

مطالعه پدیده فراجوشی ساحلی در سواحل ایرانی خلیج عمان با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور

ندا آصف‌جاه^۱، مسعود صدری‌نسب^{۲*}، امیر اشتری لرکی^۳، محمد اکبری‌نسب^۴

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر

nedaasefja@gmail.com

masoud.sadri@ut.ac.ir

ashtari@kmsu.ac.ir

m.akbarinasab@umz.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران

^۳ استادیار، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر

^۴ استادیار، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر

تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۸

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۸

چکیده

در مطالعه حاضر، وقوع فراجوشی بخش شمالی خلیج عمان در سال ۲۰۱۲ بررسی شد که از داده‌های دمای سطح دریا مربوط به سنجنده مودیس، دمای سطح دریا ثبت شده بویه چابهار، مربوط به سازمان بنادر و دریانوردی، سرعت و جهت باد ایستگاه هواشناسی چابهار و ECMWF، متوسط روزانه دمای آب دریا در ترازهای مختلف HYCOM+NCODA استفاده شد. با مقایسه داده‌های ثبت شده بویه چابهار، رابطه‌ای برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای دمای سطح دریا استخراج شد و از آن‌ها برای تصحیح داده‌ها در روزهای ۶ فوریه و ۳۰ دسامبر (۲۰۱۲) استفاده شد. گلباد ایستگاه هواشناسی چابهار برای روزهای گفته شده، نشان‌دهنده باد ماندگار شمالی، در امتداد ساحل ایرانی در شمال خلیج عمان است. تغییرات نمودارهای دما در ترازهای مختلف و منحنی گرمایش، نشان‌دهنده وقوع فراجوشی در روزهای گفته شده است. در ۶ فوریه، آب سردتر نسبت به آب سطحی با دمای حدود ۲۱°C از ترازهای پایین‌تر بالا آمده و تا فاصله حدود ۱۸ کیلومتری دور از ساحل گسترش یافته و در روز ۳۰ دسامبر، آب سرد با دمای حدود ۲۴°C از ترازهای پایین‌تر بالا آمده و تا فاصله حدود ۱۲ کیلومتری دور از ساحل گسترش یافته است. آب بالا آمده در روز ۶ فوریه مربوط به ترازهای پایین‌تری است که این موضوع با توجه به گلبادهای رسم شده و بیشتر بودن سرعت باد، مطابق انتظار بود.

واژه‌های کلیدی: خلیج عمان، دمای سطح دریا، فراجوشی ساحلی، داده‌های سنجش از دور

۱. مقدمه

وجود نیروی اصطکاک سبب می‌شود تا وزش باد در سطح اقیانوس‌ها و دریاها، آب را جابه‌جا کرده و جریان‌های افقی تولید کند. توأم با این جریان‌های افقی، در محدوده وزش باد، جریان‌های عمودی نیز ایجاد می‌شود. جهت وزش باد و موقعیت جغرافیایی محدوده وزش، جهت جریان‌های عمودی را تعیین می‌کند [۱]. وزش باد در سطح اقیانوس یا دریا، اگر از انرژی و قدرت لازم برخوردار باشد، می‌تواند سبب واگرایی یا همگرایی توده آب شود. تمایل در رسیدن به حالت تعادل، سبب جابه‌جایی عمودی توده آب می‌شود. آب جابه‌جا شده باید با یک توده آبی جایگزین شود [۲].

اگر وزش باد سبب واگرایی آب‌های لایه سطحی شود، جایگزین آن باید از آب‌های لایه پایینی تأمین شود به طوری که آب جایگزین، حرکت رو به بالا از عمق به سطح را خواهد داشت. طی این فرایند، آب‌های لایه‌های زیرین که اغلب سردتر و چگال‌ترند به سمت بالا حرکت می‌کنند، البته این امر سبب انتقال مواد آلی و مغذی از عمق به سطح می‌شود. این پدیده، فراجوشی نامیده می‌شود و پدیده‌ای است که در بسیاری از مکان‌ها، در اقیانوس‌ها و سواحل دریاها از جمله خلیج عمان اتفاق می‌افتد [۳]. وقوع فراجوشی آب سرد و مغذی در یک نوار ساحلی باریک به افزایش بهره‌وری از دریا منجر می‌شود، همچنین سبب تغییرات آب و هوایی در خشکی مجاورش می‌گردد [۴]. در نیمکره شمالی، وزش باد ماندگار در امتداد ساحل (به طوری که ساحل سمت چپ باد قرار بگیرد)، تنش سطحی ایجاد شده با نیروی کوریولی، سبب انتقال جرم اکمن^۱ در امتداد عمود بر ساحل و به سمت دریا خواهد شد [۵]. آب جابه‌جا شده با آب‌های زیرین از لایه اکمن طی یک فرایند انتقال عمود بر راستای باد، جایگزین آب سطحی که از ساحل دور شده است، می‌شود. این پدیده با بالا آمدن آب از ترازهای پایین، سبب تعدیل حرارتی آب‌های سطحی مناطق فراجوشی می‌شود. فراجوشی یکی از ویژگی‌های خلیج عمان است. فراجوشی ساحلی ناشی از باد پایدارترین و غنی‌ترین اکوسیستم‌های ساحلی را به وجود می‌آورد که منابع طبیعی بزرگی از ماهیان را برای شیلات به

ارمغان می‌آورد [۶]. خلیج عمان در مرزهای جنوبی ایران واقع است. در حقیقت این دریا پیشرفتگی آب در خشکی است از این رو بهتر است که خلیج عمان نامیده شود. در سمت غربی این دریا، خلیج فارس قرار دارد که از طریق تنگه استراتژیک هرمز به خلیج عمان متصل شده است [۷]. باد نقش مهمی در جابه‌جایی توده‌های هوای مرطوب دارد و یکی از عوامل مهم در ایجاد بارندگی و تبخیر است [۸]. در خلیج عمان به علت وزش بادهای موسمی هند، گاه پیشروی مراکز کم فشار و جبهه استوایی از اقیانوس هند به خلیج عمان طوفان‌های شدیدی را در این دریا و ساحل آن سبب می‌شود [۹].

اغلب طوفان‌های حاره‌ای دریای عربی به دو دسته با ماکزیمم سرعت باد تقسیم می‌شوند [۱۰].

الف: طوفان‌های حاره‌ای^۲ که سرعت باد در آن‌ها بین ۳۴ تا ۴۸ نات است؛

ب: گردباد یا تندباد^۳ که سرعت باد در آن‌ها از ۴۸ تا بیشتر است.

مهم‌ترین پدیده‌ای که در ناحیه اقیانوس هند شمالی و به ویژه دریای عربی وجود دارد "مونسون" است. گرچه این پدیده روی خلیج عمان به مانند دریای عربی اثرگذار نیست، اما مونسون‌ها در این دریا نیز از اهمیت برخوردارند [۱۱].

