند. همچنین باند ۱۱ و ۱۲ که به ترتیب در ناحیه مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) قرار دارند بهتر می‌توانند نفت و آب را از هم متمایز کنند. بنابراین ترکیب‌های رنگی که شامل باندهای ۱۱ و ۱۲ باشند از قابلیت آشکارسازی بهتری برخوردارند. با توجه به آنچه گفته شد ترکیبات رنگی ۱۲، ۱۱، ۲ و ۸، ۱۱، ۱۲، ۱، ۲ و ۸ نیز برای شناسایی لکه نفتی مناسب هستند.

در شکل ۴ سه ترکیب رنگی با توجه به نتایج OIF و نمودار رفتار طیفی آورده شده است. با مقایسه این سه تصویر در می‌یابیم



شکل ۴: تصاویر RGB، الف) ۱۸، ۱۲، ب) ۱۲، ۸، ج) ۱۱، ۱۲، ۸.

### ۳-۳ اعمال شاخص NDWI

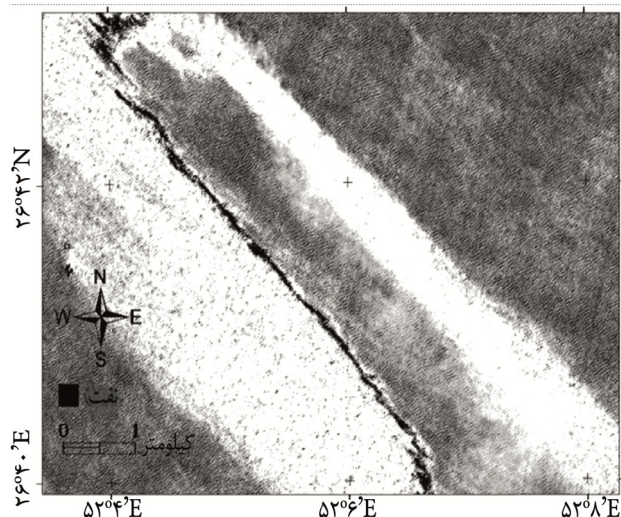
ماهواره‌ای، آستانه‌هایی روی شاخص NDWI اعمال شد. این آستانه‌ها از طریق ترسیم نیمرخ‌های طیفی در محل نشت نفت و بررسی هیستوگرام‌های آنها شناسایی شدند. با رسم چندین هیستوگرام برای نقاط مختلف، مقدار دقیق آستانه به روش تجربی تعیین شد. در این پژوهش عدد ۰/۱۹ به عنوان آستانه نفت و آب با بررسی نیمرخ‌های متعدد (شکل ۶) تعیین گردید.

جهت کاهش عوامل ناخواسته و افزایش اطلاعات مربوط به آب و پدیده‌های موجود در آن می‌توان حداقل دو باندها را ترکیب کرده و شاخص مرکبی ایجاد کرد. با توجه به اینکه باندهای ۸ و ۱۱ و ۱۲ باندهای مطلوبی هستند، به نظر می‌رسد که شاخص NDWI به دلیل اینکه از این باندها استفاده می‌کند، می‌تواند در آشکارسازی لکه نفتی تأثیرگذار باشد. در این شاخص پدیده‌های داخل آب با تن رنگ‌های تیره دیده خواهند شد. این شاخص به دو صورت برای باندهای ۸ و ۱۱ و همچنین باندهای ۸ و ۱۲ تعریف می‌شود (رابطه‌های ۳ و ۴).

