

تحلیل پارامترهای آب دریای خزر در منطقه نوشهر

سیامک جمشیدی^۱، محمدرضا سهیلی فر^۲

Jamshidi@inio.ac.ir

۱- استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی

۲- استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر

چکیده

در این تحقیق تغییرات پارامترهای مختلف آب دریا شامل درجه حرارت، شوری، چگالی، اکسیژن محلول و کدري با استفاده از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی توسط دستگاه CTD در آب‌های ساحلی بندر نوشهر در پاییز و زمستان سال ۱۳۹۲ مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج، میانگین پارامترهای درجه حرارت، شوری، چگالی، اکسیژن محلول و کدري در پاییز، به ترتیب ۲۷/۲۸ درجه سانتیگراد، ۱۲/۲۹ واحد، ۱۰۰۶/۶۱ کیلوگرم برترمکعب، ۸/۲۶ میلی گرم برلیتر، و ۱۰/۷۳ و در زمستان به ترتیب ۱۱/۴۴ درجه سانتیگراد، ۱۲/۱۹ واحد، ۱۰۰۸/۱۷ کیلوگرم برترمکعب، ۱۲/۹۴ میلی گرم برلیتر، و ۵/۷۴ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که، در فصل پاییز ستون آب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری عمدتاً در لایه اختلاط سطحی قرار گرفته است و تغییرات عمودی پارامترهای فیزیکی از سطح تا بستر کم است. ساختار فیزیکی در فصل زمستان نشان دهنده ایجاد لایه‌بندی شامل لایه اختلاط سطحی، ترموکلاین و لایه عمقی در ستون آب در محدوده اندازه‌گیری بود. تغییرات افقی پارامترهای مذکور تحت تأثیر عواملی نظیر ورودی آب و پلوم رودخانه‌های محلی به منطقه است.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، کدري، اکسیژن محلول، دما، سونار

تاریخ دریافت مقاله : ۹۴/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۴/۰۶/۱۷

۱- مقدمه

دریای خزر بعنوان یکی از مهمترین توده های آبی محصور در دنیا محسوب می شود که به لحاظ وجود منابع آلی و معدنی حائز اهمیت می باشد. اندازه گیری های میدانی داده های مربوط به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دریا ابزاری کارآمد جهت پایش مداوم، و بهره گیری بهینه از این محیط آبی به جهت مقاصد نظامی، تجاری و گردشگری محسوب می شود. علیرغم مطالعات انجام شده قبلی، دریای خزر به لحاظ انجام پژوهش های جامع و پایدار در خصوص شناخت هرچه بهتر مؤلفه ها، نحوه انتشار آلودگی ها و چگونگی سازگاری موجودات زنده به تغییرات پارامترهای آب دریا نیازمند مطالعات بلند مدت است.

از اوایل قرن بیستم حجم عظیم خروجی رودخانه ها به دریای خزر با افزایش مؤلفه های مواد مغذی و کاهش غلظت اکسیژن محلول در آب دریا همراه شد. افزایش منابع مغذی (به دلیل افزایش ورودی رودخانه ها) و کاهش شدت سرمای زمستانی از مهم ترین عوامل برای تهویه نامناسب آب های عمیق بخش جنوب دریای خزر می باشند. براساس مطالعات انجام شده، میزان اکسیژن محلول در آب های لایه های عمیق دریای خزر برای اغلب گونه های زیستی و ارگانسیم های آبی نامطلوب است [۱-۲]. غلظت های اکسیژن محلول در آب کمتر از ۳ میلی گرم بر لیتر برای بیشتر موجودات زنده دریایی استرس زا می باشد و مقادیر ۵ تا ۶ میلی گرم بر لیتر حداقل میزان مورد نیاز برای رشد و بقای آنها می باشد [۳-۵]. در حوضچه جنوبی دریای خزر، مقادیر اکسیژن محلول و درصد اشباع آن با افزایش عمق به شدت کاهش می یابد به گونه ای که به درصد اشباع نزدیک به ۱۰٪ در زیر لایه ۴۰۰ متر می رسد [۶]. این واقعیت قابل ذکر است که امروزه محیط زیست دریای خزر و به ویژه بخش جنوبی آن یکی از توده های آبی آلوده در دنیا محسوب می شود. اکوسیستم این دریا به دلیل حجم زیاد اکتشاف و استخراج مواد معدنی نظیر نفت و گاز و تخلیه مقادیر زیاد فاضلاب های شهری و صنعتی تحت فشار قرار دارد [۷]. از منابع اصلی آلاینده های دریای خزر می توان به پسماندهای خانگی و شهری، فاضلاب های صنعتی و کشاورزی، فلزات سنگین، نشت نفت و گاز در حین استخراج و تولید، فسفات ها و نیترات ها، حشره کش ها و مواد شوینده اشاره نمود [۸-۱۱]. این نکته حائز اهمیت است که بیشترین حجم ورودی

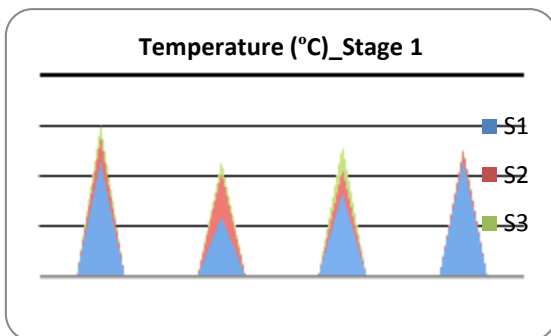
آلاینده ها به دریای خزر از طریق رودخانه ها و مرداب ها می باشد، به علاوه مناطق ساحلی جنوبی به دلیل افزایش فعالیت های انسانی با افزایش آلاینده های روبروست. متأسفانه افزایش آلاینده ها و گستردگی منابع آلودگی در مناطق ساحلی و دریایی تهدیدی بسیار جدی برای ادامه حیات و ازدیاد نسل گونه های مختلف موجودات زنده در دریای خزر می باشد که نیازمند اقدامات پیشگیرانه و جدی است [۱۲-۱۳]. از سوی دیگر، به دلیل محصور بودن دریای خزر و گستردگی ورودی مواد خارجی، مقادیر پارامتر pH آب دریای خزر به طور کامل مشهود از مقادیر آن در آب های دیگر مناطق آبی دنیا بیشتر است. سهم به سزای آب رودخانه ها با مؤلفه های اسید کربنیک های اولیه علت افزایش قابل توجه pH و در نتیجه تغییر ساختار هیدروشیمیایی آب دریای خزر است [۱۴-۱۵].

باتوجه به موارد پیش گفته، مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب دریا (نظیر دما، شوری، چگالی، اکسیژن محلول و کدوری) از مهم ترین ملزومات ارتقای کیفیت آب دریا، بررسی مشخصات اکولوژیکی و حفظ سطح ایمنی محیط زیست دریای خزر به شمار می رود [۱۶]. از این رو و باتوجه به اهمیت مکانیزم تغییرات پارامترهای مختلف آب های ساحلی جنوب دریای خزر در محدوده بندر نوشهر و کمیود اطلاعات و داده های اندازه گیری شده، این پژوهش با هدف انجام مطالعات کاربردی و برداشت داده های فیزیکی شیمیایی آب دریا در منطقه صورت گرفت. تداوم این گونه مطالعات موجب تحلیل های دقیق و بلندمدت از فیزیک و دینامیک منطقه می گردد. با انجام این تحقیق، اطلاعات مفیدی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب دریا، در محدوده نوشهر در دریای خزر به دست آمد، که می تواند در تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی منطقه، مدل سازی انتشار آلودگی و رسوب گذاری، و برخی از پروژه های نظامی مورد استفاده قرار گیرد.