همچنین وجود منطقه کم فشار تابستانی در جنوب فلات ایران باعث وزش بادهای شمال غربی در بعد از ظهرها می‌شود. بادهای غالب خلیج عمان به دو نوع تقسیم می‌شوند [۱۲]:

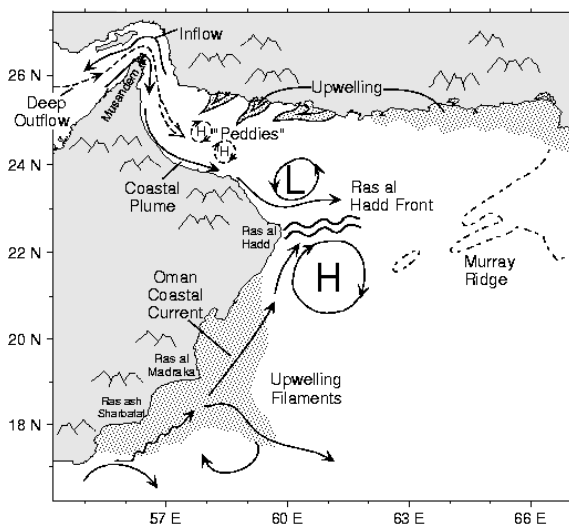
۱. بادهای محلی یا بادهای مانسون که خلیج عمان را در دو دوره آذر تا بهمن و اردیبهشت تا مهر تحت تأثیر قرار می‌دهند و در این فاصله زمانی خلیج عمان متلاطم و مواج است. بادهای موسمی در تغییر دمای منطقه اهمیت ویژه‌ای دارند؛

۲. توفان‌ها و تندبادهای حاره‌ای مانند وقوع توفان حاره‌ای گنو که آخرین بار در نیمه خردادماه ۱۳۸۶ به وقوع پیوست؛ طوفان‌های حاره‌ای در اثر عبور گردبادها روی خلیج عمان به وجود می‌آیند و در ماه‌های اردیبهشت تا مهر (فصل بادهای موسمی جنوب) رخ می‌دهند. [۱۳].

از بررسی‌ها معلوم شد که جت رأس‌الحد در آگوست ۱۹۹۵ شدت می‌یابد. جهت این جت از شمال تا جنوب تغییر می‌کند؛ بنابراین به شارش در امتداد جبهه رأس‌الحد می‌پیوندد [۱۷]. برهم‌کنش جبهه رأس‌الحد با شارش ساحلی، پشته موری و پیچک‌ها^{۱۲} هنوز به خوبی درک نشده است [۱۸]. در برخی از داده‌های دمای سطح دریا ماهواره‌ای، جابه‌جایی‌هایی صورت می‌گیرد، که به شکست و انتشار رو به شمال مؤلفه سیکلونی به درون خلیج عمان منجر می‌شود.

برهم‌کنش بین اجزای تشدیدشده سطحی، با پیچک‌های لایه‌ای ترموکلاین و برون‌شارش آب خلیج فارس از پیچیدگی‌هایی برخوردار است. تغییرات میان‌سالانه بزرگ هستند، برهم‌کنش‌های رخ داده با فراجوشی، در ساحل ایران نیز، از این دسته‌اند [۱۹].

تغییرات فصلی و میان‌سالانه در این گردش در خلیج عمان، مهم به نظر می‌رسد. ظاهراً شارش در امتداد سمت جنوبی خلیج عمان از ژوئن تا دسامبر بهتر سازمان‌دهی شده است گرچه این موضوع بسیار به تقابل حرارتی پایین‌تر از ژانویه تا می‌وابسته است. سمت شمالی خلیج عمان دارای فراجوشی پایداری است که به مونسون جنوب غربی در امتداد ساحل پاکستان مربوط است (شکل ۱) [۲۰].



شکل ۱. جبهه رأس‌الحد [۱۷]

فراجوشی در امتداد ساحل غربی و ایرانی متغیرتر است. مثلاً در ۱۹۹۵ فراجوشی این ساحل به رشته‌هایی مربوط بود که به

بادهای غالب در خلیج عمان در طی فصل زمستان، شمال‌شرقی و در فصل تابستان جنوب غربی، هستند [۱۴]. معکوس‌شدگی میدان باد در فصل‌های مونسون تابستانی باعث فراجوشی شده و در نتیجه آن، جریان‌های شمال شرقی در سواحل عمان حادث می‌شود [۱۵]. در خلال مونسون تابستانی در سطح خلیج عمان شاهد پدیده‌های مختلفی از جمله وارونگی جریان ناشی از تنش باد هستیم [۱۶]. خلیج عمان به شدت تحت تأثیر برون‌شارش از دریای عربی است. از پاییز تا نیمه بهار، دمای سطح دریا^۴ ماهواره‌ای یک پلوم آب این دریا را در یک جریان ساحلی که در امتداد ساحل عمان و امارات به سمت رأس‌الحد در لبه دریای عربی جاری است نشان می‌دهد، (شکل ۱). این می‌تواند دست‌کم نشان‌دهنده این باشد که در بخشی از سال برون‌شارش از دریا شامل یک لایه آب عمیق خلیج فارس^۵ و یک لایه سطحی تغییر یافته است که با هم مؤلفه درون‌شارش را تنظیم می‌کنند. مسئله عدم وجود هر نوع مانع کف^۶ برای محدود کردن جریان خلیج عمان را از دریا‌های حاشیه‌ای مانند دریای سرخ و مدیترانه متفاوت کرده است. وضعیتی که در آن آب خلیج فارس وارد خلیج عمان می‌شود از داده‌های موجود، چندان مشخص نیست. داده‌های^۷ WOCE نشان می‌دهد که توده آب خلیج فارس با پیچک‌های میان‌مقیاس در بر گرفته شده است.

سایر عناصر مهم درگیر در گردش دریای عمان، فراجوشی فصلی در ساحل ایران به سمت شمال و دینامیک میان‌مقیاس مربوط به گسترش سیستم فراجوشی سواحل جنوبی عمان به درون رشته‌های^۸ گسترش یافته رأس‌الحد است. در مورد دوم، پشته کم عمق موری^۹ که در عرض دهانه خلیج عمان گسترده شده سبب پیچیده شدن این رشته‌ها شده است. جت رأس‌الحد، (شکل ۱)، بسیار متغیر است؛ در برخی اوقات به سمت شرق گسترش می‌یابد و همان‌طور که در شکل نشان داده شده است در سایر زمان‌ها به سمت شمال شرقی یا جنوب شرقی گسترش می‌یابد. این پدیده همچنین به جبهه رأس‌الحد موسوم است زیرا مرز فصلی بین دریای عربی و خلیج عمان را شکل می‌دهد. در خلال مونسون جنوب غربی^{۱۰} انتقال جت رأس‌الحد دست‌کم ۱۰۵۷^{۱۱} است.

منحنی‌ها از نرم‌افزار مطلب و رسم نمودارهای مقطع قائم از نرم‌افزار فرِرت^{۱۴} تحت لینوکس استفاده شد.

۳. نتایج

کوگن و ویلانودر سال ۱۹۷۶ به علت اثر جذب ناشی از بخار آب، دی‌اکسید کربن و ازن، داده‌های دمای ماهواره‌ای همواره کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده با کشتی‌ها و دیگر روش‌هاست. برای تصحیح دمای ماهواره‌ای مربوط به باند ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس از رابطه (۱)، استفاده شد^{۱۵}.

$$SST = a_4 + a_3T + a_2T^2 + a_1T^3 \quad (1)$$

$$a_4 = -87.7784$$

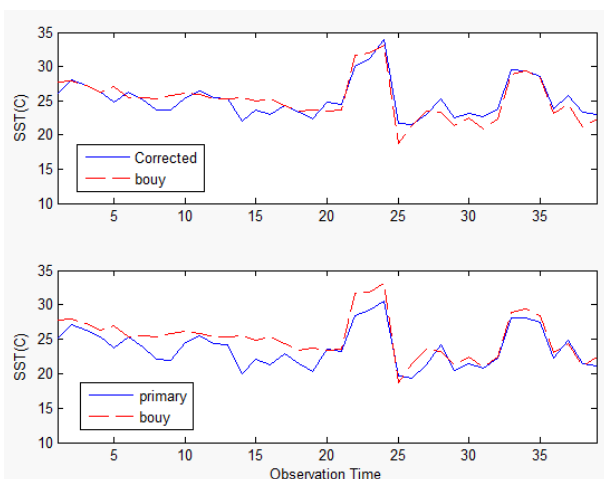
$$a_3 = 13.3986$$

$$a_2 = -0.5611$$

$$a_1 = 0.0083$$

که در آن T ، دمای سطح دریا ماهواره‌ای، SST ، دمای سطح دریا تصحیح شده، است. این معادله با $R^2 = 0.9$ برای تصحیح دمای سطح دریا به وسیله ماهواره ارائه شد. (شکل ۲).

