

اندازه‌گیری و تحلیل پارامترهای شیمیایی و انتشار امواج صوتی در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر

سیامک جمشیدی^۱، محمدرضا سهیلی‌فر^۲

Jamshidi@inio.ac.ir

۱- استادیار پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی
۲- استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر

چکیده

این تحقیق براساس تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده پارامترهای مختلف آب دریا در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر انجام شده است. همچنین اثرات لایه‌بندی ستون آب بر نحوه تغییر پارامترهای شیمیایی (اسیدیته، اکسیژن محلول، کدری، کلروفیل) و سرعت صوت مورد ارزیابی قرار گرفت. عملیات داده‌برداری در آب‌های مرز جنوبی دریای خزر برنامه‌ریزی شده و توسط دستگاه نیمرخ بردار پارامترهای شیمیایی آب دریا CTD در ایستگاه‌های اندازه‌گیری با بیشینه عمق ۹۰ متر انجام شد. براساس داده‌های اندازه‌گیری شده به وضوح تشکیل لایه‌بندی بسیار قوی و سه لایه شامل لایه اختلاط سطحی، شیب حرارتی و لایه آب عمیق در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. مقادیر کلروفیل اندازه‌گیری شده بین ۰/۱ تا ۲/۹ میلی‌گرم بر متر مکعب با مقدار بیشینه موجود در ژرفای ۱۰ تا ۱۵ متر یعنی در مرز بالایی ترموکلاین مشاهده شده است. بیشینه و کمینه مقادیر کدری عمدتاً در محدوده ۳ تا ۱/۵ واحد NTU بوده و در برخی قسمت‌ها نزدیک بستر دریا در محل منطقه شکست فلات قاره به مقدار ۵ واحد هم رسیده است. میزان غلظت‌های اکسیژن محلول در زمان اندازه‌گیری‌ها در میانه فصل تابستان بین ۴/۲ تا ۵/۶ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که به‌طور عمده در لایه عمیق از میزان آن کاسته شده است. محدوده تغییرات pH در راستای دو مقطع مورد نظر بین ۸/۵۵ تا ۸/۷ بوده است. در لایه اختلاط سطحی pH حدود ۸/۶ بوده که با افزایش عمق در لایه ترموکلاین به ۸/۵۵ رسیده است.

واژگان کلیدی: دریای خزر، سونار، اکسیژن محلول، اسیدیته، کدری، کلروفیل.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۰۸/۱۰

۱- مقدمه

در عصر حاضر و با توجه به شرایط جدید منطقه خاور میانه، دریای خزر به واسطه ویژگی‌های خاص و منحصر به فرد خود از لحاظ سیاسی، اقتصادی و زمینه همکاری دول مختلف منطقه بسیار حائز اهمیت است. این دریا با داشتن ذخایر هیدروکربنی (نفت و گاز)، منابع زیستی و تولید بخش عمده‌ای از خاویار جهان نقش عمده‌ای در اقتصاد منطقه ایفا می‌کند [۱-۳].

امروزه دریای خزر به واسطه تخلیه حجم عظیمی از مواد زائد شهری و صنعتی، مواد سنگین، مواد هیدروکربنی ناشی از اکتشاف و استخراج چاه‌های نفت و گاز، سموم کشاورزی و دفع آفات نباتی، نیترات‌ها و فسفات‌ها تحت شرایط خاص و حاد قرار گرفته است. از این‌رو، محیط زیست و جانداران موجود در این دریا و مناطق پیرامونی و همچنین توانمندی‌های گردشگری و تفریحی آن در معرض تهدید و نابودی قرار گرفته است [۴-۶].

بر اساس نتایج مطالعات انجام شده [۷-۸]، تشکیل ترموکلاین فصلی اثرات زیادی بر پارامترهای شیمیایی و زیست‌شناختی آب دریا و همچنین اختلاط و فرآیندهای گردش آب دریا به ویژه در مناطق ساحلی دارد. به دلیل ایزوله بودن دریای خزر از دیگر دریاهای آزاد، فرآیند تشکیل و اضمحلال لایه‌بندی ستون آب در آن تحت تاثیر شرایط جوی منطقه و ورودی آب شیرین رودخانه‌ها است. فاکتورهای ذکر شده فوق به همراه عواملی نظیر شارش حرارتی و تبخیر، باعث تغییرات عمده فصلی در رژیم گرمایی ستون آب از سطح تا عمق ۱۰۰ متر در این دریا می‌شود [۷-۸].

