

آشکارش جبهه‌های دمایی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از تصاویر مودیس

هاجر کارمی^۱، محمد اکبری نسب^{۱*}، طاهر صفرراد^۲

۱. دانشگاه مازندران، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، گروه فیزیک دریا، بابلسر

۲. دانشگاه مازندران، دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، بابلسر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۹

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2017.42959](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.42959)

چکیده

جبهه‌های دمایی از اهمیت بالایی در مطالعات دریایی برخوردارند. جبهه‌ها مناطق باریکی هستند که به علت اختلاف در چگالی، شوری یا دما در مرز بین دو توده‌ی آب تشکیل می‌شوند. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های دمای سطح دریای ماهواره‌ی مودیس به صورت ماهانه از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴، با اعمال الگوریتم شناسایی لبه‌ای کنی^۲، جبهه‌های دمایی حوالی ساحل در دریای عمان و خلیج فارس شناسایی شدند. نتایج نشان دادند که حضور جبهه‌ها در ماه‌های پاییزی October، November و December و نیز ماه‌های January و May در ۲۰۱۳ و در ماه‌های November، January و December در ۲۰۱۴ در جنوب ایران محسوس‌تر است. در دریای عمان به علت مونسون زمستانی در ماه‌های سرد سال December، January و February تعداد جبهه‌ها حداقل و به علت مونسون تابستانی در ماه‌های گرم سال یعنی June، July و August تعداد جبهه‌ها حداکثر است. همچنین جبهه‌ی پایدار و منسجمی در نزدیکی اروندرود در خلیج فارس دیده شد که حضورش در ماه‌های سرد سال بیشتر است. در ماه‌های July، August و April این جبهه تقریباً ناپدید می‌شود. جبهه‌ی پایدار دیگر نیز در دریای عمان و در جنوب پاکستان شناسایی شد. بیشترین حضور این جبهه در ۲۰۱۳ در ماه‌های گرم June، September، October و May و در ۲۰۱۴ در June، August و October است.

کلید واژه: الگوریتم کنی، تصاویر ماهواره‌ی مودیس، جبهه‌های دمایی، خلیج فارس و دریای عمان، دمای سطح دریا^۳

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: m.akbarinasab@umz.ac.ir

^۱Canny

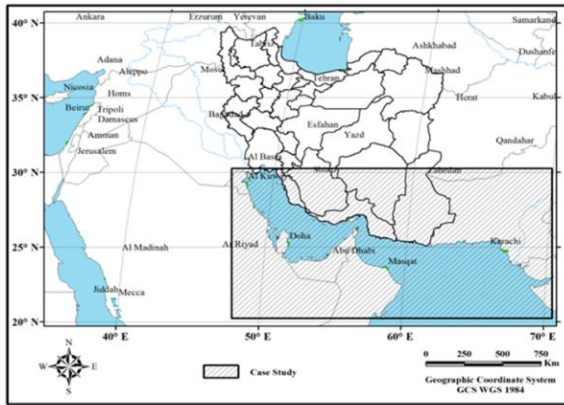
^۲SST

۱. مقدمه

جبهه‌ها مناطق باریکی از فعالیت‌های دینامیکی شدید هستند که نقش مهمی را در روابط بین اتمسفر و اقیانوس ایفا می‌کنند (Hopkins et al., 1981). یک جبهه‌ی اقیانوسی منطقه‌ی باریکی بین دو توده‌ی آب است که در اثر افزایش گرادیان خصوصیات آب نظیر دما، شوری، مواد مغذی و غیره ایجاد می‌شود (Belkin et al., 2009). جبهه‌ها تولیدات زیستی را افزایش می‌دهند. جبهه‌های سطحی دریا، ناشی از اختلاف دما، شوری یا رنگ می‌توانند توسط ماهواره شناسایی شوند (Miller, 2011). به‌علت فرایند تصادفی مکانی و زمانی جبهه‌ها، توصیفشان به صورت ناپیوسته صورت می‌گیرد. از نظر مکانی، جبهه‌ها در مقیاس‌های طولی مختلف از چند متر تا چندین هزار کیلومتر شکل می‌گیرند و از نظر زمانی، ممکن است حضورشان در یک مکان کوتاه مدت (در حد روز) باشد، اما بیشتر جبهه‌ها شبه‌ایستا و گاه فصلی دائمی هستند و ممکن است جبهه‌های مخصوصی نیز در تمام سال در یک مکان حضور داشته باشند (Belkin et al., 2002). گسترش قائم جبهه‌ها از چند متر تا بیش از یک کیلومتر تغییر می‌کند و گاه جبهه‌های اصلی در اقیانوس‌ها تا عمق چهار کیلومتری نیز نفوذ می‌کنند (Belkin et al., 2009). جبهه‌های دمایی سطح اقیانوس از هر دو دیدگاه فیزیکی و زیستی حایز اهمیت هستند. جت‌های جریان چگال‌گرای قوی که با پیچک‌ها به‌هم پیوسته‌اند، غالباً در مناطق جبهه‌های سطحی اتفاق می‌افتند (Holligan, 1981). جبهه‌ی دمایی یک نوع جبهه‌ی اقیانوسی است که نقش حیاتی در اکولوژی اقیانوسی و دریایی ایفا می‌کند. جبهه‌های دمایی و ارتباط آن‌ها با جریان‌ات، انتقال گرما و عملکرد اکوسیستم با اهمیت است. جبهه‌ها با حضور مواد شیمیایی و زیستی همراه و در بسیاری از فرآیندهای اقیانوس‌شناسی شاخص هستند و تاثیرشان بر تمام اشکال زندگی اقیانوسی از میکروب‌ها تا پرندگان و پستانداران مشهود است. تراکم توده‌های فعال زیستی