تاریخ‌هایی که جهت باد موازی ساحل یا عمود بر ساحل بود با بررسی داده‌های باد ECMWF در سال ۲۰۱۲ برای ساحل ایرانی خلیج عمان مشخص شد (جدول ۱).



شکل ۲. نمودار مقایسه دمای سطح دریا ثبت شده توسط سنجنده مودیس و بویه چابهار تصحیح شده (بالا)، تصحیح نشده (پایین)، بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۲

سمت غرب حرکت کردند و حتی به لبه‌های خارجی تنگه‌هرمز داخل شدند. بررسی سایر سال‌ها، گستره کمتری را در پدیده فراجوشی نشان می‌دهد، گرچه فراجوشی محلی در دهانه تنگه‌هرمز در تمام سال‌ها مشاهده می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

داده‌های دمای سطح دریا ثبت شده با سنجنده مودیس نصب شده بر ماهواره ترا با تفکیک مکانی ۱km و مربوط به سال ۲۰۱۲، دمای سطح دریا ثبت شده با بویه چابهار در سال ۲۰۱۲ که در موقعیت جغرافیایی $60/611^{\circ}E$ و $25/26^{\circ}N$ است و متوسط روزانه سرعت و جهت باد ECMWF با وضوح $0/125^{\circ}$ ، متوسط روزانه سرعت و جهت باد ایستگاه هواشناسی چابهار، متوسط روزانه دمای آب دریا در ترازهای مختلف مربوط به HYCOM+ NCODA اطلاعات پایه‌ای تحقیق را تشکیل می‌دهد. با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، دمای سطح دریا برای پیکسلی از تصویر که بویه چابهار در آن واقع شده است، مشخص شد. دمای ماهواره‌ای سطح دریا و دمای ثبت شده بویه با هم مقایسه و روابط تصحیح دمای ماهواره‌ای به دست آمد. در انتخاب داده‌ها، زمان ثبت داده‌ها با بویه و سنجنده مودیس که بین ۹ تا ۱۰:۳۰ صبح بود، تطابق خوبی داشت.

با در نظر گرفتن این مسئله که سیستم لایه‌بندی با اختلاف دمای بین سطح و بستر در تمام طول سال وجود دارد، بررسی وقوع یا عدم وقوع فراجوشی، در محدوده جغرافیایی $24/5^{\circ}N - 25/5^{\circ}N$ و $61/5^{\circ}E - 59$ صورت گرفت [۲۱]. سال ۲۰۱۲ برای بررسی انتخاب شد. متوسط روزانه مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، در روزهای مورد مطالعه در سال ۲۰۱۲ برای مشخص شدن شرایط باد استفاده شد. برای اطمینان از شرایط باد منطقه مورد مطالعه، از داده‌های متوسط روزانه سرعت و جهت باد در محدوده‌ای که شامل ۴ روز منتهی به روز مورد مطالعه برای وقوع فراجوشی بود [۱]، استفاده شد. برای نمایش تغییرات در لایه‌بندی دمایی در اثر فراجوشی از داده‌های دمای آب دریا مربوط به سال ۲۰۱۲ استفاده شد^{۱۳}. برای تصحیح تصاویر ماهواره‌ای از نرم‌افزاران وی، و مقایسه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های بویه و رسم

جدول ۱: شرایط باد در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۲ بر اساس

داده‌های ECMWF

ماه میلادی	تاریخ	تداوم باد (روز)
ژانویه	۴ تا ۶	۳
ژانویه	۱۵ تا ۲۷	۱۳
فوریه	۳ تا ۹	۷
فوریه	۲۱ تا ۲۳	۳
فوریه	۲۸ تا ۲۹	۲
مارس	۱	۱
مارس	۴ تا ۱۲	۹
مارس	۳۱	۱
آوریل	۱ تا ۱۴	۱۴
اکتبر	۲ تا ۴	۳
نوامبر	۳ تا ۱۱	۹
دسامبر	۷ تا ۱۱	۵
دسامبر	۱۸ تا ۲۴	۷
دسامبر	۲۷ تا ۳۱	۵

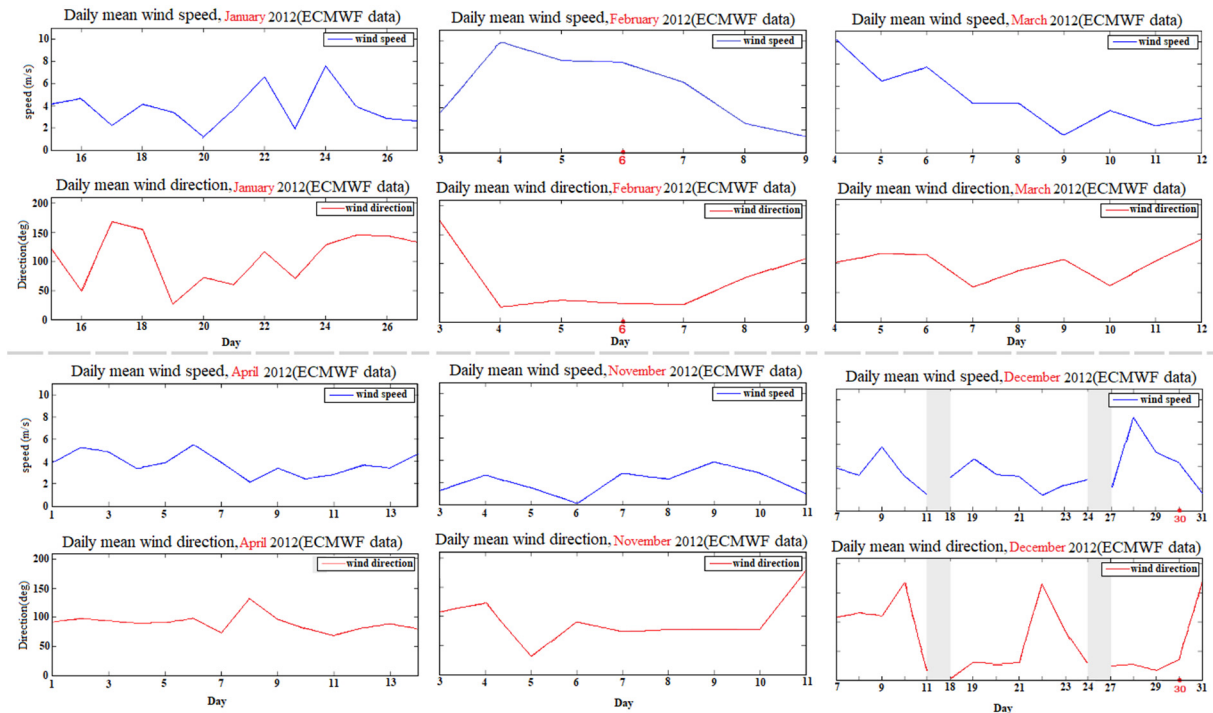
بر اساس داده‌های باد در روزهای ۱۵ تا ۲۷ ژانویه، ۳ تا ۹ فوریه، ۴ تا ۱۲ مارس، ۱ تا ۱۴ آوریل، که شدت وزش باد در ۸ و ۱۱ آوریل کاهش نسبی داشت، ۳ تا ۸ نوامبر، ۷ تا ۱۱ دسامبر، ۱۸ تا ۲۴ دسامبر - که شدت وزش باد در روز ۲۲ کاهش نسبی داشت - و ۲۷ تا ۳۰ دسامبر شرایط باد برای وقوع فراجوشی ساحلی وجود داشت. از بررسی امکان وقوع فراجوشی در برخی روزهای یادشده در جدول ۱ به جهت کم بودن مدت زمان تداوم باد صرف نظر شد. در برخی محدوده‌های زمانی دیگر علی‌رغم آن که تداوم باد وجود داشت اما مقدار سرعت باد کاهش می‌یافت و احتمال ایجاد تنش باد مناسب برای ایجاد فراجوشی کاهش می‌یافت (شکل ۳). از میان روزهایی که قبل از آن‌ها تداوم باد پایدار وجود داشت، روزهای ۶ فوریه (شکل ۳- بالا- وسط) و ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲ (شکل ۳- پایین- راست) برای بررسی رخداد فراجوشی، انتخاب شد. باد در هر دو آن‌ها و روزهای منتهی به آن، شمالی با بزرگی حدود ۸m/s است.