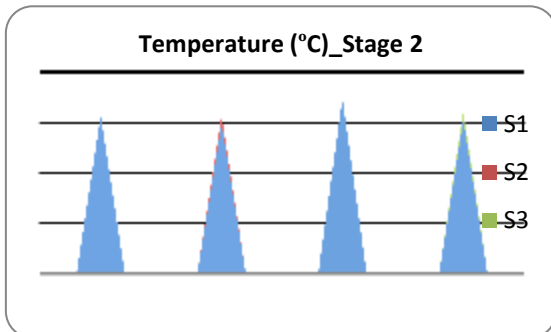
۲- مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه جهت اجرای عملیات اندازه گیری حد فاصل $E51^{\circ}25'33.23''$ تا $E51^{\circ}49'27.38''$ طول جغرافیایی و $N36^{\circ}35'55.80''$ تا $N36^{\circ}41'27.25''$ عرض جغرافیایی در نظر گرفته شد. تعداد ۱۲ ایستگاه ثابت اندازه گیری و نمونه برداری از عمق ۵ تا ۲۰ متر انتخاب شد. به منظور

فصل زمستان برابر ۱۱/۴۴ درجه سانتیگراد، و بیشینه و کمینه دما در این مرحله از عملیات اندازه‌گیری به ترتیب معادل ۱۱/۷۹ و ۱۰/۲۴ درجه سانتیگراد ثبت گردیده است. شایان ذکر است که میانگین دمای آب در سطح و بستر اندکی تفاوت داشت که مقدار آن در سطح برابر ۱۱/۶۶ و در لایه نزدیک بستر حدود ۱۱/۳۴ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. میانگین دمای آب در راستای مقاطع عرضی T2، T3 و T4 تغییر چندانی نداشته و تنها در مقطع عرضی T1 به دلیل شیب بستر و عمیق‌تر بودن ایستگاه T1S3 میانگین دمای آب از ساحل به دریا کاهش یافته است.



(الف)

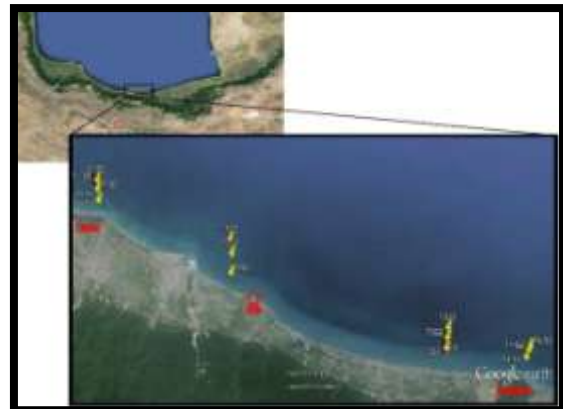


(ب)

شکل (۲) میانگین دمای آب برحسب درجه سانتیگراد در هر ایستگاه در فصل (الف) پاییز و (ب) زمستان

شوری: بیشینه و کمینه شوری اندازه‌گیری شده در فصل پاییز در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۲/۴۶ و ۱۲/۰۵ با مقدار میانگین ۱۲/۲۹ بوده است. میانگین شوری آب در سطح و بستر به ترتیب ۱۲/۲۷ و ۱۲/۳۰ واحد اندازه‌گیری شده که نشان می‌دهد میزان شوری آب دریا در نزدیکی بستر از شوری سطحی اندکی بیشتر بوده است. پس از اندازه‌گیری میانگین شوری آب در هر ایستگاه مشخص شد که، میانگین شوری آب دریا از ساحل به سمت دریا و همچنین از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه افزایش

بررسی هرچه بهتر مشخصات آب دریا در منطقه، ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که در راستای چهار مقطع عمود بر ساحل و در هر مقطع شامل سه ایستگاه باشد (شکل (۱)) مرحله‌ی اول اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی آب دریای خزر در آبان‌ماه ۱۳۹۲ و مرحله‌ی دوم آن در اسفندماه ۱۳۹۲ و از سطح تا بستر دریا انجام شد. برای برداشت پارامترهای فیزیکی آب دریا از یک دستگاه CTD مدل Ocean Seven 316 ساخت شرکت Idronaut کشور ایتالیا استفاده شد [۱۷].



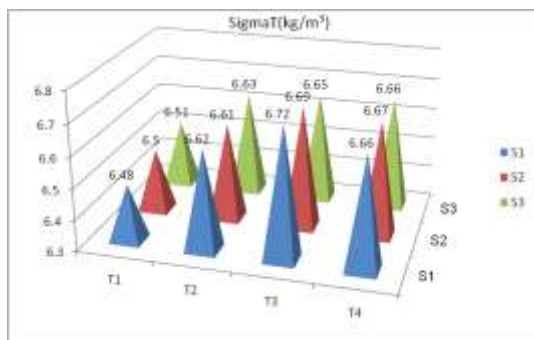
شکل (۱) جانمایی ایستگاه‌های ثابت اندازه‌گیری و موقعیت آنها در آبهای ساحلی نوشهر و چالوس

به‌منظور تحلیل داده‌ها ابتدا اطلاعات جمع‌آوری شده و داده‌های هر ایستگاه تفکیک و سپس به کمک نرم‌افزار Matlab، تصاویر گرافیکی از پارامترهای فیزیکی آب ترسیم شده و مورد پردازش قرار گرفت.

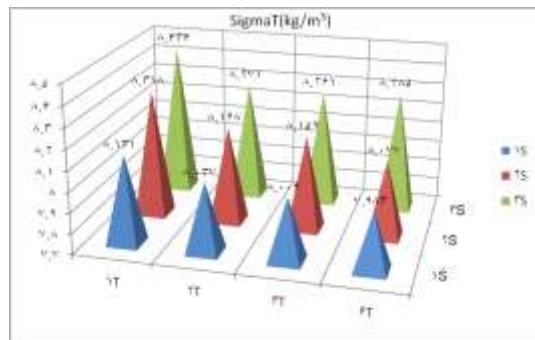
۳- نتیجه‌گیری

دما: میانگین دمای آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز برابر ۲۰/۲۸ درجه سانتیگراد، و بیشینه و کمینه دمای ثبت شده در این مرحله از اندازه‌گیری‌ها به ترتیب معادل ۲۱/۰۳ و ۱۹/۳۶ درجه سانتیگراد بود. با توجه به عمق کم و روند تدریجی سرد شدن آب دریا در این فصل، لایه‌بندی در ستون آب مشاهده نشد. میانگین دمای آب در سطح و بستر یکسان بوده و معادل ۲۰/۳۴ درجه سانتیگراد به دست آمد. با اندازه‌گیری میانگین دمای آب در ایستگاه‌های مختلف مشخص شد که میانگین دمای آب از ساحل به سمت دریا روند افزایشی می‌یابد. که این روند افزایشی دما از سمت ساحل به سمت دریا هم در سطح و هم در لایه‌های نزدیک بستر نیز مشاهده شده است. میانگین دمای آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در

حدود ۱۰۰۸/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافته است. این درشرایطی است که بیشترین و کمترین مقدار چگالی آب دریا در منطقه در این فصل بسیار نزدیک به عدد میانگین و به ترتیب ۱۰۰۸/۶۶ و ۱۰۰۷/۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب ثبت شده است. میانگین چگالی آب در سطح آب ۱۰۰۸/۰۷ و در بستر ۱۰۰۸/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. با اندازه گیری میانگین چگالی آب در منطقه مورد مطالعه مشخص شد که میانگین چگالی آب در زمستان برخلاف پاییز از شرق به غرب افزایش یافته است. این روند افزایشی چگالی در لایه نزدیک بستر نیز مشهود است.



