

استفاده از سنجش از دور اپتیکی در شناسایی لکه‌های نفتی

حسن خاوریان نه‌زک^{*}، استادیار سنجش از دور دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

لکه‌های نفتی در آب دریا می‌تواند اثرات زیانباری بر روی موجودات زنده‌ی دریایی و تخریب زیست‌محیطی داشته باشد. استفاده از پیمایش‌های میدانی برای تعیین موقعیت و وسعت این لکه‌های نفتی، بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. سنجش از دور با پوشش مکانی مناطق وسیع و ثبت جزئیات در مقیاس‌های مکانی مختلف، امکان نظارت بر لکه‌های نفتی را در بازه‌های زمانی دلخواه امکان‌پذیر می‌کند. بر این اساس، مسئولان در سطوح محلی و منطقه‌ای می‌توانند با سرعت و دقت بیشتر، تصمیمات لازم جهت جلوگیری یا کاهش اثرات زیانبار لکه‌های نفتی را اخذ کنند. این تحقیق با بررسی رفتار طیفی لکه‌های نفتی در محدوده‌ی طیف اپتیک سعی در بررسی کارایی سنجش از دور اپتیک در پیمایش لکه‌های نفتی دارد. بر این اساس نواحی ماورای بنفش، مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی طیف الکترومغناطیس بررسی شده و نقاط قوت و منفی این محدوده‌های طیفی مورد بحث قرار می‌گیرد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۱/۲۶

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۱/۲۸

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۳/۱۹

واژگان کلیدی:

لکه نفتی، سنجش از دور اپتیک، رفتار طیفی.

مقدمه

نفت و فرآورده‌های نفتی استفاده‌های فراوانی در جوامع امروزی دارند که لزوم تولید آن را می‌طلبد. انتقال نفت از محل تولید به مبادی مصرف در چندین مرحله انجام می‌شود که در این میان ممکن است نشت نفت روی آب یا خشکی رخ دهد و باعث ایجاد لکه‌های نفتی در دریا یا اقیانوس شود. این لکه‌های نفتی می‌توانند در اثر باد، امواج و جریان‌های آبی به سرعت در منطقه‌ی وسیعی از دریا پراکنده شوند. (شکل ۱)

لکه‌های نفتی از هر نوع سبک و سنگین، بر محیط‌زیست اثرات زیانباری بر جا می‌گذارند. لکه‌های نفتی سبک‌تر اگرچه به علت سمیت بالا، برای موجودات آبی بسیار خطرناک هستند اما به علت سرعت تبخیر بالا مدت زیادی باقی نمی‌مانند. لکه‌های نفتی سنگین سمیت کمتری دارند، اما مدت زمان طولانی‌تری باقی می‌مانند تا جایی که در صورت آلوده کردن سواحل، این لکه‌ها ممکن است سال‌ها در محیط باقی بمانند و باعث کاهش فیتوپلانکتون‌ها و یا آلودگی آنها شوند. فیتوپلانکتون‌ها که در انتهای زنجیره‌ی غذایی قرار دارند، می‌توانند آلودگی‌ها را در زنجیره‌ی غذایی به سطوح بالاتر منتقل کنند. (شکل ۲) پرندگان آلوده به نفت دچار تغییرات رفتاری شده که ممکن است منجر به اختلالات تولیدمثلی یا حتی مرگ آنها شود. آلوده شدن زمین‌های کشاورزی به لکه‌های نفتی باعث کاهش حاصل‌خیزی خاک و تولیدات کشاورزی و آلوده کردن آب‌های زیرزمینی می‌شوند. [۱] همچنین می‌تواند اقتصاد ساکنین ساحلی که مبتنی بر ماهی‌گیری و توریسم است را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.