برای اطلاع از شرایط باد در ماه فوریه و دسامبر سال ۲۰۱۲، تصاویر بردار سرعت باد به صورت متوسط ماهانه، متوسط ۴

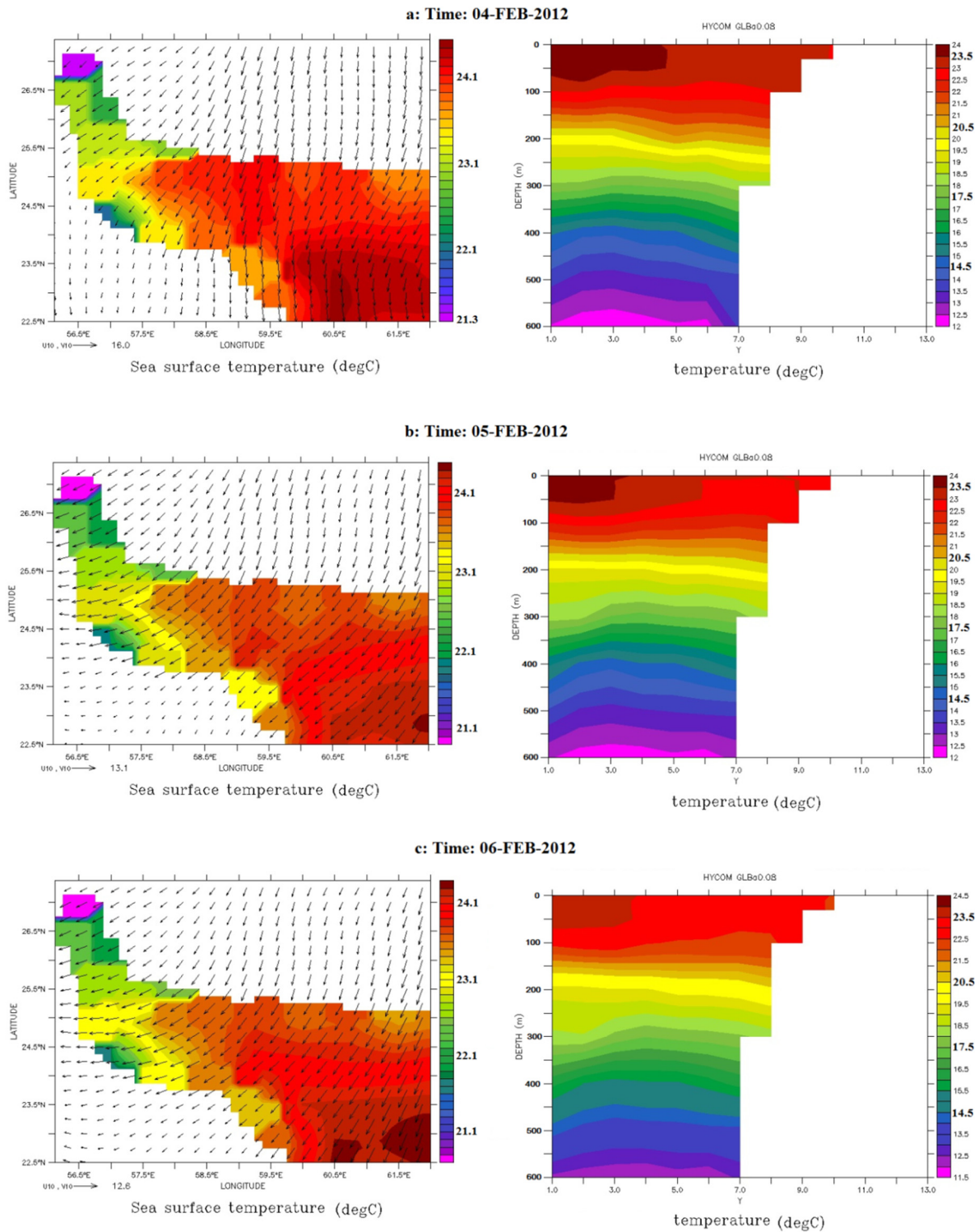
روزه از ۳ تا ۶ فوریه و از ۲۷ تا ۳۰ دسامبر متوسط روزانه هر یک از روزهای ۴ تا ۶ فوریه و ۲۸ تا ۳۰ دسامبر بررسی شد و تصویر متوسط روزانه دمای سطح دریا با بردار سرعت باد مربوط به ECMWF، برای ۴ تا ۶ فوریه ۲۰۱۲ در شکل ۴- چپ و ۲۸ تا ۳۰ دسامبر در شکل ۵- چپ، رسم شد. برای مشخص کردن سرعت، جهت و تواتر بادها در منطقه ساحلی مورد بررسی، گلباد^{۱۶} مربوط به بازه زمانی از ۳ تا ۶ فوریه سال ۲۰۱۲ (شکل ۷- راست) و از ۲۷ تا ۳۰ دسامبر سال ۲۰۱۲ (شکل ۷- چپ) با استفاده از داده‌های سه ساعته باد ایستگاه هواشناسی چابهار، رسم شد. در گلباد ایستگاه هواشناسی چابهار، در زمان ۳ تا ۶ فوریه، جهت باد غالب^{۱۷} که ۳۸ درصد از کل جهت باد را شامل می‌شود، شمالی است. ۱۰ درصد باد غالب دارای سرعت ۴ تا ۷ متر بر ثانیه و ۲۸ درصد باد غالب دارای سرعت ۱/۱ تا ۴ متر بر ثانیه است. ۱۵ درصد کل بادها نیز باد نایب غالب^{۱۸} جنوبی است. ۵ درصد باد نایب غالب دارای سرعت ۴ تا ۷ متر بر ثانیه است. علی‌رغم آن که اختلاف تواتر باد غالب و نایب غالب زیاد است، اما باد نایب غالب حدود یک سوم باد غالب است. ضمن آن که ۱۴ درصد بادها جهت شمال-شمال شرقی است. در گلباد ایستگاه هواشناسی چابهار، در زمان مورد بررسی نیز برای ۲۷ تا ۳۰ دسامبر، جهت باد غالب که ۲۸ درصد از کل بادها را شامل می‌شود، شمالی است. ۱۲ درصد باد غالب دارای سرعت ۱/۱ تا ۲ متر بر ثانیه و ۱۶ درصد باد غالب دارای سرعت ۰/۵ تا ۱/۱ متر بر ثانیه است. ۲۲ درصد کل بادها نیز باد نایب غالب شمال-شمال شرقی است. ۶ درصد باد نایب غالب دارای سرعت ۲/۱ تا ۴ متر بر ثانیه است. ضمن آن که اختلاف تواتر باد غالب و نایب غالب ناچیز است. همچنین ۲۰ درصد بادها نیز جهت شمال-شمال غربی دارد. علی‌رغم آن که داده‌های دمای سطح دریا ECMWF، شواهدی از وقوع فراجوشی در روزهای ۶ فوریه و ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲ در سواحل شمالی خلیج عمان را نشان می‌دهد، اما دقت مکانی آن ۰/۱۲۵° است و نمی‌تواند اطلاعاتی با دقت مناسب در اختیار بگذارد؛ بنابراین لازم است تا داده‌های دمای سطح دریا با دقت مکانی بیشتر استفاده شود. بنابراین نمودار دمای آب دریا برای مقطع عرضی عمود بر ساحل در طول جغرافیایی ۶۰/۸۳°E با