(الف)

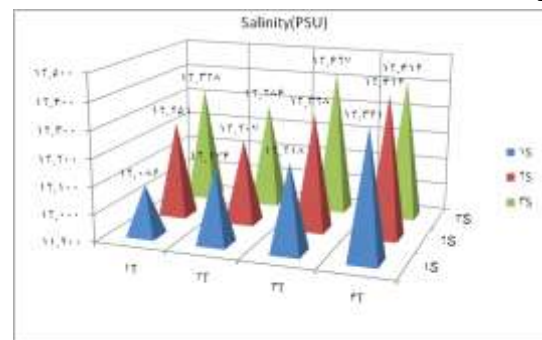


(ب)

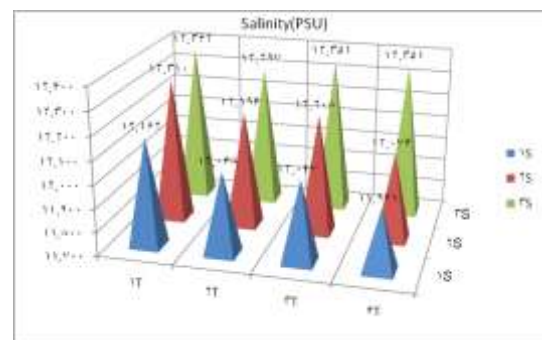
شکل (۴) میانگین چگالی آب در هر ایستگاه در فصل (الف) پاییز و (ب) زمستان

در شکل (۵) نمودار TSD دیگرام با استفاده از داده های برداشت شده دما، شوری و چگالی در دو فصل پاییز و زمستان در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. با استفاده از این نمودار می توان به وضوح توده های مختلف آب دریا و همچنین لایه بندی احتمالی ستون آب را تشخیص داد.

یافته است. روند افزایشی شوری از ساحل به دریا و همچنین از غرب به شرق، هم در آبهای سطحی و هم در آبهای لایه نزدیک بستر مشاهده شده است. در فصل زمستان، میانگین شوری آب دریا در ایستگاه های مورد مطالعه برابر ۱۲/۱۹ با مقدارهای بیشینه و کمینه ۱۲/۴۲ و ۱۱/۹۰ ثبت گردید. میانگین شوری آب در سطح و بستر به ترتیب ۱۲/۱۳ و ۱۲/۲۴ واحد به دست آمد. نتایج اندازه گیری های این فصل نشان داد که به طور کلی شوری آب از ساحل به سمت دریا و از شرق به غرب افزایش یافته است که می تواند به دلیل اثرات ورودی رودخانه های محلی در منطقه باشد.



(الف)

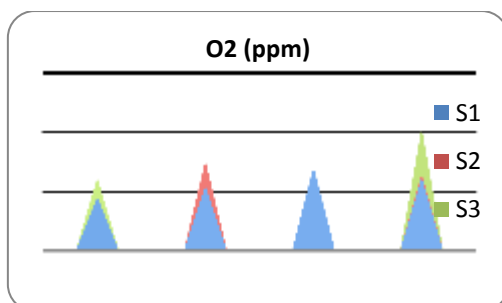


(ب)

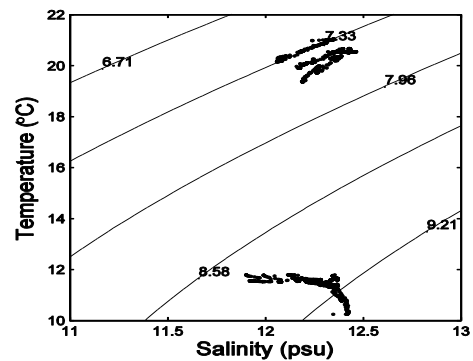
شکل (۳) میانگین شوری آب در هر ایستگاه در فصل (الف) پاییز و (ب) زمستان

چگالی: با توجه به کم بودن مقدار شوری آب دریای خزر، چگالی آب دریا بیشتر تحت تاثیر پارامتر درجه حرارت می باشد. بیشترین و کمترین چگالی محاسبه شده توسط دستگاه در فصل پاییز به ترتیب ۱۰۰۶/۷۸ و ۱۰۰۶/۴۰ با میانگینی برابر ۱۰۰۶/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شده است. میانگین چگالی آب در سطح معادل ۱۰۰۶/۵۷ و با افزایش در نزدیکی بستر حدود ۱۰۰۶/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شده است. در فصل زمستان بدلیل سرمای منطقه و همچنین آب دریا، میانگین چگالی به

دارد، ولی مقدار آن در همه جا به یک اندازه نیست. میانگین اکسیژن محلول در آب دریا در فصل پاییز حدود ۸/۲۶ میلی گرم بر لیتر با مقدار بیشینه و کمینه به ترتیب ۱۰/۱۰ و ۷/۶۶ میلی گرم بر لیتر برداشت شده است که تقریباً می توان گفت که در حد معمول است. میانگین اکسیژن محلول اندازه گیری شده در زمستان در منطقه عملیاتی روبروی سواحل بندر نوشهر حدود ۱۲/۹۴ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. محدوده مقادیر بدست آمده با بیشترین و کمترین مقدار غلظت اکسیژن محلول در معادل ۱۴/۴۴ و ۱۲/۴۷ قابل تامل است. تغییرات میانگین میانگین اکسیژن محلول محاسبه شده در نزدیکی سطح و بستر کمی متفاوت و حدود ۱۲/۸۶ میلی گرم بر لیتر و ۱۳/۱۳ میلی گرم بر لیتر بوده است. آب اکسیژن را از هوا دریافت می کند. در قسمت سطحی به علت اختلاط با هوای مجاور میزان اکسیژن همیشه زیاد است. علاوه بر آن، اکسیژنی که گیاهان دریا ضمن فتوسنتز دفع می کنند، در آب حل می شود. گیاهان در آبهای کم عمق تا جایی که نور خورشید نفوذ دارد، زندگی می کنند و امواج حداکثر تا عمق دویست متری می توانند آب را به هم بزنند. بنابراین اکسیژن اعماق زیاد از طریق دیگر تامین می شود. روش معلوم برای اعماق متوسط، جریانهای عمقی است که آب اشباع شده از اکسیژن را به آنجا می رساند. در سواحل جنوبی دریای خزر و همچنین بندر نوشهر میزان گیاهان دریایی و کلروفیل آب دریا خیلی زیاد نیست و آنچه که بیشتر باعث افزایش اکسیژن می شود امواج و اختلاط لایه سطحی استون آب است. شایان توجه است که در محدوده شکست قاره در منطقه مورد مطالعه، روند کاهشی میزان اکسیژن محلول از سمت ساحل به دریا عدد کمی است.