(فیتوپلانکتون‌ها) که معمولاً در محل جبهه دیده می‌شود، از این موارد است (Ping et al., 2014). در نواحی ساحلی مناطق جبهه‌ای مکان تولید اولیه‌ی فیتوپلانکتون‌ها هستند. جبهه‌ها اطلاعات مهمی نظیر تغییرات دینامیکی و ترمودینامیکی لایه‌های بالاتر آب نظیر جریان‌ها، ادی‌ها، اختلاط آب، رخدادهای فراجوشی و غیره را شامل می‌شوند (Karimova, 2014). اهمیت گسترده‌ی جبهه‌ها را می‌توان تاثیر آن‌ها بر محیط‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی دانست. روش‌های مختلفی همچون مدل‌سازی عددی و سنجش از راه دور برای شناسایی جبهه‌ها وجود دارد. داده‌های سنجنده MODIS می‌توانند برای کسب اطلاعات زیادی از جمله دما، رطوبت جوی، پوشش ابر و خواص آن، ویژگی‌های هواریزها، دمای سطح خشکی و دریا، آتش‌سوزی‌های طبیعی و مصنوعی، توزیع و عمق یخ و برف، رنگ اقیانوس، شاخص‌های گیاهی و غیره به کار روند (Soleimani et al., 2016). برای شناسایی جبهه‌ها، تصاویر ماهواره در باند نور مرئی و فرورسرخ مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن‌جا که شناسایی جبهه‌ها در تصاویر ماهواره به‌طور دستی، خسته‌کننده است؛ محققان الگوریتم‌های مخصوصی را ارائه داده‌اند (Miller, 2011). این روند به صورت نیمه‌خودکار (Simpson, 1990) یا خودکار (Cayula and Cornillon, 1992) صورت می‌گیرد. جبهه‌هایی که در زمان‌های مختلف در یک مکان خاص شناسایی می‌شوند، ویژگی‌های دائمی اقیانوس را بیان می‌کنند. در این رابطه می‌توان بررسی توزیع فراوانی شمشیرماهی^۱ در دریای بالتیک (Kahru et al., 1995) و توصیف فصلی جبهه‌ها را در شمالی‌ترین بخش ایالات متحده (Ullman et al., 2000) نام برد. Legeckis در 1987 اثبات کرد که گوناگونی جبهه‌های SST توسط پدیده‌های فیزیکی مختلفی نظیر همگرایی توده‌های آب، خروجی رودخانه‌ها، اختلاط‌های جزرومدی، فراجوشی و غیره

^۱Swordfish



شکل ۱. موقعیت دریای عمان و خلیج فارس.

۲. مواد و روش‌ها

در این مطالعه از محصولات تصاویر دمای سطحی ماهواره‌ی مودیس آکوا، به صورت ماهانه از January 2013 تا December 2014 استفاده شد. محصولات تصاویر ماهواره‌ی مودیس آکوا، به فرمت hdf است؛ در نرم‌افزار ArcGIS، این داده‌ها را به فرمت رستر تبدیل نموده و روند تغییرات دمای سطحی استخراج گردید (Roberts et al., 2010).

الگوریتم‌های زیادی به منظور آشکار سازی لبه در بحث پردازش تصویر ارایه شده اند. اساس بسیاری از این الگوریتم‌ها و روش‌ها مشتق‌گیری از تصویر می باشد، روش‌های جدیدی همچون روش مورفولوژیکال نیز وجود دارند که از عملگرهای صریح ریاضی و غیر مشتق‌گیری استفاده می کنند. الگوریتم‌کنی از آن دسته روش‌هایی که از مشتق‌گیری روی تصویر استفاده می کنند. نتیجه بهینه از الگوریتم‌کنی زمانی حاصل می شود که پارامترهای آن به صورت بهینه انتخاب شوند. برای شناسایی جبهه‌ها و بررسی ویژگی‌های آن‌ها در مناطق نزدیک ساحل معمولاً از الگوریتم‌کنی و برای جبهه‌های دور از ساحل از الگوریتم^۱ SIED که بر پایه‌ی هیستوگرام بنا شده است، استفاده می‌شود (Wall et al., 2008). الگوریتم‌کنی بسیار حساس به وجود نویز در تصویر است. قبل از آشکارسازی تصویر باید نویز را از تصویر اولیه حذف

ایجاد می‌شود. Ullman و همکاران در سال 2000 از الگوریتم‌کنی برای شناسایی جبهه‌های دمایی در جنوب کالیفرنیا استفاده کردند. خلیج فارس، یک محیط نیمه بسته‌ی کم‌عمق دریایی است که از طریق تنگه‌ی هرمز به دریای عمان وصل می‌شود. بیشترین عمق خلیج فارس ۹۰ متر است، به استثنای تنگه‌ی هرمز که یک عمق ۱۱۰ متری در آن وجود دارد. دمای آب خلیج فارس بین ۳۲-۳۴ درجه سانتی‌گراد در تابستان و بین ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد در زمستان متغیر است. خلیج فارس به عنوان یک خور معکوس عمل می‌کند و آب سطحی تنگه، آب با شوری کمتری می‌باشد که از اقیانوس هند وارد می‌شود. دریای عمان در محدوده‌ای بین ۵۶° تا ۶۰° طول جغرافیایی به طول ۳۶۰ کیلومتر و ۲۲° تا ۲۷° عرض جغرافیایی قرار دارد. هوای خشک منطقه‌ی زیرحاره‌ای همراه با بادهای دائمی و دمای بالا در تابستان، تبخیر آب را در خلیج فارس و دریای عمان زیاد می‌کند. میانگین دمای سالانه آب دریای عمان حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در منطقه‌ی دریای عمان به علت خروجی آب خلیج فارس و نیز نیروی جزرومدی که از دریای عمان اعمال می‌شود، جبهه‌های دمایی مشاهده می‌شوند. این جبهه‌ها در اثر عوامل فیزیکی مختلفی همچون همگرایی توده‌های آب، خروجی رودخانه‌ها، اختلاط‌های جزرومد، فراجوشی و غیره بوجود می‌آیند. به علت طبیعت عمق کم، خلیج فارس شدیداً تحت تاثیر رانش باد، اثرات اصطکاک کف و نیروهای ترموهالاین قرار دارد (Fazelipoor et al., 2016).

