

مطالعه‌ی تغییرات فصلی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب دریا در محدوده‌ی آب‌های ساحلی شبه جزیره‌ی بوشهر

سیدطالب حسینی^{۱*}، وحید چگینی^۲

۱- کارشناس پژوهشی فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، مرکز اقیانوس‌شناسی خلیج فارس، استان بوشهر، بوشهر، پست الکترونیکی: sthosseini@inio.ac.ir

۲- عضو هیأت علمی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: v_chegini@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۸

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۵

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

در این مطالعه روند تغییرات فصلی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب دریا (عمق، دما، هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول، اسیدیته آب، کرومیل آ، کدوری، چگالی و سرعت صوت)، در آب‌های ساحلی ایرانی خلیج فارس در اطراف شبه‌جزیره‌ی بوشهر از تیرماه ۱۳۹۰ تا تیرماه ۱۳۹۱ مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدت با دستگاه CTD، نیمرخ تغییرات^۱ پارامترهای مذکور به صورت ماهیانه با گام زمانی ۱ ثانیه، در ۱۲ ایستگاه اندازه‌گیری شده و پس از آن روش‌های کنترل کیفی منطبق بر استانداردهای^۲ (IOC) روی این اندازه‌گیری‌ها اجرا شده است. نتایج، حاکی از آن است که روند تغییرات فصلی دمای آب دریا از تابستان تا زمستان یک کاهش حدود ۱۸ درجه را نشان می‌دهد. این تغییر شدید دما، تغییرات بیش‌تر پارامترها را نیز تحت تأثیر مستقیم خود قرار می‌دهد. در این تحقیق از سطح تا بستر به ۱۰ لایه، تقسیم شد و مشخص گردید در گرم‌ترین ماه‌های سال در ایستگاه‌های با عمق بیش‌تر از ۲۰ متر، یک لایه‌ی گرمایش^۳ فصلی جزئی، بین لایه‌های ۳ تا ۸ به وجود می‌آید که طی آن دما تا ۴ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد. این گرمایش فصلی، یک شیب چگالی^۴ جزئی نیز در همان محدوده و با شیبی صعودی، درست مخالف شیب نزولی گرمایش، ایجاد می‌کند در ماه‌های سرد سال، وجود اختلاف دمای ناچیز کم‌تر از ۱ درجه بین سطح و بستر، موجب اختلاط کامل در ستون آب می‌شود. در تابستان شوری سطحی از حدود ۳۷ psu تا مقدار بیشینه‌ی حدود ۴۱ psu در زمستان افزایش می‌یابد. در این مدت دیده‌بانی تبخیر در ایستگاه هواشناسی جزیره‌ی خارک، تبخیر بیشتر در تابستان را نشان می‌دهد. همچنین با کاهش دمای آب دریا، در گذر از ماه‌های گرم سال به ماه‌های سرد سال میزان pH و اکسیژن محلول به ترتیب از مقدار ۷/۷ تا ۸/۲ و از ۲ ppm تا ۱۰ ppm افزایش یافت.

کلمات کلیدی: دما، شوری، pH، اکسیژن محلول، کرومیل آ، CTD، شبه‌جزیره‌ی بوشهر، خلیج فارس.

¹ Profile

² Intergovernmental Oceanographic Commission

³ Thermocline

⁴ Pycnocline

۱. مقدمه

شوری، اکسیژن محلول، میزان pH، کلروفیل آ، کدروی، چگالی و سرعت صوت از تیرماه ۱۳۹۰ (جولای ۲۰۱۱) تا تیرماه ۱۳۹۱ (جولای ۲۰۱۲) به مدت ۱۳ ماه، به صورت ماهیانه، در ۱۲ نیم رخ قائم (۱۲ ایستگاه)، در محدوده‌ی آب‌های اطراف شبه‌جزیره‌ی بوشهر اندازه‌گیری شدند. این شبه‌جزیره در امتداد سواحل شمالی خلیج فارس واقع شده است. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت شبه‌جزیره‌ی بوشهر در خلیج فارس و ۱۲ ایستگاه اندازه‌گیری را نشان می‌دهند.

بنابر آمار دیده‌بانی بلند مدت ۴۰ ساله‌ی ایستگاه هواشناسی بندر بوشهر (۲۰۰۸-۱۹۶۸)، میزان بیشینه و کمینه‌ی دمای هوا در این منطقه در تابستان (مرداد) با ۳۴ درجه و در زمستان (دی) با ۱۵ درجه‌ی سانتیگراد اتفاق می‌افتد. بارش سالیانه‌ی بوشهر کم‌تر از ۱ میلی‌متر است (۰/۷۳ میلی‌متر)؛ در حالی که میانگین تبخیر سالیانه بیش از ۹ برابر (۹/۴۵) میانگین بارش سالانه است (۶/۹ میلی‌متر). بر اساس همین آمار بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تبخیر در تابستان و زمستان برآورد گردیده است (هواشناسی بوشهر، ۱۳۹۱). باد غالب در بوشهر، که نام محلی آن باد شمال است؛ از جهت شمال‌غرب می‌وزد (Clark, 1982). جزرومد در بوشهر، طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده و جداول جزرومدی، مختلط مایل به نیم‌روزه است. در حالت مه‌کشند^۶، مقدار متوسط جزرومد حدود ۱/۶ متر و در حالت که کشند^۷ حدود ۱ متر است. بیش‌ترین مقدار مد حدود ۲ متر است ولی تحت اثر بادهای غربی قوی و با تداوم طولانی مقداری در حدود ۰/۷ متر به تراز آب اضافه می‌گردد (شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، ۱۳۷۹).

۲-۱. دما و شوری

در اواخر زمستان دمای آب دریا در بخش غربی خلیج فارس و نزدیکی خلیج بوشهر از حدود ۱۶ و ۱۷ درجه‌ی سانتیگراد تا ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد در اوایل تابستان افزایش می‌یابد. در همین مدت، شوری از مقدار ۴۰ psu تا حدود ۳۸ psu کاهش می‌یابد (Reynolds, 1993).

در قسمت‌های شمال‌غربی خلیج فارس، اختلاف دمای تابستانه و زمستانه بیش از ۲۰ درجه‌ی سانتیگراد و در تنگه‌ی

طبق مجله‌ی دفتر پژوهش‌های دریایی بین‌المللی^۱ در زمینه‌ی علوم و مهندسی اقیانوسی، فضای ساحلی اگرچه کم‌تر از ۱۰ درصد از سطح و یک درصد از حجم اقیانوس‌ها را تشکیل می‌دهد؛ اما نزدیک به یک‌چهارم تولید زیستی اقیانوسی و ۶۰ درصد جمعیت انسانی و دو سوم کلان‌شهرها را به خود اختصاص می‌دهد. از این رو مناطق ساحلی، مرکز اصلی اقتصادی و اجتماعی فعالیت‌های انسانی هستند و مدیریت این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Didier, 2003). از سوی دیگر مدیریت کارای محیط‌های دریایی و ساحلی نیازمند فهم بهتر فرآیندهای محیطی و تأثیر متقابل آن‌ها با شرایط انسانی و فعالیت‌های مرتبط است که این مهم مستلزم وجود مجموعه‌ی داده‌های معتبر است. در واقع داده‌ها پل ارتباطی بین فرآیندهای واقعی و درک ما از این فرآیندها است. از این رو داده‌ها مهم‌ترین بخش از مطالعه‌ی فرآیندهای طبیعی هستند؛ چراکه داده‌های مناسب به درک بهتر فرآیندهای طبیعی منجر می‌شوند (مرادی، ۱۳۸۹). داده‌های اقیانوس‌شناسی با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری در محل^۲ و یا دورسنجی^۳ به دست می‌آیند. ایستگاه‌های اقیانوس‌شناسی تحت عنوان نقاط دیده‌بانی در دریاها و اقیانوس‌ها قلمداد می‌شوند که در آن‌جا وسایل و تجهیزات اندازه‌گیری از سطح به درون توده‌ی آبی منتقل شده و اقدام به ثبت داده‌ها می‌کند. ثبت داده‌ها ممکن است در یک زمان خاص و یا در یک بازه‌ی زمانی انجام شود. در نیم‌رخ‌های قائم اقیانوسی، در یک زمان خاص، داده‌ها از سطح به عمق ثبت می‌شوند. بنابراین داده‌های آن‌ها شامل فهرستی از مقادیر پارامترهای مختلف در برابر فشار و زمان است. از عمده‌ترین وسایل سنجش اقیانوسی که به این طریق عمل ثبت داده را انجام می‌دهد؛ دستگاه CTD^۴ است.

۲. منطقه‌ی مورد مطالعه و ویژگی‌ها

در این مطالعه با یک دستگاه CTD، پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب دریا شامل عمق، دما، هدایت الکتریکی^۵،

¹ Office of Naval Research International Field Office (ONRIFO)

² In situ

³ Remote sensing

⁴ Conductivity, Temperature, Depth

⁵ Conductivity

⁶ Turbidity

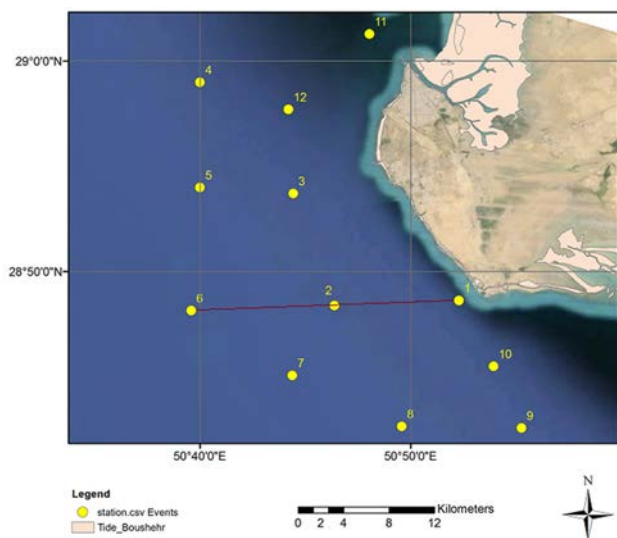
⁷ Spring tide

⁸ Neap tide

درد (Hosseinibalam et al., 2007). تغییرات سالانه‌ی دما در خلیج فارس، که تا عمق ۲۰ متری در خلال ماه می (اردیبهشت) و تا لایه‌های عمیق‌تر در ماه فوریه (بهمن ماه)، مشاهده می‌شود، ناشی از تأثیر دما و شدت اختلاط قائم است. در ماه فوریه، نتیجه‌ی اختلاط شدید و تحت اثر قرار گرفتن لایه‌های عمیق‌تر، یک‌نواختی قائم رخ می‌دهد. در ماه می و با آغاز تشکیل لایه‌ی گرمایش، لایه‌بندی لایه‌های آب باعث جدایی عمق بالاتر از ۲۰ متر از لایه‌های عمیق‌تر می‌شود (Reynolds, 1993).

امواج و جریان‌های ناشی از باد به‌همراه جریان‌های کشندی در خلیج فارس باعث می‌شوند که آب‌های سطحی خلیج تا عمق ۳۰ متری مخلوط و یک‌نواخت شوند (مؤمنی، ۱۳۷۵). همچنین عنوان شده که لایه‌بندی آب در بخش شمال غربی خلیج فارس بسیار ضعیف است (Brewer, 1977).

هدایت الکتریکی آب دریا با شوری، دما و فشار تغییر می‌کند. تحت شرایط طبیعی مقدار آن در آب دریا بین ۲۰ mS/cm تا ۵۵ mS/cm محدود است. تغییر دمای ۰/۰۱ °C یا شوری به اندازه ۰/۰۱ psu یا فشار به میزان ۲۰ dbar موجب تغییر هدایت الکتریکی به میزان ۰/۰۱ mS/cm می‌شود (مؤمنی، ۱۳۷۵).



شکل ۲: محدوده‌ی مورد مطالعه (آب‌های اطراف شبه‌جزیره‌ی بوشهر) و موقعیت ۱۲ ایستگاه اندازه‌گیری

۲-۲. اکسیژن محلول، pH و کلروفیل آ

در مورد قابلیت انحلال گازهای محلول در آب دریا، نقش اصلی و مهم را دما بازی می‌کند و معمولاً انحلال گازها در آب دریا با افزایش دما کاهش می‌یابد. در یک مکان معین از دریا، در

هرمز حداقل ۱۱ درجه است. در نتیجه‌ی تبخیر زیاد، شوری به تدریج از جنوب خلیج فارس به سمت شمال، افزایش می‌یابد. البته در امتداد سواحل ایرانی میزان شوری کمتر از سواحل عربی است. در قسمت‌های شمال غربی منطقه‌ی راپمی^۱، شوری در زمستان کمی بیشتر از مقدار آن در اوایل تابستان است (ROPME, 2003).

بررسی ساختار دمای آب دریا در آب‌های ساحلی جنوب استان بوشهر در منطقه‌ی عسلویه (شکل ۱)، حاکی از آن است که بیشینه‌ی دمای آب دریا (۳۶/۸ درجه‌ی سانتیگراد در ماه آگوست) و کمینه‌ی مقدار آن (۲۶/۵ درجه‌ی سانتیگراد در ماه نوامبر) بوده و هردو در لایه‌ی سطحی آب دریا رخ می‌دهند. همچنین در این منطقه، برای آب‌های کم‌عمق‌تر از ۲۴ متر، لایه‌بندی دمایی در ستون آب دریا مشاهده نمی‌شود و در ماه نوامبر لایه‌بندی دمایی حتی در آب‌های عمیق‌تر ناپدید می‌شود (Azarmsa, 2008).