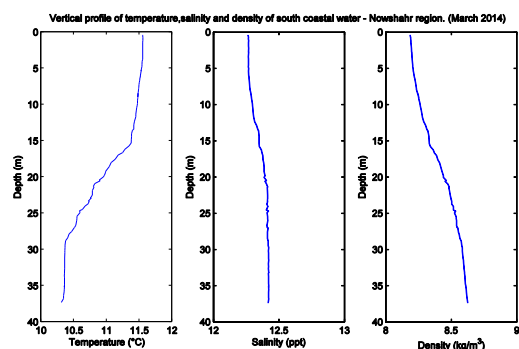
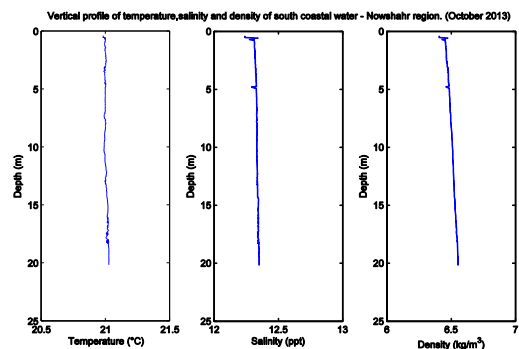


(الف)



شکل (۵) نمودار دما-شوری-چگالی برای داده های مربوط به پاییز (قسمت بالا) و داده های زمستان (قسمت پایین).

محدوده دمایی عمدتاً بین ۱۰ تا ۲۲ درجه سانتیگراد و شوری بین ۱۱/۸-۱۲/۵ واحد مشاهده می شود. نیمرخ های عمودی درجه حرارت، شوری و چگالی محاسبه شده توسط دستگاه از سطح تا بستر در هر دو مرحله زمانی اندازه گیری در شکل شماره (۶) نمایش داده شده است.

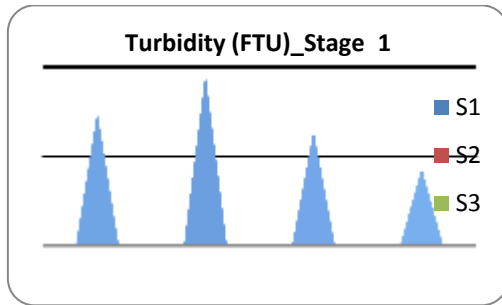


شکل (۶) نیمرخ دما، شوری و چگالی در پاییز و زمستان

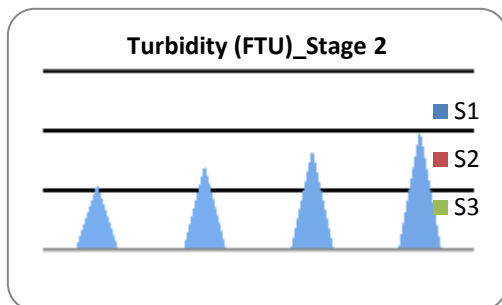
اکسیژن محلول:

در آب دریا گازهای مختلفی به صورت محلول وجود دارد که مهمترین آنها اکسیژن است. حیوانات دریا برای تنفس از اکسیژن محلول در آب استفاده می کنند. به جز اعماق چند دریا وجود جانوران در تمام نقاط مشاهده شده، لذا اکسیژن نیز در تمام قسمتهای دریاها و اقیانوسها وجود

کمترین کدري ثبت شده توسط دستگاه در این اندازه‌گیری به ترتیب معادل ۲۱/۱ و ۲/۶ است. میانگین کدري آب در سطح معادل ۵/۷۳ و در بستر برابر ۶/۵۶ به دست آمد. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که میانگین کدري آب برخلاف مرحله‌ی اول از شرق به غرب افزایش یافت که می‌تواند متأثر از بارش و فلوم رودخانه‌های محلی در منطقه باشد. اما روند کاهشی آن از سمت ساحل به دریا همانند مرحله اول است.



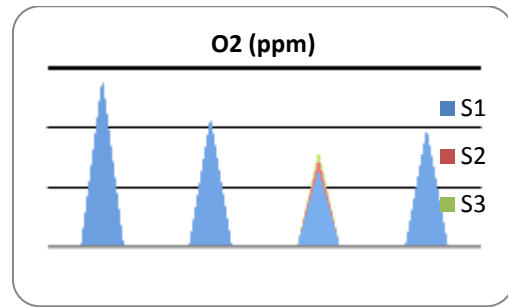
(الف)



(ب)

شکل (۸) میانگین کدري آب در هر ایستگاه در فصل الف) پاییز و ب) زمستان

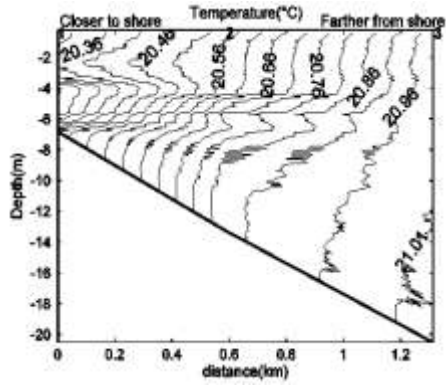
تغییرات پارامترهای مختلف آب دریا اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در لایه نزدیک سطح و نزدیک بستر در هر دو فصل در راستای یک مقطع عمود بر ساحل به عنوان نمونه در شکل‌های ذیل ارائه گردیده است.



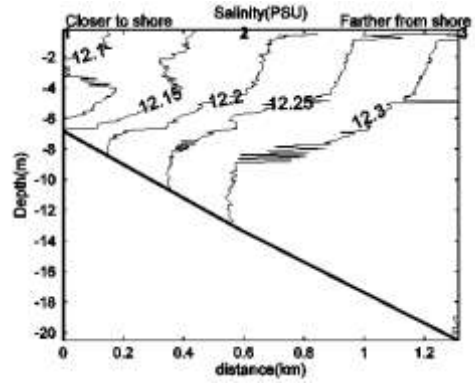
(ب)

شکل (۷) میانگین اکسیژن محلول در آب دریا در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در فصل الف) پاییز و ب) زمستان

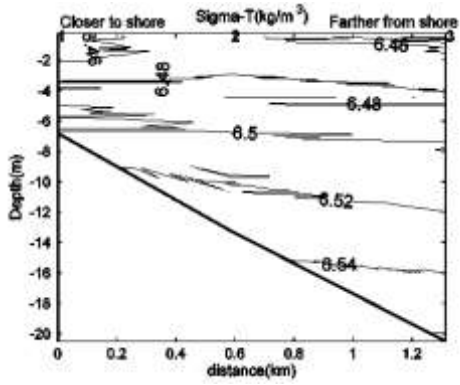
کدري: رنگ طبیعی دریا آبی است، ولی به سبب وجود عناصر آلی و مواد معدنی از نواحی مختلف به رنگ‌های سبز، زرد و سرخ نیز دیده می‌شود. رنگ آب دریا در عرضهای بلند متمایل به سبز است. این رنگ به علت وجود پلانکتونهای نوع دیاتومه می‌باشد. رنگ زرد در اثر وجود مواد تخریبی است که معمولاً در دهانه رودهای بزرگ دیده می‌شود. مثلاً در دریای سرخ و خلیج کالیفرنیا وجود نوعی آلگ رنگ آب را مایل به سرخ نشان می‌دهد، به موازات این عوامل انعکاس رنگ آسمان هم، رنگ آب دریا را تغییر می‌دهد. شفافیت آب دریا به مقدار نفوذ اشعه خورشید در آب بستگی دارد. آزمایشها نشان می‌دهند که در یک متر عمق، نصف اشعه جذب می‌شود. شفافیت آب دریا در نزدیکی سواحل به خصوص در نزدیکی مصب رودخانه‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق میانگین کدري آب در حدود ۱۰/۷۳ FTU به دست آمد که عدد قابل ملاحظه‌ای است. بیشترین و کمترین کدري اندازه‌گیری شده در فصل پاییز به ترتیب معادل ۹۰/۹۰ و ۴/۷۰ است. پس از اندازه‌گیری میانگین کدري آب در هر ایستگاه مشخص شد که، میانگین کدري آب از غرب به شرق کاهش یافت. روند کاهشی کدري آب از ساحل به سمت دریا نیز بطور طبیعی مشاهده شده است. میانگین کدري آب در داده‌برداری فصل زمستان برابر ۵/۷۴ FTU به دست آمد. بیشترین و



