

مطالعه تغییرپذیری پارامترهای فیزیکی (دما و شوری) آب‌های خلیج فارس ناشی از تغییرات اقلیم با استفاده از یک مدل سازی عددی و برخی داده‌های اندازه‌گیری

صفیه فرخی مقدم^{۱*}، عباسعلی علی اکبری بیدختی^۲، فرهنگ احمدی گیوی^۳ و مجتبی عظام^۴

^۱ دانشجوی دکترا، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹

چکیده

شوری و دمای آب از ویژگی‌های مهم فیزیکی آب دریا به‌شمار می‌روند. مقدار مطلق و تغییرپذیری آن برحسب زمان در نقاط و اعمال مختلف دریا تعیین کننده شرایط امکان زیست، توسعه موجودات گیاهی و جانوری و همچنین نوع و نحوه فعالیت انسان در دریاست. دما و شوری به واسطه تأثیر بر روی واکنش‌های شیمیایی و زیست‌شیمیایی ارگانیسم‌های آبی دارای اهمیت خاصی هستند. در این پژوهش اثرات تغییر دراز مدت شرایط جو (اقلیم) بر ویژگی‌های فیزیکی دما و شوری آب‌های خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی عددی این ویژگی‌ها از مدل عددی اقیانوسی یک بعدی PROBE (PROgram for Boundary layers in Environment) استفاده شده است. داده‌های ورودی این مدل شامل اطلاعات هواشناسی به‌دست آمده از ECMWF و همچنین مقادیر اولیه ایستگاه می‌باشد. برای شبیه‌سازی تالطم قائم، روابط مختلف پارامترسازی آن شامل اکسل-لیونگمن، امستد، رودی، پاکانوفسکی و مارچوک برای ایستگاهی واقع در خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آنها با اندازه‌گیری‌های نیم‌رخ قائم دما و شوری در ۳ ایستگاه در خلیج فارس مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان‌دهنده آن است که رابطه امستد بهتر از سایر روابط تالطم قائم را در خلیج فارس شبیه‌سازی می‌نماید. افزایش دما (از یک تا دو درجه سلسیوس در ده سال) و تاحدی شوری در خلیج فارس با شبیه‌سازی‌های حاضر، در طول یک دوره ده ساله، از نتایج این بررسی است.

کلید واژه‌ها: تغییرات فیزیکی، دما و شوری، خلیج فارس، تغییر اقلیم، مدل PROBE

* نویسنده مسئول: صفیه فرخی مقدم

E-mail: farokhi.mat@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

کشور ایران با داشتن ۱۸۰۰ کیلومتر مرز آبی در جنوب کشور، در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان و نیز حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مرز آبی در شمال کشور با دارا بودن تعداد زیادی جزیره بزرگ و کوچک، میدین عظیم نفت و گاز و وجود مراکز عظیم صنایع اعم از پتروشیمی و سایر صنایع و قطب‌های کشاورزی و تجاری در مجاورت این دریاها، یک کشور دریایی به‌شمار می‌رود.

دریاانوردی، ماهیگیری و سایر فعالیت‌های نظامی و غیرنظامی در دریا بدون شناخت حرکات آب دریا و فیزیک دریا ممکن نیست. دما و شوری نقش بسیار مهمی را در تغییرات چگالی و در نتیجه، به وجود آمدن جریان‌ها در دریاها و اقیانوس‌ها دارند. همچنین شوری باعث تغییرات زیست‌بوم (Ecosystem) نیز می‌شود. به طوری که ماهیانی که در مناطق با آب شور زندگی می‌کنند، از نظر ظاهری با ماهیان آب شیرین تفاوت دارند. دما نیز به واسطه تأثیر بر روی واکنش‌های شیمیایی و زیست‌شیمیایی ارگانیسم‌های آبی دارای اهمیت است. موجودات زنده در داخل آب حساسیت‌های مختلفی نسبت به دما دارند. به طوری که با تغییرات دما حیات آنها مختل شده و حتی منجر به نابود شدن آنان می‌شود. بنابراین، شناخت هریک از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شیمیایی از اساسی‌ترین مواردی است که امکان بهره‌برداری بهینه از این زیست‌بوم را فراهم می‌کند. اطلاع و آگاهی از شرایط حاکم بر آن و بررسی تأثیرپذیری آن از تغییر اقلیم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و لازم است پارامترهای مهم محیطی فیزیکی این پیکره، مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. از این رو، شناخت هریک از عوامل تشکیل‌دهنده تغییرات محیطی این منطقه، اعم از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی از اساسی‌ترین مواردی است که امکان بهره‌برداری بهینه از این موهبت را دارد. تأثیر این پارامترها در زیستگاه جغرافیایی موجودات زنده محسوس بوده و همچنین باعث تغییر میزان انحلال مواد می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری دما و شوری آب به صورت طولانی مدت در یک ایستگاه ثابت در دریا کار بسیار دشوار و هزینه‌بر است، برای بررسی سری زمانی بلند مدت این

دو ویژگی فیزیکی آب دریا از مدل‌سازی عددی استفاده می‌شود. در این پژوهش، از مدل عددی یک‌بعدی PROBE برای شبیه‌سازی تغییرات بلند مدت (ده ساله) دما و شوری در خلیج فارس استفاده شده است.

انجام چنین مطالعاتی در مقیاس جهانی و به‌ویژه در کشورهای صنعتی از قدمت چند دهه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر، این نوع پژوهش‌ها در دهه گذشته شتاب بیشتری گرفته و تعداد شایان توجهی از پژوهش‌ها در قالب پایان‌نامه‌های دکترا و پژوهش‌های علمی و صنعتی به انجام رسیده است. برخی از این پژوهش‌ها به مرحله اجرا و بهره‌برداری نیز رسیده‌اند. این پژوهش‌ها عمدتاً به مطالعه تغییرات فیزیکی (دما و شوری) و تبادل گرمایی در مناطق خاصی از خلیج فارس پرداخته‌اند.

رئیس‌السادات و رئیس‌السادات (۱۳۹۱) به بحث توازن انرژی گرمایی و چگونگی توزیع انرژی گرمایی پرداختند. بررسی تعادل انرژی گرمایی در خلیج فارس از اهمیت زیادی برخوردار است. با درک چگونگی توزیع دما و انتقال گرما در خلیج فارس، با پیش‌بینی‌های دقیقی از نظر هواشناسی، موجب به‌دست آمدن اطلاعات مفیدی درباره شیلات و تعیین محل زندگی آبزیان می‌شود و اطلاعات دقیقی در مورد پاسخ دریا به واداشت‌ها برای شناخت این محیط‌ها از نظر توزیع گرما و انرژی و موارد بسیار دیگر به دست می‌دهد. به‌طور کلی جمع تمام شارهای گرمایی وارد شده به اقیانوس و خارج شده از آن باید صفر باشد، در غیر این صورت، اقیانوس‌ها یا یخ می‌زنند و یا داغ خواهند شد. در این پژوهش، هدف این بوده است که این توازن گرمایی در خلیج فارس مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به این که میزان بارندگی و آب‌های ورودی در خلیج فارس در حدود ۹۰ سانتی‌متر در سال و میزان تبخیر حدود ۲۱۳ سانتی‌متر در سال می‌باشد پس میزان تبخیر ۱۲۰ الی ۱۲۵ سانتی‌متر در سال از بارش در خلیج فارس بیشتر است. این آب تبخیرشده اضافه توسط آب ورودی از دریای آزاد به خلیج فارس تأمین می‌شود. در حالی که بخشی از آب‌های گرم و شور (چگال) از کف تنگه هرمز به دریای عمان وارد می‌شود.