هدف اصلی این مقاله شناسایی جبهه‌های دمایی با استفاده از محصولات دمای سطحی تصاویر مودیس و اعمال الگوریتم‌شناسایی لبه‌ای کنی در دریای عمان و خلیج فارس می‌باشد. شکل ۱ محدوده موقعیت دریای عمان و خلیج فارس را نشان می‌دهد.

¹ Single Image Edge Detection

مثبت قطری)، ۹۰ درجه (جهت قائم) و ۱۳۵ درجه (جهت منفی قطری) را می توان برای راستای لبه انتخاب کرد. برای جلوگیری از خطاها در این الگوریتم از دو حد آستانه‌ی بالا (T2) و پایین (T1) استفاده می شود. اگر مقدار پیکسل از T1 کمتر باشد، آن پیکسل به عنوان لبه محسوب نمی شود چنانچه مقدار پیکسل از T1 بیشتر و از T2 کمتر باشد، در یک شرایط خاص می تواند به عنوان لبه محسوب شود. آن شرایط خاص این است که بتوان اتصال بین آن پیکسل و پیکسل های لبه ایجاد کرد. اگر مقدار پیکسل از T2 بیشتر باشد، آن پیکسل به عنوان لبه در نظر گرفته می شود.

مراحل شکل ۲ در محیط مطلب کد نویسی شده است.

۱- حذف نویز و هموار نمودن تصویر

۲- انتخاب ماسک نمونه

۳- محاسبه‌ی مقدار گرادیان

۴- محاسبه‌ی راستای لبه

۵- نازک کردن

۶- انتخاب آستانه

۷- شناسایی لبه

شکل ۲. شناسایی لبه با الگوریتم کنی.

۳. نتایج

با اعمال الگوریتم کنی به مدت دو سال به صورت ماهانه بر روی تمام تصاویر موجود، جبهه‌ها به صورت ماهانه در محیط GIS استخراج گردیدند. قدرت تفکیک مکانی در این تصاویر ۴/۶۴ کیلومتر است. لبه‌ها ممکن است به شکل‌های گوناگونی شناسایی شوند؛ بلند و نازک یا انشعایی و کوتاه و یا لکه‌مانند. مونسون هند مهمترین سیستم مونسون جهان است که بر هند و آب‌های اطرافش اثر می‌گذارد. این باد از سمت شمال شرق در طول ماه‌های سرد می‌وزد و وزش آن به سمت جنوب غرب در طول ماه‌های گرم

کرد. برای این کار می توان از فیلتر گوسین^۱ یا یک ماسک ساده استفاده کرد. هر چه عرض ماسک گوسین بزرگتر باشد، حساسیت به نویز آشکار ساز کمتر است. یک حد آستانه‌ی T که عدد حقیقی بین صفر و یک است، در نظر گرفته می شود و سپس برای نقاطی که مقدار گوسین آن‌ها از T کوچکتر است؛ معادله $T = \exp(-x^2(2 \times \sigma^2))$ مورد استفاده قرار می گیرد. درجه‌ی هموارسازی را سیگما تعیین می کند. از این معادله مقدار

$$Shalf = Round(\sqrt{\log T \times 2 \times \sigma^2})$$

را محاسبه کرده و در نهایت اندازه‌ی ماسک بهینه $2 \times Shalf + 1$ می باشد. سیگمای بزرگتر موجب می شود نویز بهتر فیلتر شود ولی باعث تار شدن و جابه جایی لبه و سیگمای کوچکتر باعث ایجاد لبه‌های کاذب می شود. بهترین مقدار برای اندازه‌ی فیلتر مشخص نیست. مقدار sigma نباید کمتر از ۰/۵ باشد؛ در غیر این صورت اندازه‌ی ماسک کمتر از ۳ به دست می آید که برای یافتن گرادیان منطقی نیست. در این مطالعه این مقدار برابر با ریشه‌ی دوم عدد ۲ در نظر گرفته شد. پس از نرم کردن تصویر و حذف نویز، گام بعدی مشخص کردن قدرت لبه یا گرفتن گرادیان از تصویر است. این کار را می توان توسط الگوریتم سوبل، در دو راستای X و Y، انجام داد. سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر، مقدار گرادیان برای هر بلوک محاسبه می شود:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

اندازه و مقدار G نشان دهنده‌ی قدرت لبه است. با استفاده از رابطه‌ی زیر، برای هر بلوک راستای لبه تعیین می شود:

$$\theta = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{G_x}{G_y} \right)$$

باید توجه داشت که در تصویر، هر راستایی را نمی توان به عنوان راستای لبه در نظر گرفت. بلکه تنها زوایای صفر درجه (جهت افقی)، ۴۵ درجه (جهت

