

آشکارسازی نشت نفت با استفاده از تصاویر فروسرخ گرمایی لندست؛ مطالعه موردی: شمال خلیج فارس

مجید هاشمی تنگستانی* و مرجان کریمی

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۰

چکیده

فناوری سنجش ازدور، یکی از راه‌های آشکارسازی نشت نفت، به‌ویژه در یک منطقه وسیع است. تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا می‌توانند به‌عنوان یک رویکرد اولیه اکتشاف نفت استفاده شوند. هدف از این پژوهش، آشکارسازی نشت نفت پیرامون سکوه‌های نفتی در تاریخ‌های ۲ و ۱۰ ژوئن ۲۰۱۵ در بخش شمالی خلیج فارس با استفاده از تصاویر فروسرخ گرمایی لندست ۷ و لندست ۸ می‌باشد. روش دمای سطح دریا برای باندهای گرمایی این تصاویر به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که منطقه با نشت نفت دارای دمای پایین‌تری نسبت به مناطق اطراف آن است. به دلیل اختلاف دمایی که بین نفت و آب وجود دارد روش دمای سطح دریا فقط وضعیت فوق را نشان می‌دهد و از این روش می‌توان برای آشکارسازی مناطق نفتی استفاده کرد. در پایان، نتایج آن با استفاده از ضریب کاپا که بخشی از ماتریس آشفتگی است صحت‌سنجی شد که مقدار آن برای باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست ۸، به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۸۵ و برای باند ۶ لندست ۷، ۰/۹۲ به‌دست آمد. این مقادیر درستی نتایج را با ضریب قابل قبول تأیید می‌کنند.

کلمات کلیدی: نشت نفت؛ دمای سطح دریا؛ تصاویر فروسرخ گرمایی؛ لندست؛ شمال خلیج فارس.

مقدمه

نشت‌های نفتی می‌توانند تأثیرات زیان‌آوری بر محیط‌زیست دریایی و نواحی ساحلی که اغلب تراکم جمعیت بالایی دارند، داشته باشند. نشت نفت می‌تواند به دلیل ایجاد سوراخ در خط لوله، تخلیه غیرقانونی کشتی‌ها، حوادث کشتی یا از سکوه‌های حفاری رخ دهد. در مناطق ساحلی، نشت‌های نفتی

اغلب از راه تخلیه غیرقانونی و حوادث کشتی رخ می‌دهند [۱].

روش‌های مختلفی مانند نقشه‌برداری چشمی با هواپیما، تابش‌سنج‌های ریزموج، روبشگر خطی فروسرخ، رادار پهلوگیر هواپرد، رادار آنتن مصنوعی، سنجنده فلورسانس لیزری و پردازش داده‌های سنجنده‌های اپتیکال (مانند لندست، سنتینل ۲، استر) برای پایش نشت نفت وجود دارد [۲-۹] که از میان آنها، داده‌های ماهواره‌ای با پهنای باند مختلف در محدوده‌های مرئی، فروسرخ نزدیک، فروسرخ موج

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی: tangstan@shirazu.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2020.3888.2771)

لندست ۵ و ۷ برسی و مناطق نشت نفت با دمای $K/0.6$ پایین تر از سطح دریای عاری از نفت نشان داده شد [۱۰]. همچنین، اختلاف گرمای لایه نفتی و آب که در طول روز می‌تواند منجر به برگشت کنتراست فروسرخ شود، مدل‌سازی شده است [۱۴] و [۱۵].

ماهواره لندست ۷، هفتمین ماهواره از سری لندست می‌باشد و در تاریخ ۱۵ آوریل ۱۹۹۹ در مدار زمین قرار گرفت. این ماهواره ۷ بانده در محدوده مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ موج کوتاه با توان تفکیک مکانی 30 m ، و یک بانده در محدوده فروسرخ گرمایی با توان تفکیک 60 m دارد.

ماهواره لندست ۸، در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ در مدار زمین قرار گرفت و دارای ۲ سنجنده به نام‌های تصویرساز عملیاتی زمین (OLI)^۴ و سنجنده فروسرخ گرمای (TIRS)^۵ است. سنجنده OLI دارای ۹ بانده در محدوده مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ موج کوتاه با توان تفکیک مکانی 30 m متر و سنجنده TIRS دارای ۲ بانده گرمایی با اندازه پیکسل 100 m می‌باشد [۱۶].

هدف این مطالعه، آشکارسازی نشت نفت پیرامون سکوه‌های نفتی در تاریخ‌های ۲ و ۱۰ ژوئن ۲۰۱۵، تاریخ‌های ثبت شده توسط سازمان محیط‌زیست، با استفاده از تصاویر فروسرخ گرمایی لندست ۷ و لندست ۸ از راه مقایسه دمای آب سطح دریا و لکه‌های نشت نفت می‌باشد.

هدف این مطالعه، آشکارسازی نشت نفت پیرامون سکوه‌های نفتی در تاریخ‌های ۲ و ۱۰ ژوئن ۲۰۱۵، تاریخ‌های ثبت شده توسط سازمان محیط‌زیست، با استفاده از تصاویر فروسرخ گرمایی لندست ۷ و لندست ۸ از راه مقایسه دمای آب سطح دریا و

کوتاه، فروسرخ گرمایی و رادار، به دلیل پایش مداوم و پوشش گسترده جهانی زمین، می‌توانند به طور مؤثر استفاده شوند [۱].