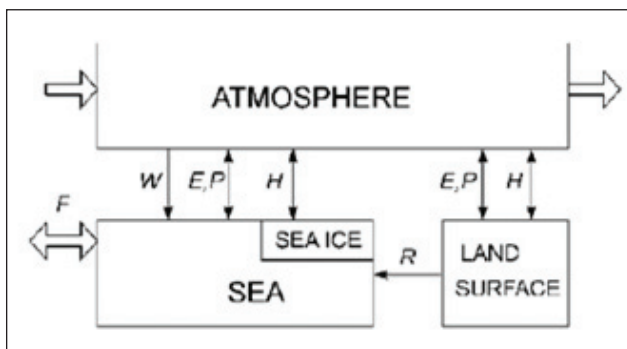
دمایی و شوری انجام گردیده است. مدل آنها نشان می‌دهد که تغییرات قائم شوری غیر خطی است و به شدت به تغییرات در جریان‌های آب شیرین حساس و وابسته است. تغییرات در تعادل گرمایی ممکن است پوشش یخ را تغییر دهد و دمای سطح دریا را تحت تأثیر قرار دهد. تغییرات در توازن آب ممکن است در شوری و در نتیجه در اکوسیستم تأثیر بگذارد. تغییرات در دمای متوسط سالانه آب دریای بالتیک رابطه نزدیک با دمای هوای بالای سطح این دریا دارد. بنابراین برای مدل‌سازی دریای بالتیک به جای این که تنها به دمای سطح توجه شود، به توازن گرما و توازن آب در این حوضه آبی اهمیت داده شده است. تغییرات اقلیمی در منطقه شمال اروپا به طور محسوسی می‌توان روی حوزه‌های آبی، از جمله دریای بالتیک تأثیر گذار باشد (Rummukainen et al., 2001).

در پژوهش حاضر با شبیه‌سازی عددی، به تغییرپذیری دما و شوری در خلیج فارس برای یک دوره ۱۰ ساله پرداخته شده است.

۲- داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مورد بررسی در این پژوهش، دما و شوری آب خلیج فارس در سطح و در راستای قائم است. نحوه تغییرات این دو کمیت تحت تأثیر واداشت جوی که شامل دمای هوا، سمت و سرعت باد، ابرناکی و رطوبت نسبی است توسط یک مدل اقیانوسی شبیه‌سازی شده و سپس الگوی تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی فرض‌های لحاظ شده در مدل، نتایج به‌دست آمده با داده‌های مقطعی اندازه‌گیری شده (Reynolds, 1993) در محل، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

در تحقیق حاضر، از مدل PROBE استفاده شده است. این مدل توسط دانشمندان و پژوهشگران دانشگاه گوتنبرگ برای تحقیق و مطالعه اثرات اقلیمی بر توازن گرما و شوری دریای بالتیک و خلیج‌های وابسته به آن مورد استفاده قرار گرفته است (Omstedt, 2015; Omstedt and Axell, 2003; Omstedt and Hansson, 2006; Winsor et al., 2001). در مدل PROBE از حل معادلات یک بعدی، یا دوبعدی، با شرایط مرزی (به عنوان مثال مانند لایه‌های مرزی اکمن) استفاده می‌شود. از ویژگی‌های خاص این مدل این است که، قابلیت اجرا به صورت چندین زیر حوضه را دارا می‌باشد. بخش هیدرودینامیک آن شامل معادلات تلاطم برای محاسبه تکانه و چگالی شاره است. با این مدل پژوهش‌های برخی از برنامه‌های تحقیقاتی مانند BALTEX (آزمایش دریای بالتیک) و HYMEX (چرخه آب در آزمایش مدیرانه) اجرا شده است. نمایی از اجزای این تحقیقات در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- طرحی از اجزای اصلی تحقیقات فاز یک BALTEX. W: باد، H: شار گرمایی، E و P: به ترتیب تبخیر و بارش، F: شار ورودی و خروجی فرارفتی، و R: رواناب رودخانه (Omstedt, 2015).

با توجه به آن که حجم آب‌های ورودی و خروجی در خلیج فارس به ترتیب برابر ۱۸۶ و ۱۶۹ میلیون متر مکعب بر ثانیه است، انتقال خالص گرما به خلیج فارس برابر ۲۵ وات بر متر مربع برآورد شده است (رئیس‌السادات و رئیس‌السادات، ۱۳۹۱). در این مطالعه کوشش شده است این میزان گرمای اضافه وارد شده به خلیج فارس توسط جمله‌های شار گرمای سطح توجه شود. در این بررسی میانگین سالانه شار تابش کوتاه (خورشیدی) مشاهده شده در سطح خلیج فارس حدود ۲۴۵ وات بر متر مربع و شار گرمای محسوس سطح ۴ و شار گرمای نهان ۱۷۹ و شار تابش موج بلند خالص ۱۹۲ وات بر متر مربع محاسبه شده است. بنابراین کمبودی برابر ۲۲ وات بر مترمربع وجود دارد که با گرمای اضافه وارد شده به خلیج فارس موافقت خوبی دارد.