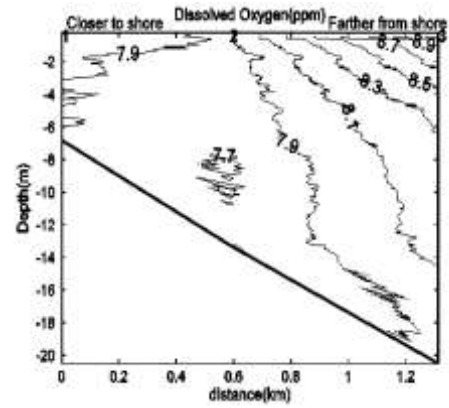
(ب)



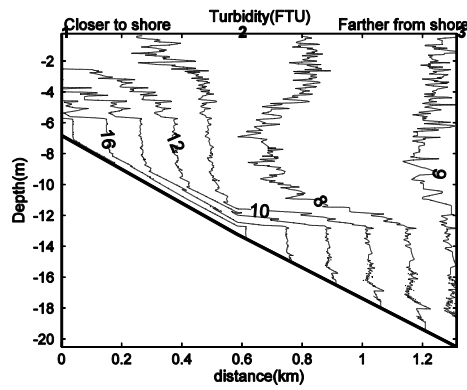
(الف)



(ت)

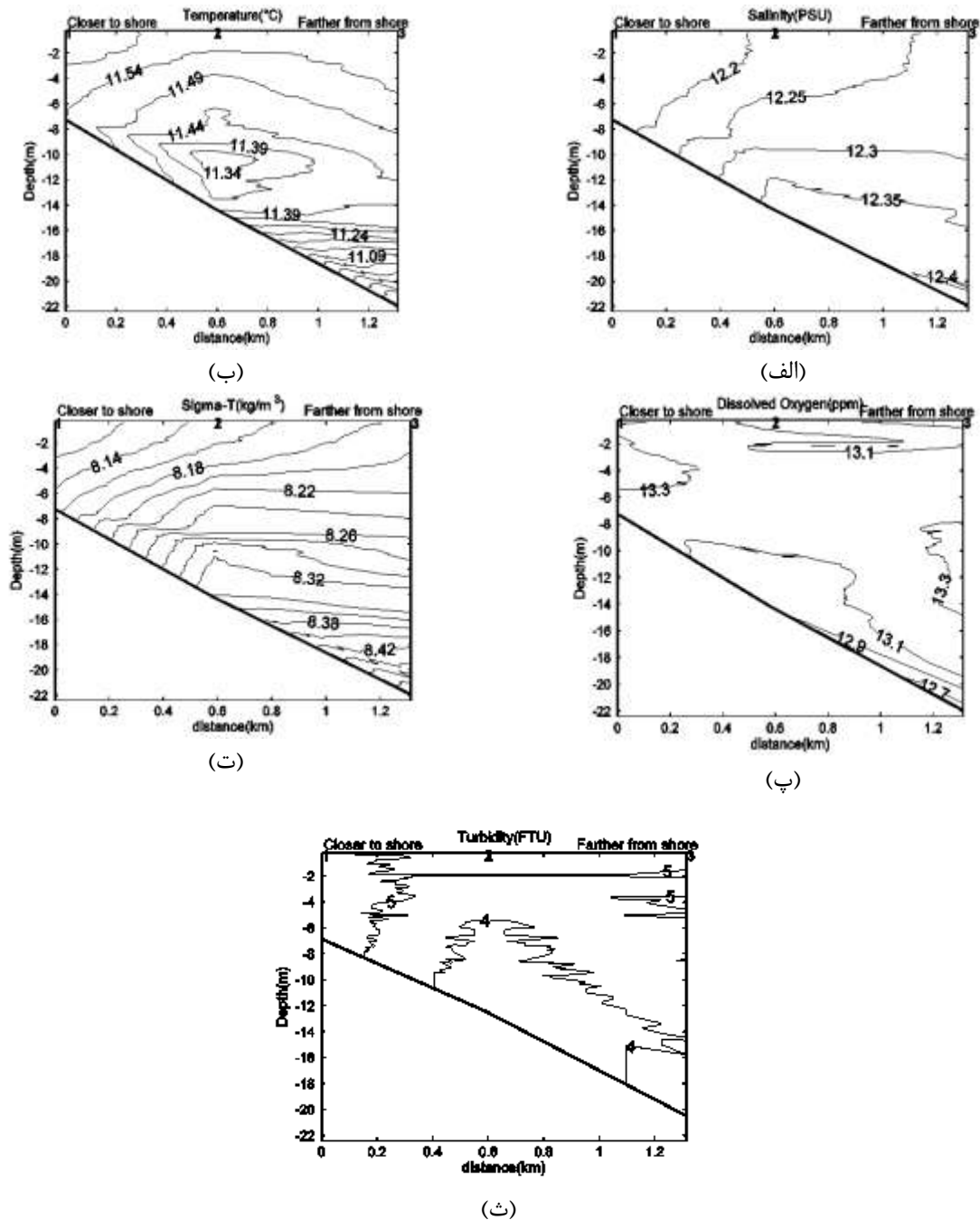


(پ)



(ث)

شکل (۹) مقطع عرضی نمونه برای تغییرات الف) دما، ب) شوری، پ) اکسیژن محلول، ت) چگالی و ث) کدری آب در پاییز



شکل (۱۰) مقطع عرضی نمونه برای تغییرات الف) دما، ب) شوری، پ) اکسیژن محلول، ت) چگالی و ث) کدری آب در زمستان

۴- نتیجه گیری

لایه اختلاط سطحی قرار داشته است. بنابراین می‌توان دریافت که در آب‌های ساحلی در آبان‌ماه می‌توان ضخامت لایه اختلاط سطحی حداقل ۲۰ متر بوده است. در حالی که نیم‌رخ‌های پارامترهای مذکور در ماه پایانی زمستان نشان از شروع یک لایه‌بندی در ستون آب و ایجاد تغییرات هرچند کم در هر سه پارامتر دارد. نمودار دما-شوری-چگالی ترسیم شده بر روی داده‌ها به وضوح نمایانگر تغییرات پارامترهای مذکور در هر دو بازه اندازه‌گیری است.