سنجنده‌های اپتیکال غیرفعال نمی‌توانند در شب کار کنند، اما سنجنده‌های فعالی مانند فلئورسانس لیزر می‌توانند برای پایش نشت نفت در روز و شب استفاده شوند. با این حال، ابر، مه و بخار می‌تواند تاثیر منفی بر داده‌های این سنجنده‌ها با هدف شناسایی نشت نفت داشته باشد. از سوی دیگر، سنجش از دور ریزموج می‌تواند از میان ابرها عبور کرده و در روز و شب از سطح زمین داده‌برداری کند. سنجنده‌های SAR^۱ ریزموج می‌توانند نشت نفت را بارز کنند، هرچند کاربرد SAR به شدت وابسته به سرعت باد در سطح دریا است؛ به شکلی که در منطقه‌ای با سرعت باد پایین ممکن است نشت نفت آشکار شده اشتباه باشد و در ناحیه‌ای با سرعت باد بالا، ممکن است نشت نفت آشکار نشود [۱۰].

اختلافات لایه نفتی نشت شده نسبت به آب دریای پیرامون در خواص گرمایی و جذب انرژی تابشی خورشید است. تابش سنج فروسرخ گرمایی می‌تواند در شرایط بخار و مه نازک و همچنین در طی روز و شب کار کند [۱۱]، در نتیجه، سنجش از دور فروسرخ گرمایی می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد برای آشکارسازی نشت نفت به کار رود. با استفاده از داده‌های AVHRR^۲، لکه‌های نفتی را با دمای $2-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ بالاتر از دمای سطح دریای پیرامون مشاهده کردند. دمای لکه‌های نفتی نشت شده در زمان جنگ خلیج فارس در سال ۱۹۹۱ میلادی، در طول شب پایین آمد و خنک تر از آب پیرامون بودند [۱۲]. از تصاویر فروسرخ گرمایی استر برای آشکارسازی مناطق نفتی احتمالی در منطقه ینگهای^۳ چین استفاده شده است [۱۳]. نشت تصادفی نفت از دیپ واتر هاریزون در خلیج مکزیک در ۲۰ آوریل ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر روز باندهای گرمایی

1. Synthetic Aperture Radar

2. Advanced Very-high-Resolution Radiometer

3. Yinggehai

4. Operational Land Imager

5. Thermal Infrared Sensor

باعث شده است تا میزان متوسط آلودگی آب‌های خلیج فارس ۴۸ برابر بیشتر از میزان آلودگی سایر دریاهای جهان گزارش شود.

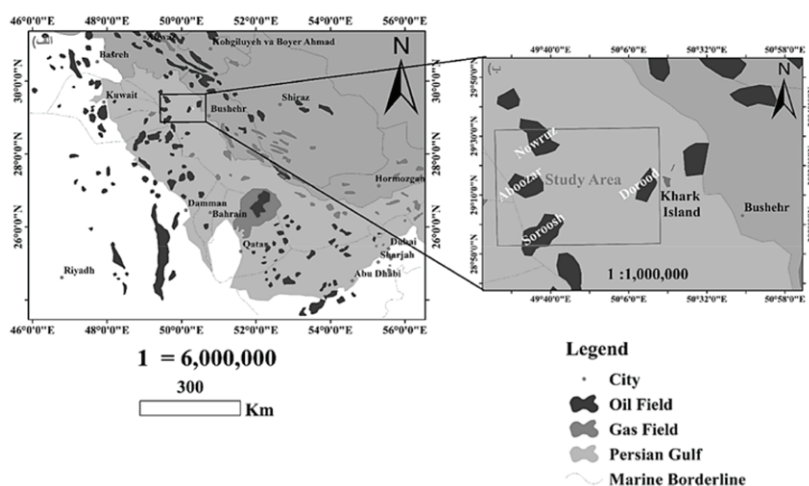
لکه‌های نشت نفت می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

خلیج فارس، یک حوضه کم‌عمق و نیمه‌بسته با آب و هوای معمولاً گرم و مرطوب است که بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ تا ۵۷° شرقی و عرض‌های شمالی ۲۴ تا ۳۰° در جنوب غربی قاره آسیا واقع شده و از راه تنگه هرمز به دریای عمیق عمان وصل می‌شود (شکل ۱). این منطقه دارای مساحت تقریبی ۲۲۶/۰۰۰ کیلومتر مربع، طول بیش از ۹۹۰ km و عرض متغیر بین ۵۶ km در تنگه هرمز تا ۳۲۸ km است. میانگین عمق خلیج فارس حدود ۳۵ m و عمیق‌ترین عمق آن حدود ۱۰۷ m است [۱۷]. گردش آب خلیج فارس به وسیله تنش باد، جریان‌های شناوری سطح، رواناب آب شیرین، تبادل آب از مسیر تنگه هرمز و جذر و مد کنترل می‌شود [۱۸ و ۱۹]. خلیج فارس محل حمل و نقل جهانی نفت محسوب می‌شود، سالانه حدود ۲۵ هزار تانکر نفتی از طریق تنگه هرمز عبور کرده و ۶۰٪ نفت جهان را از این طریق حمل می‌کنند این امر

داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه، ابتدا دسته داده‌های فرسرخ گرمایی سطح LIT لندست ۷ و ۸ براساس توان تفکیک مکانی ۳۰ m بازنویسی شد. باند گرمایی لندست ۷ (توان تفکیک مکانی ۶۰ m) دارای توان تفکیک مکانی دقیق‌تر از دو باند گرمایی لندست ۸ (توان تفکیک مکانی ۱۰۰ m) است و حساسیت بیشتری نسبت به تابش گرمایی دارد. باند ۶ لندست ۷ دارای دو مدل است: مدل B61 توان تفکیک تابش سنج پایین‌تر و حساسیت کمتری به تابش گرمایی نسبت به مدل B62 دارد (جدول ۱). از سال ۲۰۰۳، یک نقص فنی باعث ایجاد یک سری نوار افقی در تصاویر لندست ۷ شده است، اما این نقص بر عملکرد رادیومتری تأثیر نمی‌گذارد [۲۰]. در ادامه، روش‌های پردازش مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه. الف) محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه خلیج فارس، ب) محدوده میادین نفتی مورد مطالعه.