زاهدی و ترابی‌آزاد (۱۳۸۱) با استفاده از آمار طولانی مدت میزان تبخیر، میزان بارندگی و دمای آب دریا برای ایستگاه‌های سواحل شمالی خلیج فارس و مقایسه آنها به تفسیر و بحث کامل در خصوص اثرات عامل فیزیکی بر اقلیم خلیج فارس و نقش آنها در تغییرات جریان‌های این منطقه می‌پردازند. ابراهیمی (۱۳۸۶) بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی آب از جمله شوری، چگالی و دمای آب‌های شمال خاوری خلیج فارس و تنگه هرمز با هدف دستیابی به تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای مورد نظر در آب‌های محدوده استان هرمزگان طی دو فصل تابستان و زمستان ۱۳۸۳ انجام دادند. منطقه مورد بررسی از بندر سیریک با مختصات طول جغرافیایی ۵۷° ۰۸' طول جغرافیایی تا رأس خلیج نای بند با مختصات طول جغرافیایی ۵۲° ۳۵' طول جغرافیایی را شامل می‌شد. پیش از شروع گشت‌های اصلی در زمستان ۸۲ طی یک گشت مقدماتی در محدوده ذکر شده تعداد ۷ ترانسکت عمود بر ساحل هر کدام به فاصله حدود ۴۰ کیلومتراز یکدیگر تعیین و سپس در روی هر ترانسکت نیز تعداد ۳ ایستگاه ثابت نمونه برداری هر کدام به فاصله حدود ۳۰ کیلومتر از یکدیگر انتخاب شده است. گشت‌های اصلی با استفاده از کشتی تحقیقاتی فردوس ۱ در طی تابستان و زمستان ۸۳ به انجام رسید. طی هر دو گشت دریایی، نمایه قائم پارامترهای فیزیکی مورد نظر در کلیه ایستگاه‌ها از سطح تا عمق مورد سنجش قرار گرفت. پس از آن نمایه قائم داده‌های CTD با استفاده از نرم‌افزار مناسب و کنترل هم‌مقدارهای سطحی آنها با استفاده از برنامه Matlab ترسیم و پردازش شد. نتایج حاصل از بررسی نمایه قائم دما نشان داد که لایه ترموکلاین فصلی در آب‌های محدوده استان هرمزگان در تابستان در ژرفای ۲۰ متری با اختلاف حدود ۱۲ درجه سلسیوس بین دمای سطحی و عمقی تشکیل یافته و در زمستان از بین می‌رود. توزیع قائم شوری و چگالی از سطح به عمق چه در تابستان و چه در زمستان افزایش می‌یابد، ولی دامنه تغییرات آنها بین لایه‌های سطحی و عمقی در تابستان بیشتر از زمستان بوده، به‌طوری‌که در بیشتر مناطق لایه‌های هالوکلاین و پیکنوکلاین آشکارا قابل مشاهده می‌باشند. افزون بر اینکه روند تغییرات قائم هر سه پارامتر در مناطق مختلف نسبت به هم متفاوت بوده به‌طوری‌که نواحی میانی خلیج فارس از بیشترین شکست یا شیب قائم دما، شوری و چگالی برخوردار بوده، اما در نواحی تنگه هرمز این روند نسبتاً بر هم خورده و از شیب آنها کاسته می‌شود. در صورتی که در مناطق خاوری تنگه هرمز روند تغییرات قائم پارامترها از سطح تا ژرفای حدود ۸۰ متری تقریباً شبیه سایر مناطق بوده اما از ژرفای ۸۰ تا ۱۰۰ متری مقدار آنها به شدت افزایش پیدا می‌کند، که نشان‌دهنده جریان خروجی بستر خلیج فارس از طریق کف تنگه هرمز به دریای عمان می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی توزیع افقی و کانتورهای سطحی نشان داد که مقدار دمای آب در تابستان از خاور به باختر افزایش و در زمستان کاهش می‌یابد، اما مقدار شوری و چگالی هم در تابستان و هم در زمستان از خاور به باختر افزایش می‌یابد.

Omstedt et al. (1997) به تحقیق بر سیستم آب و هوایی دریای بالتیک پرداخته و تجزیه و تحلیل میدان‌های دما و شوری آن و همین‌طور ویژگی‌های حالت پایدار و گذرای آن را بر اساس مشاهدات و یک مدل‌سازی ریاضی مورد بررسی قرار دادند. برخی از تجربیات عملی بر روی مشاهده واداشت به دست آمده از مناطق مختلف دریای بالتیک مورد توجه بوده که در دو مقیاس زمانی مهم (spin-up) برای توازن

صورت رابطه (۶) تعریف کرد:

$$v_r = (0.05h)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2 - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}} \quad (6)$$

که در این رابطه h مقداری ثابت (برابر ۲m) است و در این رابطه اثرات لایه‌بندی و باد که موجب ایجاد چینش سرعت می‌شوند، لحاظ شده است.

Rodi (1987) مدل معادله‌ای را برای انرژی جنبشی تلاطمی به شکل رابطه ۷ نوشت:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho \sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \frac{\mu_{eff}}{\rho} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + P_b - \varepsilon \quad (7)$$

که در این رابطه مقدار ε آهنگ اتلاف انرژی جنبشی تلاطمی، P_b تولید شناوری و μ_{eff} و شکسانی پیچکی می‌باشد.

مدل دو معادله‌ای انرژی جنبشی و اتلاف تلاطمی (Omstedt (2015) در روابط (۸) و (۹) آمده است:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho_0 \sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] - \varepsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu_{eff}}{\rho_0 \sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\mu_{eff}}{\rho_0} \frac{\varepsilon}{k} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (9)$$

در این روابط k انرژی جنبشی تلاطم، ε آهنگ اتلاف انرژی، σ_k عدد اشمیت انرژی جنبشی، σ_ε عدد اشمیت برای آهنگ اتلاف انرژی و $C_{1\varepsilon}$ و $C_{2\varepsilon}$ ثابت هستند. مدل Rodi (1987) مشابه مدل Axell and Liungman (2001) بر اساس معادلات انرژی جنبشی و اتلاف تلاطم است. داده‌های ورودی در این مدل شامل اطلاعات دمای هوا، مولفه U و V سرعت باد، ابرناکی، و رطوبت نسبی ایستگاهی واقع در سه ایستگاه در خلیج فارس (شکل ۲) به مختصات $28^\circ 23' 21''$ N و $50^\circ 53' 40''$ E و $26'' 22' 00''$ N و $53'' 45' 00''$ E، $51'' 58' 00''$ E بود که به صورت ۳ ساعته و به مدت ۱۰ سال از سایت ECMWF استخراج گردید. مدل برای مدت ۱۰ سال به صورت پیوسته و با گام زمانی ۶۰۰ ثانیه اجرا گردید و نتایج آن با مدل‌سازی‌های مختلف تلاطم قائم مورد مقایسه گرفت. برای راستی آزمایی خروجی‌های مدل از داده‌های به‌دست آمده از گشت ROPME در سال ۱۹۹۲ با کشتی مونت میشل (Reynolds, 1993) استفاده گردید.

در این مدل عددی، به عنوان نمونه، معادله پایداری می‌تواند به صورتی باشد که ϕ می‌تواند دما، شوری، تکانه و یا مقدار اکسیژن حل شده آب و به شکل معادله (۱) باشد.

$$\frac{\partial}{\partial t} \phi + U_i \frac{\partial \phi}{\partial x_i} = S_\phi \quad (1)$$

که در آن U_i سرعت جریان و S_ϕ جملات چشمه و چاه است، و معادله توازن بودجه آب به صورت زیر می‌باشد:

$$A_s \frac{dZ_s}{dt} = Q_{in} - Q_{out} + (P - E)A_s + Q_r + Q_g \quad (2)$$

که در آن A_s مساحت سطح آب حوضه دریایی است Q_{in} و Q_{out} جریان ورودی و خروجی از طریق ورودی‌های حوضه دریایی هستند. P و E به ترتیب نرخ بارش و تبخیر می‌باشند (تفاوت آنها بارش خالص نامیده می‌شود). Q_r ورودی رودخانه و Q_g ورودی آب زیرزمینی می‌باشد.