روی خط عمود بر ساحل در شکل ۴ و ۵-راست، قرار دارد، برای ۴ تا ۶ فوریه ۲۰۱۲ در شکل ۶-چپ و ۲۸ تا ۳۰ دسامبر در شکل ۶-راست، رسم شد. این نمودارها برای هر دو بازه زمانی مورد بررسی نشان دهنده حرکت آب با دمای کمتر از ترازهای پایین تر به سمت بالاست.

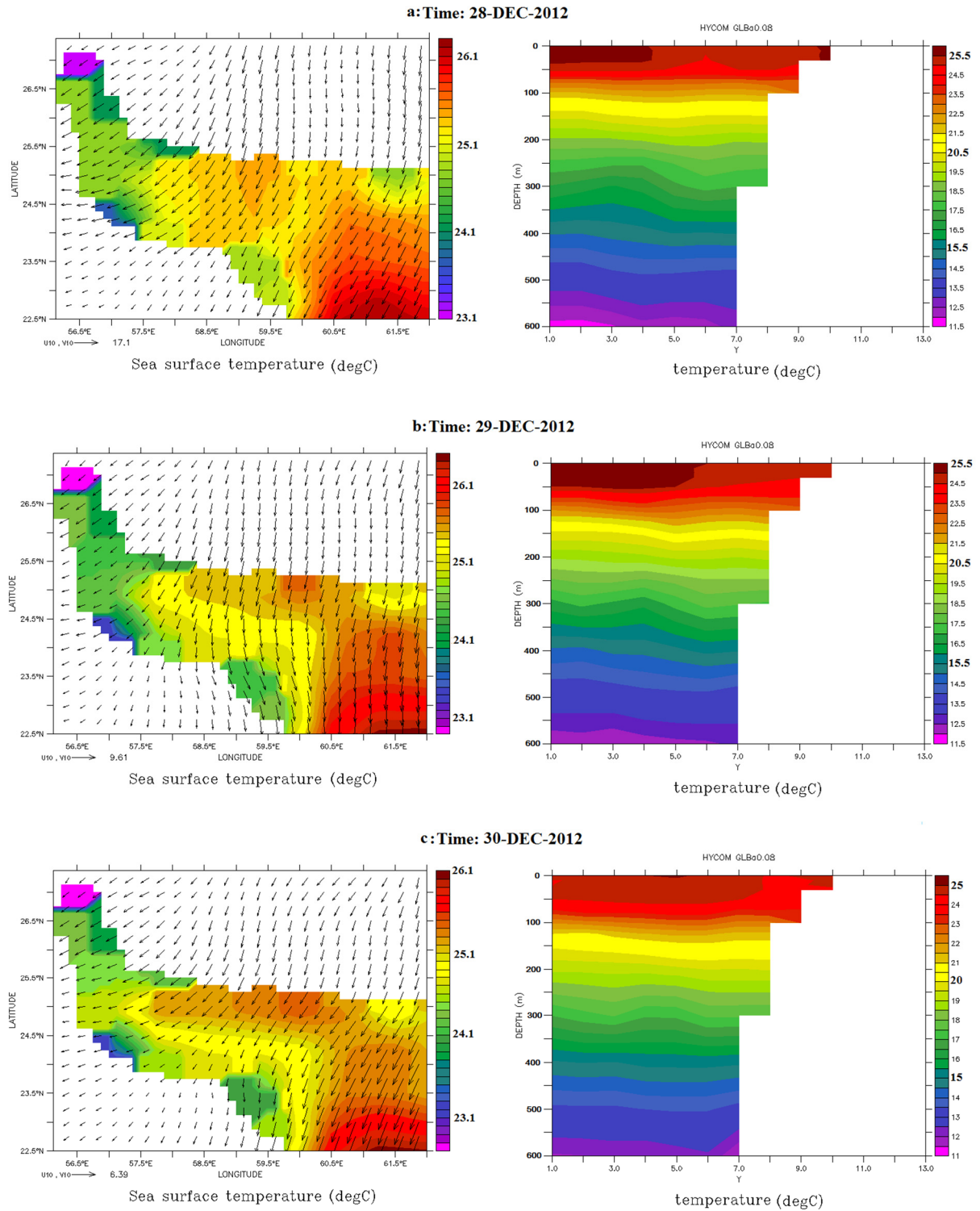
استفاده از داده‌های HYCOM+ NCODA با دقت مکانی ۵ دقیقه برای ۴ تا ۶ فوریه ۲۰۱۲ در شکل ۴-راست و ۲۸ تا ۳۰ دسامبر در شکل ۵-راست، رسم شد. تغییرات در گرمایش^۹، با استفاده از منحنی تغییرات دما بر حسب عمق در نقطه‌ای با موقعیت جغرافیایی $60/83^{\circ}E$ و $25/17^{\circ}N$ (که