جدول ۱ داده‌های استفاده شده.

ماهواره	تاریخ	زمان محلی	باند	توان تفکیک مکانی
لندست ۷	۲۰۱۵/۰۶/۱۰	۰۷:۰۹:۴۱	B6 ₂	۶۰ m
لندست ۸	۲۰۱۵/۰۶/۰۲	۰۷:۰۹:۱۳	B10,B11	۱۰۰ m

که در آن، L_λ تابش طیفی برای هر باند بر حسب $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ (رادینانس بالای اتمسفر) و DN ارزش رقمی هر پیکسل است و مقدار gain و offset در فایل اطلاعاتی داده‌ها یافت می‌شود [۱۱].

ب- تبدیل عدد رقمی ماهواره لندست ۸ به رادینانس، طبق رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

که در آن، L_λ تابش طیفی برای هر باند بر حسب $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ (رادینانس بالای اتمسفر)، ML فاکتور ضریب مقیاس^۳ برای هر باند، Qcal عدد رقمی^۴ تصویر و AL مقدار offset برای باندهای گرمایی است [۲۶].

دمای روشنایی

با توجه به اینکه بخشی از تابش گسیل شده از سطح زمین در باند فرورسرخ گرمایی، پیش از رسیدن به سنجنده، به وسیله ذرات موجود در جو جذب یا پخش می‌شود، از این‌رو دمای روشنایی ثبت شده در سنجنده که دمای بالای سطح جو است، کمتر از دمای واقعی در سطح زمین است و تفاوت معنی داری با دمای واقعی سطح زمین دارد [۲۷]. داده‌های باند گرمایی را می‌توان با استفاده از ثابت گرمایی موجود در فایل اطلاعاتی داده‌ها، از تابش طیفی به دمای روشنایی تبدیل کرد [۲۳].

دمای روشنایی از طریق رابطه ۳ محاسبه شد:

$$BT = \frac{K_2}{Ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

محاسبه دمای سطح دریا^۱

فن‌آوری ماهواره‌ای، توانایی کارشناسان و محققین را برای اندازه‌گیری دمای سطح دریا با در نظر گرفتن پوشش گسترده آن، افزایش داده است. اندازه‌گیری دمای سطح دریا با استفاده از امواج فرورسرخ گرمایی ماهواره‌ای تاریخچه‌ای بسیار طولانی دارد. سنجنده‌های نصب شده بر روی ماهواره‌های NOAA توانسته است نتایج عملیاتی و قابل استفاده از دمای سطح دریا را برای بیش از ۲۰ سال فراهم کند. تاکنون مطالعات متعددی برای اندازه‌گیری دمای سطح دریا با استفاده از تصاویر لندست ۷ و لندست ۸ صورت گرفته است [۱۱ و ۲۳-۲۰]. مراحل محاسبه دمای سطح دریا به شرح زیر است:

تبدیل عدد رقمی به رادینانس

کالیبره کردن سنجنده در واقع محاسبه انرژی باقی‌مانده در سنجنده ($w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$) با استفاده از ارزش روشنایی ثبت شده و یک معادله خطی است که برای اجراء از دو ضریب کالیبراسیون offset و gain نیز استفاده می‌کند. این مرحله شامل تبدیل عددهای روشنایی (DN) به رادینانس^۲ است که در واقع کالیبراسیون داخلی سنجنده می‌باشد [۲۴] و [۲۵]. برای انجام این کار، مراحل زیر دنبال شده است:

الف- تبدیل عدد رقمی ماهواره لندست ۷ به رادینانس، طبق رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$L_\lambda = gain \times DN + offset \quad (1)$$

جدول ۲ ثابت‌های کالیبراسیون باندهای گرمایی لندست ۷ و لندست ۸.

باند	K_1	K_2
B6 ₂ (لندست ۷)	۶۶۶/۰۹	۱۲۸۲/۷۱
B10 (لندست ۸)	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹
B11 (لندست ۸)	۴۸۰/۸۸۸۳	۱۲۰۱/۱۴۴۲

1. Sea Surface Temperature
2. Radiance
3. Multiplicative Rescaling
4. Digital Number

مدل ۲ باند ۶ لندست ۷ بدون خطای نوارشدگی و با خطای نوارشدگی برحسب K و °C تهیه شد که لکه نفتی به صورت تیره رنگ در تصاویر خاکستری و قرمز رنگ به دلیل انرژی کمتر در تصاویر رنگی نسبت به آب دریای پیرامون خود دیده می‌شود. به دلیل دمای پایین نفت (۱۹ °C) نسبت به آب دریا (۲۱ °C) و باتوجه به اینکه محدوده مطالعاتی در زمان صبح تصویربرداری شده بنابراین، این لایه نفتی نشت شده ضخیم می‌باشد (شکل ۲). نقشه دمای سطح دریا برای باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست نیز برحسب K و °C تهیه شد که در هر دو تصویر لکه نفتی به صورت تیره رنگ در تصاویر خاکستری و قرمز رنگ در تصاویر رنگی نسبت به آب دریای پیرامون دیده می‌شود به دلیل دمای پایین نفت (۲۷ °C باند ۱۰ و ۲۵ °C باند ۱۱) نسبت به آب دریا (۳۰ °C) برای هر دو باند) و با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی در زمان صبح تصویربرداری شده است بنابراین، این لایه نفتی نشت شده ضخیم می‌باشد. از آنجا که باند ۱۱ به دلیل جذب اتمسفری در محدوده طول موج آن نسبت به باند ۱۰ قابل اعتماد نیست به همین دلیل دو درجه دما را پایین تر نشان می‌دهد.