بودجه توازن شوری نیز به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dV_0 S_0}{dt} = S_{in} Q_{in} - S_{out} Q_{out} - S((P - E)A_s + Q_r) \quad (3)$$

که در آن V_0 و S_0 حجم آب و شوری آب حوضه، نیمه محصور، S_{in} شوری آب ورودی است. این عوامل اساس بودجه‌های توازنی را تشکیل می‌دهند. برای شبیه سازی تلاطم قائم در خلیج فارس، از چند طرح‌واره استفاده شده است.

Svenson (1979) و شکسانی پیچکی را مطابق با رابطه ۴ به‌دست آورد:

$$v_r = 0.026 \frac{u_*^2}{f} \quad (4)$$

که در این رابطه u_* سرعت اصطکاکی ناشی از تنش باد سطحی روی آب می‌باشد.

Pacanowski and Philander (1981) پارامترسازی و شکسانی پیچکی را وابسته به

عدد ریچاردسون پیشنهاد کرد که مطابق رابطه (۵) است:

$$v_r = \frac{v_0}{(1 + 5R_i)^2} + v_b \quad \text{where} \quad R_i = \frac{\frac{g \partial \rho}{\rho_0 \partial z}}{\left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right]} \quad (5)$$

که v_0 و v_b مقادیر و شکسانی پیچکی که ثابت اند، ρ چگالی، U و V مولفه‌های افقی سرعت شاره و R_i عدد ریچاردسون می‌باشد.

Marchuk et al. (1977) و Sokolov et al. (1997) ضریب و شکسانی پیچکی را به



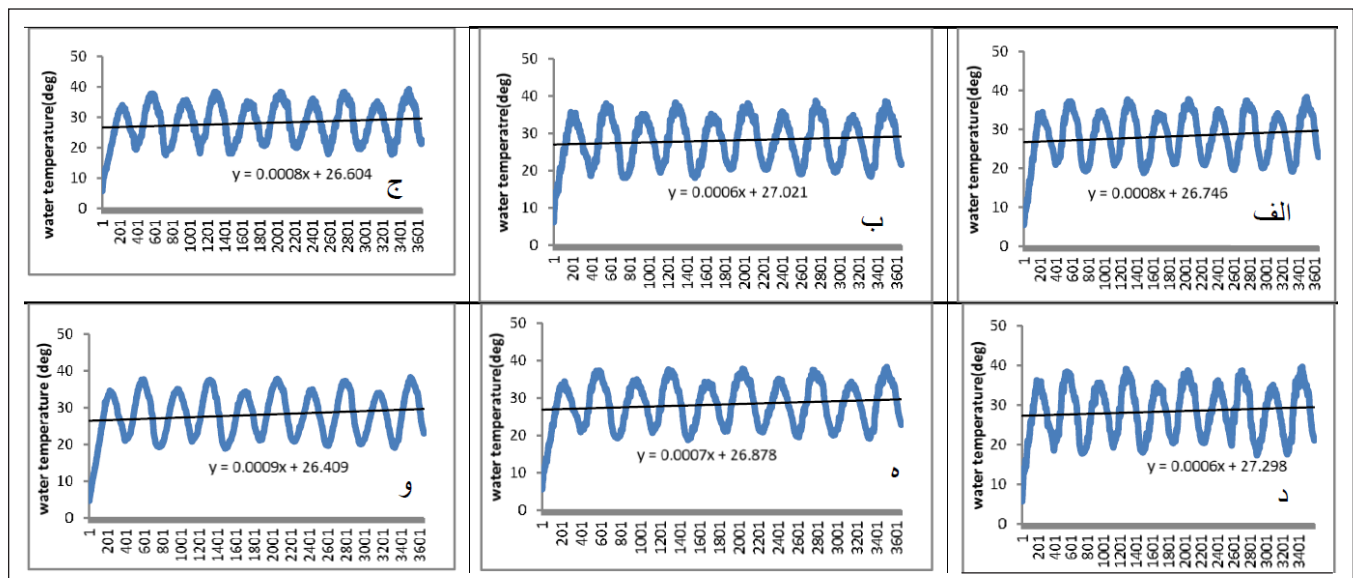
شکل ۲- ایستگاه‌های برگزیده برای اجرای مدل PROBE.

۳- نتایج و بحث

در اجرای این مدل حوضه خلیج فارس به صورت یک محدوده مجزا در نظر گرفته شده است و تبادل آبی آن با دریای عمان مستقیماً لحاظ نشده است. در سطح آب، لایه مرزی اکمن در نظر گرفته شده است که ورودی انرژی به صورت تابش طول موج کوتاه، شار گرمایی که به صورت آشکار و نهان بین محیط جو و اقیانوس تبادل می‌شود و همچنین شار تکانه ناشی از وزش باد در محیط است. مقادیر ابرناکی و همچنین عرض جغرافیایی برای محاسبه تابش طول موج کوتاه به کار می‌رود. برای محاسبه شار گرمایی، اطلاعات دمای هوا و رطوبت نسبی مجاور سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه شار تکانه، سمت و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر لحاظ می‌شود. مقادیر اولیه مورد استفاده در مدل شامل دمای سطح آب، شوری، عمق متوسط منطقه، و عرض جغرافیایی است که مقادیر متناظر با متوسط پارامترهای یاد شده در خلیج فارس برای آنها در نظر گرفته شد.

در این شبیه‌سازی، اثرات جو بر روی محیط آبی خلیج فارس به عنوان واداشت لحاظ شده است. برای این کار نقطه‌ای در بخش خاوری خلیج فارس انتخاب شده و اطلاعات سمت و سرعت باد، دمای هوا، ابرناکی کل، و رطوبت نسبی با بازه زمانی ۳ ساعته

به عنوان ورودی مدل با فرمت مناسب آماده گردید. در شکل ۳ سری زمانی ۱۰ ساله خروجی دمای آب مدل PROBE برای روابط مختلف تلاطم قائم نشان داده شده است. همانطور که در این نمودارها مشخص است، مدل با تمام این روابط نوسانات سالانه را به خوبی شبیه‌سازی کرده و مقادیر حد بالا و پایین دمای آب در آنها بین ۲۰ تا ۳۶ درجه سلسیوس است که با مقادیر مشاهدات همخوانی خوبی دارد (Reynolds, 1993). همینطور ابتدای رگردهای شبیه‌سازی شده نشان دهنده Spin-up مدل است، در نمودارها نشان داده شده که پس از آن مدل پایداری خوبی را طی ۱۰ سال شبیه‌سازی نشان داده است. با توجه به نمودارها می‌توان مشاهده نمود که روابط مناسب‌تر تلاطم (به ویژه رابطه (Omstedt (2015)، رگردهای شبیه‌سازی شده با نوسانات نزدیک‌تر به مشاهدات روزانه و فصلی را نشان می‌دهند، در حالی که روابط ساده‌تر این تغییرات را با جزئیات کمتری نشان می‌دهند (مثلاً رابطه (Svenson (1979)). علاوه بر این در تمام شبیه‌سازی‌ها روند افزایش دما با شیب ملایم مشاهده می‌شود که می‌تواند گواهی بر اثرات تغییر اقلیم در این منطقه باشد.