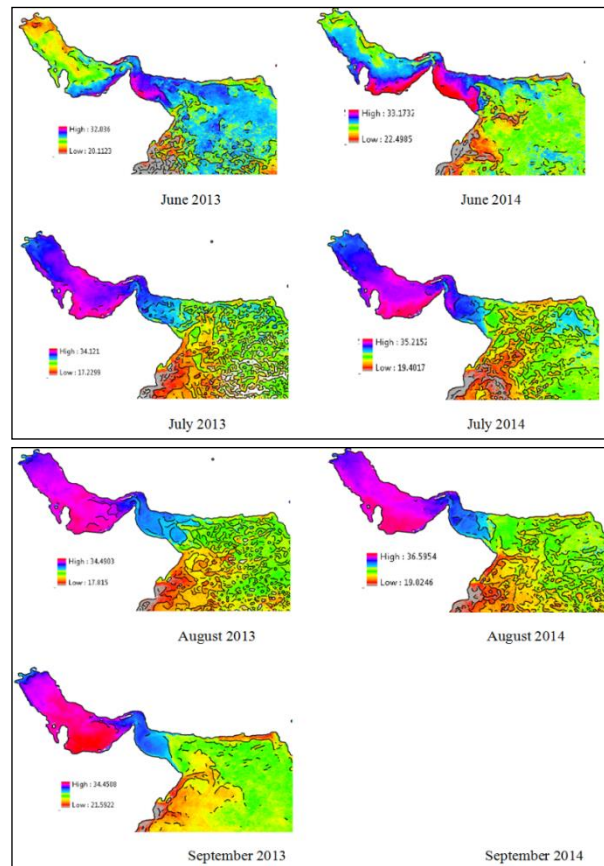
^۱Gaussian

اهمیت هستند که تقریباً در تمام ماه‌های سال دیده می‌شوند. یک جبهه‌ی بسیار بلند نیز در ۲۲ کیلومتری سواحل جنوبی پاکستان دیده می‌شود. دو جبهه‌ی خلیج فارس در June 2014 نیز دیده می‌شوند. این جبهه در June یک جبهه‌ی پایدار ماهانه است. انسجام جبهه‌ی بلند در سواحل پاکستان در June 2014 به هم می‌خورد و جای آن را چند جبهه‌ی پراکنده می‌گیرد. جبهه‌ی تنگه‌ی هرمز در این ماه به سمت خلیج فارس کشیده شده است. در July 2013 تعداد جبهه‌های خلیج فارس به حداقل رسیده، اما سواحل جنوبی دریای عمان مملو از جبهه است. در این ماه جبهه‌های دریای عمان خود را به نزدیکی سواحل ایران نیز رسانده‌اند. دریای عمان در این زمان دارای جبهه‌های بسیار پراکنده و خوشه‌ای است؛ اما در خلیج فارس تنها چندین جبهه‌ی لکه مانند دیده می‌شود. این روند در July 2014 نیز دیده می‌شود. جبهه‌ی تنگه‌ی هرمز در این ماه در هر دو سال به سمت دریای عمان در حرکت است. در August سال‌های 2013 و 2014 نیز حضور و رفتار حرکتی جبهه‌های دمایی مانند ماه قبل است. در September 2013 جبهه‌ی پایدار در نزدیکی اروندرود، در خلیج فارس منسجم‌تر و بلندتر از دو ماه قبل دیده می‌شود. تعداد جبهه‌های نزدیکی تنگه هرمز افزایش یافته و تا ۱۸ کیلومتری سواحل ایران در خلیج فارس پیش می‌روند. تعداد جبهه‌های دریای عمان در این ماه کاهش یافته و جبهه‌ی سواحل پاکستان منسجم‌تر ظاهر می‌شود. خلیج فارس در ماه July و August در هر دو سال دارای حداقل جبهه است، در حالی که بیشترین حضور جبهه‌ها در این ماه در دریای عمان است.