نتایج حاصل از عملیات‌های اندازه‌گیری پارامترهای مختلف آب دریای خزر در منطقه سردآبرود تا سی‌سنگان مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نیم‌رخ‌های عمودی پارامترهای دما، شوری و چگالی در فصل پاییز نشان می‌دهد که تغییر پارامترهای مذکور از سطح تا نزدیکی بستر کم بوده است، که این حاکی از آن است که تمام ستون آب تا عمق مورد اندازه‌گیری در این ایستگاه‌ها در

می‌شود. این آب سرد به دلیل چگال شدن، به سمت بستر دریا حرکت کرده و اثر باد و تلاطم به عنوان علت دیگر، باعث اختلاط در ستون آب می‌شود. به همین علت میانگین دمای آب سطحی و نزدیک بستر تقریباً یکنواخت به دست آمد. مناطق کم عمق ساحلی، در تابستان و زمستان نسبت به مناطق عمیق دور از ساحل به ترتیب کمی گرم‌تر و سردتر هستند. به همین دلیل، در فصل سرد سال، دمای آب ایستگاه‌های کم عمق کمتر از ایستگاه‌های دور از ساحل است.

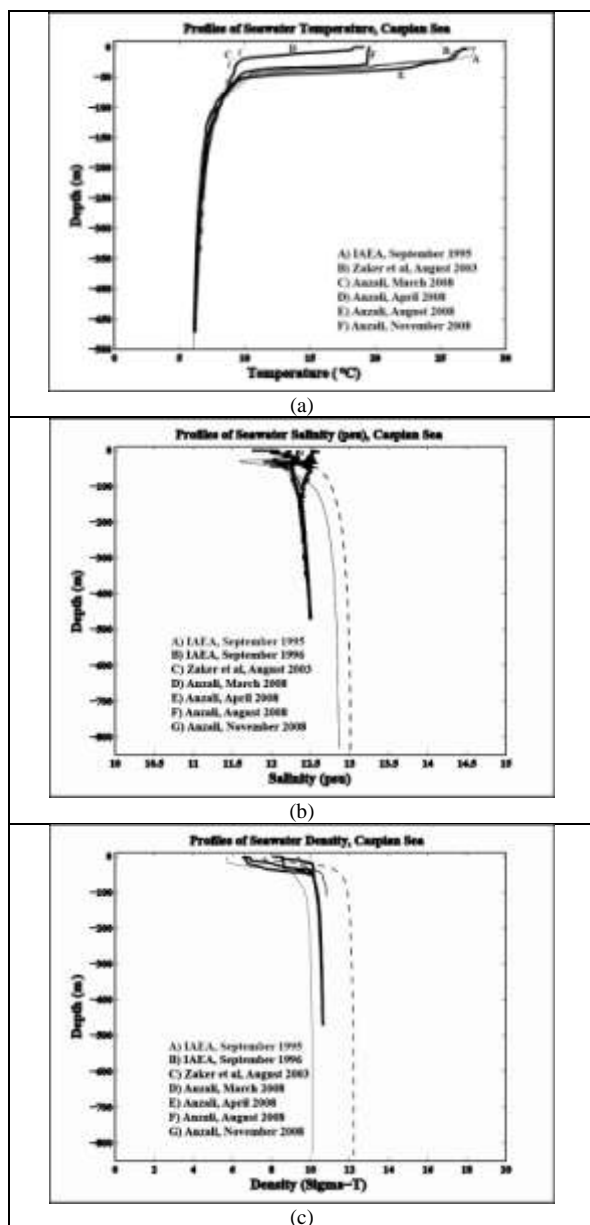
اگرچه تأثیر ورود آب رودخانه‌ها (به ویژه رودخانه ولگا) به دریا، تبخیر شدید در سواحل شرقی خزر جنوبی و جریان‌ات جنوب سو در سواحل غربی سه عامل مهم در ایجاد تغییرات شوری در دریای خزر است، اما بیشترین تغییرات شوری در دهانه‌ی رودخانه‌ها ایجاد می‌شود. مثلاً در دهانه‌ی رودخانه ولگا، در فاصله‌ای بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلومتر، شوری از ۲ تا ۱۰ واحد تغییر می‌کند. میزان ورود آب شیرین رودخانه‌ای به دریا بر میزان شوری آب در مناطق ساحلی تأثیرگذار است. این تأثیرگذاری با دور شدن از ساحل کم رنگ‌تر می‌شود. به همین علت در این مطالعه افزایش شوری با دور شدن از ساحل مشاهده شد. در فصل گرم، به دنبال افزایش میزان تبخیر از سطح دریا، شوری سطحی افزایش می‌یابد، اما به دلیل خنک بودن هوا در این دو دوره‌ی اندازه‌گیری و به دنبال آن کاهش تبخیر سطحی، شوری سطحی با شوری بستر تفاوت چشم‌گیری نداشت. چگالی آب به دما، شوری و فشار بستگی دارد. به دلیل عمق کم ایستگاه‌های اندازه‌گیری و اثر کم عامل تراکم‌پذیری آب دریا، فشار تأثیر زیادی بر چگالی آب دریا در منطقه ندارد. افزایش دما باعث کاهش چگالی و افزایش شوری باعث افزایش چگالی می‌شود. بنابراین در مرحله‌ی اول اندازه‌گیری به علت افزایش شوری از غرب به شرق، شاهد افزایش چگالی آب از غرب به شرق بودیم. تغییرات شوری آب در نزدیکی ساحل به میزان روان‌آب‌های وارد شده از رودخانه‌ها بستگی دارد و به همین علت شوری از شرق به غرب افزایش یافت. البته الگوی جریان‌ات نزدیک ساحل نیز بر این موضوع تأثیر گذار است. به همین علت نیز روند تغییرات چگالی در مرحله‌ی دوم اندازه‌گیری بر عکس مرحله‌ی اول، از شرق به غرب افزایش یافت. از آنجاکه، کاهش دریا سوی چگالی به دلیل افزایش دمای آب و افزایش دریا سوی چگالی به دلیل افزایش شوری آب،

این نمودار همچنین نشان می‌دهد که تقریباً شوری آب دریا در هردو زمان نزدیک به هم است و تفاوت در چگالی آب دریا بیشتر تحت اثر دمای آب دریا است. اندازه‌گیری‌های فصل پاییز زمانی انجام شده که رژیم آب و هوای منطقه روبه سردی می‌رود. تغییرات پارامترهای فیزیکی نظیر دما، شوری و چگالی در راستای مقاطع ترسیم شده کم است. آنچه که به وضوح مشاهده می‌شود آن است که دما با دور شدن از ساحل افزایش کمی دارد. مقادیر شوری هم در اغلب موارد تغییراتی حدود ۰/۲ واحد نشان می‌دهد. شوری کمتر آب دریا در نزدیکی خط ساحلی تحت تأثیر عوامل ساحلی نظیر ورودی رودخانه‌های محلی است. کدوری آب دریا در زمان اندازه‌گیری‌ها در فصل پاییز نسبت به زمستان بیشتر است که علت آن هم می‌تواند وقوع طوفان و تلاطم دریا در روزهای نزدیک به عملیات دریایی باشد. اندازه‌گیری‌های اکسیژن محلول آب دریا در فصل پاییز در محدوده ۷ تا ۹/۵ میلی‌گرم برلیتر می‌باشد اما نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در فصل زمستان کمتر است. در فصل پاییز اکسیژن محلول در لایه‌های سطحی نسبت به لایه‌های زیرین کمی بیشتر بوده است. دمای آب دریا در اندازه‌گیری زمستان نسبت به پاییز کمتر است و با توجه به تغییرات کم شوری در دو مرحله اندازه‌گیری مشاهده می‌کنیم که چگالی آب دریا در زمستان تحت اثر دمای آب بیشتر از فصل پاییز است. در این زمان با افزایش عمق، دمای آب کاهش تدریجی و کمی داشته است. اکسیژن محلول در این مرحله در حدود ۱۲ تا ۱۳ میلی‌گرم برلیتر است که تفاوت قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها می‌توان شروع لایه‌بندی تدریجی را در نمودارها مشاهده نمود. در فصل پاییز و زمستان، مناطق کم عمق به دلیل ظرفیت گرمایی کمتر نسبت به مناطق عمیق، معمولاً از مناطق عمیق مرکزی سردتر هستند. دمای سطحی آب خزر جنوبی در فصل زمستان، از کمترین مقدار خود در نزدیکی سواحل به سمت مناطق مرکزی افزایش می‌یابد. اختلاط آب در نواحی جنوبی دریای خزر در فصل سرد مشاهده شده و در ماه مارس به بیشترین حد خود می‌رسد. هر دو مرحله‌ی عملیات میدانی در این تحقیق در فصول سرد (پاییز و زمستان) انجام شد که هوای سردی بر منطقه حاکم بود. در این شرایط (فصل سرد)، آب سطحی دریا به علت مجاورت با هوا سرد