شکل ۳- شبیه‌سازی دمای ژرفای ۲ متری خلیج فارس (بوشهر) در طول یک دوره ۱۰ ساله (محور افقی زمان بر حسب روز است) با استفاده از مدل PROBE با طرح‌واره: الف) رودی، ب) اکسل-لیونگمن، ج) مارچوک، د) امستد، ه) پاکانوفسکی، و) اسونسن.

سطح آب در محدوده بین ۱۹ °C و ۳۵ °C به ترتیب در ماه‌های ژانویه و جولای متغیر است در حالی که دمای آب بستر دریا تقریباً در مقدار ۱۹ °C ثابت باقی می‌ماند. ستبرای لایه اختلاط نیز در طول ماه‌های سال تغییر می‌یابد. همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، این ستبرای در ماه‌های سرد سال بیشتر است به طوری که در ماه دسامبر تقریباً در تمام ستون آب مقدار دما یکسان بوده (در این جا حدود ۱۰۰ متر) اما در ماه‌های گرم سال این مقدار کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در ماه ژوئن لایه اختلاط تقریباً در مجاورت سطح آب تشکیل می‌شود (کمتر از ۵ متر).

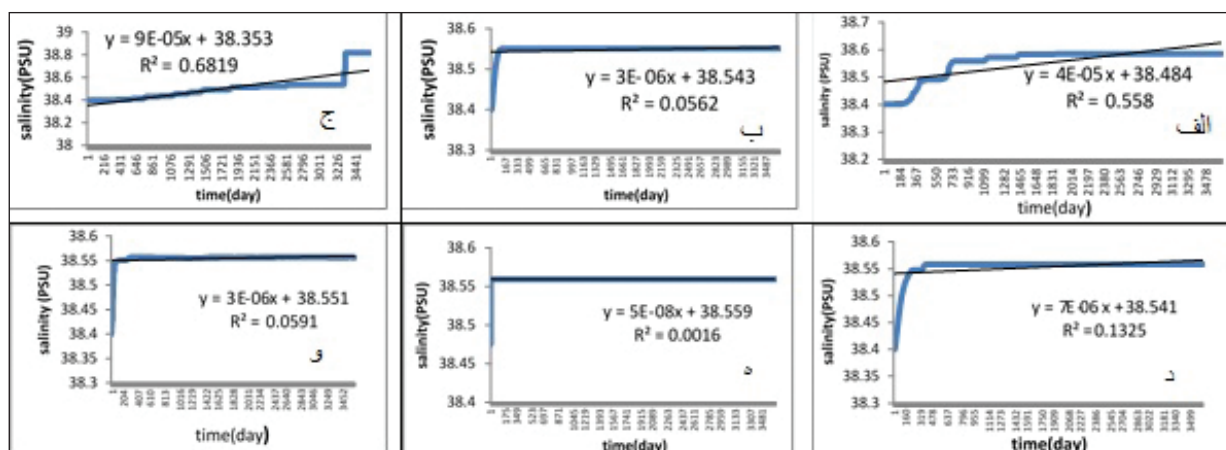
تغییرات نیمرخ قائم شوری در ماه‌های مختلف سال در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود اختلاف شوری بین سطح و بستر دریا حدود ۰/۱ PSU می‌باشد و مقادیر به‌دست آمده نزدیک به ۳۸/۵ PSU است، چرا که مدل پروب یک بعدی است و فرارفت افقی که سبب جابه‌جایی افقی آب‌های با شوری مختلف می‌شود وجود ندارد. تقریباً در تمام طول سال مقدار

در شکل ۴ سری زمانی ۱۰ ساله خروجی شوری مدل PROBE برای روابط مختلف تلاطم قائم به نمایش گذاشته شده است. در این نمودارها، برخلاف تغییرات دمای آب تغییرات نوسانی شوری مشاهده نشده و محدوده بالا و پایین مقادیر شوری حول مقدار ۳۸PSU می‌باشد. مقدار SPIN-UP در روابط مختلف متفاوت است و بیشترین آن مربوط به رابطه (Omstedt (2015) و کمترین آن مربوط به رابطه (Svenson (1979) است. در نمودارهای مربوط به شوری، روند افزایشی تقریباً در تمام نمودارها مشاهده شده و می‌تواند به افزایش دما و تبخیر ناشی از تغییر اقلیم باشد.

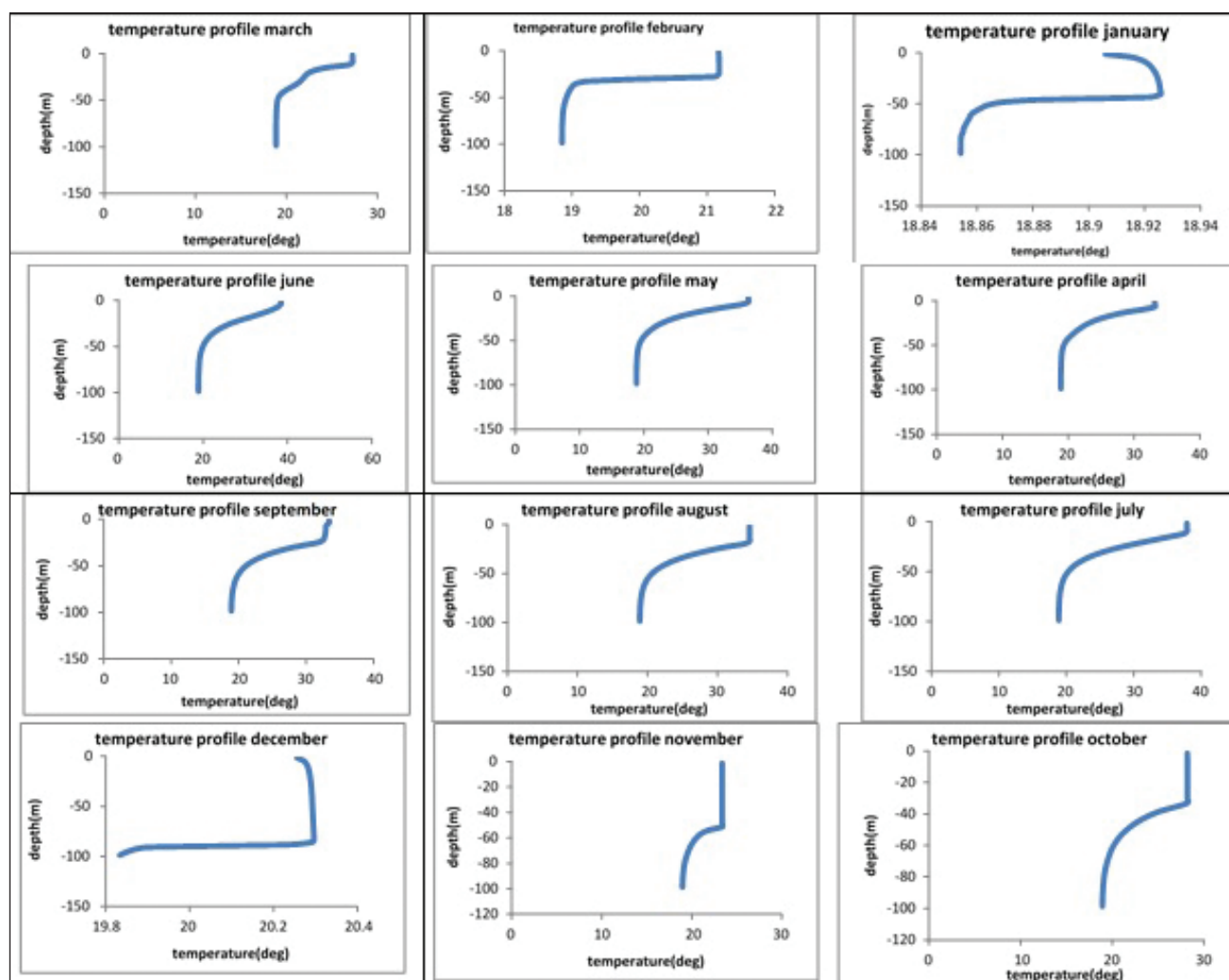
تغییرات ماهانه و فصلی نیمرخ قائم دمای آب در ایستگاه نمونه در خلیج فارس در شکل ۵ نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، اختلاف دمای سطح آب با بستر در ماه ژانویه کمترین مقدار در طول سال می‌باشد (حدود ۰/۱ °C) و این اختلاف با رسیدن به ماه‌های گرم سال بیشتر می‌شود به طوری که در ماه جولای این اختلاف به حدود ۱۸ °C افزایش می‌یابد. در طول ماه‌های سال، دمای