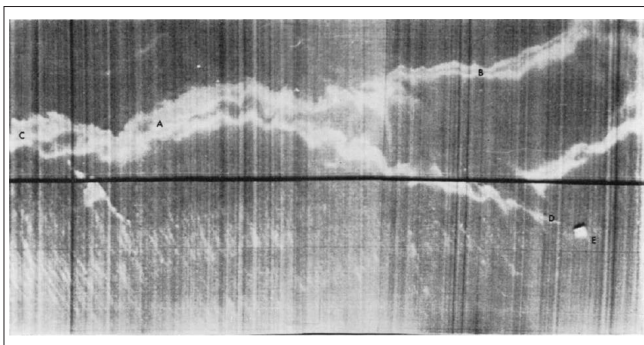
۱ | لکه‌ی نفتی مشاهده شده در خلیج فارس [۲]



۲ | آسیب به اکوسیستم خلیج فارس در اثر لکه‌های نفتی [۳]

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (H5_khavari@uma.ac.ir)

مولکول‌های ازن و اکسیژن) بیشتر متاثر می‌شود و به همین دلیل معمولاً از این محدوده از طیف الکترومغناطیس کمتر استفاده می‌شود. هر چند می‌توان از بعضی از دوربین‌های معمولی برای ثبت اطلاعات در محدوده‌ی ماورای بنفش استفاده کرد اما غالب آنها تنها محدوده‌ی نزدیک به طیف مرئی (طول موج بیشتر از ۰,۳۶ میکرون) را پوشش می‌دهند و برای طول موج‌های کوتاه‌تر، لنزهای خاصی مورد نیاز است. نتایج حاصل از مدل‌سازی ریاضی نشان می‌دهد که رادیانس رسیده به سنجنده در محدوده‌ی ماورای بنفش به نوع نفت، ضخامت غشای آن، کیفیت آب و شرایط هواشناسی بستگی دارد. [۶] همچنین بر اساس نتایج مدل‌سازی، رابطه‌ی بین رادیانس و ضخامت غشای نفت در محدوده‌ی طیفی ۰,۳۲ تا ۰,۳۶ میکرون به صورت غیرخطی است. [۷] شکل ۱ با استفاده از اسکتر ماورای بنفش در پاییز ۱۹۷۰ و توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا از تنگه‌ی Santa Barba برداشت شده است. در این تصویر قسمت اصلی بدنه‌ی نفت به صورت جریانات باریک و مشخص دیده شده (نقاط A و B) و یک الگوی قطری هم به صورت شمال‌غربی-جنوب‌شرقی به چشم می‌خورد. (نقاط C و D) این الگوی قطری ممکن است در نتیجه‌ی امواج سطحی باشد که در زاویه‌ی مناسب با آشکارساز قرار داشته و انرژی بیشتری را منعکس می‌کند. همچنان که شکل ۳ نشان می‌دهد در محدوده‌ی طیف ماورای بنفش انعکاس نفت نسبت به آب بیشتر بوده و روشن‌تر دیده می‌شود.



شکل ۱ | عکس هوایی از تنگه‌ی Santa Barba در ایالات متحده در طیف ماورای بنفش در سال ۱۹۷۰. نقاط روشن A، B، C و D نشان‌دهنده‌ی نفت و E محل سکوی تولید نفت را نشان می‌دهد [۸]

در محدوده‌ی مرئی طیف الکترومغناطیس (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر)، انعکاس نفت کمی بیشتر از آب زلال است. [۹] بعضی از تحقیقات نشان داده‌اند که باند آبی (۰,۴ تا ۰,۵ میکرون) برای شناسایی غشای نازک نفت و باند سبز (۰,۵ تا ۰,۶ میکرون) برای شناسایی غشای ضخیم نفت مناسب است. [۱۰] گاهی اوقات برای دریافت کنتراست بهتر در ناحیه‌ی مرئی، از اطلاعات طول موج سبز صرف نظر می‌شود. [۱۱] با این وجود با استفاده از سنجنده‌های اپتیکی به علت ناچیز بودن تفاوت