بر اساس مطالعات انجام شده در دریای خزر، ترموکلاین فصلی از سطح تا عمق ۸۰ متری در ستون آب به سمت پایین گسترش می‌یابد. در مطالعه صورت گرفته در در بخش شرقی ساحل جنوبی دریای خزر با استفاده از دستگاه CTD در سراسر منطقه فلات قاره در ناحیه بابلسر پارامترهای شیمیایی و فیزیکی مورد بررسی قرار گرفت [۵]. نتایج به دست آمده نشان داد که یک لایه ترموکلاین در فصل تابستان در عمق ۲۰ تا ۵۰ متری وجود دارد که در میان این لایه دما تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. در ابتدای فصل پاییز، ضخامت لایه ترموکلاین تا ۱۵ متر کاهش می‌یابد و بین اعماق ۳۰

تا ۴۵ متری قرار می‌گیرد. دمای روزانه آب در لایه آمیخته سطحی در تابستان بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر ثبت شده است و در اواخر فصل پاییز تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. در پایین لایه ترموکلاین، در عمق ۱۱۰ متری دما بین ۷/۵ تا ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر و با تغییرات اندک فصلی همراه بوده است. در فصل تابستان، در خارج از منطقه فلات قاره، میانگین شوری در بالا و پایین لایه ترموکلاین به ترتیب ۱۲/۲ و ۱۲/۳ اندازه‌گیری شده است. تغییرات شوری از سطح دریا تا عمق ۱۱۰ متری کمتر از ۰/۲۵ بوده است. در منطقه فلات قاره، شوری بین ۱۲/۱۰-۱۲/۰۵ متغیر است که این اندکی کمتر از عمق مشابه در خارج از منطقه فلات قاره است. تغییرات عمودی چگالی، بیشتر به تغییرات عمودی دما و به میزان کمتر به تغییرات عمودی شوری وابسته است [۵]. در اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در آب‌های ساحلی بابلسر [۹]، ترموکلاین فصلی در عمق بیشتر از ۳۰ متر مشاهده شده است، که با کاهش بیش از ۸ درجه‌ای دما در عرض آن همراه بوده است. شیب عمودی کاهش چگالی در میان لایه ترموکلاین بیشتر از لایه آمیخته سطحی است. همچنین اندازه‌گیری‌هایی در بخش سطحی آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر انجام دادند [۱۰]. بر اساس اندازه‌گیری‌های آن‌ها، درجه حرارت آب سطحی بین $9/9^{\circ}\text{C}$ در زمستان تا $28/6^{\circ}\text{C}$ در تابستان در سال‌های ۹۷-۱۹۹۶ و بین $9/2^{\circ}\text{C}$ در زمستان و $28/8^{\circ}\text{C}$ در تابستان در طی سال ۲۰۰۵ بوده است. در بخشی از یک پژوهش، تغییرات درجه حرارت و شوری آب دریا را تا عمق ۱۰۰ متری در بخش جنوبی دریای خزر گزارش نمودند [۱۱]. بر اساس این گزارش بیشینه درجه حرارت آب دریا در حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تابستان بوده است.

در تحقیقی دیگری که انجام شد، پارامترهای دما، شوری و چگالی آب‌های ساحلی دریای خزر در ناحیه رودسر مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های حاصل از کاربرد دستگاه CTD در آب‌های ساحلی رودسر در فصل تابستان به منظور تعیین لایه‌های هم‌دما، عمق ترموکلاین و ساختار عمودی ویژگی‌های آب دریا، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت [۱۲]. در طی این بررسی، CTD در ستون آب تا عمق ۱۱۷ متری به عمق فرستاده شد. نتایج بدست آمده

۱۵۰۰ متر بر ثانیه می باشد و این سرعت در آب بیش از چهار برابر آن در هوا است. سرعت صوت در آب با افزایش دما، شوری و عمق افزایش می یابد. تغییرات عمده در سرعت صوت آبها در لایه سطحی و به خاطر تغییرات دمایی است. دلیل این امر این است که تغییرات شوری در آب اقیانوسها بسیار کم و تأثیر شوری بر سرعت صوت نیز کم است. معمولاً در مصبها و سواحل که شوری آب زیاد است سرعت صوت وابستگی بیشتری به شوری دارد. با افزایش عمق آب سرعت صوت وابستگی بیشتری به فشار پیدا می کند [۱].