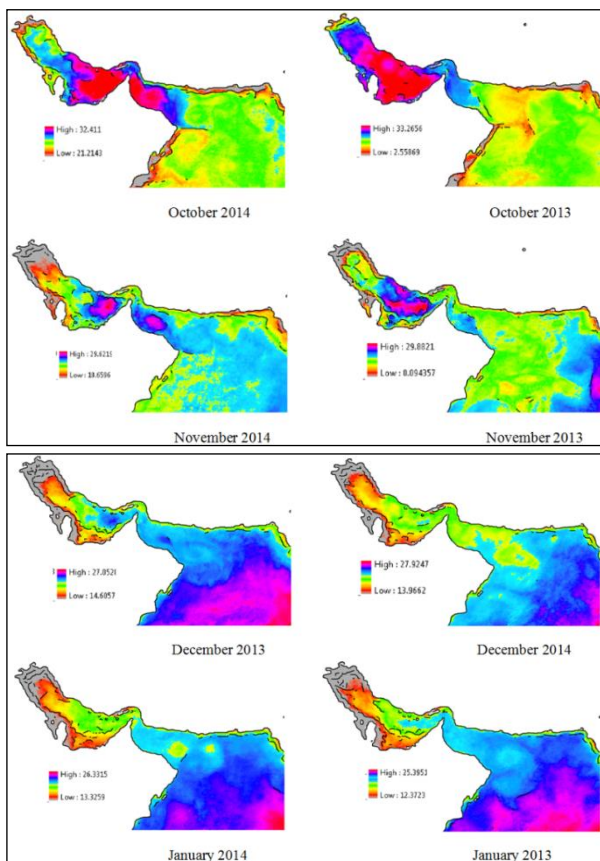
سال معکوس می‌شود. این بادها به دو قسمت تابستانی و زمستانی تقسیم می‌شوند. رابطه‌ی بین مونسون و شکل‌گیری جبهه‌های دمایی در تحقیقات زیادی به چشم می‌خورد (Puthezhath, 2014). به علت تاثیرگذاری این پدیده بر آب‌های اطرافش، تصاویر ماهانه‌ی جبهه‌های دمایی در سه دوره‌ی چهارماهه شامل مونسون تابستانی June تا September، مونسون زمستانی October تا January و ماه‌های پیش از مونسون February تا May طبقه‌بندی و ویژگی هر یک توصیف شده است. هدف، شناسایی جبهه‌هایی تا ۱۰۰ کیلومتری نزدیک ساحل است. مقدار آستانه‌ی بالا برای الگوریتم کنی در این تصاویر جهت شناسایی جبهه‌های دمایی برابر با ۶ درجه‌ی سانتیگراد و مقدار آستانه‌ی پایین برابر با ۰/۳ درجه‌ی سانتیگراد در نظر گرفته شده است. این مرحله از کار با فراخوانی نرم‌افزار متلب صورت می‌گیرد. الگوریتم کنی از دو آستانه‌ی بالا و پایین برای شناسایی لبه‌ها استفاده می‌کند. این الگوریتم آستانه‌ی بالا را برای پیدا کردن "لبه‌های قوی"، و آستانه‌ی پایین را برای شناسایی "لبه‌های ضعیف" به کار می‌برد. برای تعیین این مقادیر، نرم‌افزار مقادیر پیش‌فرضی را تعبیه کرده است. اما چنانچه کاربر به دنبال پدیده‌ای خاص باشد و این پدیده را با روش اتوماتیک در نرم افزار شناسایی نکند، از روش آزمون و خطا استفاده می‌شود. باید توجه داشت که افزایش مقدار آستانه‌ی بالا و یا کاهش مقدار آستانه‌ی پایین، می‌تواند منجر به شناسایی جبهه‌های کاذب شود.

شکل ۳، جبهه‌های شناسایی شده در دریای عمان و خلیج فارس را در این ماه‌ها در سال‌های 2013 و 2014 نشان می‌دهد. رنگ مشکی در این شکل‌ها معرف جبهه‌های دمایی می‌باشد. تصویر SST ماه September 2014 به علت در دسترس نبودن تصویر، مورد بررسی قرار نگرفت. در June 2013 خلیج فارس دارای یک دوجبه‌ای منظم، تقریباً در ۵۰ کیلومتری ورودی اروندرود است. این دو جبهه از این لحاظ حایز

جبهه‌ی نسبتاً پایدار و منسجم دیده می‌شود. جبهه‌ی تنگه‌ی هرمز به سمت خلیج فارس در حرکت است. جبهه‌های نزدیک عربستان و کویت در این سال نیز حضور دارند. در November 2013 جبهه‌های ماه قبل به شکلی متفاوت‌تر نمایان شده‌اند. تعداد جبهه‌های جنوبی خلیج فارس از این ماه رو به افزایش است. این جبهه‌ها در نزدیکی تمام کشورهای عربی جنوب ایران مشاهده می‌شوند. در همین ماه در 2014، تعداد جبهه‌های جنوبی خلیج فارس افزایش یافته و شکل آن‌ها گسترده‌تر و پراکنده‌تر شده‌است. در December 2013 و January 2014 همین روند به شکلی مشابه، ادامه دارد. به طور کلی از October تا January جبهه‌ها از نظر طول و انسجام روندی افزایشی در خلیج فارس و روندی کاهشی را در دریای عمان، طی می‌کنند.



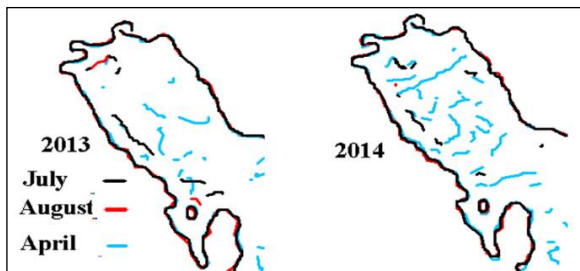
شکل ۳. تغییرات مکانی ماهانه‌ی جبهه‌های دمایی (رنگ مشکی) در طول مونسون تابستان.



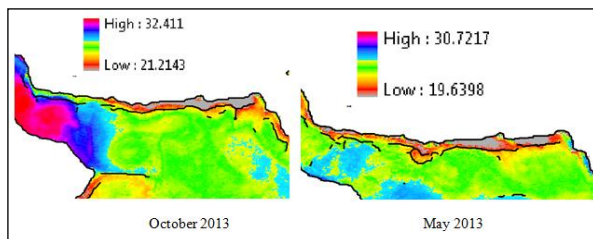
شکل ۴. تغییرات مکانی ماهانه‌ی جبهه‌های دمایی (رنگ مشکی) در طول مونسون زمستان

شکل ۴، تغییرات مکانی جبهه‌های دمایی خلیج فارس و دریای عمان را در October تا January سال‌های 2013 و 2014 نشان می‌دهد. رنگ مشکی در این شکل‌ها معرف جبهه‌ی دمایی می‌باشد. در October 2013 با کاهش دما، جبهه‌های زیادی در نزدیکی سواحل جنوبی ایران در هر دو خلیج دیده می‌شوند. جبهه‌ی پایدار اروند در این ماه منسجم و بلند بوده و تا ۲۰ کیلومتری سواحل ایران پیش رفته‌است. این جبهه از سواحل بندر دیلم تا کویت به صورت منحنی کشیده شده است. یک جبهه‌ی بلند و منسجم دیگر نیز در سواحل عربستان به چشم می‌خورد. جبهه‌ی تنگه‌ی هرمز در این ماه به صورت پراکنده و لکه‌مانند مشخص است. در دریای عمان جبهه‌ی پایدار نزدیک سواحل پاکستان و سواحل ایران مشاهده می‌شود. در October 2014 جبهه‌ی اروند به شکل سه

