مدلسازی تغییرات دما در خلیج فارس با استفاده از مدل عددیPOM

سید مجید مسدد

استادیار گروه فیزیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

Email: mosaddad5@gmail.com

چکیده

دما، شوری و چگالی از جمله پارامترهای فیزیکی آب دریا و اغلب درحال تغییر هستند. ترموکلاین، از جمله خصوصیاتی است که به صورت خاصی از تغییرات دما در ستون سیال ایجاد گردیده و می تواند دارای تغییراتی از نظر زمانی و مکانی باشد. مطالعه و بررسی ایجاد و روند تکاملی ترموکلاین که نوعا به طور فصلی دارای تغییر است، محقق را به سمت اطلاعات راجع به پدیده های درون سیال سوق می دهد. روش های عددی دارای خطا و تقریب هستند . هرچه اثر نیروهای موجود در منطقه و عوامل مؤثر بر مساله بیشتر شناخته شود، مقادیر پیش بینی به واقعیت نزدیکتر خواهند بود, از این رو خطای کمتری در مطالعه عددی روی خواهد داد. البته برای سنجش میزان درستی نتایج حاصل از مدل عددی در منطقه مورد مطالعه می توان نتایج را برای مدت زمانهای مختلف و با گامهای زمانی مناسب پیش بینی و با مقادیر اندازه گیری مقایسه کرد؛ در این تحقیق با اجرای مدل عددی پرینستو ن در یک دوره شش ماهه از فصل زمستان با کمک دما های اندازه گیری شده در خلیج فارس (مونت میشل ۱۹۹۲) و اعمال شرایط اولیه و مرزی و همچنین اعمال واداشتهای موثر در محیط، مقادیر دما ها در فصل تابستان نتیجه می شوند؛ بنابراین تشکیل و توسعه ترموکلاین پرداخته شده است. در واقع توسعه ترموکلاین از تنگه هرمز به سمت شمالغرب (ورودی اروند به خلیج فارس) با مدلسازی عددی تغییرات دما به عنوان پارامتر غالب مؤثر بر تشکیل و توسعه ترموکلاین مطالعه شده است.

کلمات کلیدی: خلیج فارس، دما ،ترموکلاین، مدل عددی، پی او ام.

مقدمه

خلیج فارس در جنوب ایران واقع بوده و منطقه ای گرم و نیمه خشک است. به سبب گرمای نسبتا زیاد نسبت به دریای عمان که بر خلیج فارس حاکم است، تبخیر زیاد، دمای بالاتری و در خلیج فارس مشاهده می شود. به دلایل گفته شده، آب شورتر و سنگینتر خلیج فارس در لایه عمقی (نزدیک به بستر) از سمت خلیج به دریای عمان جریان می یابد. تبخیر و جزرومد از جمله خصوصیات و شرایط موجود در خلیج فارس بوده که تقریبا از عوامل دیگر مهمتر هستند و در نتیجه در مکانیسم تشکیل امواج و جریانات در خلیج فارس نقشی مهم دارند. منطقه خلیج-فارس شامل میدانهای نفتی بوده و از جنبه های مختلفی مانند شیلات و کشتیرانی مورد توجه کشورهای منطقه بوده است. بررسی رفتار و روند تغییرات کمیتهای فیزیکی در این حوضه از نظر شناخت پدیده ها و تغییرات محیطی ارزش علمی فراوان دارد (مسدد ۱۳۹۰). در فصل زمستان سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶، افزایش چشمویر در میزان کلروفیل وجود دارد. به دلیل طبیعت عمق ک خلیج فارس، شار گرما و رطوبت سطحی بیشتر از تاثیر شارباد بر شوری است. افزایش شوری از سپتامبر تا نوامبر زیاد می باشد. شوری خلیج فارس در بهار و تابستان حداقل و در پاییز و زمستان به حداکثر مقدار خود می رسد. از دیگر نشانه های تغییر اقلیم ایجاد سفیدشدگی مرجان ها است که گواهی بر تغییر اقلیم و دمای سطح آب می باشد که در سال های اخیر رو به افزایش می باشد ترموکلاین به صورت یک لایه از ستون آب تعریف می شود که در نتیجه چینه بندی در ستون آب متاثر از شار گرمای تابشی، ورود آب رودخانه ها به دریا و شرایط جوی حاکم بر حوضه آب تشکیل می شود (زارعی و همکاران ۱۳۹۸). آب و هوا عامل تغییرپذیری سالانه تولید محصولات کشاورزی حتی در محیط تریهایی با عملکرد و فناوری بالاست. امروزه موضوع تغییر اقلیم جهانی بسیار مورد توجه دانشمندان وسیاستگذاران عرصه های بین المللی قرار گرفته است زیرا هر دلیل آگاهی از چگونگی وقوع تغییری در آب و هوا، عدم قطعیت مربوط به محصولات زراعی را افزایش خواهد داد (ارفع و همکاران ۱۳۹۹). انگیزه تولید سریهای زمانی آب-هوایی طولانی مدت استفاده آن درتحلیل ریسک مخاطرات هیدرولوژیکی و کشاورزی مانند محاسبه دوره بازگشت شرایط حدی (سیل، بارش و سیل آسا و خشکسالی) می باشد (حمیدیانپور و همکاران ۱۳۹۶). ترموکلاین به صورت یک لایه از آب است که با کاهش دما با عمق همراه بوده و از اختلاط لایه های سطحی و زیرین در ستون آب جلوگیری می کند (ابدالا ۲۰۰۹)[1]. تغییر دمای سطح آب SST خلیج فارس با افزایش دمای ایستگاهها مورد مطالعه کاملا هماهنگ می باشد (کمالی ۱۳۹۴). با استفاده از داده های سی تی دی گشت دریایی راپمی در سال ۱۹۹۲، خصوصیات فیزیکی آب، لایه بندی ستون آب و میزان پایداری آب های خلیج فارس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تشکیل لایه بندی ستون آب در فصل گرم، تضعیف و از بین رفتن آن در فصل سرد می باشد. خلیج فارس مانند مصب وارونه ای عمل می کند که در آن جریان دریای عمان از سطح وارد و آب خلیج فارس از اعماق خارج می گردد. در فصل سرد، روند تغییرات چگالی در اکثر مناطق بیشتر از میزان شوری آب خلیج فارس است و در فصل گرم، هر دو پارامتر دما و شوری بطور تقریباً یکسان بر مقدار چگالی تاثیر گذار هستند. پایداری بیشتر ستون آب در فصل گرم (از مرتبه 10^{-5} m) نسبت به فصل سرد (از