$$NDWI = \frac{B(8) - B(11)}{B(8) + B(11)} \quad \text{رابطه ۳}$$

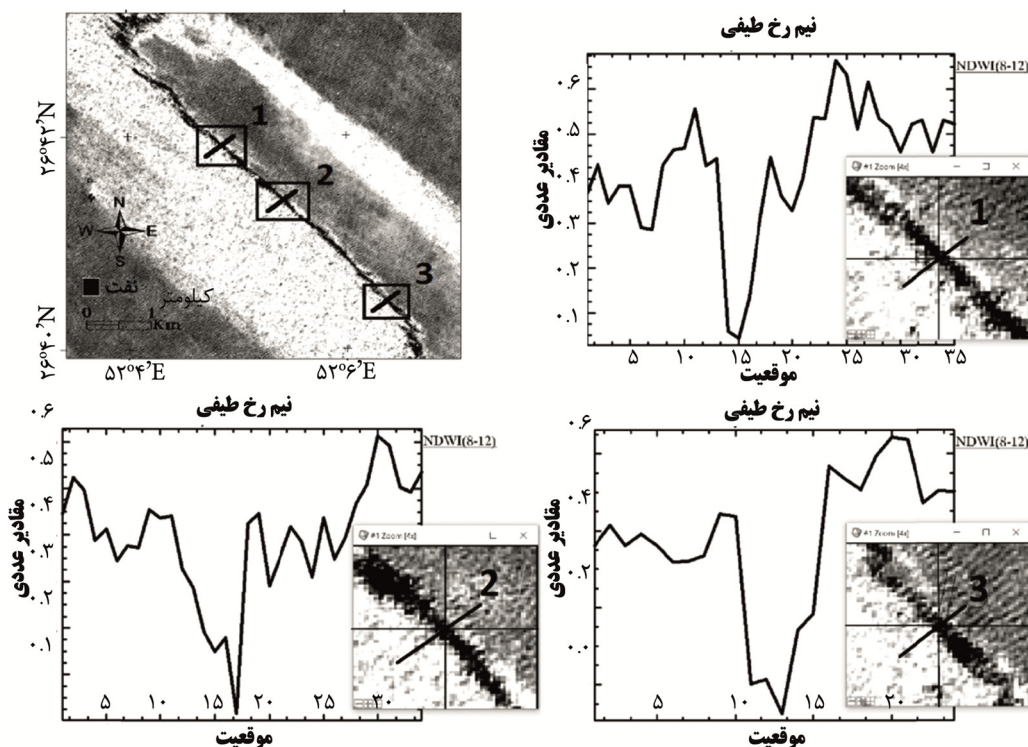
$$NDWI = \frac{B(8) - B(12)}{B(8) + B(12)} \quad \text{رابطه ۴}$$

### ۴-۳ آستانه‌گذاری

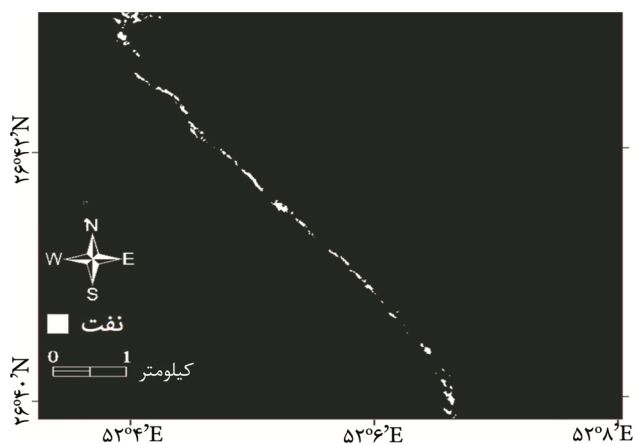


شکل ۵: شاخص NDWI محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه.