ساحلی و ورودی آب کم‌شور و گرم رودخانه‌ها در منطقه هستیم. تغییرات ناچیز افقی پارامترهای فیزیکی در لایه نزدیک سطح ناشی از تغییرات دمای روزانه می‌باشد. روند تغییرات دمایی در زمان اندازه‌گیری اول (فصل پاییز) رو به کاهش و در زمان اندازه‌گیری مرحله دوم در پایان فصل زمستان رو به افزایش است. روند الگوی تشکیل و اضمحلال لایه‌بندی در فصل پاییز رو به پایان و استهلاک، در حالی که در اواخر فصل زمستان و اوایل بهار در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر رو به تقویت و ایجاد می‌باشد. نیم‌رخ‌های عمودی درجه حرارت، شوری و چگالی محاسبه شده آب دریا توسط دستگاه از سطح تا نزدیکی بستر در مرحله اول اندازه‌گیری، نشان دهنده این است که ستون آب در این فصل در لایه اختلاط سطحی قرار دارد و پارامترهای فیزیکی آب از سطح تا کف تقریباً یکنواخت می‌باشد. در حالی که نیم‌رخ‌های عمودی درجه حرارت، شوری و چگالی محاسبه شده آب دریا توسط دستگاه از سطح تا نزدیکی بستر در مرحله دوم اندازه‌گیری (فصل زمستان)، نمایانگر این است که ستون آب در این فصل شامل لایه‌های اختلاط سطحی، ترموکلاین و آب عمق است و پارامترهای فیزیکی آب از سطح تا کف تغییرات قابل ملاحظه را دارا می‌باشد. بر اساس نمودار T-S-D اگر داده‌های برداشت شده با خطوط هم‌چگالی متقاطع باشند و هرچه بیشتر خطوط هم‌چگال را قطع کنند، نشان‌دهنده‌ی لایه‌بندی قوی‌تر و روبه گسترش‌تری در ستون آب دریا خواهد بود. این اصل در داده‌های برداشت شده در مرحله دوم اندازه‌گیری‌ها در قسمت پایین نمودار مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده شروع لایه‌بندی در منطقه است. اما داده‌های بالای نمودار تقریباً موازی خطوط هم‌چگالی بود و خط هم‌چگال را به طور کامل قطع نکرد که این نشان‌دهنده لایه‌بندی ضعیف، و یا اینکه داده‌ها از یک لایه یکسان در ستون آب اندازه‌گیری شده‌اند که با توجه به نیم‌رخ‌های عرضی دما، شوری و چگالی مشاهده شد که داده‌ها تقریباً از لایه اختلاط سطحی بودند. بر اساس نیم‌رخ‌های عمودی دما، شوری و چگالی در هر دو مرحله اندازه‌گیری (پاییز و زمستان) و مقایسه با نتایج مطالعات اقیانوس‌شناسی قبلی در منطقه آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر می‌توان گفت که با توجه به کم بودن مقادیر قدرمطلق عدد شوری در آب دریای خزر، همبستگی قوی بین داده‌های درجه حرارت آب دریا و

همدیگر را خنثی می‌کنند، چگالی آب در راستای عمود بر ساحل تغییرات زیادی نشان نداد. با توجه به وسعت محدود منطقه‌ی مورد مطالعه، وجود تعداد زیادی از نهرها با دبی‌های متفاوت که به دریا می‌ریزند، از عوامل مهم مؤثر بر تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکی آب دریا می‌باشد. در حالت کلی درجه حرارت آب دریا در منطقه با افزایش عمق کاهش، در حالی که شوری و چگالی با افزایش عمق افزایش می‌یابند که این روند در همه مقاطع به چشم می‌خورد. مقایسه نیم‌رخ‌های عرضی مقاطع مختلف در مرحله اول اندازه‌گیری (فصل پاییز) نشان دهنده این است که ستون آب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری همگی در لایه اختلاط سطحی قرار گرفته‌اند. خطوط هم‌دما و هم‌شوری ترسیم شده که تقریباً به صورت عمودی از سطح تا عمق قرار گرفته حکایت از این مهم دارند. تغییرات عمودی ناچیز چگالی آب دریا نیز این موضوع را تأیید می‌نماید. البته در مقاطع مختلف با توجه به محل قرارگیری و نزدیکی به ورودی رودخانه‌ها موجود کمی متفاوت است. در مرحله دوم اندازه‌گیری‌ها نگاه کلی به نمودارهای ترسیم شده در مقاطع عرضی نمایان‌گر شروع لایه بندی ستون آب دریا در اواخر فصل زمستان با گرم شدن تدریجی آب دریا از سطح است. در مقطع T4 در مرحله دوم اندازه‌گیری‌ها در اواخر زمستان تغییرات افقی شوری که همراه با خطوط عمودی شوری است باعث ایجاد لایه بندی چگالی با گرادیان افقی شد. تفاوت نتایج به دست آمده از مرحله اول و دوم اندازه‌گیری‌ها در این است که در مرحله اول (فصل پاییز) شاهد تعمیق لایه مخلوط سطحی هستیم که با نزدیک شدن به اواخر پاییز و اوایل فصل زمستان از بالا به سمت لایه ترموکلاین در حال پیشروی و به اصطلاح در حال از بین بردن لایه ترموکلاین است. این عمل در نهایت منجر به اضمحلال لایه‌بندی حرارتی و در نتیجه لایه‌بندی چگالی می‌شود. در اواسط فصل پاییز لایه ترموکلاین در زیر لایه اختلاط سطحی فشرده می‌شود. مقایسه نتایج این تحقیق و پژوهش‌های قبلی انجام شده در منطقه نشان‌گر لایه اختلاط سطحی با ضخامت بیش از ۱۵ متر است. در این زمان انتظار وجود لایه ترموکلاین با ضخامت ۲۰ تا ۳۵ متر را در ستون آب دریا وجود دارد. در مرحله دوم اندازه‌گیری‌ها در اواخر زمستان شاهد تشکیل مجدد لایه‌بندی حرارتی و در نتیجه لایه‌بندی چگالی هستیم. البته در برخی موارد شاهد اثرات

پایداری ستون آب به صورت مشهود بیشتر از سهم گرادیان شوری است.