شکل ۱: موقعیت شبه‌جزیره‌ی بوشهر در خلیج فارس

تحقیقات نشان می‌دهند؛ شوری سطحی در آب‌های اطراف شبه‌جزیره‌ی بوشهر از حدود ۳۹ psu و ۴۰ psu در زمستان تا حدود ۳۸ psu و ۳۷ psu در تابستان کاهش می‌یابد (Swift and Bower, 2003).

بررسی داده‌های هیدروگرافی خلیج فارس بیانگر آن است که چگال‌ترین آب‌ها در بخش شمالی خلیج فارس و در فصل زمستان شکل می‌گیرند و در همه‌ی سال به‌صورت جنوب‌سوی به سمت تنگه‌ی هرمز پخش می‌شوند. همچنین تغییرات فصلی شیب تراز دریا با تغییرات فصلی توزیع شوری سطحی همخوانی

^۱ Regional Organization for the Protection of the Marine Environment

راه‌اندازی نیروگاه، می‌تواند نمایانگر تغییرات زیست‌محیطی احتمالی این نیروگاه باشد.

۳. مواد و روش‌ها

کیفیت خوب یک پژوهش وابسته به اطلاعات و داده‌های با کیفیت خوب است و کیفیت خوب داده‌ها به روش‌های کنترل کیفی خوب وابسته است. داده‌ها پس از انجام کامل روش‌های کنترل کیفی قابل اطمینان هستند و در این مرحله است که می‌توان آنها را به واحد اطلاعات یا پایگاه داده‌ها فرستاد یا در اختیار کاربران قرار داد (BODC, 2006).

هدف از کنترل کیفیت، افزایش درجه‌ی اعتبار و سازگاری آن‌ها در یک مجموعه داده‌ی منفرد و در درون مجموعه‌ای از داده‌ها، همچنین تعیین کیفیت و انواع خطاها برای کاربرانی است که اطلاعات کافی را برای دستیابی و کاربری داده‌های مذکور دارند. افزایش درجه‌ی اعتبار داده‌ها شامل چهار مرحله اصلی است که عبارتند از:

۱) واسنجی^۲ و کنترل دستگاهی شامل کنترل حسگرها، بررسی و کنترل سخت‌افزاری دستگاه، تجهیزات ثبت و پردازش داده‌ها

۲) مستندسازی پارامترهای اندازه‌گیری شده، حاوی تعریف پارامترها، محل و زمان اندازه‌گیری، روش‌های سخت-افزاری و نمونه‌برداری

۳) کنترل کیفیت خودکار داده‌ها که شامل مجموعه‌ای از آزمایش‌ها برای مشخص کردن مقادیر خطا و ناهنجاری در مجموعه‌ی داده‌ها است و مقادیر نامطمئن داده‌ها را در هر یک از مراحل اندازه‌گیری، تبادل و یا کپی کردن تعیین می‌کند.

۴) ارزیابی اقیانوس‌شناسی که شامل ارزیابی نتایج سه مرحله‌ی فوق و ارزیابی مجموعه‌ی داده‌ها بر طبق الگو و روش‌های معین اقیانوس‌شناسی و مقایسه با دیگر مجموعه‌های داده است (IOC, 1993).

در ادامه، چهار مرحله‌ی اساسی فوق‌الذکر بیان می‌شود. سپس با انواع شکل‌ها، جدول‌ها و روش‌های آماری مختلف، بررسی و تحلیل داده‌های کنترل شده ارائه می‌شود.

مواقع مختلف سال، با تغییر دما تغییرات چشم‌گیری در مقدار اکسیژن محلول رخ می‌دهد. در آب‌های سطحی، به علت تماس مستقیم آب با جو، مقدار اکسیژن محلول همیشه در حد نسبتاً بالایی یعنی در حدود ۸ mg/lit است (مؤمنی، ۱۳۷۵). در آب‌های ساحلی بوشهر در دمای سطحی ۱۹ °C مقدار اکسیژن محلول در آب دریا ۵۰۰ mmol/m³ (برابر ۱۶ mg/lit)، است (ایزدپناهی و همکاران، ۱۳۸۶). در تابستان ۲۰۰۱، گشت اقیانوسی راپمی میزان اکسیژن محلول را در آب‌های سطحی منطقه‌ی راپمی ۴/۰۵ تا ۶/۸ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری کرد (ROPME, 2003).

آب دریا کمی قلیایی بوده و تغییرات pH آن معمولاً بین ۷/۸ تا ۸/۴ محدود است. مقدار متوسط pH آب دریا ۸ است. دما و شوری (جز در مصب رودخانه‌ها)، اثر ناچیزی بر pH دارند. تغییرات چشم‌گیر pH اساساً وابسته به فتوسنتز گیاهی، تنفس جانوران دریایی و نیز اکسیداسیون مواد آلی است (مؤمنی، ۱۳۷۵). اندازه‌گیری pH در طول گشت دریایی راپمی در آگوست ۲۰۰۱، حاکی از آن بود که در داخل منطقه‌ی راپمی، اختلاف جزئی بین ترازهای pH در سطح و بستر وجود دارد و میزان pH در بستر کمی بیشتر از مقدار سطحی آن است. دامنه‌ی تغییر pH سطحی بین ۷/۹۲ تا ۸/۲۳ قرار دارد (ROPME, 2003). این در حالی است که در نتیجه‌ی گشت دریایی انجام شده در مارس ۱۹۷۷، میزان pH سطحی در منطقه‌ی راپمی بین ۸/۲۱۰ تا ۸/۳۲۰ بوده و عنوان شده که میزان pH در آب‌های بستر هرگز به کمتر از ۸/۱۶۰ نرسیده است (ROPME, 2003).

اندازه‌گیری میزان تولیدات اولیه فیتوپلانکتونی و غلظت کلروفیل در منطقه‌ی دریایی راپمی بیانگر آن است که مقدار کلروفیل آ در خلیج فارس بین ۰/۲ تا ۰/۸۶ میلی‌گرم در مترمکعب است (ROPME, 2003).

هدف از این مطالعه، بررسی نحوه‌ی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی در همه‌ی ماه‌های سال با گام مکانی کوچک بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری در یک مقیاس کوچک محلی^۱ است. در مطالعات پیشین، اندازه‌گیری این پارامترها در ماه‌های محدودی از سال و در منطقه‌های دیگر و یا بخش وسیع‌تری از خلیج فارس انجام شده بود. به‌علاوه این تحقیق قبل از راه‌اندازی نیروگاه اتمی بوشهر انجام شده است و در صورت مقایسه با مطالعات بعد از

² Calibration

¹ Local

۱-۳. کنترل دستگاهی و مستندسازی داده‌ها

اندازه‌گیری دستگاه CTD، پارامترهای هواشناسی دیده‌بانی شده توسط ایستگاه هواشناسی سینوپتیک جزیره خارک دریافت شد، و تغییرات دما و شوری آب با پارامترهای دمای هوا و میزان تبخیر مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۳. کنترل کیفیت خودکار داده‌های اقیانوسی

کنترل کیفیت خودکار یا ارزیابی سطح پایین داده‌های اقیانوسی مستلزم تمایز بین روش‌های به کار گرفته شده برای داده‌های خام و داده‌های پردازش شده است. داده‌های خام به مجموعه‌ای از داده‌ها اطلاق می‌شود که آنالیز آن‌ها بر طبق الگوریتم‌های خاص به داده‌های پردازش شده منجر می‌شود. به‌طور کلی کنترل کیفیت سطح پایین داده‌های اقیانوسی شامل چند مرحله‌ی آزمایش استاندارد است که در ادامه مهم‌ترین آن‌ها آورده شده است (مرادی، ۱۳۸۹). این مراحل، به ترتیب روی داده‌های ثبت شده‌ی CTD انجام شد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های ثبت داده با دستگاه CTD

Station Number	Latitude	Longitude	Depth (d0)
1	28° 48.657' N	50° 52.285' E	7.8
2	28° 48.398' N	50° 46.382' E	22.1
3	28° 53.720' N	50° 44.420' E	19
4	28° 59.000' N	50° 40.000' E	23.5
5	28° 54.000' N	50° 40.000' E	30.5
6	28° 48.180' N	50° 39.582' E	35.4
7	28° 45.101' N	50° 44.383' E	32.9
8	28° 42.677' N	50° 49.577' E	26.7
9	28° 42.600' N	50° 55.250' E	13.6
10	28° 45.533' N	50° 53.933' E	9.5
11	29° 01.290' N	50° 48.037' E	11
12	28° 57.707' N	50° 44.195' E	11.5

۱-۲-۳. بررسی نبود داده‌ها

بررسی درجه‌ی کامل بودن داده‌ها در یک نیمرخ تغییرات اقیانوسی به صورت بررسی $Rd=Re$ تعریف می‌شود که در آن Rd تعداد مقادیر داده‌های خام جمع‌آوری شده و Re تعداد مقادیر داده‌های خام قابل انتظار است که با توجه به دوره‌ی تناوب و نرخ نمونه‌برداری محاسبه می‌شود.

۲-۲-۳. منظم کردن داده‌ها بر اساس عمق

در هر ایستگاه، داده‌ها متناسب با افزایش عمق اندازه‌گیری مرتب می‌شوند. در این مطالعه روند نامناسب داده‌ها مانند

در این تحقیق از دستگاه CTD، مدل OCEAN SEVEN 316 ساخت شرکت IDRONAUT کشور ایتالیا برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب دریا از تیرماه ۱۳۹۰ (جولای ۲۰۱۱) تا تیرماه ۱۳۹۱ (جولای ۲۰۱۲)، به صورت یکبار در ماه، استفاده شد.

دستگاه مذکور حاوی هفت سنسور اندازه‌گیری فشار یا عمق، دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، pH، کلروفیل آ و کدروی است که قادر به محاسبه و نمایش پارامترهای شوری، چگالی و سرعت صوت با توجه به سایر پارامترها نیز هست. علاوه بر آن دستگاه، تاریخ و زمان اندازه‌گیری‌ها را ثبت می‌کند. تنظیمات CTD از طریق رایانه انجام می‌شود.

پس از اتصال به رایانه و اجرای نرم‌افزار مربوطه (نرم‌افزارهای Iterm^۱ یا REDAS^۲)، لیست سنسورهای عمق (فشار)، دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن، pH، کلروفیل آ و کدروی ظاهر می‌شود. با انتخاب عدد مربوط به هر یک از سنسورهای فوق، می‌توان ضرایب تبدیل داده‌های خام مربوطه را به داده‌های مهندسی وارد یا چک نمود. لازم به ذکر است سنسور عمق و سنسور اکسیژن با توجه به فشار موجود خود را واسنجی می‌کنند. همچنین برای واسنجی کردن سنسور pH به طور همزمان هر دو سنسور pH و مرجع را درون بافر ۷ و یا ۴ قرار می‌دهیم و سپس با بافر ۴ یا ۷ صحت عملکرد آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم (Idronaut, 2002). البته چون pH آب دریا حدود ۸ است؛ بهتر این است که با بافر ۷ واسنجی و با بافر ۴ صحت‌سنجی شود.

در این تحقیق، پس از مرحله‌ی واسنجی، دستگاه برای ثبت داده با گام زمانی یک ثانیه تنظیم شد و اندازه‌گیری داده‌ها در نیمرخ‌های قائم ۱۲ ایستگاه صورت گرفت. سپس با اتصال به رایانه بازخوانی و ذخیره‌ی داده‌ها انجام شد.

ایستگاه‌های اندازه‌گیری، پس از بررسی مقدماتی و مطالعه‌ی اولیه، همچنان‌که در شکل ۱ نشان داده شد؛ از خروجی آب گرم نیروگاه اتمی بوشهر تا محدوده‌ی کانال‌های دسترسی به بندر بوشهر انتخاب شدند. فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها حدود هشت کیلومتر (۴ تا ۵ مایل دریایی) است، و عمق آن‌ها از حدود ۸ متر تا ۳۵ متر تغییر می‌کند (جدول ۱). علاوه بر این در روزهای

^۱ Idronaut terminal^۲ REal time Data Acquisition Software

برخی از پارامترهای اقیانوس‌شناسی آورده شده است. محدوده‌ی پارامترهای مذکور با توجه به اسناد IOC آورده شده‌اند.

جدول ۲: محدوده‌ی تغییرات بعضی از پارامترهای اقیانوس‌شناسی (Lamanov and Koroleov, 1993).

پارامتر	حدود تغییرات
دمای هوا (°C)	۵۰- تا ۵۰+
رطوبت نسبی (درصد)	۱۰۰ تا ۰
دمای آب (°C) در محدوده‌ی عمق ۰ تا ۵۰ متر	۳- تا ۳۵+
شوری آب (ppt) در محدوده‌ی عمق ۰ تا ۵۰ متر	۴۷ تا ۰
اکسیژن (ml/l)	۱۹ تا ۰
اکسیژن (%)	۱۹۰ تا ۰
pH	۸/۴ تا ۷/۴
کلروفیل (µg/l)	۷۰۰/۰ تا ۰

مرحله‌ی اول مقایسه‌ی داده‌های ۱۰ لایه با محدوده‌ی جهانی متناظر نشان داد که در مواردی کلروفیل دارای مقداری منفی از مرتبه‌ی دهم اعشار(غالباً ۰/۱- و ۰/۲-) است و نیز در برخی زمان‌های اندازه‌گیری، در بعضی از ایستگاه‌ها مقادیر pH، به دلیل نفوذ یک شیء خارجی در سلول سنسور، بیش از حد بالای ۸/۴ است که هر دو این مقادیر با برچسب «خطا» کنار گذاشته شدند. همچنین داده‌های دما و شوری سطحی با اندازه‌گیری‌های متناظر محلی مربوط به بویه‌ی هواشناسی بوشهر در سال ۲۰۰۸، کنترل شدند.