سنجش از دور هوایی و ماهواره‌ای کاربرد زیادی در آشکارسازی لکه‌های نفتی دارد. قابلیت اصلی سنجش از دور را می‌توان در کسب اطلاعات از منطقه‌ای وسیع در یک لحظه‌ی زمانی خاص دانست که امکان انجام آن توسط برداشت‌های میدانی در چنین وسعت مکانی و بازه‌ی زمانی امکان‌پذیر نیست. موقعیت لکه‌های نفتی در محدوده‌های وسیع آب‌ها و همچنین سرعت انتشار آنها در آب را می‌توان با استفاده از سنجش از دور به دست آورد. سنجش از دور همچنین امکان جمع‌آوری اطلاعات را در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف دارا است. بر این اساس لکه‌های نفتی در وسعت‌های کمتر از یک مترمربع تا بیشتر از چندین کیلومتر مربع و بازه‌ی زمانی ساعتی تا ماهیانه قابل بررسی است. سنجنده‌ها بر اساس اینکه منبع انرژی را خود تولید کنند (سنجش از دور فعال) و یا اینکه از منبع انرژی خورشید استفاده کنند (سنجش از دور غیرفعال) و اینکه از چه طول موج‌هایی استفاده کنند، به صورت‌های مختلف در آشکارسازی لکه‌های نفتی کاربرد دارند. مزیت اصلی سنجش از دور فعال از قبیل لیزرها و رادارها، جمع‌آوری اطلاعات در تمام شرایط آب‌وهوایی و تمام ساعات شبانه‌روز است، در حالی که مزیت سنجش از دور غیرفعال از قبیل ماهواره‌های مشاهدات زمینی لندست را می‌توان در دسترسی آسان و رایگان این تصاویر و همچنین دارا بودن اطلاعات گذشته از کره‌ی زمین دانست.

شناسایی لکه‌های نفتی در نواحی طیفی ماورای بنفش، مرئی، مادون قرمز و رادار امکان‌پذیر است و غالباً استفاده از تمامی این نواحی نتیجه‌ی بهتری نسبت به استفاده‌ی تنها از یک ناحیه‌ی طیفی را می‌دهد. [۴] در این مطالعه سنجش از دور غیرفعال در ناحیه‌ی اپتیکی طیف الکترومغناطیس مورد بررسی قرار می‌گیرد.

رفتار طیفی لکه‌های نفتی

سنجش از دور اپتیکی، به معنی سنجش از دور در محدوده‌های ماورای بنفش، مرئی، مادون قرمز انعکاسی و مادون قرمز حرارتی از طیف الکترومغناطیس اطلاق می‌شود. سیستم‌های سنجش از دور اپتیکی مقدار انعکاس یا گسیل از پدیده را ثبت کرده و عمل آشکارسازی بر اساس مطالعه‌ی خواص سطحی آب از قبیل رنگ، انعکاس، دما و زبری سطح انجام می‌شود. [۵] معمولاً فرض بر این است که هرچه مقدار اختلاف انعکاس یا گسیل یک عارضه از محیط اطرافش بیشتر باشد، شناسایی آن عارضه راحت‌تر است.

محدوده‌ی طیف ماورای بنفش شامل طول موج‌هایی به اندازه‌ی ۱۰ نانومتر (حد بالای طیف اشعه‌ی ایکس) تا ۴۰۰ نانومتر (حد پایین طیف مرئی) است. از آنجایی که بر اساس انعکاس تابش خورشیدی عمل کرده، عملکرد آن محدود به روز می‌شود. طیف ماورای بنفش به علت دارا بودن طول موج کوتاه‌تر نسبت به سایر محدوده‌های طیفی مورد استفاده در سنجش از دور، از اثرات اتمسفری (ناشی از وجود