که در آن، BT دمای روشنایی برحسب کلوین و K1 و K2 ثابت‌های کالیبراسیون موجود در فایل اطلاعاتی داده‌های لندست ۷ و ۸ هستند (جدول ۲).

دمای واقعی سطح دریا

دمای سطح دریا با استفاده از تابع پلانک (معادله ۴) و پس از محاسبه دمای روشنایی، به دست آمد [۲۸]:

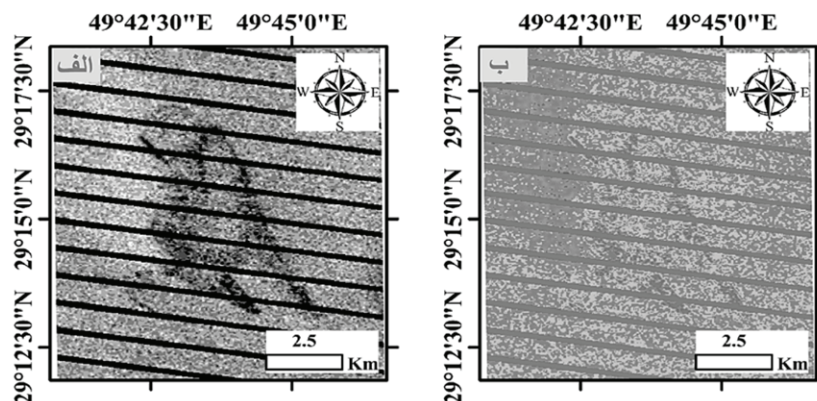
$$T_s = \frac{BT}{\left\{1 + \left(\frac{\lambda \cdot BT}{\rho}\right) \cdot \ln \varepsilon\right\}} \quad (4)$$

در این معادله؛ TS دمای سطح دریا برحسب کلوین؛ BT دمای روشنایی برحسب کلوین؛ λ طول موج؛ ε گسیلندگی طیفی برای آب دریا و برابر با ۰/۹۸۵ است. نفت خام دارای گسیلندگی کمتر در محدوده ۰/۹۴-۰/۹۷ است. همچنین، ρ از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن، σ ثابت بولتزمن ($1.38 \times 10^{-23} \text{ jk}^{-1}$)، h ثابت پلانک ($6.626 \times 10^{-34} \text{ js}$) و c سرعت نور ($2.998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$) است [۲۹].

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} \quad (5)$$

بحث و نتایج

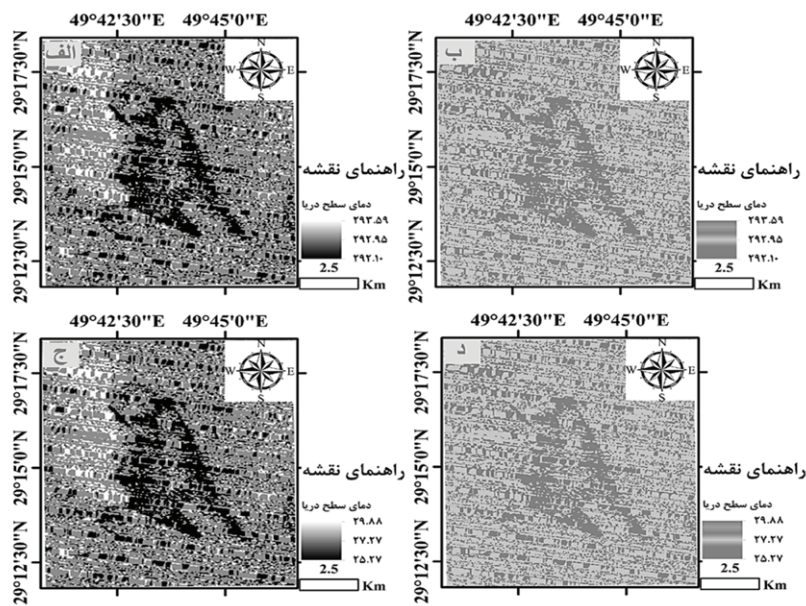
نشت نفت در پیرامون سکوه‌های نفتی با استفاده از تصاویر فرورسرخ گرمایی لندست ۷ و لندست ۸ از راه مقایسه دمای آب سطح دریا و لکه‌های نشت نفت آشکار شد. نقشه دمای سطح دریا برای



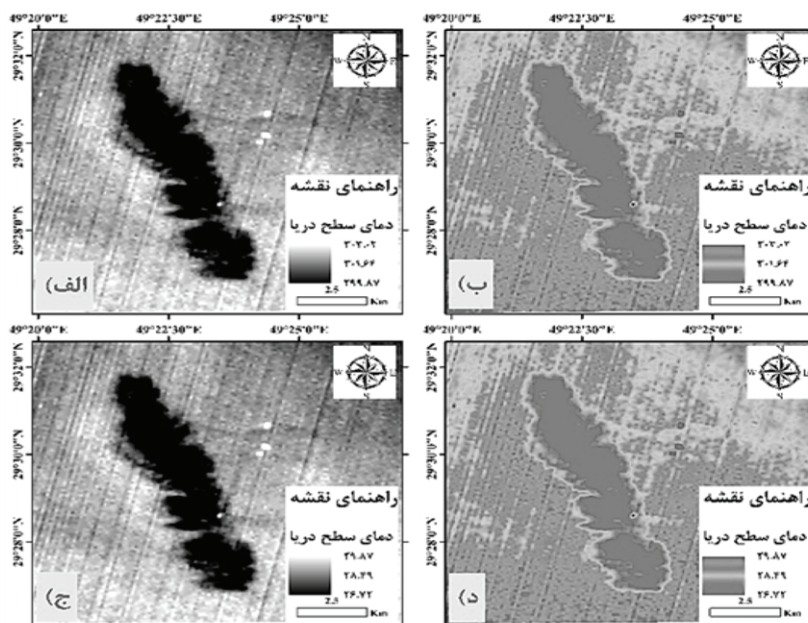
شکل ۲ نقشه دمای سطح دریا برای باند ۶ مدل ۲ لندست ۷ بدون تصحیح خطای نوارشدگی: الف) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب °C و ب) تصویر رنگی بر حسب °C.