افزون بر این، مقادیر دمای شبیه سازی شده در سه ایستگاه در خلیج فارس شبیه سازی شد و داده های به دست آمده در ماه های مختلف مقایسه گردید. مقایسه دما و شوری در این سه ایستگاه در شکل ۷ آمده است. همان گونه که در شکل ۷ مشاهده می شود تغییرات دمایی در ایستگاه یک واقع در باختر خلیج فارس دارای افت و خیز بیشتر و همچنین مقدار دمای کمینه و بیشینه بیشتری نسبت به ایستگاه های خاوری دارد.

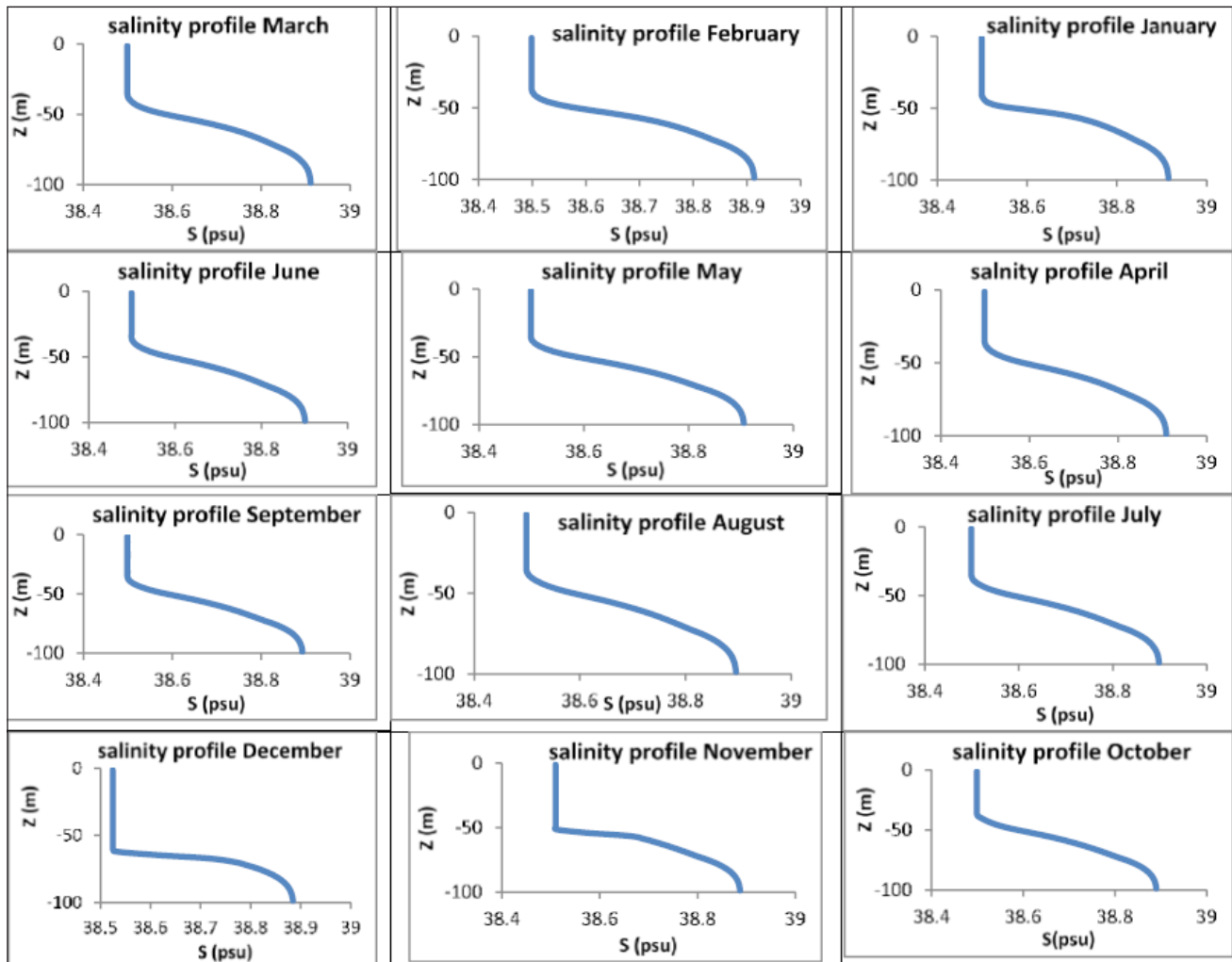
شوری در سطح بیشتر از شوری در عمق است که این موضوع به دلیل تبخیر در سطح اتفاق می افتد. تنها در ماه های ژانویه و دسامبر عکس این مورد مشاهده می شود که در این ماه ها تبخیر به دلیل کاهش دمای هوا در سطح کمتر از ماه های دیگر سال می باشد. همین طور ژرفای لایه اختلاط در این شکل نیز مشابه شکل ۵ در ماه های سرد سال بیش از ماه های گرم سال می باشد که این امر به دلیل تلاطم بیشتر در ماه های سرد ناشی از وقوع سیستم های جبهه های عرض های میانی در این دوره اتفاق می افتد.