برای افزایش دقت جداسازی نفت و آب در تصاویر

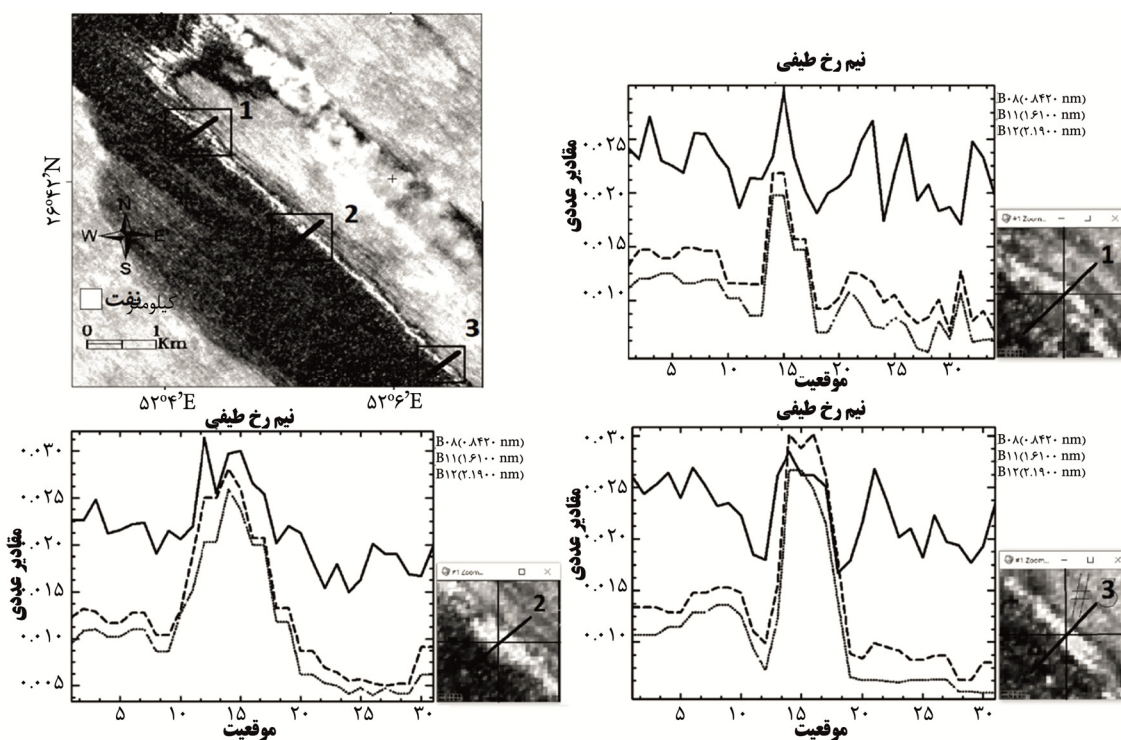


شکل ۶: نیمرخ‌های طیفی ترسیم شده برای محل نشت نفت روی شاخص NDWI



شکل ۷: تفکیک نفت و آب دریا با اعمال آستانه‌گذاری

بر اساس این شاخص مقادیری که از ۰/۱۹ کمترند نفت و مابقی محیط آب هستند. با اعمال آستانه مورد نظر، مناطقی که دارای این ویژگی هستند، شناسایی خواهند شد (شکل ۷). این مناطق، محدوده‌هایی هستند که نشت نفت در آنجا اتفاق افتاده است. با بررسی نیمرخ طیفی مناطق حاوی نشت نفت (شکل ۸) مشخص گردید که لکه‌های نفتی در محدوده‌های SWIR دارای بیشترین بازتاب هستند و همین ویژگی سبب تمایز آن‌ها از آب خواهد شد. این امر در شاخص NDWI منعکس شده است و اعمال آستانه‌گذاری روی آن آشکارسازی لکه نفتی را میسر می‌سازد.



شکل ۸: نمودار هیستوگرام مناطق نفتی (ترکیب ۸، ۱۱، ۱۲)

نفتی از آب هستند که با نتایج انتخاب ترکیب رنگی بهینه بر اساس شاخص OIF کاملاً منطبق بود. بدین صورت که باندهای ۱۲، ۱۱، ۱، ۲ و ۸ با فراوانی زیاد در صدر ترکیب‌های بهینه قرار گرفتند (باندهای ۱ و ۲ در محدوده آبی مرئی، باندهای ۸ و ۱۱ در محدوده مادون قرمز نزدیک و باند ۱۲ در محدوده مادون قرمز میانی قرار دارد). واکاوی نیمرخ طیفی مناطق حاوی نشت نفت برای ترکیب‌های رنگی بهینه مشخص ساخت که لکه‌های نفتی در

#### ۴. نتیجه‌گیری

آشکارسازی لکه‌های نفتی با تاکید بر ویژگی‌های طیفی آنها و بهره‌گیری از تصاویر سنتینل-۲، در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه منحنی رفتار طیفی نفت و آب بیانگر این مهم است که محدوده‌ی آبی مرئی و محدوده‌های مادون قرمز نزدیک و میانی محدوده‌های مناسب جهت شناسایی و تمیز لکه‌های

کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، گروه آموزش و پژوهش شرکت مهندسی باروگستر پارس، دانشگاه فرهنگیان استان گلستان. ۹ صفحه.