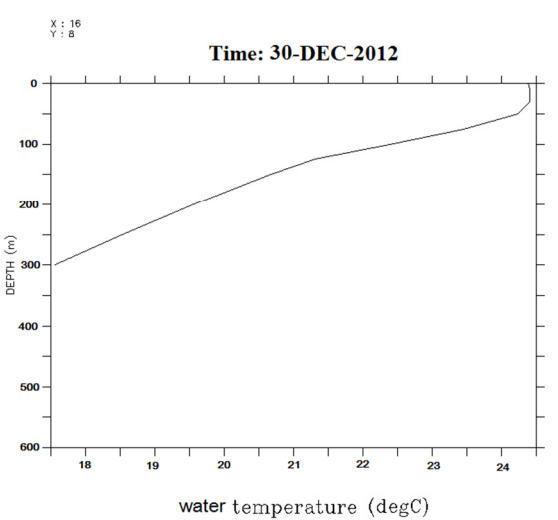
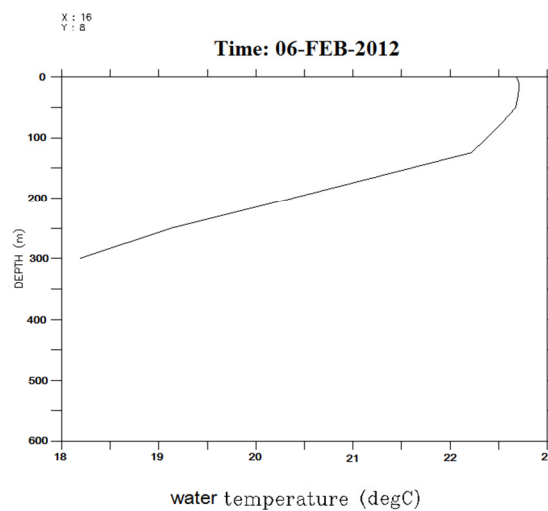
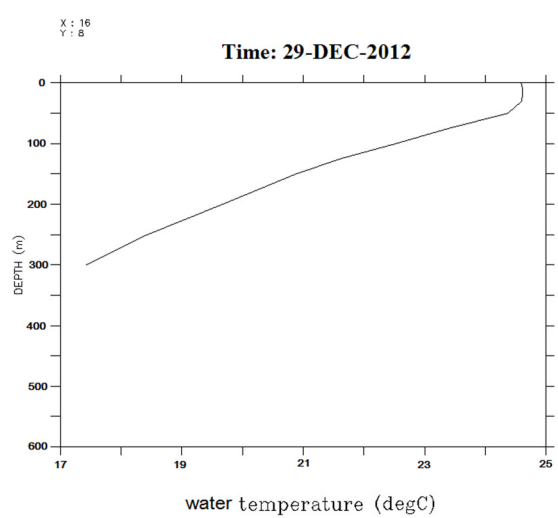
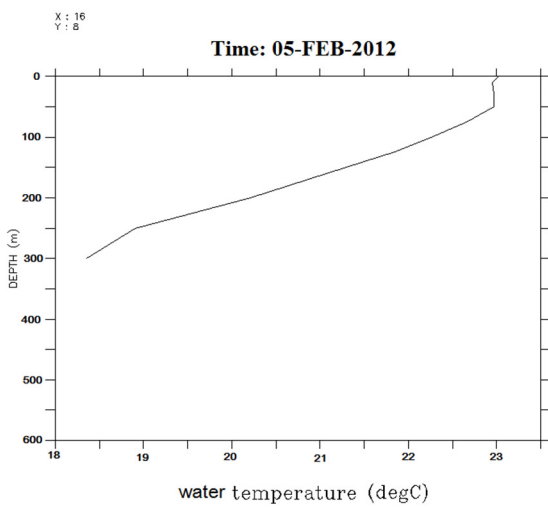
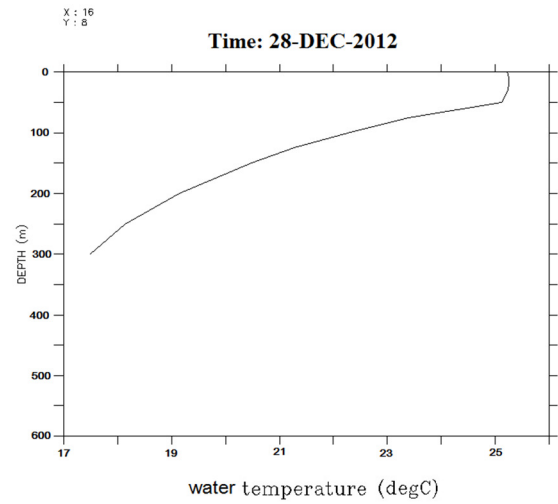
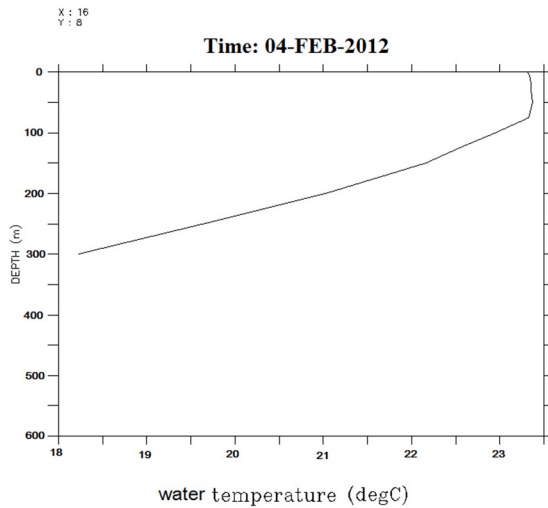
شکل ۳. نمودار متوسط روزانه سرعت و جهت باد مربوط به محدوده زمانی در ماه‌های ژانویه (بالا-چپ)، فوریه (بالا-وسط)، مارس (بالا-راست)، آوریل (پایین-چپ)، نوامبر (پایین-وسط) و دسامبر (پایین-راست) سال ۲۰۱۲ در نقطه‌ای با موقعیت جغرافیایی تقریبی $60/83^{\circ}E$ و $25/17^{\circ}N$ (داده‌های ECMWF)



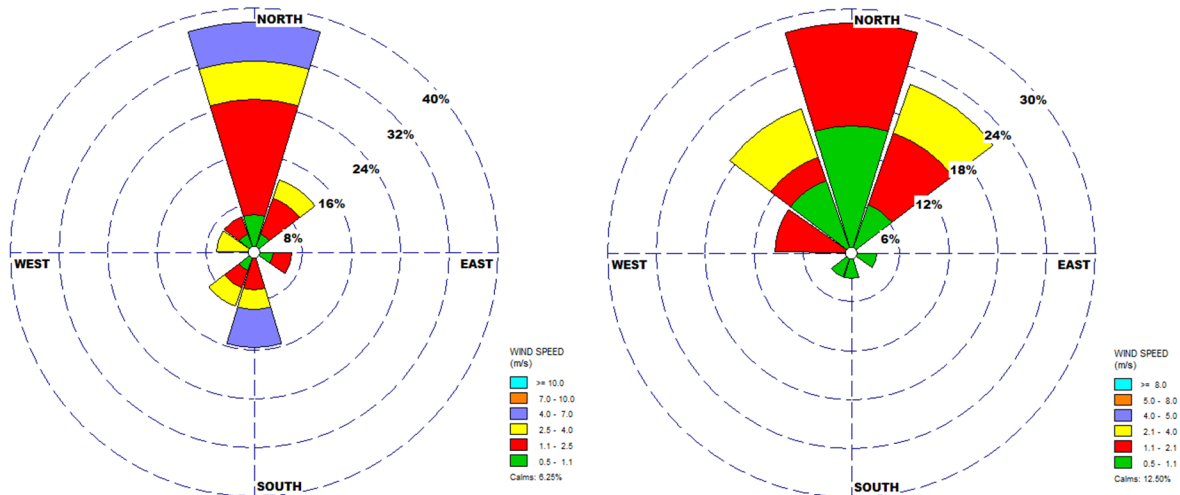
شکل ۴. چپ: نمودار متوسط روزانه سرعت باد مربوط به روزهای ۴ تا ۶ فوریه ۲۰۱۲ (از بالا به پایین)، داده‌های ECMWF، راست: نمودار دمای آب دریا برای مقطع عرضی عمود بر ساحل در طول جغرافیایی ۶۰/۸۳°E مربوط به روزهای ۴ تا ۶ فوریه ۲۰۱۲ (از بالا به پایین)، داده‌های HYCOM+ NCODA



شکل ۵. چپ: نمودار متوسط روزانه سرعت باد مربوط به روزهای ۲۸ تا ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲ (از بالا به پایین)، داده‌های ECMWF، راست: نمودار دمای آب دریا برای مقطع عرضی عمود بر ساحل در طول جغرافیایی $60^{\circ}/83^{\circ}E$ مربوط به روزهای ۲۸ تا ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲ (از بالا به پایین)، داده‌های HYCOM+ NCODA