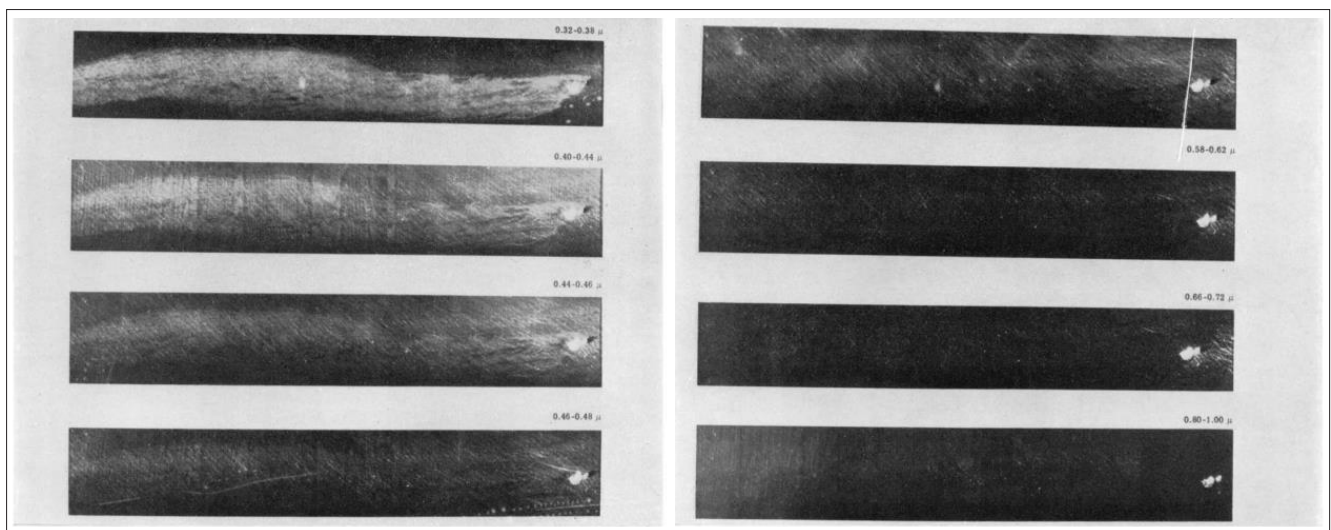
سنجش از دور ابر طیفی معمولا با تعداد زیادی باند با عرض باریک در محدوده‌ی طیف مرئی تا مادون قرمز انعکاسی تعریف می‌شود. [۱۵] این داده‌ها با دارا بودن قدرت تفکیک طیفی بالا (بیشتر از ۵۰ باندها) و قدرت تفکیک مکانی بالا (در حد چندین متر)، با استفاده از تحلیل رفتار طیفی و همچنین الگوریتم‌های موثری از قبیل الگوریتم جداسازی طیفی کاربرد فراوانی در سنجش از دور لکه‌های نفتی دارد. [۱۶ و ۱۷] با این وجود، تفسیر و پردازش این تصاویر، پیچیده بوده و نیاز به استفاده از الگوریتم‌های پردازش پیشرفته دارد. همچنین به دلیل حجم بالای داده، پردازش آنها زمان‌بر بوده و نیاز به امکانات سخت‌افزاری بالا دارد.

در محدوده‌ی مادون قرمز، مادون قرمز حرارتی بیشترین کاربرد را در سنجش از دور لکه‌های نفتی دارد. لکه‌های ضخیم نفت نسبت به آب مجاور، انرژی خورشیدی بیشتری را در محدوده‌ی مادون قرمز حرارتی جذب و گسیل می‌کنند. بر این اساس سنجش از دور حرارتی (۸ تا ۱۴ میکرون) در شناسایی لکه‌های نفتی با ضخامت زیاد (بیشتر از ۷۰ میکرون) و متوسط (بین ۷۰ تا ۱۰ میکرون) می‌تواند مفید باشد. معمولا هرچه ضخامت لکه‌ی نفتی بیشتر باشد، درجه‌ی حرارت ثبت شده بیشتر است و بالعکس. علت دمای کمتر لکه‌های نفتی با ضخامت کمتر را می‌توان در تداخل تخریبی تابش گسیل شده از آب دانست که منجر به تابش حرارتی کمتر می‌شود. بنابراین وجود لکه‌ی نفتی الزاما به معنای افزایش دما نیست و ممکن است دماهای سردتر از آب پس‌زمینه را نیز ثبت کند. شکل ۳ لکه‌های نفتی را در قسمتی از خلیج فارس نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰ ثبت شده است. اشیاء سیاه‌رنگ در وسط و پایین تصویر همان لکه‌های نفتی هستند و قسمت سیاه‌رنگ در بالای تصویر مربوط به جزایر و ساحل می‌باشد. این تصویر با استفاده از سنجنده‌ی ASTER ماهواره ترا ثبت شده است.

در انعکاس آب و نفت و تعدادی از عوامل دیگر، تمایز آنها از هم به سادگی امکان‌پذیر نیست. [۱۲] درخشندگی خورشید و باد از جمله عواملی هستند که تشخیص لکه‌های نفتی از آب را مشکل می‌سازند. گیاهان آبی از قبیل جلبک‌های دریایی نیز شناسایی لکه‌های نفتی را به خصوص در سواحل با خطا همراه می‌سازند. سنجش از دور لکه‌های نفتی در سواحل، پیچیدگی‌های خاص خود را دارد و ساحل آغشته به نفت ممکن است تمایز طیفی منحصر به فردی با قسمت‌های دیگر ساحل نداشته باشد. [۱۳] طیف مرئی به دلایل ذکر شده توانایی چندانی در شناسایی لکه‌های نفتی نداشته اما تفسیر بصری تصویر ماهواره‌ای در این محدوده از طیف الکترومغناطیس می‌تواند احتمال وجود لکه‌های نفتی را با سرعت بیشتری مشخص کند. همچنین در ناحیه‌ی مرئی از عملیات مدل‌سازی ریاضی برای تمیز نفت از آب استفاده فراوان شده است. [۱۴]

از محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک (طول موج‌های بین ۰٫۷۵ تا ۱٫۴ میکرون) استفاده‌ی چندانی در سنجش از دور لکه‌های نفتی نشده است. رفتار طیفی در این ناحیه نیز مشابه آب بوده و کنتراست کمتری نسبت به طول موج‌های کوتاه‌تر وجود دارد.

شکل ۴، تغییرات کنتراست بین لکه‌های نفتی و آب پس‌زمینه را در محدوده‌ی طیف ماورای بنفش تا مادون قرمز نزدیک نشان می‌دهد. این تصویر از ارتفاع ۶۱۰ متری با استفاده از یک اسکنر مکانیکی چند طیفی برداشت شده و منطقه‌ی به طول ۱۳ کیلومتر را پوشش داده است. همچنان که تصویر نشان می‌دهد بیشترین کنتراست بین نفت و آب پس‌زمینه در محدوده‌ی ماورای بنفش (عکس بالا سمت چپ در شکل ۲) است. به تدریج با افزایش طول موج، کنتراست نیز در محدوده‌ی طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک کاهش می‌یابد.



شکل ۴ | تصویر برداشت شده از تنگه‌ی Santa Barba در سال ۱۹۶۹ که لکه‌های نفتی و آب پس‌زمینه را در محدوده‌ی طیف ماورای بنفش، مرئی و مادون قرمز نزدیک نشان می‌دهد. [۸]

تصاویر شب‌هنگام نیز اشاره کرد، هرچند کنتراست بین لکه‌های نفتی و آب پس‌زمینه می‌تواند کمتر از تصاویر روزهنگام باشد. [۱۹] در این ناحیه از طیف نیز پدیده‌هایی از قبیل جلبک دریایی، خط ساحلی و جبهه‌های اقیانوسی می‌توانند باعث خطا در شناسایی لکه‌های نفتی شوند.

نتیجه‌گیری

از آنجا که رفتار طیفی آب و نفت در ناحیه‌ی انعکاسی (ماورای بنفش تا مادون قرمز نزدیک) طیف الکترومغناطیس اختلاف کمی با هم دارند تمیز آنها از یکدیگر کار ساده‌ای نیست. وجود عوارض با رفتار طیفی مشابه از قبیل ساحل نیز مشکلاتی در تمیز لکه‌ی نفتی از آب ایجاد می‌کند. محدوده‌ی ماورای بنفش نزدیک (۰.۳۶ تا ۰.۴ میکرون) نسبت به نواحی با طول موج بلندتر کنتراست بیشتری از خود نشان داده اما با این وجود دارای محدودیت‌هایی از قبیل عدم وجود این باند در اکثر سنجنده‌های هوایی و ماهواره‌ای و همچنین اثر زیاد اتمسفر و مشکلات مربوط به حذف این اثرات است. باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک دارای محدودیت کاهش کنتراست نفت با آب پس‌زمینه بوده و تصاویر مادون قرمز حرارتی نیز دارای محدودیت‌هایی از قبیل نیاز داشتن به اطلاعاتی در مورد ضخامت لکه‌ی نفتی و کم بودن قدرت تفکیک مکانی می‌باشند. با توجه به در دسترس تر بودن باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی و کاهش اثرات اتمسفری نسبت به محدوده‌ی ماورای بنفش، می‌توان با استفاده از تصاویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا و مدل‌های ترکیب طیفی، امکان شناسایی لکه‌های نفتی را در این نواحی از طیف افزایش داد. ■



شکل ۵ | تصویر ماهواره‌ای از لکه‌های نفتی در خلیج فارس در محدوده‌ی مادون قرمز حرارتی در ۲۰۱۰ [۱۸]