صورت برجسته دیده می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶). در پایان، برای صحت‌سنجی پردازش‌های انجام شده از ضریب کاپا استفاده شد که مقدار آن برای باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست ۸، به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۸۵ و برای باندهای ۷، ۶ و ۵ لندست ۷، به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۸۵ و ۰/۸۵ است. این مقادیر درستی نتایج را با ضریب قابل قبول تأیید می‌کنند (جدول ۳).

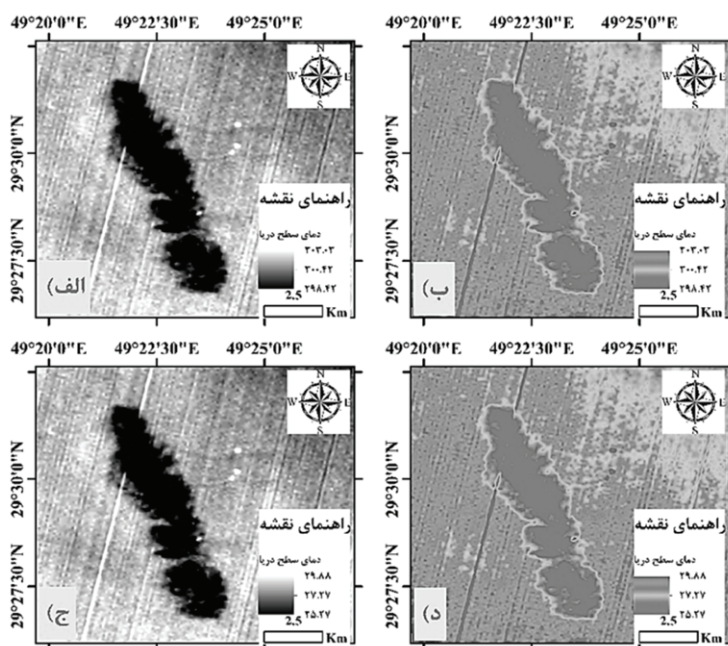
سکوه‌های نفتی نیز به دلیل دمای بالا در تصاویر خاکستری به صورت نقاط سفید رنگ و آبی پررنگ در تصاویر رنگی دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۴). برای آشکارسازی بهتر اختلاف دمای لایه نفتی و آب دریا، از تصاویر دما برش عرضی تهیه شد (شکل‌های ۶ و ۷). لایه نفتی با دمای پایین به صورت افتادگی و آب دریا با دمای بالا به



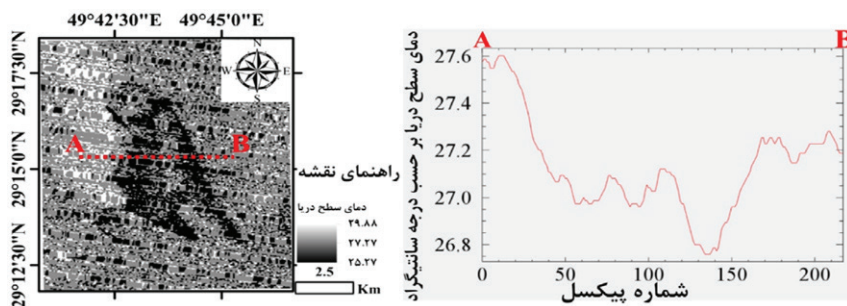
شکل ۳ نقشه دمای سطح دریا برای باندهای ۶ مدل ۲ لندست ۷ با تصحیح خطای نوارشدگی: الف) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب °C، ب) تصویر رنگی بر حسب درجه سانتیگراد، ج) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب °C، د) تصویر رنگی بر حسب °C.



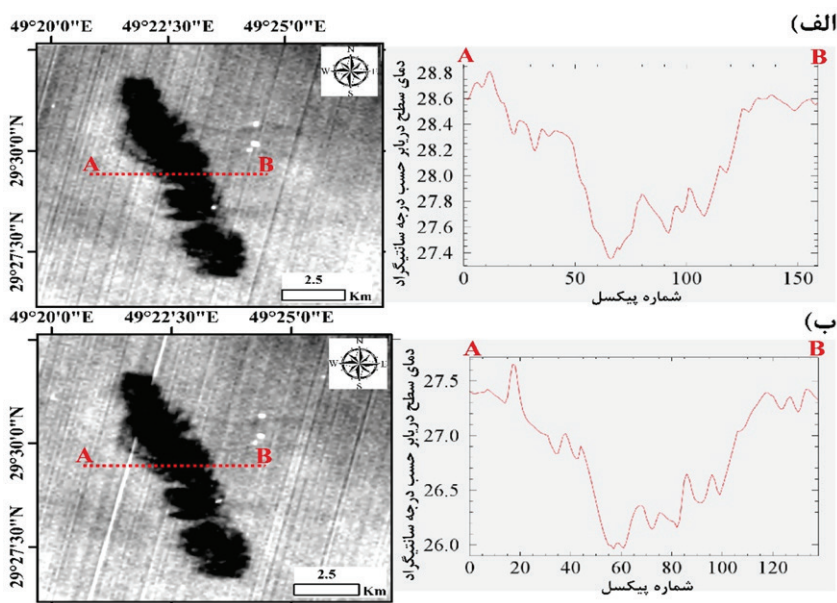
شکل ۴ نقشه دمای سطح دریا برای باندهای ۱۰ لندست ۸: الف) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب درجه کلونین، ب) تصویر رنگی بر حسب K، ج) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب K، د) تصویر رنگی بر حسب K.