۳-۲-۴. بررسی تبعیت داده‌ها از قوانین فیزیکی

برخی از پارامترهای اقیانوس‌شناسی به یکدیگر وابسته هستند و اصولاً حدود تغییرات آن‌ها به یکدیگر وابسته است. در این حالت معمولاً روابط فیزیکی بین آن‌ها وجود دارد که تغییر یک پارامتر باعث تغییر دیگری می‌شود. در کنترل کیفیت داده‌ها، باید بررسی شود این نوع پارامترها وابستگی خود را حفظ کرده‌اند یا خیر. به عنوان مثال افزایش عمق به افزایش چگالی منجر می‌شود و حدود تغییرات چگالی در حالتی که هماهنگ با افزایش عمق است نباید از حد خاصی تجاوز کند. این مقدار برای یک نیمرخ تغییرات اقیانوس‌شناسی به صورت رابطه‌ی ۲ است (IOC, 1993).

$$\rho_n - \rho_{n+1} \leq 0.1 \quad (2)$$

ρ_n برابر چگالی در عمق n و ρ_{n+1} چگالی در عمق ثبت شده-ی بعدی است. البته لازم به ذکر است در مناطقی امکان دارد

اندازه‌گیری‌های ثبت شده در عمق‌های تکراری و در جهت کاهش عمق مانند بازگشت دستگاه CTD از سطح به بستر و نیز داده‌های خارج از محدوده مثل داده‌های ثبت شده در هوا و به-هنگام برخورد با بستر دریا، مشخص و کنار گذاشته شد. همچنین باید انتقال CTD از سطح به سمت بستر با سرعت ثابتی صورت گیرد تا گام مکانی ثابت، در ثبت داده‌ها حفظ شود اما عملاً این امر به دلیل وجود جریان‌های و حرکت CTD با این جریان‌ها ممکن نشد و برای حفظ حرکت قائم دستگاه، گام مکانی در عمق‌های بالایی، کمتر و در عمق‌های زیرین بیشتر بود چراکه در عمق‌های پایین‌تر، CTD اجباراً با سرعت بیشتری به پایین فرستاده شد تا با جریان‌های افقی دریا منحرف نشود. بنابراین به منظور یکسان‌سازی گام مکانی و نیز بررسی آسان‌تر پارامترهای فیزیکو شیمیایی اندازه‌گیری شده، پارامتر بدون بعد سیگما بر اساس عمق (رابطه‌ی ۱)، برای ۱۰ لایه‌ی افقی تعیین و به نرم‌افزار MATLAB معرفی شد.

$$\sigma = d/d_0 \quad (1)$$

که در آن d عمق لایه‌ی مورد نظر و d_0 عمق کل در ایستگاه مفروض است. σ برای لایه‌ی نزدیک سطح برابر ۰/۰۵ و برای لایه‌های پایین‌تر، با حرکت به سمت بستر، σ با گام ۰/۱ افزایش می‌یابد به طوری که برای لایه‌ی نزدیک بستر برابر ۰/۹۵ انتخاب می‌شود.

۳-۲-۳. بررسی اعتبار داده‌ها

منظور از اعتبار داده‌ها، بررسی و مقایسه داده‌های ثبت شده با مقادیر قابل قبول آن‌ها در یک محدوده‌ی جغرافیایی است که با توجه به نوع کاربرد آن‌ها در مقیاس جهانی و یا منطقه‌ای متغیر هستند. هر یک از پارامترهای اقیانوس‌شناسی دارای یک حداکثر و حداقل قابل قبول هستند که مقادیر خارج از این دو حد، مقادیر غیر قابل قبول محسوب شده و باید حذف گردد.

حدود قابل قبول تغییرات پارامترهای مختلف اقیانوس‌شناسی، برای مناطق مختلف، متفاوت است. در این مرحله ارزیابی، مقادیر قابل قبول هر پارامتر به شکلی دقیق‌تر از تغییرات آن در مقیاس جهانی در نظر گرفته می‌شود و چنانچه حدود تغییرات یک پارامتر در منطقه‌ی جغرافیایی مورد نظر در دسترس نباشد، صرفاً به کنترل جهانی آن پارامتر بسنده می‌شود. در جدول (۲)، مقادیر مرزی

sw_svel.m^۳، sw_dens.m^۲، sal78.m^۱ محاسبه شدند. به عبارت دیگر داده‌های ثبت شده‌ی CTD با داده‌های محاسبه شده‌ی نرم-افزار MATLAB مقایسه شدند که در نتیجه آن، هم‌خوانی این دو دسته داده آشکار شد.

۳-۳-۲. بررسی نرخ تغییرات قائم

از آنجایی که توزیع کلیه‌ی پارامترهای اقیانوس‌شناسی از قوانین معین تبعیت می‌کند؛ حدود تغییرات و وابستگی پارامترها به یکدیگر و نیز دامنه‌ی تغییرات آن‌ها باید پیرو الگوهای خاص خود باشد. برای بیشتر پارامترهای اقیانوسی دامنه‌ی تغییراتی وجود دارد که عملاً خارج از آن، امکان رخداد وجود ندارد. این مرحله به منظور بررسی انحراف‌های موجود در توزیع قائم داده‌ها در یک نیم‌رخ تغییرات خاص اقیانوسی به‌ویژه برای دما و شوری به‌کار برده می‌شود. در نیم‌رخ تغییرات دما و شوری، الگوی خاص معرف حدود تغییرات این پارامترها به‌صورت زیر است (Lamanov and Koroleov, 1993).

$$\left| T_m - \frac{T_m + T_{m-1}}{2} \right| - \left| \frac{T_{m-1} - T_{m+1}}{2} \right| < \Delta T \quad (۴)$$

$$\left| S_m - \frac{S_m + S_{m-1}}{2} \right| - \left| \frac{S_{m-1} - S_{m+1}}{2} \right| < \Delta S \quad (۵)$$

که T و S به ترتیب مقادیر دما و شوری و m شمارنده‌ی عمق است و شامل همه‌ی عمق‌ها به استثناء سطح و بستر است. لامانف و کرولف شرایط مرزی برای حدود ΔT و ΔS را به ترتیب برابر $2^\circ C$ و ۰/۱ ppt معرفی نمودند. مقادیر خارج از این محدوده به‌عنوان مقادیر غیر قابل اعتماد در نظر گرفته شده و به داده‌های ثبت شده در آن عمق برچسب «غیر قابل اطمینان» داده می‌شود.

کنترل فوق، در تحقیق حاضر اجرا شد و صحت روابط ۴ و ۵ آشکار شد؛ با این توضیح که m معرف شمارنده‌ی لایه‌های میانی (از ۲ تا ۹) است و حدود ΔT و ΔS برای این لایه‌ها در تمام

وارونگی چگالی اتفاق افتاده و رابطه‌ی فوق برای آن صادق نباشد. بنابراین مقدار سمت راست نامساوی (مقدار ۰/۱ در رابطه-ی فوق)، باید بر اساس منطقه‌ی مورد نظر به‌صورت تجربی و با بررسی‌های آماری به دست آید. در حالتی که مقادیر خارج از محدوده باشند؛ مقادیر دما و شوری در آن عمق با برچسب «غیر قابل اعتبار» مشخص می‌شوند. در این پژوهش رابطه‌ی ۲، برای همه داده‌های ایستگاه‌ها، در تمام مراحل اندازه‌گیری و برای ۱۰ لایه کنترل شد و تنها ۲ مقدار خارج محدوده، با برچسب «غیر قابل اعتبار» مشخص شد. در سایر موارد مقدار اختلاف چگالی مرزی در منطقه‌ی مورد مطالعه، برای هر دو لایه‌ی متوالی کمتر از ۰/۰۶ بود. بنابراین در این پژوهش رابطه ۲، برای لایه‌های متوالی از ۱ تا ۱۰ به‌شکل رابطه‌ی ۳ اصلاح شد.

$$\rho_n - \rho_{n+1} \leq 0.06 \quad (۳)$$

۳-۳-۳. ارزیابی سطح بالای داده‌های اقیانوسی

آخرین مرحله در فرآیند کنترل کیفیت و معتبرسازی داده‌های اقیانوسی، ارزیابی اقیانوس‌شناسی داده‌ها همراه با نتایج کنترل تجهیزات و مستندسازی نتایج کنترل کیفیت است. ارزیابی اقیانوس‌شناسی سطح بالا معمولاً مستلزم استفاده از روش‌های آنالیز بیشتری نسبت به ارزیابی سطح پایین است. همچنین در این ارزیابی، مقایسه‌ی دقیق نقطه به نقطه مجموعه‌ی داده با دیگر منابع داده انجام می‌شود. در این ارزیابی بررسی‌های زیر روی مجموعه‌ی داده‌ها اجرا شد.

۳-۳-۱. بررسی روابط بین پارامترها

پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده ممکن است براساس توابع مختلف با بعضی پارامترهای دیگر مرتبط باشند. برای مثال شوری بر اساس تابع خاص خود به هدایت الکتریکی آب نسبت داده می‌شود و یا محاسبه‌ی چگالی از روی دما، شوری و فشار قابل انجام است. در این تحقیق، برای کنترل روابط بین پارامترها از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. به این صورت که شوری، چگالی و سرعت صوت با کدهای مورد تأیید IOC، (ام فایل‌های

^۱ sal78.m: Algorithms recommended by JOPTS using the 1978 practical salinity scale (IPSS-78) and IPTS-68 for temperature.

^۲ sw_dens.m: Density of Sea Water using UNESCO 1983 (EOS 80) polynomial.

^۳ sw_svel.m: Sound Velocity in sea water using UNESCO 1983 polynomial.

۳-۳-۵. کنترل‌های اقلیم‌شناسی

هدف از این مرحله، مقایسه‌ی مجموعه‌ی داده‌های ثبت شده با مجموعه‌ی اطلس‌ها (که عمدتاً تحت عنوان اطلس‌های اقلیم‌شناسی شناخته می‌شوند)، جداول و اصول اقلیم‌شناسی است. این مرحله عملاً می‌تواند مرحله‌ای از کنترل مقادیر جهانی پارامترهای ثبت شده باشد. یکی از معروفترین اطلس‌های اقلیم‌شناسی، اطلس آمار فصلی لویتوس^۱ است. جداول ۳ و ۴ میانگین فصلی پارامترهای دما، شوری و اکسیژن در نزدیک‌ترین موقعیت جغرافیایی به محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین میانگین فصلی ۱۲ ایستگاه نیز در این جداول ارائه شده تا بررسی مقایسه‌ی اندازه‌گیری‌ها با اطلس جهانی در دسترس باشد.

۳-۳-۶. کنترل سازگاری نیمرخ‌ها

در این مرحله نیمرخ‌های مجاور هم با یکدیگر مقایسه می‌شوند. کنترل نیمرخ‌ها بدین ترتیب صورت می‌گیرد که ابتدا نیمرخ‌های مجاور هم که در یک محیط مشابه از نظر پدیده‌های فیزیکی دریا و عمق قرار دارند؛ در دسته‌ی جداگانه‌ای قرار داده می‌شوند و سپس مقدار انحراف استاندارد هر نیمرخ نسبت به میانگین نیمرخ‌های موجود در آن دسته مقایسه می‌شود. اگر مقدار اختلاف بیشتر از حد آستانه (۰/۵ درجه‌ی سانتیگراد برای دما و ۰/۳ psu برای شوری) باشد؛ نیمرخ مورد نظر با پرچسب «ناسازگار» مشخص می‌شود. در این مرحله باید توجه داشت؛ نیمرخ‌هایی که در یک دسته قرار داده می‌شوند؛ علاوه بر تشابه محیط برداشت، باید فاصله‌ای کم‌تر از ۵۰۰ کیلومتر داشته و در فاصله‌ی زمانی کم‌تر از ۵ روز برداشت شده باشند (Lamanov and Koroleov, 1993). در منطقه‌ی مورد مطالعه، اجرای این بررسی حاکی از آن بود که مقدار اختلاف برای دما و شوری کمتر از ۰/۲۵ است.

۴. نتایج

پس از اجرای روش‌های کنترل کیفی منطبق بر استانداردهای IOC و به دست آمدن داده‌های قابل اطمینان، نمودارها و شکل‌های این داده‌ها ترسیم گردید که در ادامه ارائه شده‌اند.

ایستگاه‌ها و زمان‌های اندازه‌گیری به ترتیب برابر ۰/۴°C و ۰/۰۹ ppt بود.

۳-۳-۳. کنترل نرخ تغییر زمانی پارامترها

در یک نیمرخ تغییرات اقیانوسی، زمان ثبت داده‌های دو عمق مجاور باید در حد معقولی تفاوت داشته باشد. اگر فاصله‌ی زمانی ثبت داده‌ها زیاد یا کم باشد، داده‌های ثبت شده دارای اعتبار نخواهند بود. به همین دلیل بررسی زمان ثبت داده‌های دو عمق مجاور الزامی است. درخصوص دما و شوری ثبت شده باید شرایط زیر برقرار باشند (Ioc, 1993)

$$|T_m - T_{m-1}| \leq \frac{\Delta t}{60} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$|S_m - S_{m-1}| \leq \frac{\Delta t}{60} \text{ ppt} \quad (7)$$

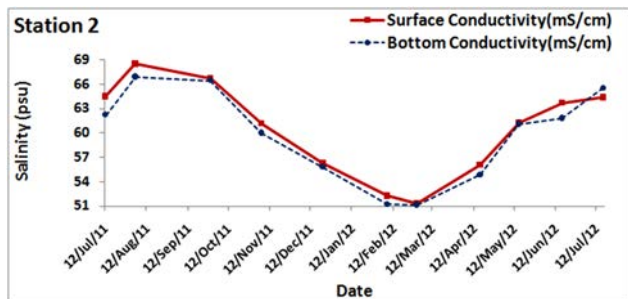
که T_m و T_{m-1} دو مقدار متوالی دمای ثبت شده و S_m و S_{m-1} دو مقدار متوالی شوری ثبت شده و Δt فاصله‌ی زمانی بین ثبت دو مقدار است. در این پژوهش، با در نظر گرفتن زمان‌های ثبت ۱۰ لایه، اختلاف زمانی بین ثبت دو لایه‌ی متوالی به‌عنوان Δt مشخص شد و اجرای شروط ۶ و ۷ برای همه‌ی داده‌ها، حاکی از برقراری کامل این شروط بود. گام زمانی دستگاه CTD برای ثبت داده‌ها، همچنان‌که پیش‌تر گفته شد؛ روی یک ثانیه تنظیم شده بود اما Δt با توجه به تعریف آرایه‌ی قائم بدون بعد سیگما و در نظر گرفتن ۱۰ لایه، از کمینه‌ی ۱ s بین دو لایه‌ی متوالی ایستگاه‌های کم‌عمق تا بیشینه‌ی ۲۷ s بین لایه‌های متوالی ایستگاه‌های عمیق، متغیر بود.