جنوب پاکستان شناسایی شد. بیشترین حضور این جبهه در 2013 در ماه‌های گرم September, June و October و در 2014 در June, August و October است. امتداد این جبهه‌ی پایدار و منحصربه-فرد در 2013 طولانی‌تر است، به طوری که در May و October در 2013 تقریباً کل مناطق جنوبی دریای عمان را پوشش می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۶. شناسایی جبهه‌های دمایی خلیج فارس در ماه‌های July, August, April و 2013 و 2014.

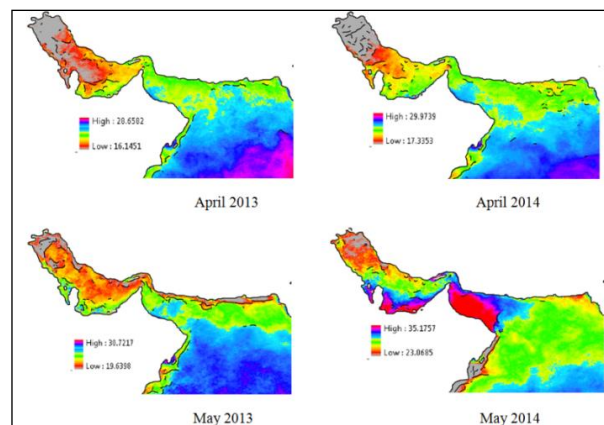


شکل ۷. شناسایی جبهه‌های دمایی دریای عمان در October 2013 و May 2013

این جبهه در اثر فراجوشی‌های ساحلی در این مناطق حاصل می‌شود که در نتایج تحقیقات دیگر نیز به چشم می‌خورد. شکل ۸، نمونه‌ای از تطابق شناسایی جبهه‌ها در این مناطق با فراجوشی‌های ساحلی را نشان می‌دهد.

شکل ۹، سیمای کلی رژیم گردش آب در خلیج فارس را توسط Reynolds در سال 1993 نشان می‌دهد. در این شکل تشکیل جبهه‌ی سواحل بوشهر در اثر فراجوشی و جبهه‌ی عربستان، ناشی از پلوم رودخانه‌های جنوبی خلیج فارس بیان شده است. Reynolds سواحل شمالی امارات و قطر را منطقه‌هایی با شوری

از February تا May در خلیج فارس و دریای عمان در هر دو سال حضور جبهه‌ها کمتر، کوتاه‌تر و لکه‌مانند شده‌اند. در February سال‌های 2013 و 2014 جبهه‌ی پایدار ارونند، بلند و منسجم در خلیج فارس حضور دارد. جبهه‌ی پایدار پاکستان به شکلی کوتاه دیده می‌شود. تعداد جبهه‌ها در March سال‌های 2013 و 2014 به حداقل رسیده است. جبهه‌ی پایدار پاکستان در این ماه در سال 2014 دیده نمی‌شود و در 2013 طولی نزدیک به ۳۸ کیلومتر دارد. حضور جبهه‌ها در March هر دو سال نیز مانند ماه قبل است. با گرم شدن هوا از آغاز ماه April تعداد جبهه‌ها افزایش می‌یابد. ماه May 2013 با حضور چشم‌گیر جبهه‌ها همراه است. جبهه‌ی پایدار پاکستان به بلندترین طول خود می‌رسد و تقریباً کل سواحل ایران را پوشش می‌دهد. در همین ماه از سال 2014 این جبهه کوتاه و لکه‌مانند است و طولی در حدود ۳۸ کیلومتر دارد که تا ساحل نزدیک به ۲۸ کیلومتر فاصله دارد.



شکل ۸. تغییرات مکانی ماهانه‌ی جبهه‌های دمایی (رنگ مشکی) در طول ماه‌های پیش از مونسون.

در این بخش نتایج، با نتایج حاصل از مطالعات دیگر مقایسه می‌شود. شکل ۶ حضور این جبهه‌ها را در ماه‌های July, August و April برای هر دو سال نشان می‌دهد. یک جبهه‌ی پایدار نیز در دریای عمان و در

بالا معرفی کرد. در این نواحی جبهه های دمایی توسط

هنوز مشخص نشده است.

الگوریتم کنی آشکار شدند. دلیل پیدایش این جبهه

جدول ۱. مکان های ایجاد جبهه در ماه های مختلف در دو سال.