سرمستی، ن؛ فتیحی، م؛ ایاسه، ف؛ بیگی پور، ف.، ۱۳۹۲. کاربرد تکنیک فاکتور شاخص مطلوب (OIF) داده‌های ETM+ لندست ۷ در ارزیابی پوسته‌های نمکی کاشان. دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی. ۱۲ صفحه.

عریان، ش؛ تاتینا، م؛ قریب خانی، م.، ۱۳۸۸. بررسی اثرات آلودگی نفتی در حوضه شمالی خلیج فارس بر میزان تجمع فلزات سنگین (نیکل، سرب، کادمیوم و آنادیوم) در بافت عضله ماهی حلواسفید. نشریه اقیانوس شناسی، سال اول، شماره ۴، صفحات ۶۸-۶۱. عزت‌آبادی پور، ح.، ۱۳۹۵. معرفی تصاویر ماهواره سنتینل ۲. سومین کنفرانس سراسری نوآوری‌های اخیر در مهندسی عمران، تهران، موسسه آموزش عالی نیکان. ۸ صفحه.

علمی‌زاده، ه؛ فاضل پور، خ.، ۱۳۹۵. برآورد تغییرات پارامترهای زیست‌محیطی در تنگه هرمز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس. نشریه اقیانوس‌شناسی، سال هفتم، شماره ۲۷، صفحات ۳۹-۲۹.

علوی پناه، ک.، ۱۳۹۵. سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۶۶ صفحه. فاطمی، ب؛ رضایی، ی.، ۱۳۹۳. مبانی سنجش‌ازدور. چاپ چهارم. انتشارات آزاده. صفحات ۲۲-۲۰.

کشاورز، ا؛ کیهان پور، ح؛ هاشمی زاده، م.، ۱۳۹۵. بررسی تشخیص نفت با استفاده از الگوریتم‌های جداسازی طیفی PPI و FPPI در تصاویر ابر طیفی. فصلنامه تخصصی علمی ترویجی، دوره ۱۱، شماره ۵۳، صفحات ۷۹-۶۶.

مجیدحسینی، ح؛ اکبری نسب، م؛ صفرراد، ط.، ۱۳۹۵. محاسبه شاخص اندیس بهینه برای پایش آلودگی منابع آب با تصاویر ماهواره‌هایی (مطالعه موردی حوزه دریای عمان). نشریه هیدروفیزیک، دوره ۲، شماره ۱. صفحات ۴۵-۳۵.

محمدی، ج؛ شتابی، ش.، ۱۳۸۸. ارزیابی حساسیت شاخص‌های طیفی گیاهی با استفاده از تابع حساسیت در برآورد حجم سرپای توده‌های جنگلی. مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دوره ۱۶، شماره ۲. صفحات ۱۲۰-۱۰۱.

ملکی نجف‌آبادی، س؛ راهداری، و.، ۱۳۸۸. پایش آلودگی‌های نفتی در دریا با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور (RS). همایش بین‌المللی HSE در صنعت نفت و گاز، تهران، شرکت پتروپارس. ۱۰ صفحه.