۳-۳-۴. کنترل معکوس‌شدگی چگالی

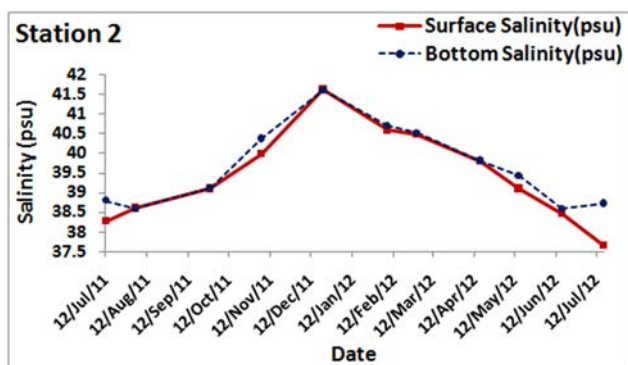
در حالت عادی در یک نیمرخ تغییرات اقیانوسی باید افزایش عمق با افزایش چگالی همراه باشد. بنابراین در یک نیمرخ تغییرات خاص چگالی دو عمق مجاور هم محاسبه شده و بایستی چگالی مربوط به عمق بیشتر، بالاتر از عمق کمتر باشد.

¹ Levitus

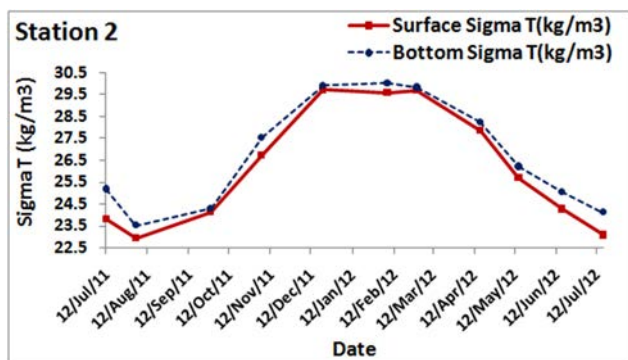
خلاصه‌ی مشخصات آماری پارامترهای فیزیکی آب دریا در ایستگاه ۲، با توجه به تغییرات سری زمانی میانگین ۱۰ لایه، در جدول ۵، ارائه شده است.



شکل ۵: سری زمانی هدایت الکتریکی در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۲ در طول ۱ سال



شکل ۶: سری زمانی شوری در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۲ در طول ۱ سال



شکل ۷: سری زمانی چگالی (سیگما) در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۲ در طول ۱ سال

همچنان‌که نمودارها و جدول بالا نشان می‌دهند؛ در فصل گرم سال، دما، هدایت الکتریکی و سرعت صوت، بیشینه و در فصل سرد سال کمینه مقدار خود را دارند. در حالی که پارامترهای

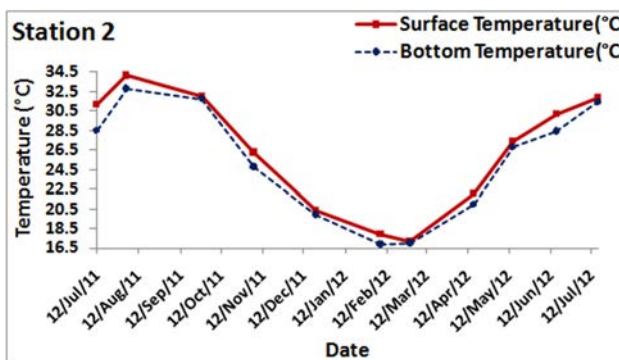
جدول ۳: میانگین فصلی دما و شوری بر اساس اطلس لویتوس در نقطه‌ی (28.875N & 50.625E) و میانگین ۱۲ نقطه‌ی اندازه‌گیری

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	
۲۶،۰۲۹	۳۰،۱۸۳	۲۴،۴۹۲	۱۹،۲۲۷	میانگین دما (°C) در اطلس
۲۶،۵۴۸	۳۰،۰۷۱	۲۲،۴۷۶	۱۸،۷۸۲	میانگین دما (°C) در اندازه‌گیری
۴۰،۳۵۰	۳۹،۷۸۰	۴۰،۰۷۸	۴۰،۵۷۹	میانگین شوری (psu) در اطلس
۴۰،۰۱۲	۳۸،۵۵۹	۳۹،۹۹۷	۴۰،۸۳۷	میانگین شوری (psu) در اندازه‌گیری

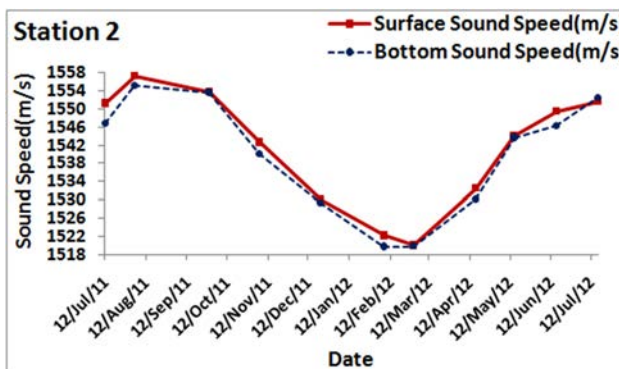
جدول ۴: میانگین فصلی اکسیژن محلول بر اساس اطلس لویتوس در نقطه‌ی (28.5N & 50.5E) و میانگین ۱۲ نقطه‌ی اندازه‌گیری

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	
۴،۵۰۹	۴،۰۰۶	۵،۱۰۴	۵،۱۴۲	میانگین اکسیژن محلول (ppm) در اطلس
۶،۵۸۶	۶،۷۵۵	۷،۸۵۳	۸،۷۱۲	میانگین اکسیژن محلول (ppm) در اندازه‌گیری

شکل‌های ۳ تا ۷ نشان‌دهنده‌ی سری زمانی پارامترهای فیزیکی آب دریا شامل دما، هدایت الکتریکی، شوری، چگالی و سرعت صوت در لایه‌های سطحی (لایه‌ی اول) و بستری (لایه‌ی دهم) در ایستگاه ۲ است.

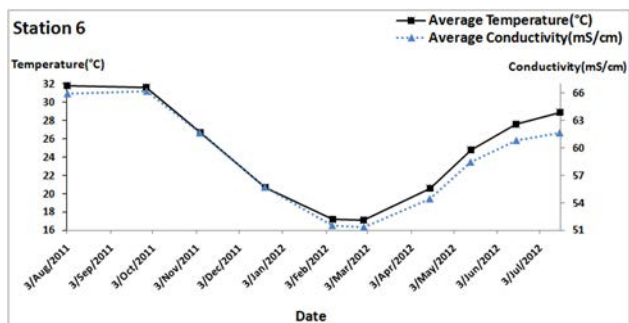


شکل ۳: سری زمانی دما در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۲ در طول ۱ سال



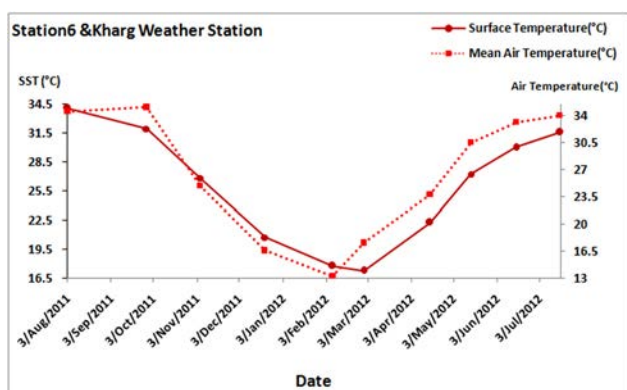
شکل ۴: سری زمانی سرعت صوت در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۲ در طول ۱ سال

یا کاهش دما تأثیر مستقیم بر هدایت الکتریکی و سرعت صوت دارد (IOC, 1993). از آن‌جا که در منطقه‌ی مورد مطالعه، تغییرات دما، خصوصاً در گذر از ماه‌های سرد به ماه‌های گرم سال، نسبت به تغییرات شوری و فشار چشمگیرتر است؛ روند تغییرات هدایت الکتریکی و سرعت صوت در لایه‌ها و ماه‌های مختلف سال، مشابه روند تغییرات دمای آب دریا است. این مهم پیش‌تر نیز در نمودارهای سری زمانی ایستگاه ۲، مشهود است.



شکل ۱۰: سری زمانی دما و هدایت الکتریکی میانگین ۱۰ لایه مربوط به ایستگاه ۶ در طول ۱ سال

به‌علاوه نمودارهای بالا نشان می‌دهند؛ تغییرات چگالی، در ماه‌های مختلف، عکس تغییرات دما است. با صعود دما، نمودار چگالی نزول می‌کند و برعکس. مقایسه‌ی سری زمانی دمای آب و شوری سطحی در ایستگاه ۶، به‌ترتیب با میانگین روزانه‌ی دمای هوا و تبخیر مربوط به ایستگاه هواشناسی خارک در شکل-های ۱۱ و ۱۲ نمایش داده شده است.



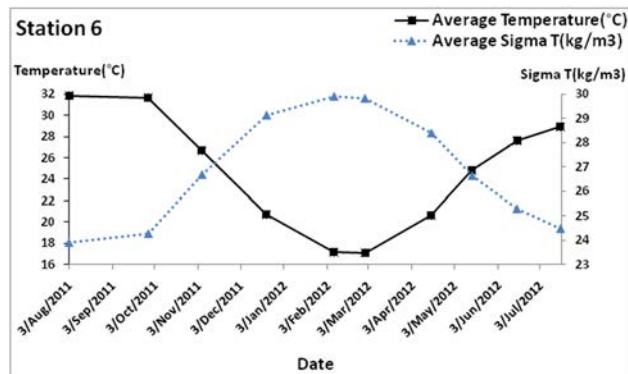
شکل ۱۱: سری زمانی دمای سطحی ایستگاه ۶ با دمای هوا در جزیره‌ی خارک در طول ۱ سال

تغییرات دمای آب سطحی با دمای هوا در ایستگاه هواشناسی خارک حاکی از تغییر تقریباً یکسان این دو پارامتر در طول سال

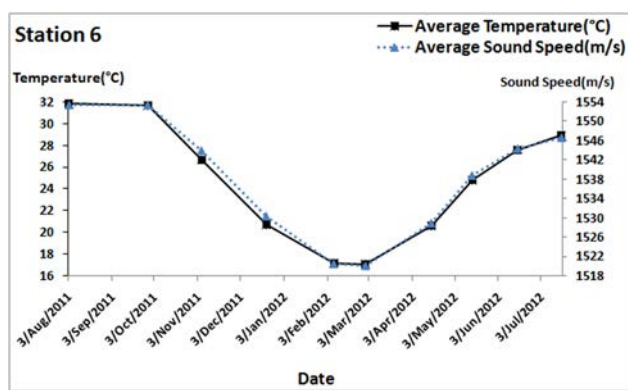
شوری و چگالی روندی معکوس دارند و در ماه‌های گرم و سرد سال به ترتیب شاهد کمینه و بیشینه‌ی مقدار این پارامترها هستیم. مقایسه‌ی همزمان سری زمانی میانگین دما با میانگین پارامترهای هدایت الکتریکی، چگالی و سرعت صوت در ایستگاه ۶، به‌ترتیب در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۵: مشخصات آماری میانگین ۱۰ لایه‌ی پارامترهای دما، هدایت الکتریکی، شوری، چگالی و سرعت صوت در مراحل مختلف اندازه‌گیری

	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Salinity (psu)	Sigma T (kg/m ³)	Sound Speed (m/s)
max in month	34.7-Aug	68.0-Aug	41.6-Dec	29.9-Feb	1556.8-Aug
min in month	17.0-Mar	51.2-Mar	38.2-Jul	23.1-Aug	1519.8-Mar
max-min annually	17.7	16.8	3.4	6.8	37.0
average	26.1	60.3	39.5	26.3	1540.9
standard deviation	5.8	5.6	1.0	2.5	12.8