شکل ۵ نقشه دمای سطح دریا برای باند ۱۱ لندست ۸: (الف) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب درجه سانتیگراد، (ب) تصویر رنگی بر حسب °C، (ج) تصویر به صورت گام‌های خاکستری بر حسب °C، (د) تصویر رنگی بر حسب °C.



شکل ۶ برش عرضی از تصویر دمای سطح دریا باند ۶ لندست ۷ و ایجاد نمودار بر حسب شماره پیکسل و دمای سطح دریا.



شکل ۷ برش عرضی از تصویر دمای سطح دریا لندست ۸ و ایجاد نمودار بر حسب شماره پیکسل و دمای سطح دریا. (الف) برش عرضی از تصویر باند ۱۰ لندست ۸؛ (ب) برش عرضی از تصویر باند ۱۱ لندست ۸.

جدول ۳ ضریب کاپا برای درستی سنجی نتایج.

B11	B10	B6 ₂	باند
۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۹۲	ضریب کاپا

اینکه محدوده مطالعاتی در زمان صبح تصویربرداری شده است بنابراین، لایه نفتی نشت شده به صورت لکه تیره در تصویر مشاهده می‌شود و باتوجه به درجه تیرگی آن، می‌توان گفت ضخامت متوسط به بالایی دارد. لکه‌های نفتی در نبود تابش خورشید دمای پایین‌تری نسبت به آب پیرامون دارند و در تصاویر به صورت تیره‌رنگ دیده می‌شوند ولی اگر تابش خورشید وجود داشته باشد به دلیل اینرسی گرمایی پایین نفت، لایه نفتی دمای بالاتری نسبت به آب پیرامون دارد و در تصاویر به صورت روشن دیده می‌شود. نتایج همچنین نشان داد که سنجش از دور فرورسرخ گرمایی می‌تواند با کارایی بالا برای شناسایی محل نشت نفت خام در دریا مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به‌منظور آشکارسازی نشت نفت پیرامون سکوه‌های نفتی بخش شمالی خلیج فارس با استفاده از تصاویر لندست ۷ و لندست ۸ از روش محاسبه دمای سطح دریا استفاده شد. در راستای این هدف با پردازش‌هایی که صورت گرفت لکه‌های نفتی به خوبی بارز گردید و درستی نتایج با استفاده از ضریب کاپا اثبات گردید. خطای نوارشدگی ماهواره لندست ۷ بر عملکرد رادیومتری تأثیری نمی‌گذارد ولی بهتر است این خطا تصحیح شود. باند ۱۱ ماهواره لندست ۸ به دلیل مشکل در آشکارساز آن قابل اعتماد نیست. نتایج نشان می‌دهد که نواحی دارای نشت نفت دمای پایین نفت نسبت به آب دریا دارند و باتوجه به

مراجع

- [1]. Arslan N (2018) Assessment of oil spills using Sentinel 1 C-band SAR and Landsat 8 multispectral sensors, *Environmental monitoring and assessment*, 190, 11: 637.
- [2]. Gade M, Alpers W, Hühnerfuss H, Wismann VR, Lange PA (1998) On the reduction of the radar backscatter by oceanic surface films: Scatterometer measurements and their theoretical interpretation, *Remote Sensing of Environment*, 66, 1: 52-70.
- [3]. Richards John A, Richards JA (1999) *Remote sensing digital image analysis*, Springer, 3, 10-38.
- [4]. Shuchman RA, Onstott RG, Johannessen OM, Sandven S, Johannessen JA (2004) Processes at the ice edge: the arctic, *Synthetic Aperture Radar marine user's manual*, 373-395.
- [5]. Montali A, Giacinto G, Migliaccio M, Gambardella A (2006) Supervised pattern classification techniques for oil spill classification in SAR images: preliminary results, In *SEASAR2006 Workshop*, ESA-ESRIN, 23-26.
- [6]. Solberg AH, Brekke C, Husoy PO (2007) Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 3: 746-755.
- [7]. Trivero P, Biamino W, Nirchio F (2007) High resolution COSMO-SkyMed SAR images for oil spills automatic detection, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2-5.
- [8]. Gade M (2015) Synthetic aperture radar applications in coastal waters, In *Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST held*, 6-10.
- [9]. Misra A, Balaji R (2017) Simple approaches to oil spill detection using sentinel application platform (SNAP)-ocean application tools and texture analysis: a comparative study, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45, 6: 1065-1075.
- [10]. Xing Q, Li L, Lou M, Bing L, Zhao R, Li Z (2015) Observation of oil spills through Landsat thermal infrared imagery: a case of deepwater horizon, *Aquatic Procedia*, 3: 151-156.