[1] Abd Ellah, 2009

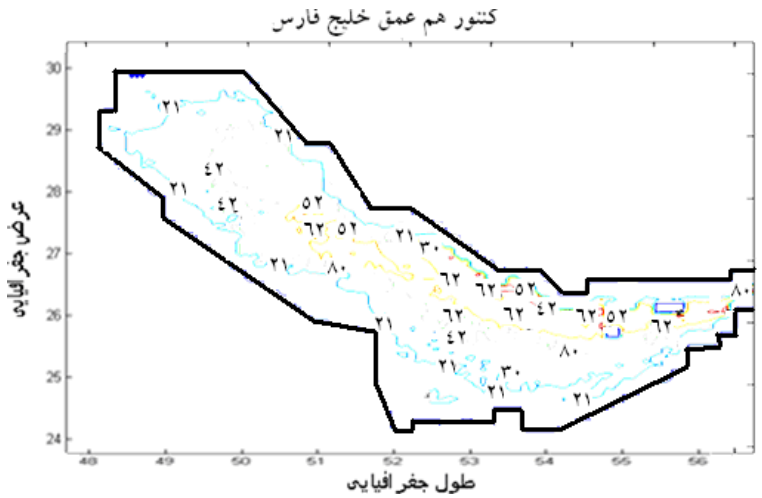
مرتبه 10-6 -m) محرز می باشد (مجیدی ۱۳۹۲). جزرومد تا عمق ۳۰ متر بر دما اثر گذاشته و در عمق‌های پایین‌ترتاثیر آن ضعیف است و شدت آن در بهار بیشتر از زمستان است. بنا براین از سطح به عمق با سرد شدن آب، اثر جزرومد بر دما کاهش می یابد که علت آن می تواند مربوط به تشکیل گرادیان دمایی و ترمو کلاین در بهار باشد و یا اثر رفت و بر گشتی جزرومد که ایجاد موج می‌کند و باعث افزایش دما و کاهش شوری می‌گردد. در قسمت‌هایی که لایه بندی قوی‌تر است گرادیان شدیدتر بوده و اثر جزرومد نیز قوی‌تر می باشد. تاثیر جزرومد بر شوری نیز در سطح بسیار ضعیف بوده و در برخی از اعماق قوی‌تر است که احتمال دارد به علت توپوگرافی منطقه و اثر رفت و برگشتی موج باشد (قاضی و همکاران ۱۳۹۹). همچنین با به کاربردن اطلاعات جوی و هواشناسی می توان فرسایش و تغییرات ترموکلاین را مشخص کرد و تاثیر سرد شدن سطح و کاهش شدت ترموکلاین از طریق اختلاط باد نسبت به فرارفت را تعیین کرد. در اکثر موارد، علت اصلی تشکیل ترموکلاین را می توان کاهش تنش باد و افزایش شرایط پایداری سطحی در نتیجه سرد بودن آب نسبت به هوای عبوری دانست چون در همه حوضه های آبی واداشتهای سطحی تعیین کننده تغییر ترموکلاین هستند (کوتیر و اینال ۲۰۰۳)[۱]. (کامپ و صدری نسب (۲۰۰۶)[۲] در تحقیق خود با اجرای مدل کوهرنس[۳] به مطالعه عددی گردش آب در خلیج فارس پرداختند. شبیه سازی پارامترها و پدیده های فیزیکی در محیط دریا به روشهای مختلف انجام می شود. یکی از این روشها، حل عددی معادلات حاکم بر مساله در هر مورد است. با تعیین شرایط مرزی و شرایط اولیه برای منطقه مورد مطالعه به پیش بینی مقادیر پارامترهای مورد نظر موجود با کمک معادلات حاکم، در زمانهای بعد پرداخته می شود. به طورکلی روشهای عددی برای حل معادلات حاکم بر مساله یک ابزار قوی جهت پیش بینی مقادیر پارامترها و پدیده های روی دهنده در شرایط ویژه و مشخص هستند. با اجرای مدل پی او ام[۴]، در این تحقیق داده های دما طی این شش ماه با شروع از فصل زمستان به دست می آیند. پس با انجام این تحقیق میزان تاثیر واداشتهای موجود بر چگونگی تغییرات دما در خلیج فارس از زمستان تا اوایل تابستان و روند رشد ترموکلاین در منطقه مشخص می گردد. در نهایت برای تایید صحت نتایج، ضرایب همبستگی با اندازه گیری به دست خواهند آمد. در حقیقت، مطالعه ترموکلاین فصلی و توسعه آن در خلیج فارس با استفاده از یک مدل عددی بررسی شده و با نتایج تحلیلی مقایسه می شود.

توپوگرافی و شرایط مرزی

با استفاده از داده های توپوگرافی خلیج فارس بر اساس مشاهدات مرکز ملی اقیانوس شناسی امریکا ای توپو[۵] در ابعاد شبکه ای حدود ۶,۵ کیلومتر در ۶,۵ کیلومتر و هموارسازی مقادیر عمق به علت وجود ناهمواریهای بستر، کنتورهای هم عمق در منطقه مورد مطالعه به صورت (شکل ۱) بدست آمد.