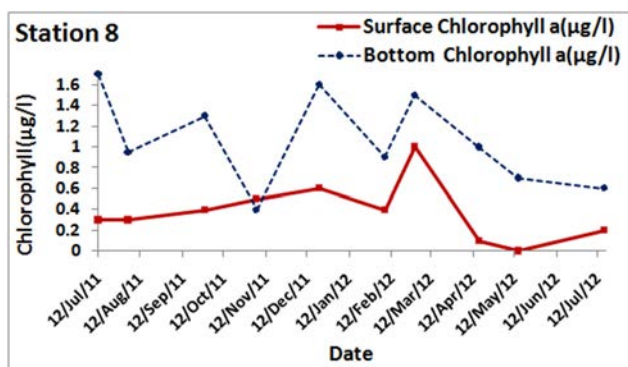


شکل ۸: سری زمانی دما و چگالی میانگین ۱۰ لایه مربوط به ایستگاه ۶ در طول ۱ سال

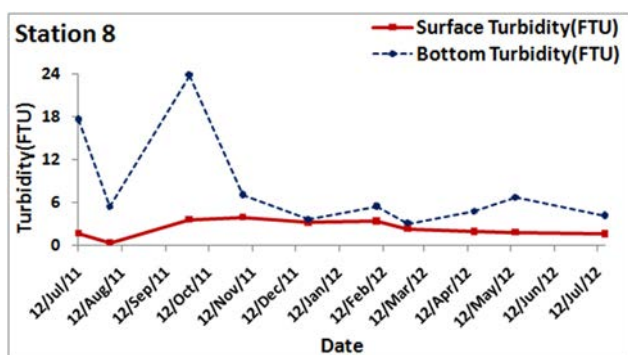


شکل ۹: سری زمانی دما و سرعت صوت میانگین ۱۰ لایه مربوط به ایستگاه ۶ در طول ۱ سال

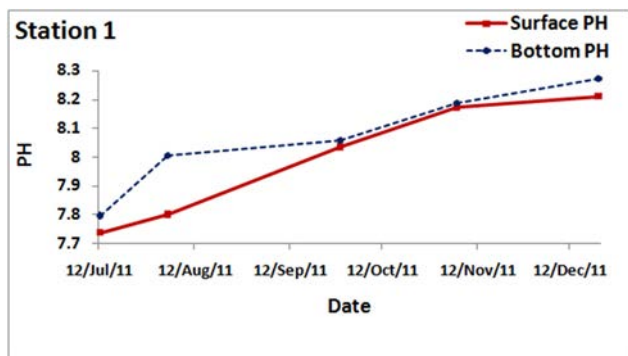
در آب دریا، تغییرات هدایت الکتریکی و سرعت صوت وابسته به تغییرات دما، شوری و فشار است و از این بین، افزایش



شکل ۱۴: سری زمانی کلروفیل آ در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۸ در طول ۱ سال



شکل ۱۵: سری زمانی کدری آب دریا در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۸ در طول ۱ سال

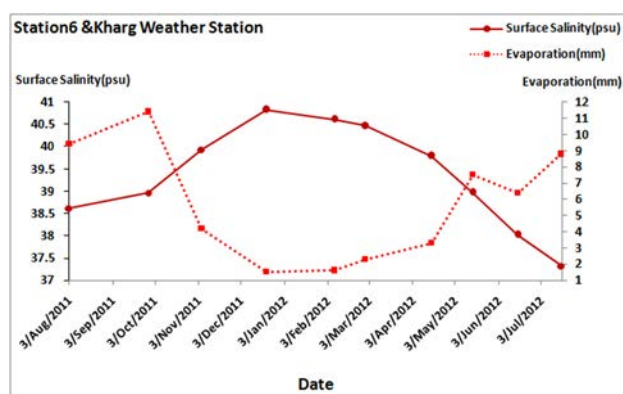


شکل ۱۶: سری زمانی pH در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۱ در طول ۵ ماه

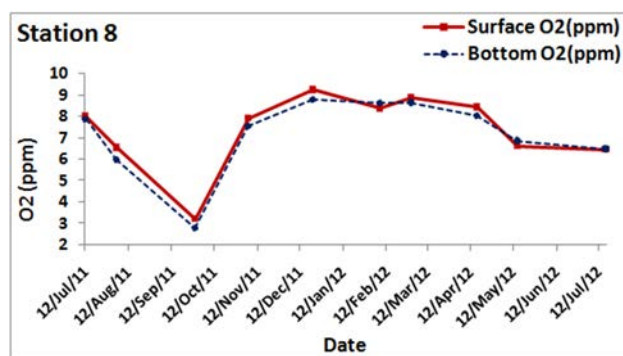
نمودارهای سری زمانی اکسیژن محلول نشان می‌دهند که اختلاف ناچیزی در مقدار این پارامتر بین سطح و بستر وجود دارد که ناشی از کم عمق بودن منطقه‌ی مورد مطالعه و اثر ناچیز عمق روی مقدار اکسیژن محلول است. همچنین در ایستگاه ۸ مقدار میانگین این پارامتر در فصل سرد سال بیشتر از فصل گرم سال است.

است. همچنین شوری سطحی در این ایستگاه، برعکس تبخیر ایستگاه هواشناسی جزیره‌ی خارک، در ماه‌های سرد سال بیشتر از ماه‌های گرم است.

سری زمانی اکسیژن محلول، کلروفیل آ و کدری آب دریا مربوط به لایه‌ی سطح و بستر ایستگاه ۸ در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ ارائه شده است. همچنین مقادیر سری زمانی pH در ۵ مرحله‌ی زمانی مربوط به ایستگاه ۱ در شکل ۱۶ نشان داده شده است. لازم به ذکر است به دلیل عدم کارکرد درست سنسور pH و کنار گذاشتن مقادیر غیرواقعی آن، داده‌های کنترل شده‌ی پارامتر مذکور در ۵ مرحله اندازه‌گیری نشان داده شده‌اند.

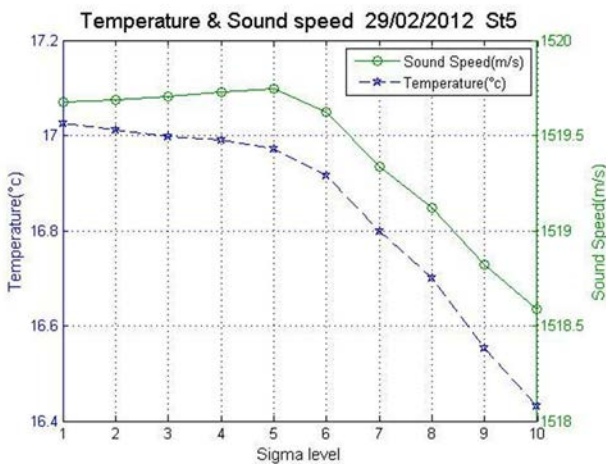


شکل ۱۲: سری زمانی شوری سطحی ایستگاه ۶ با تبخیر در جزیره‌ی خارک در طول ۱ سال

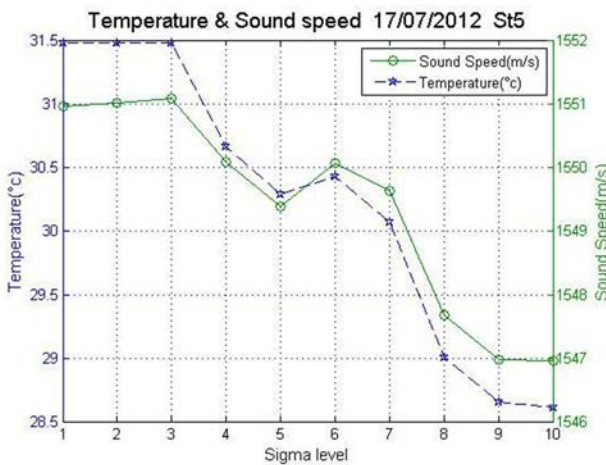


شکل ۱۳: سری زمانی اکسیژن محلول در لایه‌های سطحی و بستری ایستگاه ۸ در طول ۱ سال

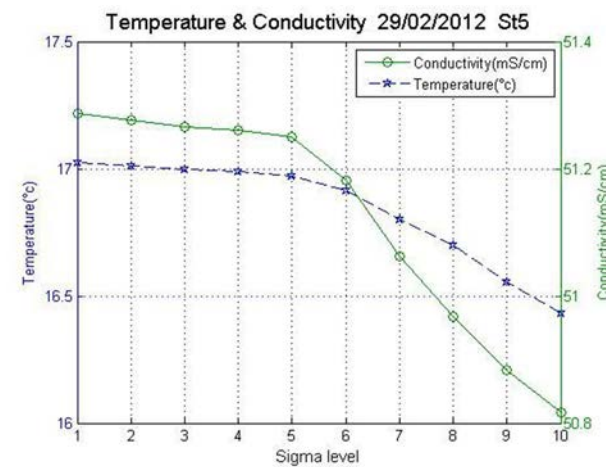
نمودار سری زمانی کدری و کلروفیل آ، حاکی از آن است که رابطه‌ی معناداری بین این دو پارامتر با دما، در گذر از ماه‌های گرم و سرد سال، وجود ندارد. کدری در نزدیک سطح دارای مقادیر کم است و با حرکت به سمت بستر بر میزان آن افزوده می‌شود. مقدار کلروفیل آ نیز در اکثر ماه‌ها در سطح کمتر از بستر است.



شکل ۱۹: تغییرات قائم دما با سرعت صوت در لایه‌های مختلف در ماه فوریه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۵)

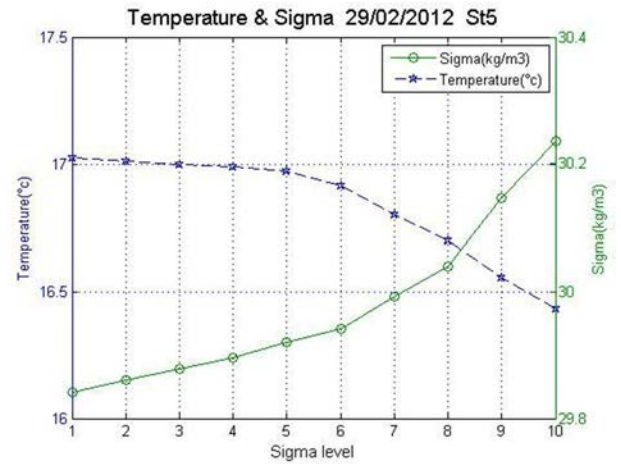


شکل ۲۰: تغییرات قائم دما با سرعت صوت در لایه‌های مختلف در ماه جولای ۲۰۱۲ (ایستگاه ۵)

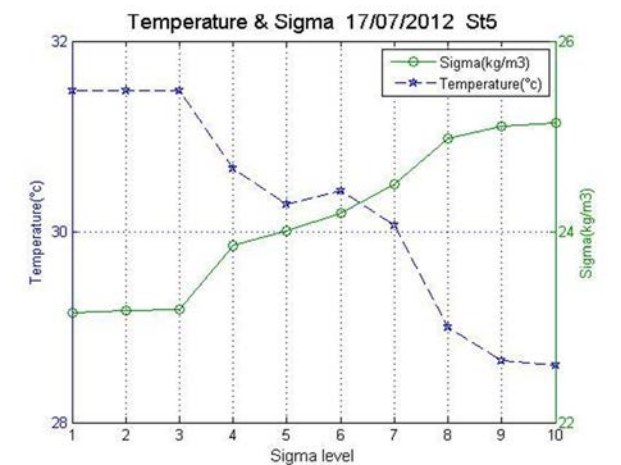


شکل ۲۱: تغییرات قائم دما با هدایت الکتریکی در لایه‌های مختلف در ماه فوریه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۵)

نمودار سری زمانی pH بیانگر افزایش این پارامتر با کاهش دما در گذر از ماه‌های گرم سال به ماه‌های سرد سال است. مقایسه‌ی نیمرخ ۱۰ لایه‌ی پارامترهای دما با سرعت صوت، هدایت الکتریکی و چگالی مربوط به ایستگاه ۵ در ماه‌های گرم و سرد سال، در شکل‌های ۱۷ تا ۲۲ ارائه شده است.

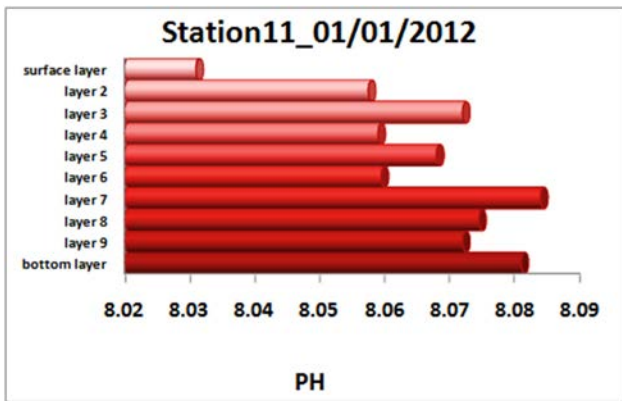


شکل ۱۷: تغییرات قائم دما با چگالی در لایه‌های مختلف در ماه فوریه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۵)

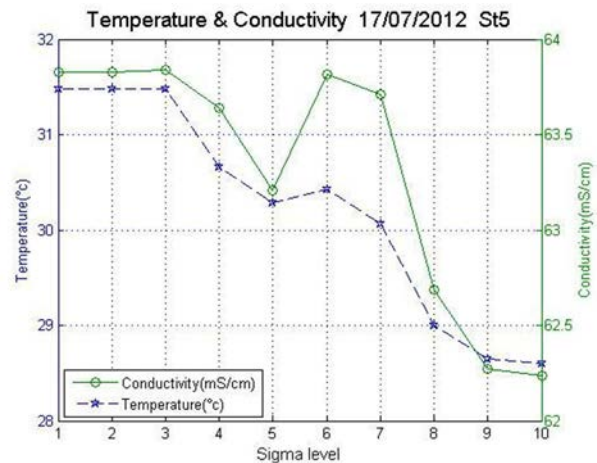


شکل ۱۸: تغییرات قائم دما با چگالی در لایه‌های مختلف در ماه جولای ۲۰۱۲ (ایستگاه ۵)

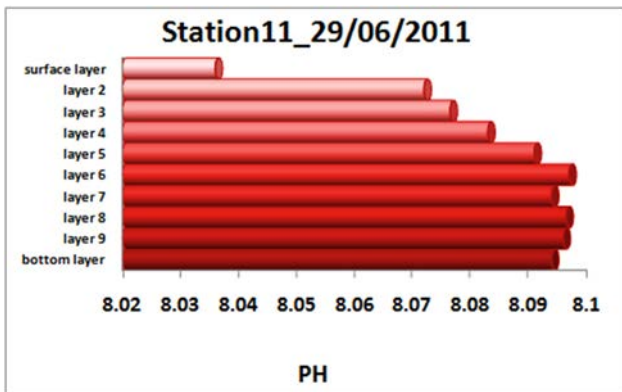
با توجه به شکل‌های فوق، در ماه گرم سال که دامنه‌ی تغییر چگالی، هدایت الکتریکی و سرعت صوت از سطح تا بستر بیشتر از ماه سرد است چرا که دمای آب دریا روند مشابهی دارد و همچنان‌که پیش‌تر گفته شد تغییرات سه پارامتر مذکور عمدتاً تحت تأثیر دما است. به‌علاوه در ماه گرم سال، کاهش و افزایش چشمگیر دما و چگالی از لایه‌ی ۳ شروع و تا لایه‌ی ۸ ادامه می‌یابد که آشکارکننده‌ی به‌ترتیب لایه‌های گرم‌اشیب و شیب‌چگالی فصلی جزئی است.