- [11]. Tseng WY, Chiu LS (1994) AVHRR observations of Persian Gulf oil spills, In Proceedings of IG-ARSS'94-1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2: 779-782.
- [12]. Cai G, Wu J, Xue Y, Wan W, Huang X (2007) Oil spill detection from thermal anomaly using ASTER data in Yinggehai of Hainan, China, In 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 898-900.
- [13]. Shih WC, Andrews AB (2008a) Infrared contrast of crude-oil-covered water surfaces, Optics letters, 33, 24: 3019-3021.
- [14]. Shih WC, Andrews AB (2008b) Modeling of thickness dependent infrared radiance contrast of native and crude oil covered water surfaces, Optics Express, 16, 14: 10535-10542.
- [15]. Barsi J, Lee K, Kvaran G, Markham B, Pedelty J (2014) The spectral response of the Landsat-8 operational land imager, Remote Sensing, 6, 10: 10232-10251.
- [16]. Kämpf J, Sadrinasab M (2006) The circulation of the Persian Gulf: a numerical study, Ocean Science, 2, 1: 27-41.
- [17]. Hassanzadeh S, Hosseinibalam F, Rezaei-Latifi A (2011) Numerical modelling of salinity variations due to wind and thermohaline forcing in the Persian Gulf, Applied Mathematical Modelling, 35, 3: 1512-1537.
- [18]. Pous S, Lazure P, Carton X (2015) A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to interannual variability, Continental Shelf Research, 94: 55-70.
- [19]. Chander G, Markham B L, Helder DL (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote sensing of environment, 113, 5: 893-903.
- [20]. Emery WJ, Castro S, Wick GA, Schuessel P, Donlon C (2001) Estimating sea surface temperature from infrared satellite and in situ temperature data, Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 12: 2773-2786.
- [21]. Lamaro AA, Mariñelarena A, Torrusio SE, Sala SE (2013) Water surface temperature estimation from Landsat 7 ETM+ thermal infrared data using the generalized single-channel method: Case study of Embalse del Río Tercero (Córdoba, Argentina), Advances in Space Research, 51, 3: 492-500.
- [22]. Cahyono AB, Saptarini DIAN, Pribadi CB, Armono HD (2017) Estimation of sea surface temperature (SST) using split window methods for monitoring industrial activity in coastal area, In Applied Mechanics and Materials Trans Tech Publications, 862: 90-95.
- [23]. Jaelani LM, Alfatinah A (2017) Sea Surface Temperature mapping at medium scale using landsat 8-TIRS satellite image, IPTEK Journal of Proceedings Series, 3, 6.
- [24]. Qianguo X, Chuqun CHEN, Ping S, Jingkun Y, Shilin T (2006a) Atmospheric correction of Landsat data for the retrieval of sea surface temperature in coastal waters, Acta Oceanologica Sinica, 25, 3: 25-34.
- [25]. Xing Q, Chen CQ, Shi P (2006b) Method of integrating Landsat-5 and Landsat-7 data to retrieve sea surface temperature in coastal waters on the basis of local empirical algorithm, Ocean Science Journal, 41, 2: 97-104.
- [26]. Isaya Ndossi M, Avdan U (2016) Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin, Remote sensing, 8, 5: 413.
- [27]. Reutter HF, Olesen S, Fischer H (1994) Distribution of the brightness temperature of land surfaces determined from AVHRR data, International Journal of Remote Sensing, 15, 1: 95- 104.
- [28]. Weng, Q, Lu D, Schubring J (2004) Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, Remote sensing of Environment, 89, 4: 467-483.
- [29]. Qianguo X, Chuqun CHEN, Ping S, Jingkun Y, Shilin T (2006a) Atmospheric correction of Landsat data for the retrieval of sea surface temperature in coastal waters, Acta Oceanologica Sinica, 25, 3: 25-34.



Oil Spill Detection using Landsat Thermal Infrared Imagery; A Case Study of the Northern Persian Gulf

Majid Hashemi Tangestani* and Marjan Karimi

Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Iran

tangstan@shirazu.ac.ir

DOI: 10.22078/pr.2020.3888.2771

Received: August/10/2019

Accepted: May/30/2020

Introduction

Oil spills have adverse effects on the marine environment in oceanic and coastal areas. Coastal areas are places with high population density [1]. Oil spills can occur from oil pipeline cracks, illegal discharge from ships, ship incidents, and from oil drilling platforms. In coastal areas, oil spills mostly occur due to illegal discharge and ship incidents. Various techniques have been developed to monitor oil spills such as visual surveys with aircraft, microwave radiometers, infrared line scanner, Laser fluorescence sensor, side-looking airborne radar, synthetic aperture radar, optical sensors etc. [2-9]. Among these techniques, remote sensing satellite sensors working with different bandwidths in the electromagnetic spectrum, such as visible, near infrared, shortwave infrared, thermal infrared, and radar, can be used more efficiently because of continuous monitoring and wide global coverage of the Earth. Oil film differs from sea water in thermal characteristics and absorption of sun ray energy. Thermal infrared radiation can see through haze and thin fog, and it can work in daytime and night. Thermal infrared remote sensing is a very important tool for oil spill detecting and monitoring. Furthermore, the high resolution thermal infrared imagery of ASTER were used to detect the possible oil spills in the Yinggehai area of Hainan Province [13]. The accidental oil spill from the Deepwater Horizon in the Gulf Mexico on April 20, 2010 was also examined by the use of daytime images of Landsat 7 and Landsat thermal bands that showed oil spill areas

with a temperature 0.6K lower than the oil-free sea surface [10]. The aim of this study was to detect oil spills around oil platforms of northern Persian Gulf on 2nd and 10th June 2015, dates recorded by the Environment Organization of the territory. The TIR data of Landsat 7 and Landsat 8 were used to obtain the objectives of the study.