---

۱ Cottier and Inall, 2003
۲ Kampf and Sadrinasab, 2006
۳ COHERENS
۴ POM
۵ ETOPO



(شکل۱)خطوط هم عمق در منطقه مورد مطالعه

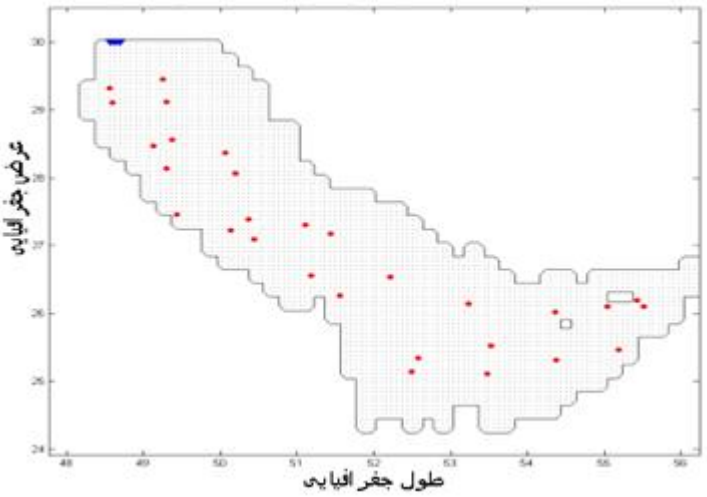
مقدار پارامتر کوریولیس f، متناسب با عرض جغرافیایی میانی خلیج فارس (۲۷ درجه) و برابربا $۰,۰۰۰۰۷\ S^{-1}$ به مدل داده شده است. تصویر هوایی ورودی رودخانه اروند به خلیج فارس به صورت (شکل۲) است.

(شکل۲) عکس هوایی از ورودی رودخانه اروند به خلیج فارس با پهنای ۷۰۰ متر

با استفاده از گوگل ارت[۱] مختصات دهانه ورودی اروند به صورت عرض جغرافیایی (۲۹,۹۰) و طول جغرافیایی (۴۸,۶۵) بدست آمد. تنگه هرمز، به عنوان راه اتصال خلیج فارس به دریای عمان و اقیانوسها، مرز باز مدل در شرق خلیج فارس است. برای تعیین شرایط اولیه، داده های دما در ۲۹ ایستگاه در زمستان که در سطح خلیج فارس پراکنده اند، به صورت نقاط مشخص شده در (شکل۳) را به

[۱] Google earth

روش کرسمن به تمام نقاط شبکه در منطقه مورد مطالعه درون یابی می کنیم.



(شکل۳) موقعیت مکانی ایستگاههای مورد استفاده (۲۹ ایستگاه) در درون یابی دما (جهت تعمیم شرایط اولیه به خلیج فارس)

مواد و روشها

خلیج فارس که کاملا کم عمق است، یک حوضه آبی به شکل بطری است که از سمت شمالغربی تا جنوبشرقی در جنوب کشور ایران گسترش دارد. طول آن ۹۱۷ کیلومتر بوده و عرض بیشینه آن ۳۳۸ کیلومتر است. رودخانه های دجله، فرات و کارون نیز به خلیج فارس می ریزند.

خصوصیات و مکانیسم امواج و جریانات در لایه بالایی ستون آب در خلیج فارس در دو فصل تابستان و زمستان متفاوت است. در تابستان، ترموکلاین در تمام خلیج فارس تشکیل می شود، یعنی طبقه بندی ستون سیال شدید است. شوری آب در خلیج فارس نسبت به دریای عمان بیشتر است و در نتیجه جریانات عمقی از خلیج فارس به دریای عمان و جریانات سطحی از دریای عمان به سمت خلیج فارس رخ می دهند (بیدختی و عظام، ۲۰۰۸)[۱].

داده های دما به کار رفته طی این تحقیق به وسیله گشت تحقیقاتی کشتی مونت میشل[۲] طی مدت ۱۰۰ روز در دو فصل گرم و سرد سال ۱۹۹۲ (کاملترین مجموعه اندازه گیریها در خلیج فارس تاکنون) در ۱۱۲ ایستگاه جمع آوری شده است. در این تحقیق, به دنبال شبیه سازی تغییرات دما ی ستون آب در خلیج فارس و در واقع, ارائه مدلی برای پیش بینی این پارامترهستیم. برای اجرای تحقیق و شبیه سازی, از مدل عددی پی او ام که شامل حل معادلات ناویر استوکس استوار است و در آن واداشتهای مختلف (که به آنها اشاره شد) در حوضه خلیج فارس اعمال می شود. برای اجرای مدل در خلیج فارس شرایط مرزی، سطحی و

[۱] Bidokhti and Ezam, 2008
[۲] Mt Mitchell

اولیه آن آماده شد. شبکه آراکاوای سی[1] در نظر گرفته برای خلیج فارس دارای ابعاد ۱۲۶ در ۱۰۱ فاصله شبکه ای در سطح و در ۱۱ تراز (۱۰ لایه) سیگما (از ۰ تا ۱-) در جهت قائم است. با تعریف شرایط مرزی و تنشهای موجود ناشی از تبخیر, ورود رودخانه، باد و تابش با شروع از فصل زمستان در گامهای زمانی ۵ دقیقه (تا شرط پایداری رعایت شود) مقادیر دما برای فصل تابستان بدست آورده می شود. در این تحقیق از معادلات آب کم عمق استفاده کرده و با حل معادلات حاکم بر حوضه مورد مطالعه از روش حل عددی با استفاده از مدل پی او ام، مقادیر دما در نقاط یک شبکه و در فصل تابستان با شروع از مقادیر دما و همچنین شرایط مرزی در زمستان بدست خواهند آمد. روشها و راههای متفاوت حل عددی معادلات دارای خطا و تقریب هستند. در این تحقیق, با حل عددی معادلات ناویر-استوکس در شبکه آراکاوای سی در سیستم مختصات سیگما به مدلسازی و تحلیل توسعه تدریجی ترموکلاین از زمستان به اوایل تابستان در خلیج فارس پرداخته می شود. ابعاد شبکه مدل شده به خلیج فارس در این تحقیق، ۱۰۱*۱۲۶*۱۱ در جهات x، y و z (تعداد لایه ها در راستای سطح آزاد تا بستر در ستون آب) است. کد پی او ام، یک کد به زبان فرترن است که برای شبیه سازی دما، شوری، جریانات، امواج و دیگر پارامترها و پدیده های فیزیکی در ستون سیال در محیط آبی دریا به کار می رود. مبنای شکل گیری این کد، معادلات سه بعدی ناویر استوکس است که مولفه سوم سرعت بر اساس رابطه ای مجزا بر حسب u و v بدست می آید. این کد به زبان برنامه نویسی فرترن توسط ملور و بلامبرگ[2] نوشته شده است. در اجرای مدل پی او ام در منطقه خلیج فارس بر اساس کد نوشته شده توسط ملور و بلامبرگ همچون مدل به کار رفته در تحقیق کامپ و صدری نسب، جریان اولیه با سرعت ثابت که در کانالی مستقیم و محصور وجود داشت، صفر در نظر گرفته شده و مرزهای خلیج فارس به مدل معرفی می شوند. البته در این مدل ضرایب متعددی در قسمت های مختلف وجود دارند که برای اعمال وادا شتها (مثل تابش خورشید) و چگونگی تغییر پارامترها موثر در نتایج شبیه سازی متغیرها و پدیده های مورد مطالعه تحقیق (مثل زبری بستر) کنترل شده و مقادیر صحیح و کاربردی در اجرای مدل حاضر انتخاب می شوند. در مدل پی او ام، سطوح سیگما بهترین مختصات نمایش و تاثیر توپوگرافی بستر برای لایه های جزرومدی است، چرا که سطح بستر یک سطح هموار یا صاف نیست. مختصات سیستم مختصات سیگمای اعمال شده در مدل به صورت زیر هستند:

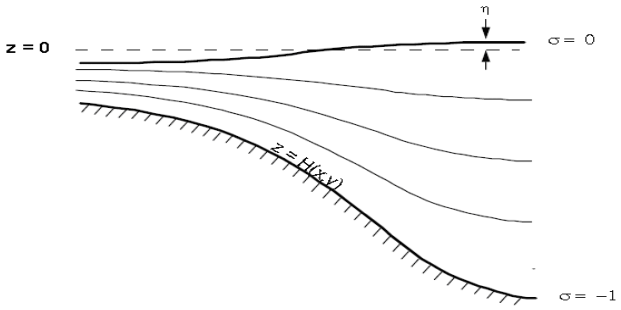
$$\left(x, y, \sigma = \frac{z-\eta}{h+\eta}, t\right) \qquad (۱)$$

η (X، Y، t) تراز دریا یا انحراف سطح از میانگین سطح آزاد دریا است به طوریکه $D = H + \eta$ عمق موضعی کل بوده و H (X ، Y) توپوگرافی بستر می باشد. σ از مقدار۰ در $Z = \eta$ (در سطح آزاد دریا) تا ۱- در $Z = H$ (روی بستر) به عنوان مختصات قائم سیستم سیگما و دارای ۱۱ تراز (۱۰ لایه) از $\sigma = ۰$ تا $\sigma = -۱$ تغییر می کند.

---

[1] Arakawa C

[2] Mellor and Blumberg, 1985



(شکل٤) دستگاه مختصات لایه ای سیگما

شکل نهایی معادلات پایه به کار رفته در این مدلسازی در سیستم مختصات سیگما (معادله پیوستگی) به صورت زیر هستند.

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}+\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial h}{\partial t}=0 \qquad (۲)$$

که U، V و W مولفه های سرعت و تراز سطح دریا است، در حالیکه مولفه قائم مختصات سیگما است.D عمق میانگین حوضه آبی می باشد. معادله دما (پایستاری گرما) به صورت زیر است.

$$\frac{\partial TD}{\partial t}+\frac{\partial TUD}{\partial x}+\frac{\partial TVD}{\partial y}+\frac{\partial T\omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_H}{D}\frac{\partial T}{\partial \sigma}\right]+F_T-\frac{\partial R}{\partial z} \qquad (۳)$$

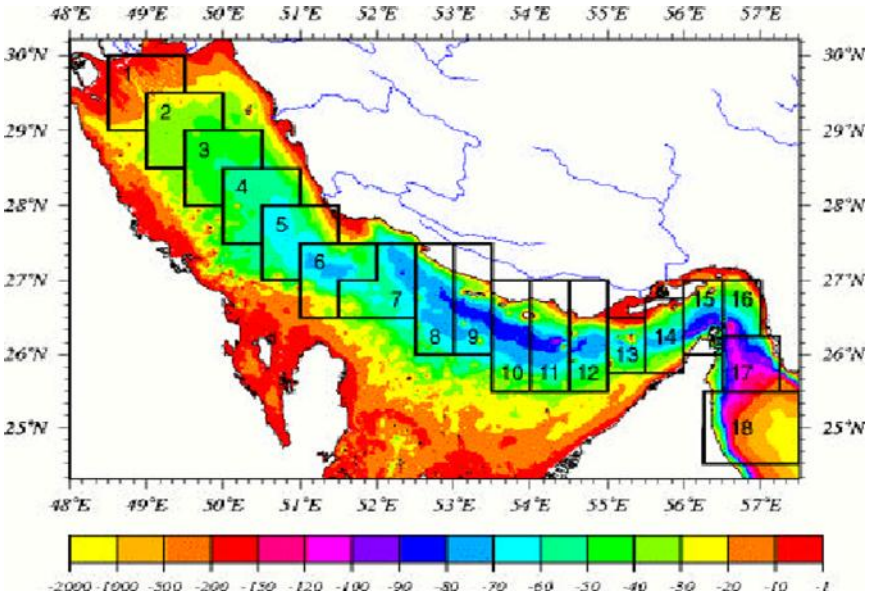
F_T ، K_H و $\frac{\partial R}{\partial Z}$ بترتیب واداشتهای گرما مثل تابش خورشید، دیفیوزیویتی قائم و واگرایی شارگرمایی از طریق تابش بین لایه ها هستند. (سوویفت و باور ۲۰۰۳)[1]، به مطالعه گردش آب و همچنین رفتار تلاطمی حرکت آب در خلیج فارس بخصوص در حوالی تنگه هرمز پرداختند. در این تحقیق، گردش توده های آب در خلیج فارس با به کاربردن اندازه گیریها طی دهه ۱۹۹۰ و همچنین سال ۱۹۹۲ توسط گشت تحقیقاتی مونت میشل مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه آنها نشان داد که چگالترین آب در این حوضه در زمستان و در انتهای شمالی خلیج تشکیل می شود، در حالیکه در سواحل غربی و جنوبی، آب گرمتر بوجود می آید. در این تحقیق به این نکته نیز پرداخته شده است که انتقال توده های آب دریای عمان با چگالی متفاوت به خلیج فارس بر شکل ترموکلاین در این حوضه تاثیر گذاشته و به نوعی پایداری آب را کاهش می دهد. در این تحقیق مقادیر میانگین تبخیر، بارش و ورودی آب رودخانه به ترتیب (m)۱,۴(m)، (m) ۰,۰۷–۰,۱ و ۰,۱۵–۰,۴۶(m) در سال تخمین زده شده است، که نشان می دهد جو منطقه خلیج خشک بوده نتیجه اش، تبخیر زیاد است. بویه های اندازه گیری سرعت جریانات بسمت شمال را اندازه گیری کرده اند. ورودی خالص آب از طریق تنگه هرمز به این حوضه دارای مقادیر بیشینه ۰,۱۷ (سوردراپ) در ماه مارس و کمینه ۰,۰۳(سوردراپ)