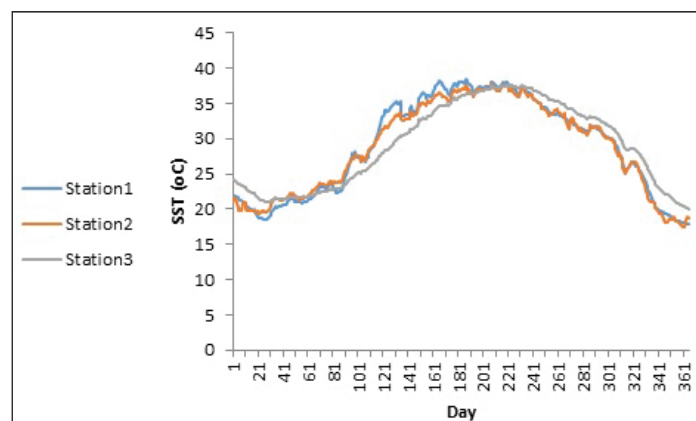
شکل ۴- شبیه سازی شوری خلیج فارس (بوشهر) با استفاده از مدل PROBE با طرح واره: الف) اکسل-لیونگمن، ب) مارچوک، ج) امستد، د) پاکانوفسکی، ه) اسونسون، و) رودی.



شکل ۵- نیم رخ قائم دمای آب شبیه سازی شده توسط مدل PROBE در ماه های مختلف سال ۱۹۹۲.



شکل ۶- نیمرخ قائم شوری (محور افقی بر حسب PSU) آب شبیه‌سازی شده توسط مدل PROBE در ماه‌های مختلف سال ۱۹۹۲.



شکل ۷- نمودار تغییرات دمای سطح آب در سه ایستگاه برگزیده در خلیج فارس در سال ۱۹۹۲.

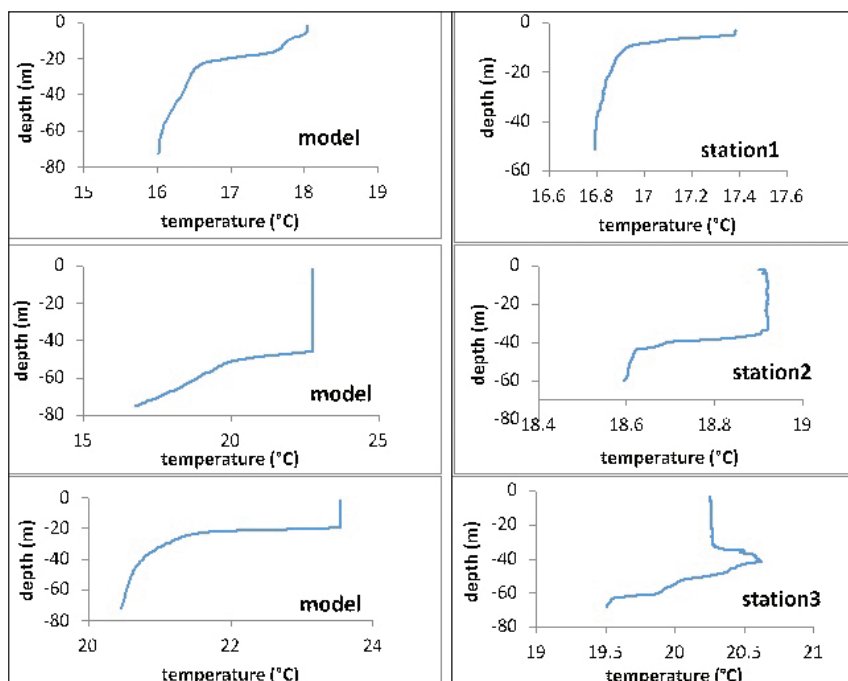
ایستگاه ۱ بیشتر است. در ایستگاه ۳ نفوذ جریان آب سرد در لایه‌های زیرین در اندازه‌گیری‌ها دیده می‌شود که این حالت در خروج مدل مشاهده نمی‌شود. می‌توان این مورد را به دلیل یک بعدی بودن مدل و عدم لحاظ نمودن گردش عمومی سه بعدی محیط توجیه نمود.

در شکل ۹ مقایسه‌ای بین مقادیر اندازه‌گیری شده نیمرخ قائم شوری و مقادیر مدل‌سازی شده در سه ایستگاه در خلیج فارس انجام شده است. همان‌گونه که

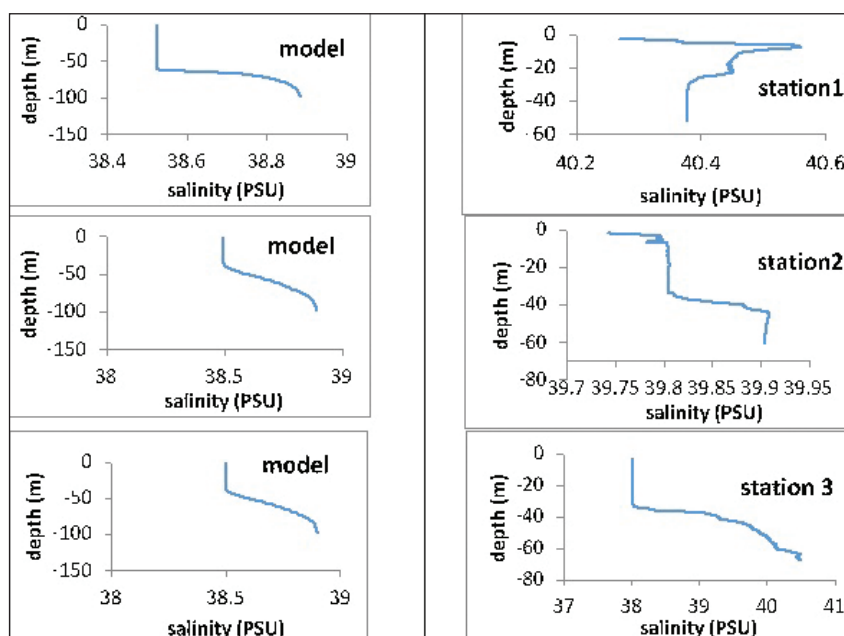
در شکل ۸ نیمرخ قائم دمای آب در ایستگاه‌های برگزیده بین خروجی مدل و اندازه‌گیری میدانی مقایسه‌ای صورت گرفته است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود در ایستگاه ۱، روند تغییرات دما در راستای ژرفا توسط مدل به خوبی شبیه‌سازی شده است و اختلاف بین مقادیر کمینه و بیشینه در مدل و اندازه‌گیری تقریباً جزئی می‌باشد. در ایستگاه ۲، روند تغییرات در خروجی مدل و نتایج اندازه‌گیری مشابه بوده ولی اختلاف بین مقادیر مدل‌سازی و اندازه‌گیری نسبت به

مشاهده نشده و تغییرات عادی را نشان می‌دهد. در ایستگاه ۲ و ۳ تغییرات شوری نشان‌دهنده شرایط پایداری در منطقه بوده و با مقادیر خروجی مدل همخوانی دارد.

در شکل مشاهده می‌شود، مقادیر شوری در ایستگاه ۱ در سطح حدود ۴۰ PSU اندازه‌گیری شده است و مقدار شوری در سطح بیشتر از مقدار آن در ژرفا است که نشان دهنده تبخیر زیاد در این منطقه است، اما این موضوع در مدل



شکل ۸- مقایسه نمرخ قائم دما بین خروجی مدل و اندازه‌گیری‌ها در سه ایستگاه برگزیده در ماه ژانویه سال ۱۹۹۲.