شکل ۲۵: تغییرات قائم pH در ژانویه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۱۱)

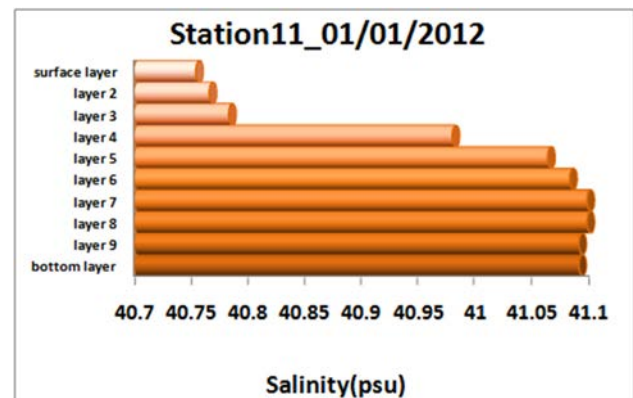


شکل ۲۲: تغییرات قائم دما با هدایت الکتریکی در لایه‌های مختلف در ماه جولای ۲۰۱۲ (ایستگاه ۵)

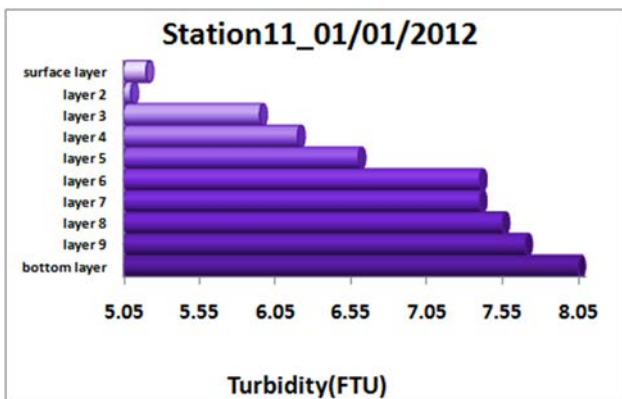


شکل ۲۶: تغییرات قائم pH در ژوئن ۲۰۱۱ (ایستگاه ۱۱)

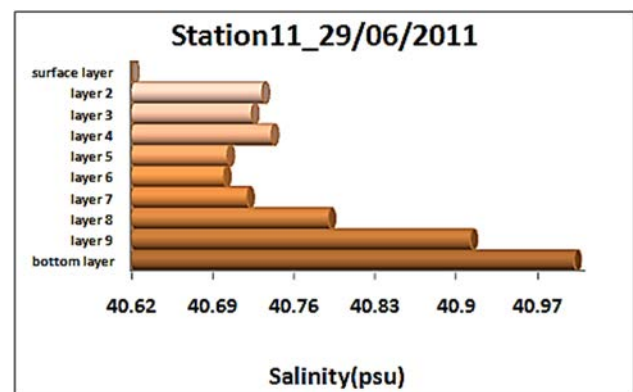
شکل‌های ۲۳ تا ۲۸، ۱۰ لایه‌ی شوری، pH و کدري آب دریا را در ماه‌های مختلف سال در ایستگاه ۱۱ نمایش می‌دهند.



شکل ۲۳: تغییرات قائم شوری در ژانویه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۱۱)

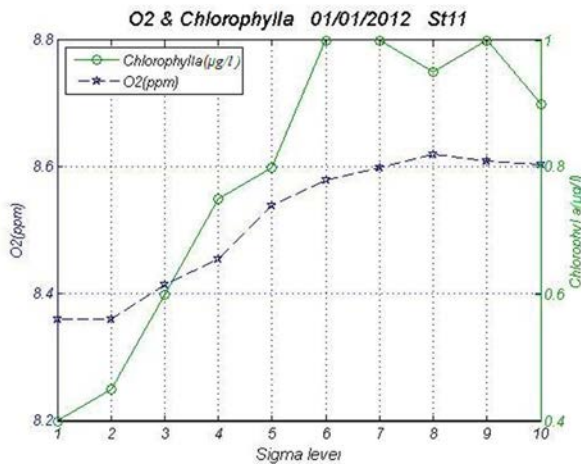


شکل ۲۷: تغییرات قائم کدري در ژانویه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۱۱)



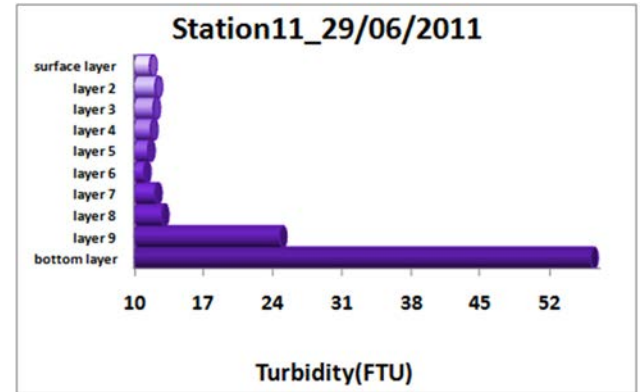
شکل ۲۴: تغییرات قائم شوری در ژوئن ۲۰۱۱ (ایستگاه ۱۱)

در راستای قائم مقدار pH، شوری و کدري از سطح به سمت بستر افزایش می‌یابد. افزایش pH به علت افزایش عمق و کاهش دما است. به نظر می‌رسد در منطقه‌ی مورد مطالعه، میزان pH رابطه‌ی معکوسی با دما دارد. این امر در تغییرات سری زمانی pH نیز مشهود بود. در مورد شوری و خصوصاً کدري آب دریا

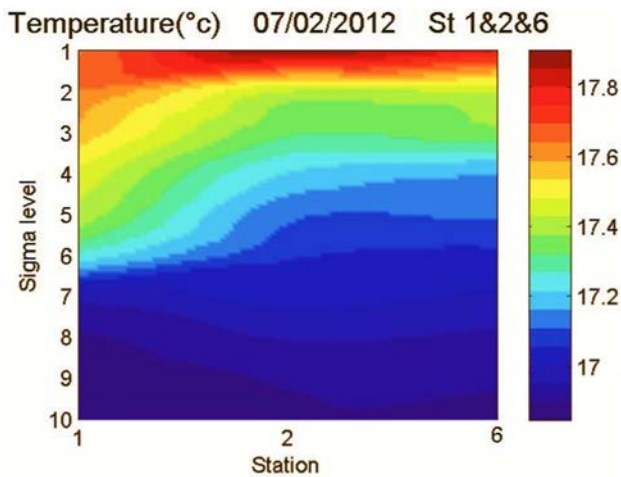


شکل ۳۰: تغییرات قائم اکسیژن و کلروفیل آ در لایه‌های مختلف در ماه ژانویه ۲۰۱۲ (ایستگاه ۱۱)

بدیهی است که با نزدیک شدن به بستر دریا مقدار این دو پارامتر افزایش یابد.

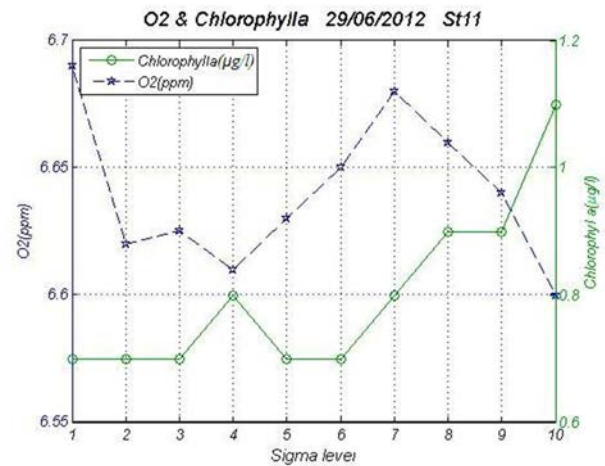


شکل ۲۸: تغییرات قائم کدری در ژوئن ۲۰۱۱ (ایستگاه ۱۱)

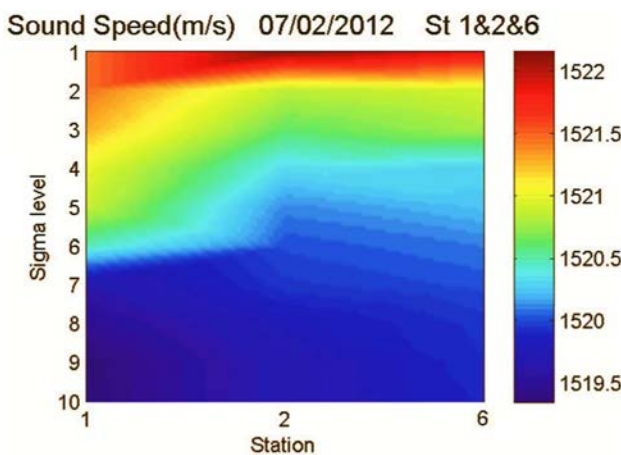


شکل ۳۱: مقطع عرضی تغییرات دما در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲

شکل‌های ۲۹، ۳۰ و ۱۰ لایه‌ی اکسیژن محلول و کلروفیل آ مربوط به ایستگاه ۱۱ را در دو ماه گرم و سرد نمایش می‌دهند. این شکل‌ها در تغییر اکسیژن محلول با افزایش عمق نظم و رابطه‌ی مشهودی وجود ندارد ولی به نظر می‌رسد کلروفیل آ در لایه‌های پایین‌تر مقدار بیشتری دارد.

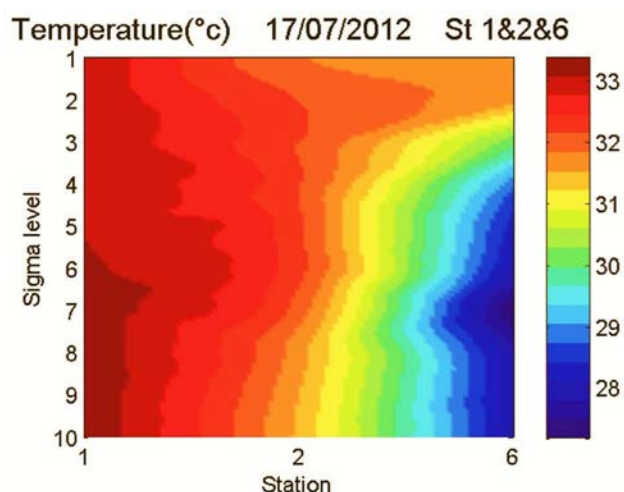


شکل ۲۹: تغییرات قائم اکسیژن و کلروفیل آ در لایه‌های مختلف در ماه ژوئن ۲۰۱۱ (ایستگاه ۱۱)

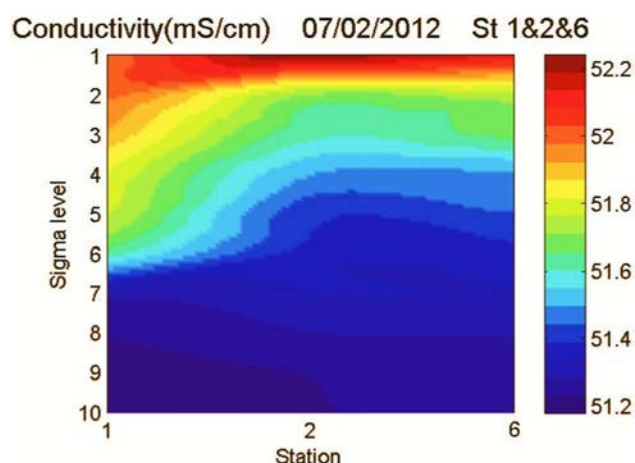


شکل ۳۲: مقطع عرضی تغییرات سرعت صوت در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲

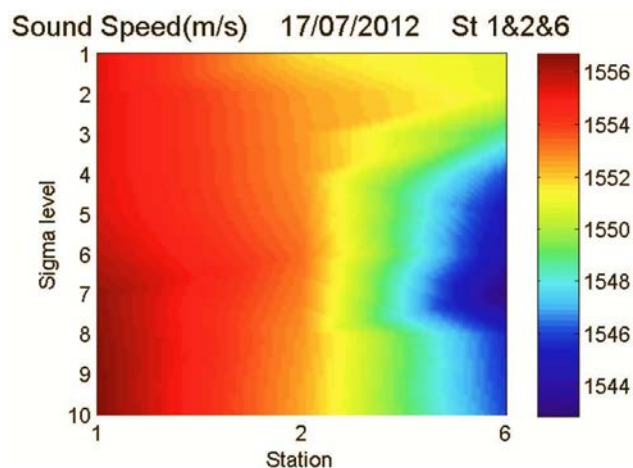
با در نظر گرفتن یک خط عمود بر ساحل و گذرنده از ایستگاه-های ۱، ۲ و ۶ در شکل ۲، مقطع عرضی تغییرات فیزیکی آب دریا در ۲ ماه سرد و گرم سال در فاصله‌ی بین ایستگاه ساحلی ۱ با عمق حدود ۸ متر و ایستگاه فراساحلی ۶ با عمق حدود ۳۵ متر در شکل‌های ۳۱ تا ۴۰ نشان داده شده است.