در ماههای اوت– سپتامبر است. برای مطالعه پارامترهای فیزیکی آب در این حوضه، هجده جعبه

[1] Swift and Bower, 2003

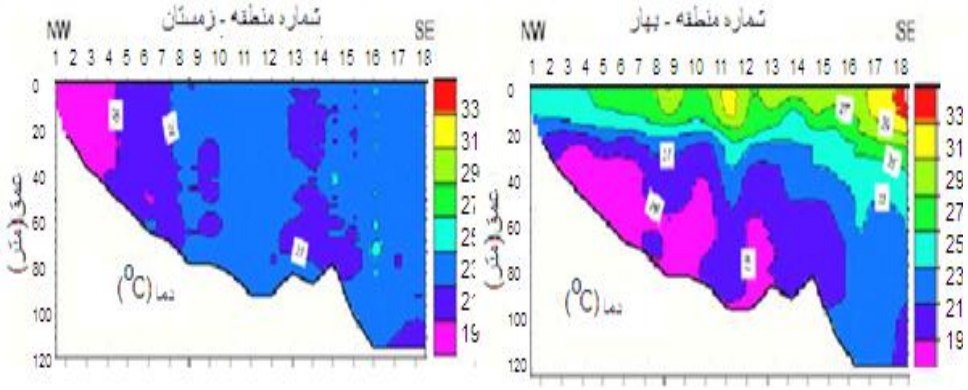
شامل ایستگاههای عمده اندازه گیری سی تی دی[1] در نظر گرفته شده بود (شکل۵). تغییرات زمانی شرایط جوی حاکم بر مناطق دریایی موجب تغییرات در ترموکلاین و فرارفت افقی می شود.

[1] CTD



(شکل۵) توپوگرافی حوضه خلیج فارس و تنگه هرمز (سوویفت و باور، ۲۰۰۳)

در سطح آزاد دریا تغییر عامل تنش باد به طور مستقیم بر مد نخست موج داخلی و تا حدی بر مد دوم این امواج یعنی بخش اصلی آنها تاثیر گذار است. گردش بزرگ مقیاس آب دریا به طور عمده به میزان تنش باد و شار تابشی سطحی گرما بستگی دارد (هانگ و همکاران ۲۰۰۶) . همینطور در این تحقیق کنتورهای دما آب در حوضه ارائه شده اند که در (شکل ۶) مشاهده می شوند. این ترانسکتها نشان دهنده وجود ترموکلاین در سرتاسر خلیج فارس هستند.



(شکل ٦) کنتورهای دما در امتداد محور خلیج فارس در فصلهای
(الف)زمستان و (ب)تابستان (سوویفت و باور، ۲۰۰۳)

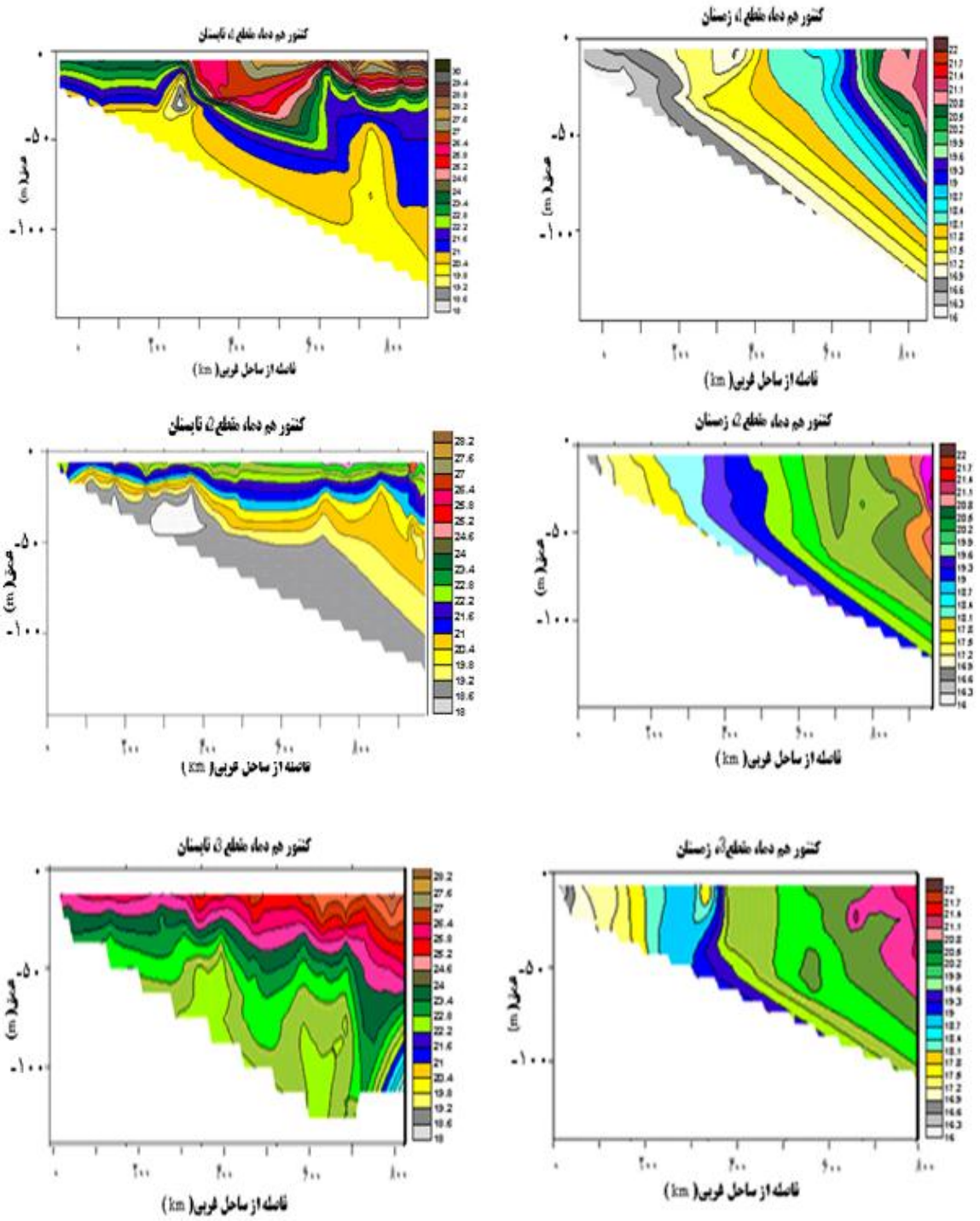
اثر وزش باد بر تغییرات ترموکلاین اقیانوسی می تواند به وسیله دو مکانیسم در لایه سطحی و زیرسطحی مؤثر باشد. اول اینکه دمای سطح دریا را از طریق تغییر در شارهای گرمای نهان و محسوس تغییر می دهد. دوم اینکه تغییر دمای لایه زیر سطحی ناشی از تنش باد به وسیله پمپ اکمن