Materials and Methods

The Landsat 7 and Landsat 8 thermal infrared data were resampled to 30 m spatial resolution. Landsat 7 has two modes: Band B61 provides an expanded dynamic range and lower radiometric sensitivity, with less saturation at high Digital Number values; in addition, Band B62 has higher radiometric sensitivity, although it has a more restricted dynamic range. Since 2003, a technical malfunction has caused the ETM+ imagery, including thermal imagery to have a series of horizontal stripes; however, it doesn't influence the radiometric performance [20]. The processing methods are discussed below:

DN to Radiance

The first process was conversion of the values of Digital Numbers (DN) to radiance. The Landsat 7 DN were converted to radiation using Equation 1:

$$L_{\lambda} = gain \times DN + offset \quad (1)$$

The Landsat 8 DN were converted to radiation using Equation 2:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Brightness Temperature

The radiance values were then converted into brightness temperature by the use of Equation 3:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Sea Surface Temperature

To get the real temperature of target, an approximate method as Equation 4 was presented by Weng et al:

$$T_s = \frac{BT}{\left\{1 + \left(\frac{\lambda \cdot BT}{\rho}\right) \cdot \ln \varepsilon\right\}} \quad (4)$$

Where T_s is sea surface temperature in Kelvin; BT is brightness temperature in Kelvin; λ is wavelength; and ε is spectral emissivity for seawater, equal to 0.985. Oil spill around the oil platforms was detected by comparing sea water temperature of sea surface and that of oil spill slicks. The sea surface temperature map was prepared for band 6 of Landsat 7 and bands 10 and 11 of the Landsat 8, where the oil slick is darker in gray images and red in color images due to less energy than surroundings (Fig.1). Due to the low temperature of the oil slick relative to seawater and the time of imaging, the oil slick is estimated thick. Finally, the results were verified using the kappa coefficient as part of the confusion matrix. The values of Kappa coefficients were calculated 0.98 and 0.85 for bands 10 and 11 of Landsat 8 and 0.92 for band 6 of Landsat 7. These values confirmed the accuracy of results with acceptable coefficients.

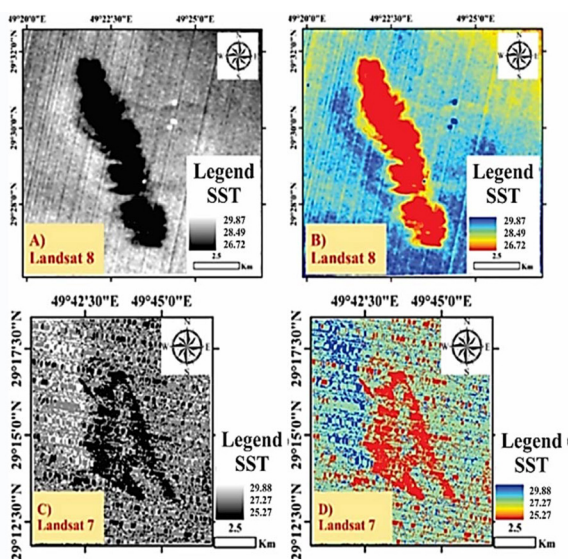


Fig. 1 Sea surface temperature map. A) Sea surface temperature for Landsat 8 in gray scale image; B) Sea surface temperature for Landsat 8 in color image; C) Sea surface temperature for Landsat 7 in gray scale image; D) Sea surface temperature for Landsat 7 in color image.

Conclusions

In this study, the oil spills around oil platforms, occurred on June 2 and 10, 2015, in the northern Persian Gulf, were detected using Landsat 7 and Landsat 8 TIR imagery. The oil patches were well detected by calculating sea surface temperature and the results were verified using Kappa coefficient.

Nomenclatures

DN: Digital numbers

References

1. Arslan N (2018) Assessment of oil spills using Sentinel 1 C-band SAR and Landsat 8 multi-spectral sensors, Environmental monitoring and assessment, 190, 11: 637.
2. Gade M, Alpers W, Hühnerfuss H, Wisman VR, Lange PA (1998) On the reduction of the radar backscatter by oceanic surface films: Scatterometer measurements and their theoretical interpretation, Remote Sensing of Environment, 66, 1: 52-70.
3. Richards John A, Richards JA (1999) Remote sensing digital image analysis, Springer, 3, 10-38.
4. Shuchman RA, Onstott RG, Johannessen OM, Sandven S, Johannessen JA (2004) Processes at the ice edge: the arctic, Synthetic Aperture Radar marine user's manual, 373-395.
5. Montali A, Giacinto G, Migliaccio M, Gambardella A (2006) Supervised pattern classification techniques for oil spill classification in SAR images: preliminary results, In SEASAR2006 Workshop, ESA-ESRIN, 23-26.
6. Solberg AH, Brekke C, Husoy PO (2007) Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45, 3: 746-755.
7. Trivero P, Biamino W, Nirchio F (2007) High resolution COSMO-SkyMed SAR images for oil spills automatic detection, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2-5.
8. Gade M (2015) Synthetic aperture radar applications in coastal waters, In Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST held, 6-10.
9. Misra A, Balaji R (2017) Simple approaches to oil spill detection using sentinel application platform (SNAP)-ocean application tools and texture analysis: a comparative study, Journal

- of the Indian Society of Remote Sensing, 45, 6: 1065-1075.
10. Xing Q, Li L, Lou M, Bing L, Zhao R, Li Z (2015) Observation of oil spills through Landsat thermal infrared imagery: a case of deepwater horizon, *Aquatic Procedia*, 3: 151-156.
 11. Xing Q, Li L, Lou M, Bing L, Zhao R, Li Z (2015) Observation of oil spills through Landsat thermal infrared imagery: a case of deepwater horizon”, *Aquatic Procedia*, 3, .151-156.
 12. Emery WJ, Castro S, Wick GA, Schuessel P, Donlon C (2001) Estimating sea surface temperature from infrared satellite and in situ temperature data, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 12, 2773-2786.