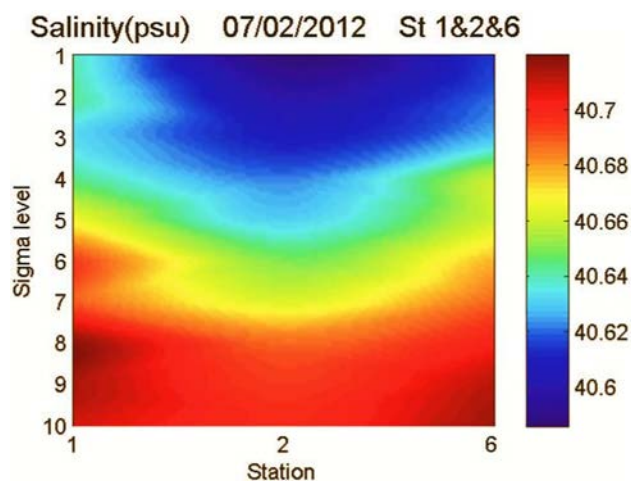
شکل ۳۶: مقطع عرضی تغییرات دما در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در ۱۲ جولای ۲۰۱۲



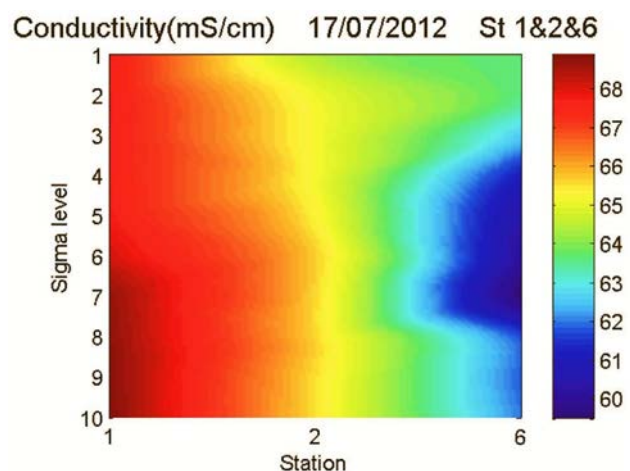
شکل ۳۳: مقطع عرضی تغییرات هدایت الکتریکی در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲



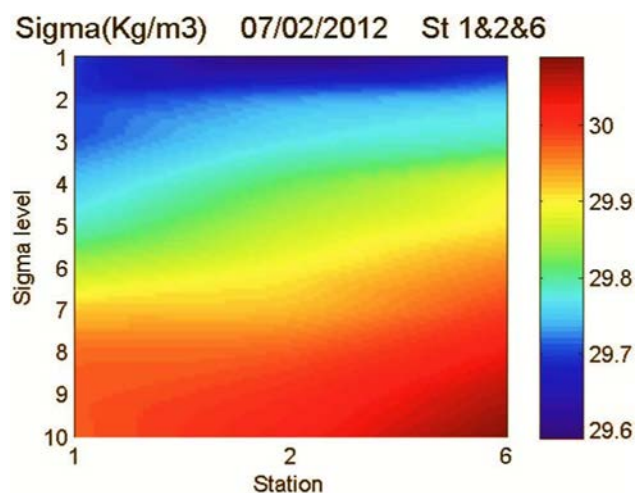
شکل ۳۷: مقطع عرضی تغییرات سرعت صوت در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲



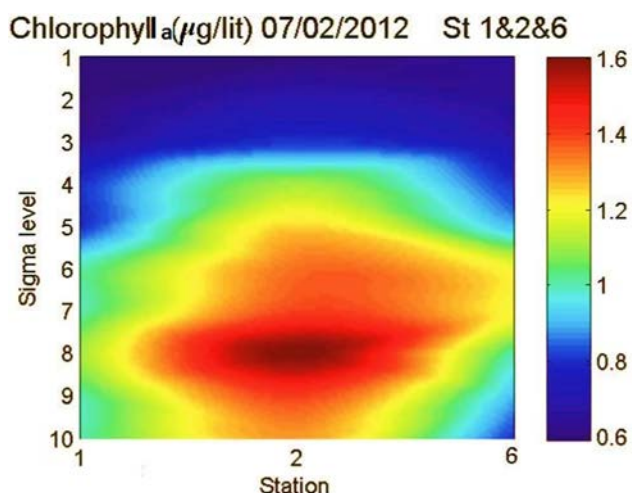
شکل ۳۴: مقطع عرضی تغییرات شوری در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲



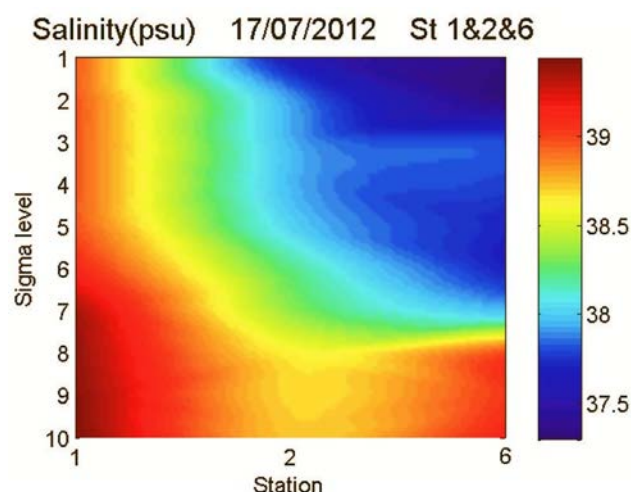
شکل ۳۸: مقطع عرضی تغییرات هدایت الکتریکی در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲



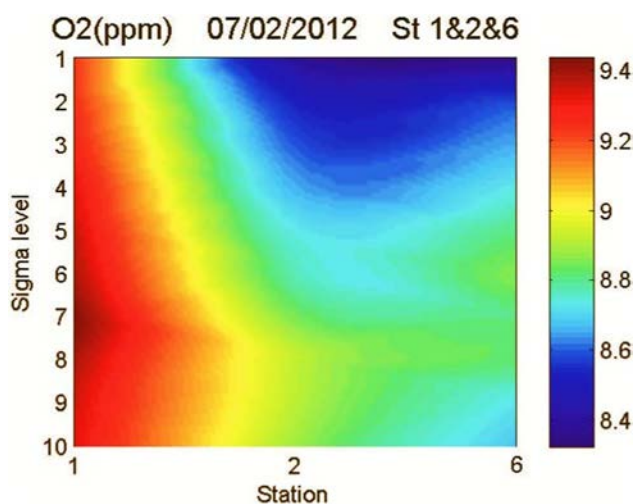
شکل ۳۵: مقطع عرضی تغییرات چگالی در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲



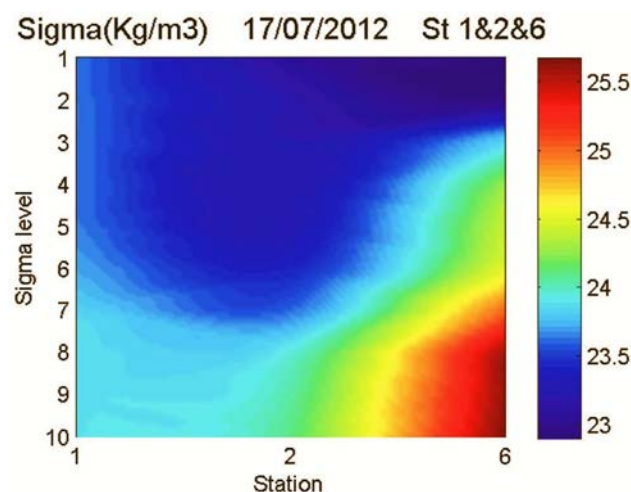
شکل ۳۸: مقطع عرضی تغییرات کلروفیل آ در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲



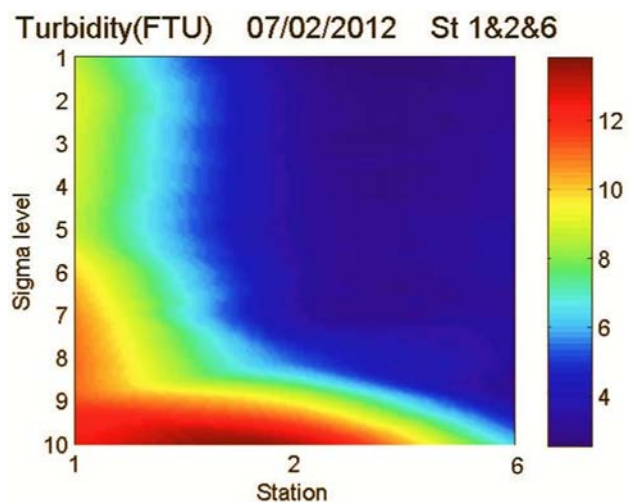
شکل ۳۹: مقطع عرضی تغییرات شوری در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲



شکل ۴۱: مقطع عرضی تغییرات اکسیژن در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲



شکل ۴۰: مقطع عرضی تغییرات چگالی در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲



شکل ۴۳: مقطع عرضی تغییرات کدری در فاصله‌ی بین ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۶ در فوریه ۲۰۱۲

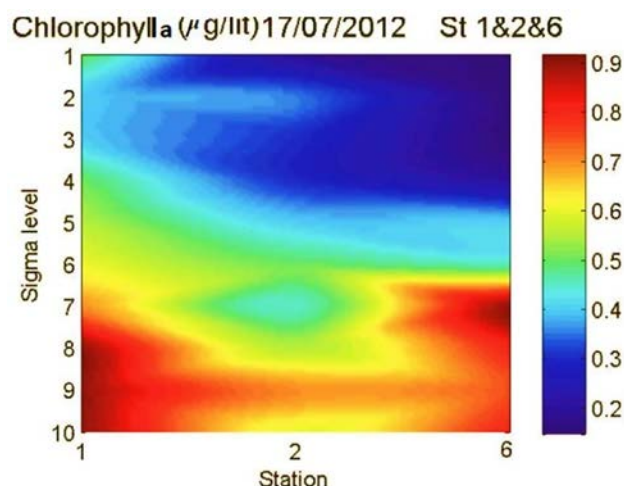
با توجه به شکل‌های بالا، بررسی پارامترهای فیزیکی بیانگر این نکات است که اولاً در فصل سرد سال ستون آب در همه‌ی منطقه، از آب‌های ساحلی تا آب‌های دور از ساحل، کاملاً آمیخته است ولی در فصل گرم سال در فراساحل لایه‌بندی رخ می‌دهد. ثانیاً در عبور از ایستگاه ساحلی ۱ تا ایستگاه فراساحلی ۶ تغییر دمای آب دریا غالباً تحت اثر این مهم است که آب‌های سطحی ساحلی ایستگاه ۱ نسبت به آب‌های سطحی فراساحلی ایستگاه ۶ در ماه‌های سرد سال سردتر و در ماه‌های گرم سال، گرم‌تر هستند چرا که در مناطق ساحلی تبادل گرما بین آب دریا و بستر رخ می‌دهد. روی مقطع عرضی مذکور تغییرات کلروفیل آ، اکسیژن محلول و کدری آب دریا در دو ماه سرد و گرم سال در شکل‌های ۴۱ تا ۴۶ نمایش داده شده است.

در تغییر پارامترهای کدري آب دریا و کلروفیل آ از آبهای ساحلی تا آبهای فرا ساحلی به نظر می رسد تغییرات منظم و قابل توجهی وجود ندارد اما میزان بالای اکسیژن محلول در ماه های سرد و گرم سال به ترتیب در ایستگاههای ساحلی و فراساحلی رخ می دهد. علت این امر رابطه معکوس اکسیژن محلول با دما و سردتر بودن آبهای ساحلی نسبت به آبهای فراساحلی در ماههای سرد سال است.