صورت می گیرد. در نتیجه تنش باد بر سطح آزاد دریا در تشکیل و تغییر عمق ترموکلاین مؤثر است (کوبوکاوا و زای ۲۰۰۱)[۱].

اختلاف چگالی در توده های آب و جریان های اصلی بزرگ مقیاس و تنش باد در سطح، موجب شیب دار شدن خطوط ایزوپیکنال و ایجاد ناپایداری باروکلینیکی می گردد. وجود این ناپایداری باعث تشکیل پیچکها در اطراف جریان های اصلی می شود. با تشکیل تدریجی ترموکلاین از اواخر فصل زمستان و با در نظر گرفتن جریان آب اروند و ورودی آب دریای عمان به خلیج فارس از طریق تنگه هرمز، شرایط لازم برای ایجاد پیچکهای میان مقیاس در سواحل ایران ایجاد می شود. چگونگی شکل گیری و گسترش پیچکها و همچنین تحلیل داده های دما و شوری (داده های مونت میشل) نشان می دهد که موقعیت جبهه شوری ایجاد شده در نزدیکی تنگه هرمز تحت تأثیر این پیچکها تغییر می کند. علاوه بر آن، پیچکهای شکل گرفته در نزدیکی تنگه هرمز، سبب ایجاد اختلاط عمودی و افقی شدیدی در آن ناحیه می شوند که تأثیر بسزایی بر چگونگی توزیع گرادیان شوری و دما دارند. پیچکهای میان مقیاس چرخندی در سواحل ایران سبب تقویت و افزایش شیب خطوط ایزوپیکنال و ایجاد جریانهای در امتداد ساحل می شوند که به طرف شرق در حال حرکت می باشند (ثابت عهد جهرمی ۱۳۹۶). مکان این جبهه ها بیشتر در راستای جریان چگالی خلیج فارس که به صورت پادساعتگرد می باشد، قرار دارد. جبهه های اروند نیز به دلیل خروجی آب شیرین اروند به خلیج فارس ایجاد میشود که جهت حرکت این پلوم در ماههای مختلف، متفاوت است و بستگی به جهت باد منطقه دارد (کارمی ۱۳۹۷). تنش باد هم در پدیده گردش آب و هم در فراجوشی مؤثر بوده و از طریق ایجاد اختلاط سطحی و سپس انتقال انرژی اختلاط به لایه های زیرسطحی آب بر تشکیل امواج داخلی تاثیرگذار است. این تنش بر ترموکلاین موضعی نیز تاثیر دارد (لاوین و مارینون ۲۰۰۳)[۲]. منطقه مورد مطالعه این تحقیق، قسمت شمالغربی خلیج فارس است؛ در این منطقه وزش بادهای شمالغربی و همچنین ورود جریان رودخانه اروند به خلیج فارس صورت می گیرد. به علت اینکه تبادل آب بین خلیج فارس و دریای عمان بر پدیده های موجود در آبهای خلیج اثر دارد، در این تحقیق نتایج برای کل خلیج فارس بدست آمده و تحلیل می شود و در نهایت بنابر عوامل مؤثر در قسمت شمالغربی خلیج مورد بحث بیشتری قرار خواهند گرفت. در واقع ترموکلاین در قسمت شمالغربی خلیج فارس در این تحقیق بررسی می شود. فرض می شود عوامل مؤثر و عمده در تشکیل و تغییر محور ترموکلاین در خلیج فارس و به خصوص قسمت شمالغربی آن عبارتند از: باد، تبخیر، جزرومد، تابش و ورود رودخانه . دما مهترین کمیت فیزیکی و معرف تغییرات فیزیکی در این حوضه آبی نیمه بسته است. کنتورهای دما در امتداد محور خلیج فارس در فصل زمستان (داده های اولیه اندازه گیری شده) و کنتورهای دما در فصل تابستان حاصل از اجرای مدل در (شکل۷) آورده شده اند.