نام جبهه ماه	جبهه ی اروند	جبهه ی بوشهر	سواحل قطر و بحرین	جبهه ی عربستان	جبهه ی امارات	جبهه ی تنگه ی هرمز	جبهه ی پاکستان
June	دوجبهه ی موازی و منسجم	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	منسجم، کوتاه، در دهانه ی تنگه	تقریبا بلند، منسجم
July	ندارد	ندارد	ندارد	منسجم	ندارد	منسجم، کوتاه، در دهانه ی تنگه	بلند و منسجم
August	ندارد	ندارد	ندارد	بلند و منسجم	ندارد	منسجم، کوتاه، در دهانه ی تنگه	پراکنده و در حال دورشدن از ساحل
September	پیوسته و بلند	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	منسجم و بلند	پراکنده و در حال دورشدن از ساحل
October	بلند و منسجم	ندارد	ندارد	بلند و منسجم	ندارد	ندارد	منسجم و بلند، پیشروی تا سواحل ایران
November	سه جبهه - ی بلند و منسجم	ندارد	ندارد	بلند و منسجم	ندارد	منسجم و کوتاه	تقریبا منسجم در سواحل پاکستان
December	شاخه های و پراکنده	بلند و منسجم	بلند و منسجم	پراکنده	پراکنده و لکه مانند	ندارد	کوتاه
January	بلند و منسجم	بلند و منسجم	بلند و منسجم	بلند و منسجم	پراکنده	ندارد	پراکنده
February	بلند و منسجم	ندارد	بلند و منسجم	ندارد	ندارد	ندارد	کوتاه و پراکنده
March	کوتاه و پراکنده	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
April	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	بلند، پراکنده و شاخه ای	ندارد	ندارد
May	بلند و منسجم	ندارد	ندارد	بلند و منسجم	بلند، پراکنده و	بلند و منسجم	بلند، منسجم، پیشروی تا

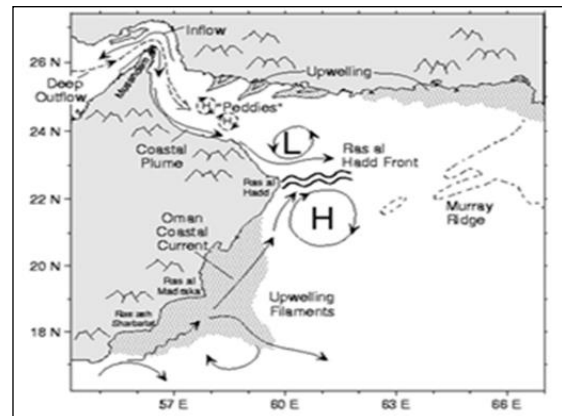
					شاخه‌ای	سواحل ایران
--	--	--	--	--	---------	-------------

۴. نتیجه‌گیری

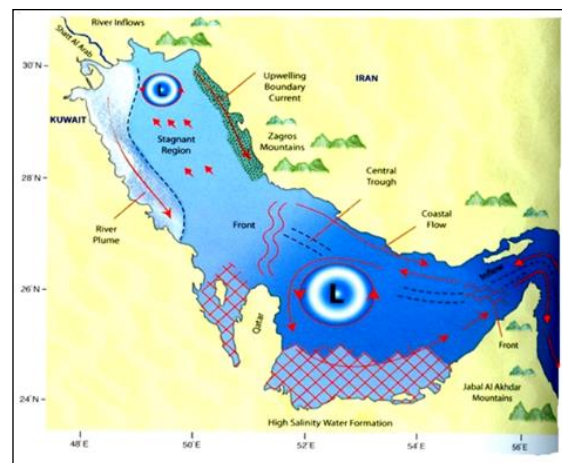
در این مطالعه با استفاده از روش نیمه‌اتوماتیک و الگوریتمی موسوم به کنی جبهه‌های دمایی خلیج فارس و دریای عمان در دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ شناسایی و به صورت ماهانه بررسی شد. حداقل حضور جبهه‌ها در خلیج فارس در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ در ماه‌های March و August و حداکثر حضورشان در این منطقه در December و January است. در دریای عمان در ماه‌های سرد سال نظیر December، January و February حداقل جبهه و در ماه‌های گرم سال یعنی June، July و August تعداد جبهه‌ها حداکثر است. یک جبهه‌ی پایدار در حوالی ورودی اروندرود در خلیج فارس مشاهده شد. طول این جبهه در بلندترین حالت منحنی شکل خود در October ۲۰۱۳ به ۱۷۰ کیلومتر می‌رسد و در نزدیکترین حالت، ۲۲ کیلومتر از دهانه‌ی اروندرود فاصله دارد و در ۲۰۱۴ در اکتبر بلندترین طول را که به ۱۷۷ کیلومتر می‌رسد، داراست. جهت‌گیری این جبهه از بنادر جنوبی ایران نظیر دیلم تا بنادر کویت است. حضور این جبهه در ماه‌های سرد سال محسوس‌تر است. در ماه‌های July، August و April در هر دو سال، این جبهه تقریباً ناپدید می‌شود.

منابع

- Belkin IM., Nybakken JW., Broenkow WW. and Vallier TL. 2002. Inter disciplinary Encyclopedia of Marine Sciences. 433-436.
- Belkin IM., Cornillon PC. and Sherman, K. 2009. Fronts in large marine ecosystems. Progress in Oceanography. 81: 223-236.
- Canny JF. 1986. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 679-69.
- Cayula JF. and Cornillon P. 1992. Edge detection algorithm for SST images. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 6:67-80.



شکل ۸. جبهه‌ها دریای عمان (Johns et.al, 1999).



شکل ۹. سیمای کلی رژیم گردش آب در خلیج فارس (Reynolds, 1993).

در جدول ۱ مکان‌های ایجاد جبهه‌های بارز در این دو سال به طور کلی نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌کنید، مکان این جبهه‌ها بیشتر در راستای جریان چگالی خلیج فارس که به صورت پادساعت‌گرد می‌باشد، قرار دارد. جبهه‌ی اروندرود نیز به دلیل خروجی آب شیرین اروندرود به خلیج فارس ایجاد می‌شود که جهت حرکت این پلوم در ماه‌های مختلف، متفاوت است و بستگی به جهت باد منطقه دارد. برای آشکارش دقیق این پلوم نیاز به تصاویر با قدرت تفکیک بالاتر و اعمال الگوریتم‌های پیشرفته بر روی این تصاویر است.