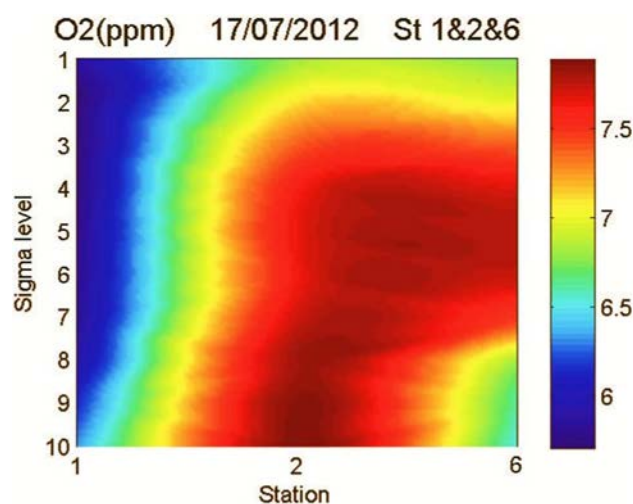
۵. خلاصه و نتیجه گیری

در این پژوهش در یک مقیاس محلی و کوچک به وسعت حدوداً ۳۳ km (۱۸ دقیقه عرض جغرافیایی) در ۳۰ km (۱۸ دقیقه طول جغرافیایی)، به منظور تشکیل یک مرکز داده های فیزیکوشیمیایی آب دریا به مدت یک سال داده های مذکور به صورت ماهیانه برداشت شدند. محدوده مذکور در آبهای ساحلی اطراف شبه جزیره بوشهر از نیروگاه اتمی بوشهر تا کانالهای دسترسی به بندر بوشهر انتخاب شد. بر روی داده های اندازه گیری شده، انواع روش های کنترل کیفی استاندارد، انجام شد تا داده های با کیفیت مناسب در اختیار کاربر قرار گیرد. دیگر امتیاز این مطالعه بررسی و تحلیل داده های فیزیکوشیمیایی قبل از راه اندازی نیروگاه اتمی است که قطعاً می تواند در مطالعات پایش محیطی این نیروگاه سودمند باشد. اهم نتایج به دست آمده در بررسی و تحلیل داده های کنترل کیفی شده ی مذکور به قرار زیر است:

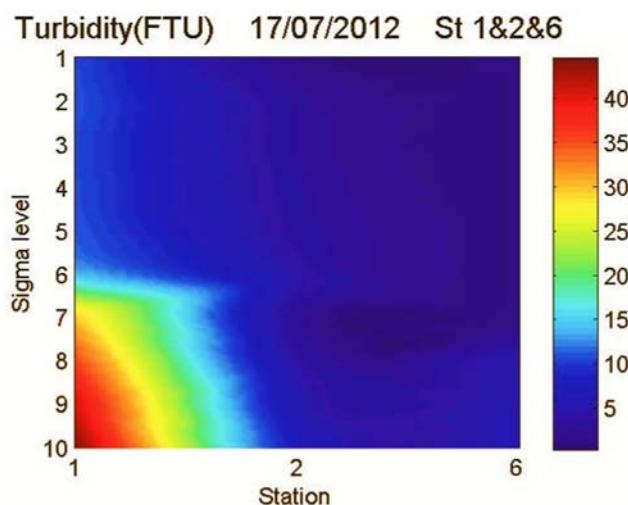
- (۱) بیشینه دما، هدایت الکتریکی و سرعت صوت در ماه های گرم سال و کمینه ی آنها در ماه های سرد سال رخ می دهند. در حالی که برای پارامترهای شوری و چگالی عکس آن اتفاق می افتد و در ماه های گرم و سرد سال به ترتیب شاهد کمینه و بیشینه ی مقدار این پارامترها هستیم.
- (۲) اختلاف دمای آب در ماه های سرد و گرم سال به حدود ۱۸ درجه ی سانتیگراد می رسد و به نظر می رسد این تغییر شدید دمای آب، تغییرات هدایت الکتریکی، سرعت صوت و چگالی را نیز تحت تأثیر چشمگیر خود قرار می دهد.
- (۳) در منطقه ی مورد مطالعه، روند تغییرات هدایت الکتریکی و سرعت صوت در لایه ها و ماه های مختلف سال، مشابه روند تغییرات دمای آب دریا است.
- (۴) تغییرات چگالی، عمدتاً وابسته به تغییرات دما است. به عبارت دیگر در منطقه ی مورد مطالعه، شوری و فشار (عمق)



شکل ۴۴: مقطع عرضی تغییرات کلروفیل آ در فاصله ی بین ایستگاه های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲



شکل ۴۵: مقطع عرضی تغییرات اکسیژن در فاصله ی بین ایستگاه های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲



شکل ۴۶: مقطع عرضی تغییرات کدري در فاصله ی بین ایستگاه های ۱، ۲ و ۶ در جولای ۲۰۱۲

های سرد سال بیشتر است. به نظر می‌رسد در خلیج فارس شوری تحت تأثیر مستقیم تبخیر نیست. در مطالعات پیشین نیز به این مهم اشاره شده که در فصل گرم سال، حجم جریان سطحی ورودی و شار ورودی آب شیرین به خلیج فارس در مقایسه‌ی با مجموع تبخیر و جریان زیرسطحی خروجی، بیشتر است و آب سطحی دریای عمان بیشتر به سمت شمال این خلیج پیشروی می‌کند. به همین دلیل تراز آب خلیج فارس در تابستان ۲۶ cm بالاتر از زمستان است و چگالی سطحی در این فصل 2 kg/m^3 کمتر از زمستان است (Reynolds, 1993; Sultan and Elghribi, 1995). علاوه بر این عنوان شده که یک جریان سطحی گرم با دمایی بیش از 28°C و شوری کم در حدود ۳۷ ppt از تنگه‌ی هرمز در طول تابستان وارد خلیج فارس می‌شود. این جریان در زمستان با دمای حدود 18°C و شوری بیشتر ۳۹ ppt آشکار می‌شود (ROPME, 2003).

بنابراین با وجود تبخیر بیشتر در ماه‌های گرم سال، شوری کمتر خلیج فارس ناشی از نفوذ بیشتر آب کم‌شور دریای عمان به بخش‌های شمالی خلیج فارس، در فصل گرم سال است. در ماه‌های سرد سال با قوت گرفتن باد شمال که در جهت مخالف آب ورودی دریای عمان به خلیج فارس است، آب این دریا کمتر به خلیج فارس وارد می‌شود و ماندگاری طولانی‌تر آب در خلیج فارس، شوری بیشتر را در ماه‌های سرد موجب می‌شوند.

(۱۱) به نظر می‌رسد در منطقه‌ی مورد مطالعه میزان pH با دما رابطه‌ی عکس دارد یعنی در راستای قائم با کاهش دما، مقدار pH افزایش می‌یابد. همچنین در ماه‌های سرد سال میزان pH بیشتر از مقادیر متناظر در ماه‌های گرم سال است و در لایه‌ی سطحی از مقدار حدود ۷/۷ در ماه جولای به مقدار حدود ۸/۲ در ماه دسامبر در لایه‌ی بستری افزایش می‌یابد.

(۱۲) بدیهی است که میزان کدروی آب دریا با نزدیک شدن به بستر دریا افزایش یابد. با این وجود به نظر می‌رسد کدروی بیشتر تحت تأثیر جزرومد و فاصله از بستر دریا باشد تا تغییرات ماهانه‌ی دمای آب دریا. به عبارت دیگر در نمودارهای سری زمانی کدروی، رابطه‌ی معناداری بین کدروی و دما مشاهده نشد. معمولاً متوسط میزان کدروی در همه ایستگاه‌ها از حدود ۲ FTU در نزدیک سطح تا حدود ۱۰ FTU در نزدیک بستر متغیر است.

تأثیر ناچیز و قابل چشم‌پوشی بر چگالی دارند. بررسی نمودارها حاکی از آن است که روند تغییرات چگالی در لایه‌ها و ماه‌های مختلف عکس تغییرات دما است. به عبارت دیگر وقتی نمودار دما صعودی است؛ نمودار چگالی نزولی است و بالعکس.

(۵) آب‌های سطحی ساحلی نسبت به آب‌های سطحی فراساحلی در ماه‌های گرم سال، گرم‌تر و در ماه‌های سرد سال سردتر هستند.

(۶) اختلاف پارامترهای فیزیکی در لایه‌های سطح و بستر در ماه‌های سرد سال بسیار ناچیز و در ماه‌های گرم سال رشد می‌کند. این امر نشان‌دهنده‌ی رخداد لایه‌ی گرمایش فصلی جزئی در فصل گرم سال است.

(۷) کم‌عمق بودن منطقه‌ی مورد مطالعه و وجود جریانات کشندی نسبتاً قوی، مانع از لایه‌بندی چشمگیر، حتی در گرم‌ترین ماه‌های سال می‌شود. با این وجود در فصل گرم سال به‌علت ضعیف بودن باد و وجود گرمای سطحی قوی، شاهد لایه‌ی گرمایش فصلی ضعیفی در ایستگاه‌های با عمق بیشتر از ۲۰ متر هستیم. در این لایه‌ی گرمایش دما حدود ۴ درجه‌ی سانتیگراد کاهش می‌یابد.

(۸) در ماه‌های سرد سال، به‌دلیل اختلاف دمای ناچیز بین سطح و بستر (کمتر از ادرجه)، ستون آب کاملاً آمیخته است. در ماه‌های گرم سال، انتقال قائم گرما باعث یکنواختی ستون قائم آب در مناطق ساحلی و رخداد گرمایش جزئی در فراساحل می‌شود.

(۹) بررسی تغییرات دمای آب سطحی با دمای هوا در ایستگاه هواشناسی خارک نشان می‌دهد که نمودارهای این دو پارامتر روند تغییر تقریباً یکسانی را در طول سال نشان می‌دهند.

(۱۰) در مورد تغییرات زمانی شوری در خلیج فارس، نظرات متفاوتی وجود دارد. برخی از محققین، شوری بیشتر در ماه‌های سرد سال را معلول تبخیر بیشتر در این ماه‌ها می‌دانند و دسته‌ی دیگر از پژوهشگران با توجه به آمار تبخیر بنادر و جزایر خلیج فارس، تبخیر بیشتر را به ماه‌های گرم سال نسبت می‌دهند و نظریه‌ی اول را رد می‌کنند. نتایج و نمودارهای تحقیق حاضر نشان داد که طبق آمار هواشناسی جزیره‌ی خارک، با بالا رفتن دمای هوا در ماه‌های گرم سال، تبخیر نیز در این ماه‌ها افزایش می‌یابد و از طرف دیگر اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که شوری سطحی در ماه-

- Azarmsa, S. A., 2008. Thermal structure in coastal waters of central Bushehr (Iran/Persian Gulf). *Indian Journal of marine science*, Vol. 37(3), September 2008, 273-278 pp.
- Brewer, P.G.; Dyrssen, D., 1985. Chemical oceanography of the Persian Gulf. *Progress in Oceanography*, 14: 41-55.
- BODC (British Oceanographic Data Center), 2006. Data quality control procedures, 6th Framework of EC DG Research, SIMORC.
- Clark, A. V., 1982. Persian Gulf Pilot: The Persian Gulf and its approaches, from Ra's Al Junayz, in the South-west, to Gwatār Bay in the East, Issue 7, Admiralty charts and publications, Hydrographic Dept, Hydrographer of the Navy, 262pp.
- Didier, S. S., 2003. Numerical modeling of tidal-modulated dispersion of brine discharges from a desalination plant in Singapore coastal waters. M.sc thesis., department of civil engineering., university of Singapore.
- Hosseinibalam, F.; Hassanzadeh, S.; Kiassatpour, A., 2007. Inter annual variability and seasonal contribution of thermal expansion to sea level in the Persian Gulf. *Deep-Sea Research*, I 54: 1474-1485.
- Idronaut Srl., 2002. Operator's manual ocean seven 316/319 CTD Multiparameter probes. Italy. www.idronaut.it
- IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission), 1993. Manual of quality control procedure for validation of oceanographic data. Manual and guides 26, UNESCO publication, 436 P.
- Lamanov, V.I.; Korolev, S., 1993. Manual of quality control algorithms and procedures for oceanographic data going into international oceanographic data exchange. In: IOC, 1993. Manual of quality control procedure for validation of oceanographic data. Manual and guides 26, UNESCO publication, 219-255 pp.

۱۳) با توجه به رابطه‌ی معکوس اکسیژن محلول با دما، نمودارهای سری زمانی اکسیژن محلول میزان بیشتر این کمیت در ماه‌های سرد سال را نشان می‌دهند. در منطقه‌ی مورد مطالعه میزان اکسیژن محلول میانگین همه‌ی ایستگاه‌ها در طول سال از حدود ۲ ppm تا ۱۰ ppm متغیر است.

۱۴) میزان اکسیژن محلول در ماه‌های سرد و گرم سال به ترتیب در ایستگاه‌های ساحلی و فراساحلی بیشتر است.

۱۵) در نمودارهای سری زمانی کلروفیل آ، رابطه‌ی معناداری بین کلروفیل و دما مشاهده نشد. در بیشتر ایستگاه‌ها و در اغلب ماه‌های اندازه‌گیری، کلروفیل در لایه‌های نزدیک سطح کمتر از لایه‌های نزدیک بستر است. میانگین ۱۰ لایه‌ی کلروفیل آ در طول سال از حدود ۰/۱ میکروگرم در لیتر تا ۱/۷ میکروگرم در لیتر متغیر است.

۶. سیاست‌گذاری

تحقیق حاضر با حمایت مادی و معنوی پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی در مرکز اقیانوس شناسی خلیج فارس (بوشهر)، انجام شده است. پس بدین وسیله از یاری کلیه‌ی مسئولین و پژوهشگران محترم پژوهشگاه و مرکز بوشهر در انجام هرچه بهتر این مطالعه، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- ایزد پناهی، غ؛ آیین جمشید، خ؛ عوفی، ف؛ اسدی سامانی، ن؛ حق شناس، الف؛ محمد نژاد، ج؛ امیری، س؛ پورنگ، ن، ۱۳۸۶. گزارش نهایی بررسی هیدرولوژی و هیدروبیولوژی خلیج فارس در محدوده‌ی آبهای استان بوشهر. موسسه‌ی تحقیقات شیلات، ۲۱۰ صفحه.
- شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، ۱۳۷۹. گزارش نهایی اندازه‌گیری پارامترهای دریایی و رسوب در بندر بوشهر، ۱۸۹ صفحه.
- مرادی، م، ۱۳۸۹. مدیریت داده‌های اقیانوس شناسی. اول-۱۳۸۹، تهران. مؤمنی، ا، ۱۳۷۵. اصول اقیانوس شناسی. مجموعه‌های اقیانوس شناسی قیزیکی و شیمیایی. جلد اول. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۲۳۶ صفحه.
- هواشناسی بوشهر، ۱۳۹۱. آمار دیده‌بانی پارامترهای هواشناسی ایستگاه بوشهر.

- Sultan, S. A. R.; Elghribi, N. M., 1995. Temperature inversion in the Persian Gulf and the Gulf of Oman. *Continental Shelf Research*, 16(12): 1521-1544.
- Swift, S.A.; Bower, A.S., 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. *Journal of geophysical research*, 108 (C1), 3004, doi: 10.1029/2002JC001360.
- Reynolds, R. M., 1993. Physical oceanography of the Persian Gulf, Strait of Hormuz and the Gulf of Oman – Results from the Mt Mitchell expedition, *Mar. Pollution Bull.*, 27: 35–59.
- ROPME., 2003. Regional report of the state of the marine environment (ROPME sea area).