[۱] Kubokawa and Xie, 2001

[۲] Lavin and Marinone, 2003

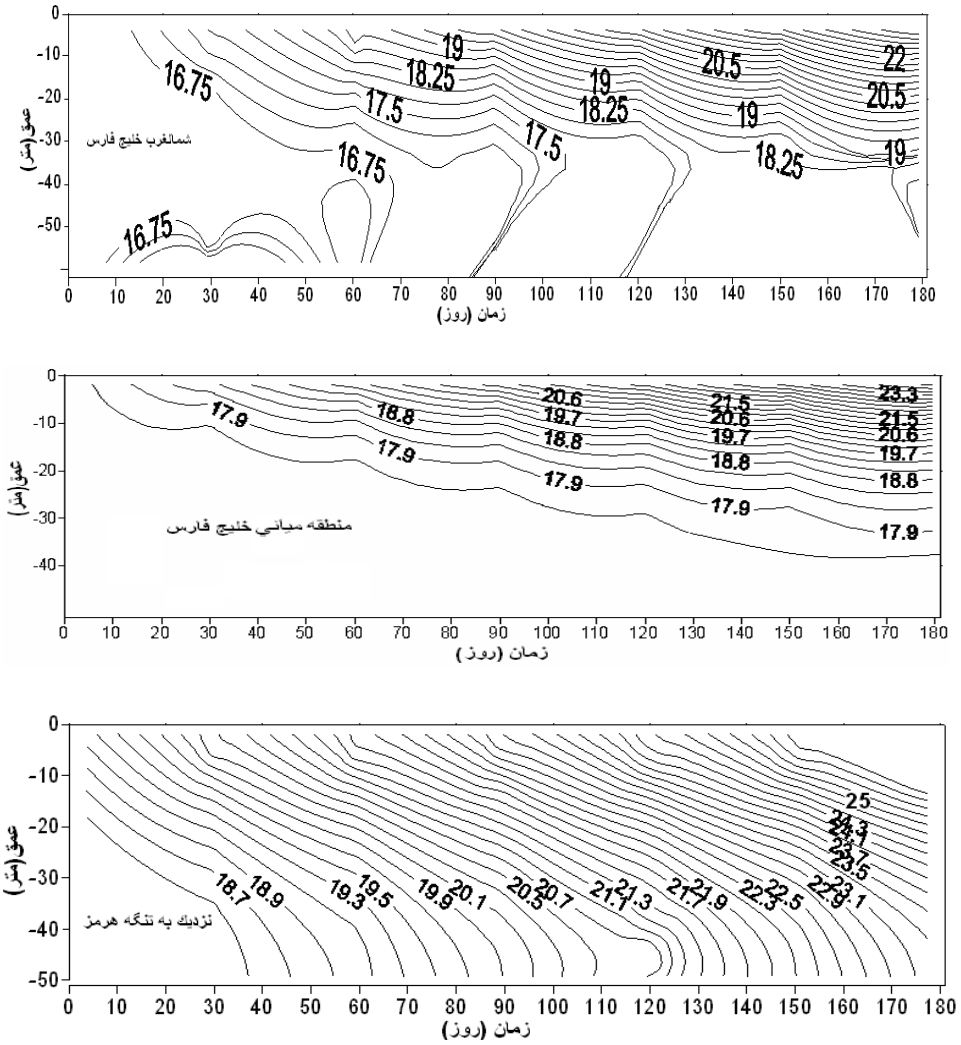


(شکل۷) کنتورهای هم دما برای سطح مقطع ۱، سطح مقطع ۲ و سطح مقطع ۳ در تابستان و زمستان

با توجه به گرادیان قائم شدید دما در کنتورهای فصل تابستان در اکثر مقاطع اندازه گیری، لایه بندی ستون آب می تواند منجر به ایجاد امواج داخلی در ستون آب شود. در هر سه مقطع اندازه گیری در خلیج فارس و در فصل تابستان، گرادیان شدید دما مشاهده می شود که از ساحل غربی تا شرق خلیج فارس، تنگه هرمز، امتداد دارد. البته در تنگه هرمز به علت تبادل دائمی آب بین دریای عمان و خلیج فارس این گرادیانها وجود دارد ولی شدت آنها در تابستان افزایش می یابد و بنابراین این گرادیانها در هر دو فصل وجود دارد.

سری زمانی دما در قسمت میانی خلیج فارس

بعد از اجرای مدل پی او ام طی ۱۸۱ روز از زمستان به تابستان سری زمانی دما در سه نقطه واقع در سه منطقه نزدیک به تنگه هرمز، میانی و شمال غرب خلیج فارس حاصل از اجرای مدل با باد ماهیانه بررسی شد. نمودارهای مربوط به این نتایج به صورت (شکل۸) به دست آمده است.



(شکل۸) گرم شدن تدریجی آب (سری زمانی دما) در نقاط (۵۰ و۲۷/۴۵) از منطقه میانی، (۴۹ و ۲۹) از منطقه شمالغربی و (۵۳ و۲۵/۷) نزدیک تنگه هرمز

طی ۱۸۱ روز اجرای مدل با توجه به سری زمانی تغییرات دما در سه نقطه اندازه گیری فوق که در سه منطقه عمده تشکیل ترموکلاین تابستانه در خلیج فارس هستند، نتیجه می گیریم که یک گرم شدن تدریجی در ۳۰ و ۴۰ متری بالای ستون آب مشاهده می شود. همچنین یک ترموکلاین کم عمق به طور تدریجی و به خصوص طی مدت زمان روزهای ۱۲۰ تا ۱۸۱ اجرای مدل توسعه یافته است. رشد تدریجی گرادیان قائم دما از زمستان تا اوایل تابستان به منزله توسعه ترموکلاین در خلیج فارس است؛ البته همانطور که از شکل فوق پیداست، گرادیان قائم دما در تنگه هرمز از یکماه بعد از شروع اجرای مدل ایجاد شده و طی ۱۸۱ روز اجرا تا اوایل تابستان کمی افزایش یافته است.

نتیجه گیری

اجرای مدل در خلیج فارس بر اساس داده های سی تی دی سال ۱۹۹۲ آغاز شده که تحول ترموکلاین و تغییر دما در ستون آب در بهار به تابستان محسوس تر است. گرادیان ایجاد شده در کنتورهای دما نشان می دهد که ترموکلاین در فصل تابستان در کل خلیج فارس تشکیل می شود. ترموکلاین فصلی در خلیج فارس طی تحول زمانی زمستان تا اوایل تابستان به تدریج از تنگه هرمز تا شمال خلیج فارس گسترش می یابد و رشد آن به اندازه ۰/۲ متر در روز در منطقه میانی خلیج فارس است، در حالیکه در سایر قسمتها حدود ۰/۱ متر در روز است. ترموکلاین تابستانه در کل منطقه خلیج فارس تشکیل می شود. بر اساس نیم رخ های قائم میانگین دما ضریب همبستگی بین نتایج مدل و اندازه گیری برای دما ۰/۸۶ به دست آمده است. در حقیقت در فصل زمستان با وزش باد سرد روی آبهای گرم با سرعت بیشتر و در نتیجه تنش بیشتر باد بر ستون آب در خلیج فارس نسبت به فصل تابستان، گرادیان کمتر دما و همرفت قائم در آب بیشتر شده که باعث انتقال اکسیژن از بالا به درون آب می شود؛ و این مساله باعث تراکم بیشتر آبزیان در ستون آب می گردد.