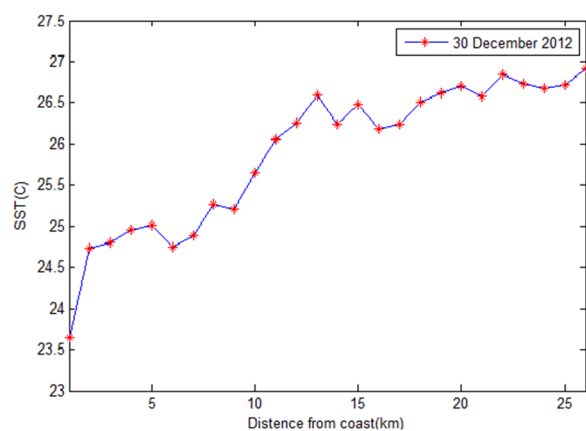
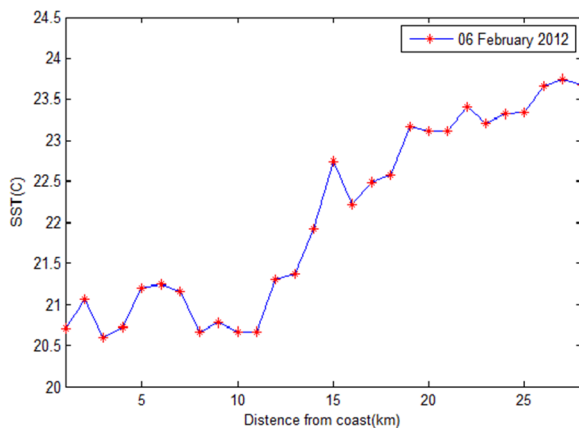
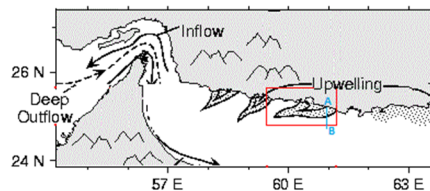
شکل ۶. چپ: منحنی تغییرات دما برحسب عمق برای ۴ تا ۶ فوریه ۲۰۱۲، راست: منحنی تغییرات دما برحسب عمق برای ۲۸ تا ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲، در نقطه‌ای با موقعیت جغرافیایی $60/83^{\circ}E$ و $25/17^{\circ}N$ ، داده‌های HYCOM+ NCODA



شکل ۷. گلباد ایستگاه هواشناسی چابهار، ۳ تا ۶ فوریه سال ۲۰۱۲ (چپ) ۲۷ تا ۳۰ دسامبر سال ۲۰۱۲ (راست)

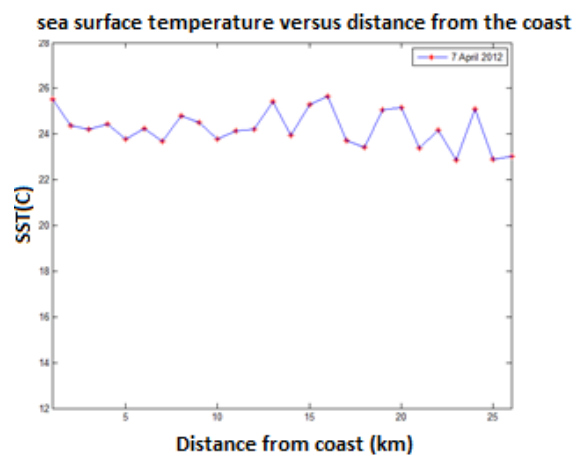
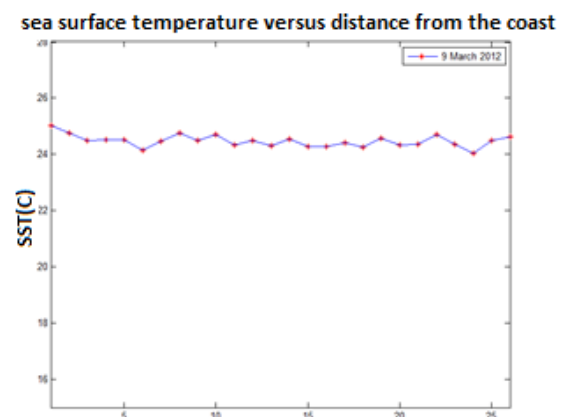
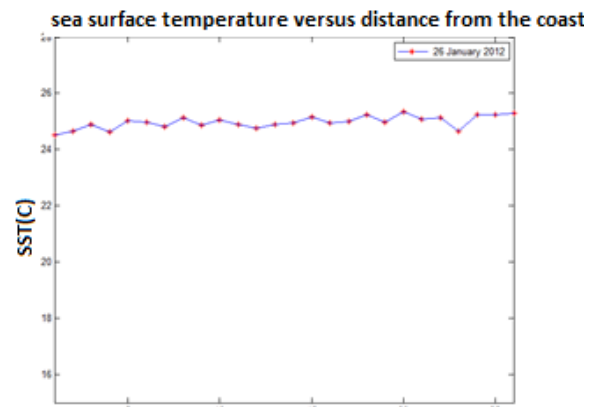
دور شدن از ساحل برای روزهای ۲۶ ژانویه (شکل ۳-بالا-چپ)، ۹ مارس (شکل ۳-بالا-راست) و ۷ آوریل (شکل ۳-پایین-چپ) که شرایط باد نشان‌دهنده عدم تداوم باد با سرعت ثابت در روزهای منتهی به آن‌ها بود، رسم شد، (شکل ۹). در شرایطی که باد عمود بر ساحل یا موازی با ساحل نباشد و همچنین در شرایطی که بزرگی سرعت باد کاهش یابد، فراجوشی رخ نداده یا فراجوشی ضعیف است و آب بالا آمده از ترازهای پایین تا فاصله بسیار کوتاهی (کمتر از تفکیک مکانی داده ماهواره‌ای) عمود بر ساحل گسترش یافته است.

در نهایت با در نظر گرفتن تداوم باد، نمودار دمای سطح دریا بر حسب فاصله از ساحل، برای ۶ فوریه و ۳۰ دسامبر سال ۲۰۱۲ بررسی شد و این نمودارها در امتداد خط AB که عمود بر ساحل است، به ترتیب در شکل ۸-بالا، در شکل ۸-چپ (پایین) و شکل ۸-راست (پایین) رسم شد. این نمودارها بر اساس دمای ماهواره‌ای تصحیح شده با رابطه (۱)، رسم شده است. بنابراین طبق پیش‌بینی که بر اساس شرایط باد صورت گرفته بود، در هر دو روز مورد بررسی (شکل ۸-پایین) آب سرد از ترازهای پایین‌تر بالا آمده و به دور از ساحل گسترش یافته است. تغییرات دمای سطح دریا بر حسب



شکل (۸) بالا: محدوده جغرافیایی مورد بررسی رخداد فراجوشی، مشخص شده با کادر قرمز (داده‌ها در امتداد خط آبی رنگ عمود بر ساحل، AB، (بالا) رسم شده است)، پایین-چپ: نمودار دمای سطح دریا در دور شدن از ساحل، مربوط به روز ۶ فوریه ۲۰۱۲، پایین-راست: ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲، داده‌های دمای سطح دریا ثبت شده توسط سنجنده مودیس