سنجنده‌های حرارتی در سنجش امولسیون آب در نفت به‌درستی عمل نمی‌کنند چراکه این امولسیون‌ها هدایت گرمایی بالایی از خود نشان داده و اختلاف دما با آب پس‌زمینه را به حداقل می‌رسانند. لکه‌های نفتی با ضخامت کم (کمتر از ۱۰ میکرون) با استفاده از سنجش از دور حرارتی قادر به شناسایی نیستند. [۱۸] اگرچه بیشتر سنجنده‌ها در محدوده‌ی ۸ تا ۱۴ میکرون، درجه‌ی حرارت سطحی را ثبت می‌کنند اما تحقیقات نشان‌دهنده‌ی آن است که استفاده از محدوده‌ی ۳ تا ۵ میکرون نیز می‌تواند تا حدی مفید باشد. با وجود این که محدوده‌ی طیفی در شناسایی لکه‌های نفتی اهمیت دارد، اهمیت قدرت تفکیک مکانی به‌خصوص در مورد لکه‌های طولی و یا کوچک بیشتر است. همچنین در مورد تصاویر حرارتی می‌توان به اهمیت

منابع

- [1]. Fingas, M.F. and J. Charles, The basics of oil spill cleanup. 2001, Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.
- [2]. Naftema. <http://www.naftema.com/news/118645>. 2019.
- [3]. HamshahriOnline. <https://www.hamshahronline.ir/news/458645>. 2019.
- [4]. Vizy, K.N. Detecting and Monitoring Oil Slicks with Aerial Photos. 1974.
- [5]. Pilžis, K. and V. Vaišis, Oil Spill Detection with Remote Sensors, in Proceedings of the 19th Conference for Junior Researchers „Science – Future of Lithuania“. 2016.
- [6]. Stewart, S., R.L. Spellicy, and F. Polcyn, Analysis of multispectral data of the Santa Barbara oil slick, in Open-File Report. 1973: Reston, VA.
- [7]. Wezernak, C.T. and F.C. Polcyn, Technological Assessment of Remote Sensing Systems for Water Pollution Control. Institute of Science and Technology, University of Michigan, Environmental Protection Agency, Contract No. 16020-FOY, pp. 4-13-4-14., 1971.
- [8]. Estes, J.E. and L.W. Senger, The multispectral concept as applied to marine oil spills. Remote Sensing of Environment, 1971. 2: p. 141-163.
- [9]. Fingas, M. and C. Brown, Review of oil spill remote sensing. Spill Science & Technology Bulletin, 1997. 83: p. 199-208.
- [10]. Munday, J.C., Jr., et al., Oil Slick Studies Using Photographic and Multispectral Scanner Data., Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, the Willow Run Laboratories, University of Michigan, pp. 1027ff., 1971.
- [11]. O'Neil, R.A., R.A. Neville, and V. Thompson, The Arctic Marine Oil Spill Program (AMOP) remote sensing study. Environment Canada Report EPS 4-EC-83-3, Ottawa, Ontario, 1983.
- [12]. Brown, H.M., J.P. Bitner, and R.H. Goodman, The limits of visibility of spilled oilsheens. In: Proceedings of the Second Thematic International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Erim Conferences, III, pp. 327-338. 1996.
- [13]. Adams, J.B. and A.L. Filice, Spectral reflectance 0.4 to 2.0 microns of silicate rock powders. Journal of Geophysical Research, 1967. 72(22): p. 5705-5715.
- [14]. Nie, W. and X. Zhang, Detecting marine oil spill pollution based on borda count method of ocean water surface image. In: 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2012 –Proceedings, 6260531. 2012.
- [15]. Gonzalez, C., et al., Use of FPGA or GPU-based architectures for remotely sensed hyperspectral image processing, integration. VLSI J. 46 (2), 89-103 2013.
- [16]. Boslatter Jr., C.R., H. Frystacky, and F. Levaux, Enhanced Data fusion protocol for surface and subsurface imaging of released oil in littoral zones. In: Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, pp. 808-814 2012.
- [17]. Kokaly, R.F., et al., Spectroscopic remote sensing of the distribution and persistence of oil from the deepwater horizon spill in barataria bay marshes. Remote Sens. Environ. 129, 210-230 2013.
- [18]. Fingas, M. and C. Brown, Review of oil spill remote sensing. Mar Pollut Bull, 2014. 83(1): p. 9-23.
- [19]. Shih, W.-C. and A.B. Andrews, Infrared contrast of crude-oil-covered water surfaces. Opt. Lett. 33 (24), 3019-3021. 2008.