محدوده‌های مادون قرمز میانی دارای بیشترین بازتاب هستند و همین ویژگی سبب تمایز آن‌ها از آب خواهد شد. این امر در شاخص NDWI به خوبی منعکس شده است و اعمال آستانه-گذاری روی آن آشکارسازی لکه نفتی را میسر می‌سازد. نتایج این پژوهش به خوبی نمایان ساخت که مقادیر OIF بایستی بر اساس نمودار رفتار طیفی مورد تجدیدنظر قرار بگیرند و الزاماً OIF بیشتر به معنای ترکیب مناسب‌تر نخواهد بود. بنابراین لازم است که بر اساس نمودار رفتار طیفی شاخص‌های مناسب جهت بالا بردن دقت آشکارسازی مورد توجه قرار گیرند. در نهایت نتایج این پژوهش آشکار ساخت که تصاویر سنتینل-۲، به خوبی قادر به شناسایی و آشکارسازی لکه‌های نفتی هستند و به خاطر قدرت تفکیک مکانی و طیفی بهتر نسبت به تصاویر سنجنده‌های TM, ETM, AVHRR و MODIS از اولویت بالاتری جهت شناسایی لکه‌های نفتی برخوردار هستند.

## منابع

چراغی، ا؛ چراغی کوتیانی، ح؛ جودکی، س.، ۱۳۹۴. مروری بر اهمیت تصاویر ماهواره‌ای در پایش لکه‌های نفتی. دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. ۶ صفحه.

خباز ثابت، س.، ۱۳۹۴. شناسایی آلودگی نفتی در دریاها از طریق تصاویر ماهواره‌ای. هفدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران. ۶ صفحه.

رضوانی اصل، ا؛ مختاری، ا.، ۱۳۹۴. کاربرد شاخص OIF در داده‌های سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در تهیه نقشه لیتولوژی مناطق مرکزی ایران. اولین کنگره پژوهشی کاربرد علوم نوین در مطالعات جغرافیایی ایران، مشهد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، شرکت ساج گستر کاسپین. ۱۸ صفحه.

رنگزن، ک؛ عبیدادی، ز.، ۱۳۹۴. پایش آلودگی نفتی دریاها و اقیانوس‌ها با بهره‌گیری از فناوری سنجش‌ازدور. کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط‌زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران. ۱۲ صفحه.

کوهشاهی، س؛ شاهدی، ک؛ دارابی، ح؛ سلیمانی، ک.، ۱۳۹۵. تهیه نقشه‌های پهنه آبی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و شاخص‌های NDWI و MNDWI، مطالعه موردی: دریاچه مهارلو، استان فارس. دومین کنگره سراسری در مسیر توسعه علوم