شکل (۱۱) مقایسه نیمرخ‌های پارامترهای فیزیکی

آب دریای خزر

جهت مطالعه دقیق‌تر پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب دریا در منطقه، لازم است اندازه‌گیری‌ها گسترده‌تر و جامع‌تر شود. همچنین به منظور شناخت هرچه بهتر پارامترهای فیزیکی شیمیایی منطقه، بررسی رودخانه‌هایی ورودی نیز حائز اهمیت است.

۵- سپاسگزاری

این تحقیق در پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی (مرکز نوشهر) به انجام رسید. از کلیه همکارانی که

چگالی وجود دارد [۱۸]. البته این حالت در فصول سرد سال که درجه حرارت آب دریا کاهش می‌یابد، مقداری کم می‌شود و اثر شوری نیز در تغییرات چگالی اهمیت بیشتری می‌یابد. دو شاخص تاثیرگذار بر اکسیژن محیط‌های آبی دما و فتوسنتز می‌باشد. افزایش فتوسنتز و کاهش دمای محیط‌های آبی منجر به افزایش اکسیژن در محیط‌های آبی می‌شود. در این مطالعه مقادیر اکسیژن اندازه‌گیری شده در فصل زمستان بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در فصل پاییز می‌باشد. با توجه به اینکه دمای آب در فصل زمستان کمتر از دمای آب در فصل پاییز است، بالا بودن اکسیژن آب در فصل زمستان در مقایسه با فصل پاییز منطقی به نظر می‌رسد.

با مقایسه نتایج این تحقیق و مطالعات پیشین (که نتایج چند تحقیق به صورت نمودارهای مرسوم در علم اقیانوس‌شناسی در ذیل آورده شده است) مشاهده می‌شود که در فصول گرم لایه‌بندی فصلی قویتری در ستون آب ایجاد می‌گردد. با توجه به همبستگی زیاد چگالی و دمای آب دریا این حالت توازی بین خطوط در کانتورهای چگالی نیز قابل مشاهده و پیش‌بینی است. به نظر می‌رسد در زمانهایی که خطوط هم دما و هم چگالی شیب بیشتری داشته و در ستون آب تلاطم ناشی از اندرکنش جو و دریا بیشتر است باعث ایجاد جریان‌ات قویتری شود. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق و مقایسه آن با مطالعات انجام شده قبلی نظیر مطالعات نام برده شده در مراجع شماره [۱۰،۷،۱۴] نشان می‌دهد که در دریای خزر جنوبی در عمق‌های نزدیک به ۳۰ متر، شوری آب دریا کمتر از لایه‌های بالایی است که برخی از مقالات علت آن را ورودی آب کم شور رودخانه‌ها و شناوری منفی (Negative Buoyancy) ذکر کرده‌اند. مقایسه نیمرخ‌های عمودی چگالی در فصول مختلف منتج از تحقیق حاضر و دیگر پژوهش‌ها نشانگر مشابهت روند و الگوی تغییرات چگالی آب دریا در حوضه جنوبی دریای خزر است. همانطوریکه قبلاً هم اشاره شد، یکی از ویژگی‌های آب دریای خزر مطابقت و هماهنگی تغییرات چگالی و درجه حرارت آب دریاست. بنابراین می‌توان انتظار داشت که لایه‌بندی چگالی ستون آب دریای خزر مشابه لایه‌بندی حرارتی (Thermal Stratification) باشد که این هم با مقایسه نیمرخ‌های عمودی درجه حرارت و چگالی به خوبی مشهود است. سهم گرادیان عمودی درجه حرارت در

Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Vol. 5, part P: 243-256.

[12] Aladin, N., & Plotnikov, I. (2004). The Caspian Sea. Lake Basin Management Initiative Thematic Paper.

[13] Kideys, A. E., Roohi, A., Eker-Develi, E., Melin, F. and Beare, D. (2008). Increased chlorophyll levels in the Southern Caspian Sea following an invasion of jellyfish. *Research Letters Ecology*. p. 1-4.

[14] Tuzhilkin, V.S., & Kosarev, A.N. (2005). Thermohaline structure and general circulation of the Caspian Sea waters. in: Kostianoy A.G. & Kosarev A.N. (Eds.), *The Caspian Sea Environment*, Springer, Germany.

[15] Siamak Jamshidi and Noordin Bin Abu Bakar (2012): Seasonal Variations in Temperature, Salinity and Density in the Southern Coastal Waters of the Caspian Sea, *Oceanology*, Vol. 52, No. 3, p. 380-396.

[16] Siamak Jamshidi (2014), Assessing Chlorophyll-a in the Southwestern Coastal Waters of the Caspian Sea, *Journal of the Persian Gulf (Marine Science) JPG*, Vol. 5 (16), 2014, 27-35.

[17] Idronaut Srl, 2002. Operator's manual ocean seven 316/319 CTD Multiparameter probes. Italy. www.idronaut.it

[18] Siamak Jamshidi (2014), Seawater Properties and Thermal Stratification Over the Continental Shelf off Rudсар, South Caspian Sea, *Sylwan*, Vol. 158, No. 10, p. 275-282.

در انجام این پژوهش همکاری نمودند صمیمانه قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

[1] Dumont, H.J., 1998. The Caspian Lake: History, biota, structure, and function. *Limnology and Oceanography*. 43(1): 44-52.

[2] Tuzhilkin, V.S., Katunin, D.N., & Nalbandov, Y.R. (2005). Natural Chemistry of Caspian Sea Waters. In book: *The Caspian Sea Environment* Springer-Verlag, Berlin.

[3] Birol Kara, A., Wallcraft, A., Joseph Metzger, E., Gunduz, M. (2010). Impacts of freshwater on the seasonal variations of surface salinity and circulation in the Caspian Sea, *Continental Shelf Research*, 30, 1211-1225.

[4] Devlin, M., Painting, S. and Best, M. (2007). Setting nutrient thresholds to support an ecological assessment based on nutrient enrichment, potential primary production and undesirable disturbance, *Marine Pollution Bulletin*. 55, p. 65-73.

[5] Frodge, J. D., Thamas, G. L. and Pauley, G. B. (1990). Effects of canopy formation by floating and submergent aquatic macrophytes on the water quality of two shallow Pacific Northwest lakes. *Aquatic Botany*. 38, p. 231-248.

[6] Kosarev, A. N. and Yablonskaya, E. A. (1994). *The Caspian Sea*. SPB, The Hague, p. 1-274.

[7] Zaker, N.H., Ghaffari, P. and Jamshidi, S. 2007. Physical Study of the Southern Coastal Waters of the Caspian Sea, off Babolsar, Mazandaran in Iran. *Journal of Coastal Research (JCR)*, SI 50: 564-569.

[8] Kosarev, A. N. and Kostianoy, A. G. (2005). Introduction. In A. G. Kostianoy & A. N. Kosarev (Eds.) *The Caspian Sea Environment*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, p. 1-3.

[9] Korshenko, A. N. and Gul, A. G. (2005). Pollution of the Caspian Sea. In A. G. Kostianoy & A. N. Kosarev (Eds.) *The Caspian Sea Environment*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, p. 109-142.

[10] Zonn, I.S., 2005(a). Environmental Issues of the Caspian. In: *Caspian Sea Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Vol. 5, part P: 223-242.

[11] Zonn, I.S., 2005(b). Economic and International Legal Dimensions. In: *Caspian*