شکل ۹- مقایسه نمرخ قائم شوری بین مدل و اندازه‌گیری‌ها در سه ایستگاه برگزیده در ماه ژانویه.

۴- نتیجه‌گیری

قائم، رابطه تلاطم قائم (Omstedt (2015 تغییرات دمای آب را با جزئیات بیشتری شبیه‌سازی کرده و رابطه Svenson (1979 نسبت به سایر روابط جزئیات کمتری را نشان می‌دهد. در تمامی شبیه‌سازی‌های به‌دست آمده مربوط به تغییرات ۱۰ ساله دمای

با توجه به تحلیل‌های انجام شده، مشاهده شد که روابط پارامتری تلاطم قائم مورد استفاده در مدل PROBE به خوبی نوسانات سالانه تغییرات دمای آب را در خلیج فارس شبیه‌سازی می‌کنند. در بین روابط مورد استفاده برای شبیه‌سازی تلاطم

بر همین اساس پیشنهاد می‌شود شبیه‌سازی عددی با استفاده از این مدل برای خلیج فارس و دریای عمان به صورت دو حوزه مرتبط با یکدیگر صورت گیرد. اطلاعات اندازه‌گیری شده نظیر گشت ROPME، البته برای طولانی مدت، برای مقایسه نتایج با واقعیت مورد استفاده قرار گیرد. از نتایج سناریوهای مختلف تغییر اقلیم برای برآورد وضعیت دما و شوری آب طی دهه‌های آینده استفاده به عمل آید.

آب، روند افزایش دمای آب با شیب ملایم نشان داده می‌شود. دامنه نوسانات دمای سالانه آب در طی ۱۰ سال شبیه‌سازی بین ۲۰ تا ۳۶ درجه سلسیوس می‌باشد. روابط پارامتری تلاطم قائم مورد استفاده در شبیه‌سازی عددی، تغییرات اندکی را برای شوری نشان دادند. تقریباً در تمامی موارد، افزایش شوری آب با شیب ملایم قابل مشاهده است. مقادیر شوری نوسان اندکی حول مقدار ۳۸ Psu دارند.

کتابنگاری

ابراهیمی، م.، ۱۳۸۶- بررسی خصوصیات فیزیکی آب‌های شمال شرقی خلیج فارس و تنگه هرمز (آب‌های محدوده استان هرمزگان). چهارمین همایش ملی علوم و فناوری زیر دریا. رئیس‌السادات، س. م. ر.، رئیس‌السادات، س. ح. ر.، ۱۳۹۱- بررسی تعادل انرژی گرمایی در خلیج فارس؛ مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره چهاردهم، شماره چهار. زاهدی، ر.، ترابی آزاد، م.، ۱۳۸۱- نقش تغییر اقلیم بر جریان های خلیج فارس. سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. شماره پیاپی ۳۸.

References

- Axell, L.B., and Liungman, O., 2001- A one-equation turbulence model for geophysical applications: comparison with data and the k-ε model. Environ. Fluid Mech. 1, 71-106 (2001).
- Marchuk, G. I., Kochergin, V. P., Klimok, V. I., and Sukhorukov, V. A., 1977- On the dynamics of the ocean surface mixed layer. J. Phys. Oceanogr. 7, 865- 875.
- Omstedt, A. , 2015- “Guide to Process based modeling of lakes and Coastal Seas”, Springer.
- Omstedt, A. and Axell, L. B., 2003- Modeling the variations of salinity and temperature in the large Gulfs of the Baltic Sea. Continental Shelf Research. 31;23(3):265-94.
- Omstedt, A., Hansson, D., 2006- The Baltic Sea ocean climate system memory and response to changes in the water and heat balance components. Continental Shelf Research 26, 236-251.
- Omstedt, A., Meuller, L., Nyberg, L., 1997- Interannual, seasonal and regional variations of precipitation and evaporation over the Baltic Sea. Ambio. 1:484-92.
- Pacanowski, R.C., and Philander, S.G., 1981- Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans. J. Phys. Oceanogr. 11, 1443-1451.
- Reynolds, M., 1993- “Physical Oceanography of the Persian Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman — Results from the Mt. Mitchell Expedition”, Marine Pollution Bulletin, Pergamon Press, London.
- Rodi, W., 1987- Examples of calculation methods for flow and mixing in stratified flows. J. Geophys. Res. 92, 5305-5328.
- Rummukainen, M., Räisänen, J., Bringfelt, B., Ullerstig, A., Omstedt, A., Willén, U., Hansson, U., and Jones, C., 2001- A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of two GCM control simulations. Climate Dynamics. 1;17(5-6):339-59.
- Sokolov, A., Andrejev, O., Wulff, F., and Medina, M.R., 1997- The data assimilation for data analysis in the Baltic Sea. Systems Ecology Contributions, no. 3. Department of Systems Ecology, Stockholm University, Sweden.
- Svensson, U., 1979- The structure of the Ekman layer. Tellus 31, 340-350.
- Svensson, U., 1979- The structure of the Ekman layer. Tellus 31, 340-350.
- Winsor, P., Rodhe, J., Omstedt, A., 2001- Baltic Sea ocean climate: an analysis of 100 yr of hydrographic data with focus on the freshwater budget. Climate Research. 18;18(1/2):5-15.

Study of temperature and salinity variability in Persian Gulf due to climate changes using a numerical model and some observations

S. Farrokhi Moghaddam^{1*}, A. A Ali Akbari Bidokhti², F. Ahmadi-Givi³ and M. Ezam⁴

¹ Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Physical Oceanography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Physical Oceanography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2018 May 29

Accepted: 2018 June 30

Abstract

Salinity and water temperature are considered as important characteristics of water of different seas. The absolute values and variability of them in time and space determine life sustainability conditions, development of plants and animals and also types of human activity in seas. Water temperature and salinity are important because of their effects on chemical and biochemical reactions of hydro-organisms. In this research the effects of climate change on physical characteristics of Persian Gulf including water temperature and salinity has been studied using numerical simulations and some observations. To carry out numerical simulation, the 1-dimension oceanic numerical model PROBE was used. The input data of the model includes meteorological information obtained from ECMWF and also initial values of the station. To simulate the vertical turbulence, the relations of Axcell-Liungman, Omstedt, Rodi, Pacanovski and Marchuk have been used for a station in the Persian Gulf and the results have been compared with some measurements and similar studies. The results of investigations show that limits of seawater and salinity variability model outputs are similar but the Omstedt relation shows more detailed changes in comparison to the others. The numerical results indicate that the temperature increase of the Persian Gulf over a decade can be as large as one to two degree Celsius, with some salinity increase as well.

Keywords: Physical changes, temperature and salinity, Persian Gulf, climate change, PROBE model

For Persian Version see pages 63 to 70

*Corresponding author: S. Farrokhi Moghaddam; E-mail: farokhi.mat@gmail.com