- Natural Hazards and Earth System Sciences, 11: 1281-1291.
- Hu, C.; E.F.; Mqller, K.; Taylor, C.J.; Myhre, D.; Murch, B.; Odriozola, A.L.; Godoy, G., 2003. MODIS detects oil spills in Lake Maracaibo, Venezuela. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 84(33): 313-319.
- Jensen, J.R., 2005. Introductory digital image processing: A remote sensing prospective. Series in geographic information science, 3rd ed. Prentice-Hall, 163-164p.
- Ji, L.; Zhang, L.; Wylie, B.k.; Rover, J., 2011. On the terminology of the spectral vegetation index (NIR – SWIR)/(NIR+SWIR). International Journal of Remote Sensing, 32(21): 6901-6909.
- Kolokoussis, P.; Karathanassi, V., 2018. Oil spill detection and mapping using Sentinel 2 imagery. Journal of Marine Science and Engineering, 6(1): 4.
- Migliaccio, M.; Nunziata, F; Buono, A., 2015. SAR polarimetry for sea oil slick observation. International Journal of Remote Sensing, 36(12): 3243-3273.
- Mishra, K.; Prasad, P., 2015. Automatic extraction of water bodies from Landsat imagery using perceptron model. Journal of Computational Environmental Sciences, 1-9p.
- Mityagina, M.; Lavrova, O., 2016. Satellite survey of inner seas: Oil pollution in the Black and Caspian Seas. Remote Sensing, 8(10): 875.
- Mo, Y.; Kearney, M.S.; Riter, J.C., 2017. Post-Deepwater horizon oil spill monitoring of Louisiana salt marshes using landsat imagery. Remote Sensing, 9(6): 547.
- Nirchio, F.; Di Tomaso, S.; Biamino, W.; Parisato, E.; Trivero, P.; Giancaspro, A., 2005. Automatic detection of oil spills from sar images. International Journal of Remote Sensing, 26: 1157-1174.
- Pisano, A.; De Dominicis, M.; Biamino, W.; Bignami, F.; Gherardi, S.; Colao, F.; Coppini, G.; Marullo, S.; Sprovieri, M.; Trivero, P.; Zambianchi, E., 2016. An
- مهدوی، ر.؛ علی عوضی دختک، ا.؛ غلامی، ح.؛ کمالی، ع.، ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی در تهیه نقشه مناطق برداشت رسوبات بادی با استفاده از داده‌های رقومی (مطالعه موردی: شهرستان رودبار جنوب-استان کرمان). سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستاناران محیط زیست. ۹ صفحه.
- یوسفوند، م.؛ طهماسبی پور، ن.؛ زینیوند، ح.؛ حقی زاده، ع.، ۱۳۹۵. تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS. سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. ۸ صفحه.
- Butler, M.J.A.; Mouchot, M.C.; Barale, V.; LeBlanc, C., 1988. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical Paper, (295):165p. (section 2.3 Target Interactions, Figure 2.6 Spectral reflectance of ocean water and a thin layer of crude oil).
- Chavez, PS.; Berlin, GL.; Sowers, LB., 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. Journal of Applied Photographic Engineering, 8(1): 23-30.
- Frost, J.D.; Barnes, C.F., 2018. Assessment and enhancement of SAR Noncoherent change detection of Sea-surface oil spills. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 43(1): 211-220.
- GAO, B., 1996. NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58: 257-266.
- Garcia-Pineda, O.; Holmes, J.; Rissing, M.; Jones, R.; Wobus, C.; Svejksky, J.; Hess, M., 2017. Detection of oil near shorelines during the deepwater horizon oil spill using Synthetic Aperture Radar (SAR). Remote Sensing, 9(6): 567.
- Grimaldi, C.S.L.; Casciello, D.; Coviello, I.; Lacava, T.; Pergola, N.; Tramutoli, V., 2011. An improved RST approach for timely alert and Near Real Time monitoring of oil spill disasters by using AVHRR data.

- Wei, L.; Hu, Z.; Dong, L.; Zhao, W., 2015. A damage assessment model of oil spill accident combining historical data and satellite remote sensing information: A case study in Penglai 19-3 oil spill accident of China. *Marine Pollution Bulletin*, 91(1): 258-271.
- Xing, Q.; Li, L.; Lou, M.; Bing, L.; Zhao, R.; Li, Z., 2015a. Observation of oil spills through landsat thermal infrared imagery: A case of deepwater horizon. *International Oil Spill Response Technical Seminar*, 151-156p.
- Xing, Q.; Meng, R.; Lou, M.; Bing, L.; Liu, X., 2015b. Remote sensing of ships and offshore oil platforms and mapping the marine oil spill risk source in the Bohai Sea. *Aquatic Procedia*, 3: 127-132.
- Xu, H., 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025-3033.
- 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 Persian Gulf. *Optics Express*, 22(11). oceanographic survey for oil spill monitoring and model forecasting validation using remote sensing and in situ data in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 133: 132-145.
- Prakash, S.V.; Sawant, S.; Avhad, T.; Yadav, A.; Yelmame, A., 2017. Observing and recognizing oil spill using MODIS image obtained by satellite. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(5).
- Qaid, A.M.; Basavarajappa, H.T., 2008. Application of optimum index factor technique to Landsat-7 data for geological mapping of north east of Hajjah, Yemen. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 3(1): 84-91.
- SENTINEL2 -- Sentinel-2 Products. (n.d.). Retrieved Jan 26, 2018, from [http://www.gdal.org/frmt\\_sentinel2.html](http://www.gdal.org/frmt_sentinel2.html).
- Sentinel-2 | The Long Term Archive. (n.d.). Retrieved Jan 26, 2018, from [https://lta.cr.usgs.gov/sentinel\\_2](https://lta.cr.usgs.gov/sentinel_2).
- Solberg, A.; Solberg, R.; Storvik, G.; Volden, E., 1999. Automatic detection of oil spills in ERS SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(4): 1916-1924.