منابع

۱- ارفع، ع. خاشعی سیوکی، ع. حمیدیانپور، م. ۱۳۹۹. تأثیر تغییر اقلیم برتبخیر-تعرق درشرایط گرم ومرطوب (مطالعه موردی: جنوب وجنوب شرق ایران)، تأثیر تغییر اقلیم برتبخیر-تعرق در شرایط گرم و مرطوب. مجله سامانه های سطوح آبگیر باران. (۸) ۷۲: ۴۵-۳۱.

۲- ثابت عهد جهرمی، ع. لاری، ک. سلطانیان فرد، م. ج. رئیسی کمیز، ا. .مطالعه تأثیر پیچک های میان مقیاس بر توزیع گرادیان دما و شوری در خلیج فارس و تنگه هرمز، سیزدهمین همایش صنایع دریایی. ۱۲-۲۲.

۳- حمیدیانپور، م. باعقیده، م. عباس نیا، م. ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدهای مختلف گردش عمومی جو در دورۀ۷۳۱۱-۷۳۹۹. مجله پژوهشهای جغرافیای طبیعی. (۱) ۳۲: ۸۵-۷۱.

۴- زارعی، ع. رهنما، م. شکوهی پور، ف. انصاری، م. ر. محمودی، س. م. ۱۳۹۸. بررسی الگوی تغییرات دمای سطح آب، بارش، شوری و میزان کلروفیل آب با استفاده از اطلاعات ماهواره - درمحدوده خلیج فارس در دوره آماری ۲۰۰۴-۲۰۱۷. ششمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. ۹۸-۸۳.

۵- قاضی، ا. علی اکبری بیدختی، ع. عظام، م. ذوالجودی، م. ترابی آزاد، م. ۱۳۹۹. مطالعه جریان جزرومدی و جریان باقیمانده در خلیج فارس. مجله هیدروفیزیک . (۲) ۶ : ۶۶-۵۴.

۶- کارمی، ه. اکبری نسب، م. صفرراد، ط. ۱۳۹۷. آشکارش جبهه های دمایی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از تصاویر مودیس. (۳)۷۱. مجله علوم و فنون دریایی، ۱۰۲-۹۰.

۷- کمالی، ص. ۱۳۹۴. تحلیل تغییرات دمای سطح آب خلیج فارس نسبت به میانگین بلند مدت در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۰. اولین همایش علمی پژوهشی افق های نوین در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی ایران. ۵۴-۴۳.

۸- مجیدی نیک، م. ۱۳۹۲. تغییرات پارامترهای فیزیکی، لایه بندی و پایداری ستون آب در خلیج فارس، پایان نامه. دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده منابع طبیعی.

۹- مسدد، س.م. ۱۳۹۰. مطالعه تشکیل و توسعه ترموکلاین فصلی و فرآیندهای تربولانسی در قسمت شمالی خلیج فارس با به کاربردن یک مدل عددی. تز دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

10. Abd Ellah, R.G.E. 2009. Thermal Stratification in Lake Nasser, Egypt Using Field Measurements, J. of World Applied Sciences, 4: 546-549.

11. Bidokhti, A.A. and Ezam, M. 2008. The structure of the Persian Gulf outflow subjected to density variations. J. of Ocean Sci. Discuss. 5: 135-161.
12. Cottier, F., Inall M. and Griffith C. 2002. Seasonal variations in internal wave energy in a Scottish sea loch. J. of ocean Dynamics. 54: 340-347.
13. Huang, R. X, Wang, W. and Liu, L. 2006. Decadal variability of wind-energy input to the world ocean, J. of Deep-Sea research Part II. 53: 31-41.
14. Kampf, J. and Sadrinasab, M. 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. J. of Ocean Science. 2: 27-41.
15. Kubokawa, A. and Xie, S. P. 2001. Steady Response of a Ventilated Thermocline to Enhansed Ekman Pumping. J. of Oceanography. 58: 565-575.
16. Lavin, M.F. and Marione, S. G. 2003. An Overview of the Physical Oceanography of the Gulf of California, J. of Nonlinear processes in Geophysical Fluid Dynamics. 173-204.
17. Mellor, G.L. and Blumberg, A.F. 1985. Modeling vertical and horizontal diffusivities with the sigma coordinate system. Mon. Wea. Rev. 113: 1380-1383.
18. Swift, S.A. and A.S. Bower. 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. J. of Geophys. Res. Woods Hole Oceanographic institution: 121-139.

Temperature Variations Modeling in the Persian Gulf Using the Numerical Model of POM

Abstract

Temperature, Salinity and density are as some of physical properties of sea water often varying there. Thermocline is a property as temperature varying in water column and having variations in terms of time and space. Study and investigation of existence and developing trend with seasonal variations conduct the researcher to some information about inter fluid events. Numerical methods have errors and approximations. Predicted values will be closer to real ones depending on more knowledge about influence of present forces and effective factors on the problem; so little errors happen in numerical study. Of course it is helpful to predict results for different time periods in suitable time and so compete them with measured values for evaluation of the results in the case study zone. In this research running a numerical model during a 6 months period from winter using measured values of temperature (ROPME 1992), and applying initial and boundary conditions, also effective factors on physical conditions variations in the zone, summer temperatures are resulted; Therefore formation and development of thermocline will be studied. In fact, development of thermocline from Strait of Hormuz to northwest of the Persian Gulf (Arvand river estuary) has been investigated by numerical modeling of temperature variations as dominant parameter.

Keywords: Persian Gulf, Temperature, Thermocline, Numerical Model, POM.