- relationship between SST and depth in the Persian Gulf by MODIS. *Khorramshahr Journal of Marine*, 15:130-142.
- Holligan PM. 1981. Biological implications of fronts on the northwest European continental shelf. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 302:547-562.
- Hopkins J., Challenor P. and Shaw, AG. 2010. A new Statistical Modeling approach to ocean front detection from SST satellite images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 139:365-385.
- Johns WE., Jacobs GA., Kindle JC., Murray SP. and Carron M. 1999. Arabian marginal seas and gulfs. Naval research lab Stennis space center MS oceanography DIV.
- Kahru M., Håkansson B. and Rud O. 1995. Distributions of the sea-surface temperature fronts in the Baltic Sea as derived from satellite imagery. *Continental Shelf Research*.15: 663-679.
- Karimova S. 2014. Front detection in MODIS imagery of the Black Sea. In 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium. 4404-4407.
- Legeckis R. 1978. A survey of worldwide sea surface temperature fronts detected by environmental satellites. *Journal of Geophysical*. 83:4501-4522.
- Miller PI. 2011. Detection and visualisation of oceanic fronts from satellite data, with applications for fisheries, marine megafauna and marine protected areas. *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management*, EU PRESPO and IOCCG, Dartmouth, Canada. 229-239.
- Ping B., Su F., Meng Y., Fang S. and Du, Y. 2014. A model of sea surface temperature front detection based on a threshold interval. *Acta Oceanologica Sinica*. 33: 65-71.
- Fazelpoor K., Dadollahi Sohrab A., Elmizadeh H., Asgari HM. and Khazaei SH. 2016. The evaluation of sea surface temperature and the Puthezhath AS. 2014. Identification of thermal fronts in the Arabian sea using MODIS-SST data. Ph.D. Thesis. Kerala university of fisheries and ocean studies, India. 76p.
- Reynolds RM. 1993. Physical Oceanography of the Persian Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman. Results from the Mt Mitchell Expedition. *Ma. Marine Pollution Bulletin*. 27:35-59.
- Roberts JJ., Best BD., Dunn, DC., Treml, EA. and Halpin PN. 2010. Marine Geospatial Ecology Tools: An integrated framework for ecological geoprocessing with ArcGIS, Python, R, MATLAB, and C++. *Environmental Modelling & Software*.25: 1197-1207.
- Simpson J J. 1990. On the accurate detection and enhancement of oceanic features observed in satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 33:17-33.
- Soleimany A., Asgari HM., Sohrab AD., Elmizadeh H. and Kazaei H. 2016. Evaluation of optical from MODIS satellite imagery in the Persian Gulf. *Khorramshahr Journal of Marine*, 14:75-83.
- Ullman DS. and Cornillon PC. 2000. Evaluation of front detection methods for satellite-derived SST data using in situ observations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 17:1667-1675.
- Wall CC., Muller-Karger FE. Roffer, MA., Hu C., Yao W., and Luther ME. 2008. Satellite remote sensing of surface oceanic fronts in coastal waters off west-central Florida. *Remote Sensing of Environment*.112: 2963-2976

Detection coastal thermal fronts in the Persian Gulf and the Oman Sea using MODIS images

Hajar Karami¹, Mohammad Akbarinasab^{1*}, Taher Safarad²

¹. Physical Oceanography, University of Mazandaran, the physical oceanography Group Babolsar, Iran.

². University of Mazandaran

Abstract

Temperature fronts are important in marine studies. Sea fronts are sharp boundaries between different water masses. For this study different time series of MODIS level-3 thermal IR SST data from 2013-2014 has been processed and thermal fronts the of Persian Gulf and the Oman Sea (47.6°E to 67.7°E and 18°N to 31°N) region mapped using the method, the Canny algorithm and Gaussian filter. Monthly thermal front images of this region are mapped during the period of January 2013 to June 2014 are classified into Summer Monsoon (June, July, August, September), Winter Monsoon (October, November, December, January) and Pre Monsoon (February, March, April, May) periods and their characteristics are discussed here. The results show that high frequency of SST fronts was observed in the Oman Sea and Persian Gulf in October, November, December, January and May in 2013 year and January, November and December in 2014 year. The number of fronts increases since the beginning of winter to early spring and the beginning of fall, too. The remaining these fronts move with current toward the Arabian Sea and Indian Ocean at the beginning of the summer monsoon. Sustainable and cohesive front was seen near the Arvand River in the Persian Gulf that is presents in the cold months more. This front will disappear in the months of July, August and April 2013 and 2014. The other stable front is in the Oman Sea in southern Pakistan. Most of the front are presenting in the warmer months of June, September, October in 2013 and in June, August and October in 2014.

Key words: Canny algorithm, MODIS satellite, Thermal fronts, Oman Sea and Persian Gulf, SST.

Title of Figures

- Fig 1. Location Map (the Oman Sea and the Persian Gulf).
- Fig 2. Flow chart for identifying edge with canny algorithm.
- Fig3. Monthly spatial variability of thermal fronts (black line) during summer monsoon.
- Fig4. Monthly spatial variability of thermal fronts (black line) during winter monsoon.
- Fig5. Monthly spatial variability of thermal fronts (black line) during Pre monsoon.
- Fig6. Identifying of thermal fronts during months July, August and April (2013-2014).
- Fig7. Identifying of thermal fronts during months May and October (2013).
- Fig8. The fronts of Oman Sea Johns et.al, (1999).
- Fig9. Pattern of circulation of the Persian Gulf (Reynolds, 1993).

Title of Tables

Table 1. Positions of thermal fronts during different months.

^{1*}Corresponding author, E-mail:m.akbarinasab@umz.ac.ir