فوریه، باد غالب که ۳۸ درصد از کل بادهای بوده، شمالی است. در گلباد ۲۷ تا ۳۰ دسامبر، باد غالب که ۲۸ درصد از کل بادهای بوده، شمالی است. نمودار دمای آب دریا برای مقطع عرضی عمود بر ساحل برای هر دو بازه زمانی مورد بررسی نشان‌دهنده حرکت آب با دمای کمتر از ترازهای پایین تر به سمت بالا است به گونه‌ای که به تدریج در اثر ماندگاری باد، آب سرد در فاصله دورتری نسبت به ساحل گسترش می‌یابد. همچنین مطابق انتظار تغییر در دمای آب بر حسب عمق و کاهش عمق گرماشیب برای هر دو بازه زمانی مورد بررسی کاملاً محسوس است؛ به طوری که دمای آب سطحی به مقدار دمای ترازهای زیرین، کاهش یافته است. نمودار دما بر حسب عمق نشان می‌دهد آب بالا آمده در روز ۶ فوریه مربوط به ترازهای پایین تری در مقایسه با روز ۳۰ دسامبر است که این موضوع با توجه به گلبادهای این دو روز و بیشتر بودن مقدار سرعت باد در روز ۶ فوریه، طبق انتظار است. نمودار دمای سطح دریا بر حسب فاصله از ساحل در روز ۶ فوریه و ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲ وقوع فرآجوشی را تأیید می‌کند. در روز ۶ فوریه، آب سرد با دمای حدود 21°C از ترازهای پایین تر بالا آمده و تا فاصله حدود ۱۸ کیلومتری دور از ساحل گسترش یافته است. در روز ۳۰ دسامبر، آب سرد با دمای حدود 24°C از ترازهای پایین تر بالا آمده و تا فاصله حدود ۱۲ کیلومتری دور از ساحل گسترش یافته است. بررسی تغییرات دمای سطح دریا بر حسب دور شدن از ساحل برای روزهایی که شرایط باد عمود بر ساحل یا موازی ساحل نبود و یا مقدار سرعت باد در حال کاهش بود، تأیید می‌کند که روند افزایش دمای سطح دریا با دور شدن از ساحل تنها در روزهایی که فرآجوشی رخ داده، دیده شده است.



شکل ۹: بالا: نمودار دمای سطح دریا در دور شدن از ساحل، مربوط به روز ۲۶ ژانویه ۲۰۱۲، وسط: ۹ مارس ۲۰۱۲، پایین: ۷ آوریل ۲۰۱۲، داده‌های دمای سطح دریا ثبت شده توسط سنجنده مودیس، (داده‌ها در امتداد خط آبی رنگ عمود بر ساحل، AB، (شکل ۸-بالا) رسم شده است).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

متوسط روزانه بردار سرعت باد ECMWF برای روزهای ۴ تا ۶ فوریه، برای ۲۸ تا ۳۰ دسامبر، نشان‌دهنده تداوم باد شمالی در سواحل شمالی خلیج عمان است. در گلباد برای ۳ تا ۶

منابع

- [۱۲] اکسیری فاطمه. بررسی و تحلیل فضایی پارامترهای فیزیکی و گردش آب خلیج چابهار. ارائه شده در: یازدهمین همایش ملی صنایع دریایی؛ ۱۳۸۸.
- [۱۳] سالاری محمدعلی. بررسی ساختار ژنتیکی جمعیت خیار دریایی *Holothuria parva* با استفاده از توالی یابی ژن ریپوزومال میتوکندری (۱۶ Rna s) در خلیج فارس، ارائه شده در: اولین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور؛ ۱۳۸۹.
- [14] Kumar PH, Radhakrishnan KG. Transmission Loss Variability Associated with Upwelling and Downwelling Off the Southwest Coast of India. *Defence Science Journal*. 2010 Aug 24;60(5):476-82.
- [۱۵] مرادی مسعود. بررسی تدوین الگوریتم تعیین مناطق فراجوشی در خلیج عمان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. مرکز ملی اقیانوس‌شناسی؛ ۲۰۱۲.
- [16] Naqvi SW, Moffett JW, Gauns MU, Narvekar PV, Pratihary AK, Naik H, Shenoy DM, Jayakumar DA, Goepfert TJ, Patra PK, Al-Azri A. The Arabian Sea as a high-nutrient, low-chlorophyll region during the late Southwest Monsoon. *Biogeosciences*. 2010 Jul 5;7(7):2091-100.
- [17] Baker S, Arnone R, Sheres D. Characteristics of double vortices in the northeastern Arabian Sea and the North Atlantic Gulf Stream region. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*. 1996 Nov; 77:382.
- [18] Smitha A, Joseph KA, Jayaram C, Balchand AN. Upwelling in the southeastern Arabian Sea as evidenced by Ekman mass transport using wind observations from OCEANSAT-II Scatterometer. *Indian Journal of Geo marine Sciences*. 2014.
- [۱۹] موسوی سوتیه. مدل‌سازی فیزیکی گردش آب خلیج فارس [پایان‌نامه کارشناسی ارشد]. خرمشهر؛ دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر؛ ۱۳۸۵.
- [20] Pedlosky J. *Ocean Circulation Theory*. Berlin:Springer-Verlag; 1996.
- [۲۱] چگینی وحید. فرهنگ تشریحی مهندسی سواحل و فیزیک دریا. مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی؛ ۱۳۹۰.
- [1] Sadrinasab M. Three-dimensional numerical modeling study of the coastal upwelling in the Persian Gulf. *Res J Environ Sci*. 2009; 3(5):560-6.
- [2] Barth JA, Smith RL. Separation of a coastal upwelling jet at Cape Blanco, Oregon, USA. *South African Journal of Marine Science*. 1998 Jun 1;19(1):5-14.
- [3] Castelao RM, Campos EJ, Miller JL. A modelling study of coastal upwelling driven by wind and meanders of the Brazil Current. *Journal of Coastal Research*. 2004 Jul:662-71.
- [4] Horne JK. Interpret effects of upwelling on production of marine ecosystems. 322A Fishery Sciences. University of Washington; Lecture given 2014.
- [5] Su J, Pohlmann T. Wind and topography influence on an upwelling system at the eastern Hainan coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2009 Jun 1;114(C6).
- [۶] فرجی مرتضی. مدل‌سازی عددی فراجوشی در قسمت شمالی خلیج فارس [پایان‌نامه کارشناسی ارشد]. دانشگاه علوم فنون دریایی خرمشهر، ۱۳۸۵.
- [۷] کیمیجانی فرشته، چگینی وحید، بنزاده ماهانی محمد رضا، سنجانی محمدسعید. بررسی تغییرات فیزیکی آب‌های چابهار در مونسون زمستانه (۱۳۸۵-۱۳۸۶). *مجله فیزیک زمین و فضا*. ۱۳۹۰؛ ۳۷(۴).
- [۸] سیوف جهرمی مریم. بررسی رخداد انواع فراجوشی در خلیج فارس. ارائه شده در: اولین همایش علمی و پژوهشی زیست‌شناسی و علوم باغبانی ایران؛ ۱۳۹۴؛ بندرعباس، ایران.
- [9] Anderson DM, Prell WL. A 300 kyr record of upwelling off Oman during the late Quaternary: evidence of the Asian southwest monsoon. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 1993 Apr 1;8(2):193-208.
- [10] Smitha BR, Sanjeevan VN, Vimalkumar KG, Revichandran C. On the upwelling off the southern tip and along the west coast of India. *Journal of Coastal Research*. 2008 Jul;24(sp3):95-102.
- [11] Keen TR, Kindle JC, Young DK. The interaction of southwest monsoon upwelling, advection and primary production in the northwest Arabian Sea. *Journal of Marine Systems*. 1997 Oct 1;13(1-4):61-82.

پی‌نوشت

1. Ekman Transport
2. tropical storms
3. cyclone Hurricanes
4. Sea surface temperature
5. Persian Gulf Water
6. sill
7. World Ocean Circulation Experiment
8. filaments
9. Murray Ridge
10. Southwest monsoon
11. Sverdrup
12. eddy
13. <http://hycom.org/>
14. ferret
15. <http://modis.gsfc.nasa.gov>
16. Wind Rose
17. Prevailing Wind
18. Second Prevailing Wind
19. termocline