۲- روش کار

۲-۱- محاسبه سرعت صوت براساس داده‌های برداشت شده

در فصل مشترک لایه‌های آب دریا، ناحیه‌ای وجود دارد که سرعت صوت در آنجا به کمترین مقدار خود می‌رسد. این فصل مشترک یک لوله صوتی یا کانال صوتی عمیق را بوجود می‌آورد که در داخل اقیانوس اجازه حرکت صوت با فرکانس پایین را می‌دهد. این کانال (SOFAR) در سال ۱۹۴۳ توسط یک تیم تحقیقاتی به رهبری Maurice Ewing and Worzel کشف شد. بر طبق تئوری پخش صوت- موج ارایه شده توسط Lamb در سال ۱۹۳۲، سرعت صوت، C بوسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$c^2 = (\partial p / \partial \rho) A \quad (1)$$

در این رابطه $(\partial p / \partial \rho) A$ گرادیان دوطرفه چگالی بی دررو در سیال تراکم پذیر می‌باشد. سرعت صوت برای نمونه‌های آب استاندارد دریا، آب‌های رقیق خالص یا تغلیظ شده توسط تبخیر توسط Chen and Millero در سال ۱۹۷۷ اندازه‌گیری شده است. این فرمول با این اندازه‌گیری‌ها گسترش یافته است و همخوانی خوبی با مقادیر محاسبه شده از EOS80 دارد که توسط Wilson در سال ۱۹۶۰ و Del Grosso و ۱۹۷۲ ارائه شده است. متوسط سرعت در ستون آب از طریق محاسبه زمان رفت (\bar{T}) و برگشت نسبت به عمق محاسبه می‌شود [۱۴]:

$$\bar{T} = \int_0^z \frac{1}{c(z)} dz = \int_0^{p(z)} \frac{1}{\rho(p)g(\phi, p)c(p)} dp$$

نشان دهنده تغییرات دما از $29^\circ C$ در سطح دریا و کمتر از $8^\circ C$ در عمق ۱۱۷ متری بود. در آب‌های ساحلی بخش جنوبی دریای خزر، فرآیند لایه‌بندی آب دریا در میانه تابستان کامل می‌شود. در زمان اندازه‌گیری‌ها، یک ترموکلاین قوی بین اعماق ۱۰ متر و ۴۰ متر با کاهش ۱۸ درجه‌ای دما در میان آن، مشاهده شد. در زیر ترموکلاین، دما به تدریج کاهش یافت و به کمتر از $8^\circ C$ در عمق ۱۱۷ متری رسید.

بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های محققین روسی در دریای خزر، ساختارهای عمودی و افقی لایه دما-شیب (ترموهالاین) توسط یک عدم یکنواختی مکانی به ویژه در مناطق دهانه رودخانه‌ها و مناطقی که در سواحل شرقی خزر میانی پدیده فراجوشی اتفاق می‌افتد مشاهده شده است. تغییرپذیری فصلی دما و شوری آب دریای خزر به ترتیب در ۱۰۰ و ۲۰ متر بالایی رخ می‌دهد. لایه دما-شیب (ترموهالاین) فصلی در دریای خزر تحت تاثیر تغییرات با طول مدت کمتر از یک سال و روندهای چند ساله (و همچنین تغییرات سینوپتیک و فصلی) در لایه آب میانی و آب عمیق دریا رخ می‌دهد. به دلیل افزایش خروجی رودخانه‌ها در دهه‌های اخیر، یک پایداری هیدرواستاتیک در لایه‌بندی شوری در مناطق آب عمیق دریای خزر مشاهده می‌شود. لایه‌بندی مذکور جای‌گزین الگوی شوری در ستون آب و تغییر ساختار دمایی در فصل تابستان شده است [۷].

مواردی که برخی از آنها ذکر شد بعضاً موجب تغییرات قابل توجهی در خواص زیست محیطی و پارامترهای مختلف آب دریا می‌گذارد. در این شرایط لزوم انجام مطالعات اقیانوس‌شناسی دقیق و پیوسته به خوبی محسوس و ضروری می‌نماید [۶ و ۱۳]. به علاوه، مطالعات اندازه‌گیری میدانی پارامترهای مختلف اقیانوس‌شناسی آب دریا نقش اساسی در پژوهش‌های اصلی جهت کاهش آلودگی و توسعه پایدار منطقه ایفا می‌کند [۵]. از این‌رو در این تحقیق خواص شیمیایی و زیستی آب دریا براساس تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر در مجاورت بندر گیاشهر و دهانه رودخانه سفیدرود مورد بررسی قرار گرفته است.

سرعت صوت در آب دریا به خصوصیات دما، شوری و فشار آب بستگی دارد که در لایه سطحی اقیانوسها در حدود

عرض فلات قاره کم است و عمق از ساحل به تدریج افزایش یافته و به ۴۰ متری نزدیک به منطقه شکست می‌رسد. پس از آن عمق دریا در فاصله حدود ۸ کیلومتری از ساحل به عمق ۸۰ متری می‌رسد.

داده‌های استفاده شده در این تحقیق در یک گشت دریایی که به همین منظور در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر ترتیب داده شده بود، در فصل تابستان جمع‌آوری شد. داده‌های آب دریا به وسیله یک دستگاه CTD (Ocean Seven 316) که توسط شرکت IDRONAUT کشور ایتالیا ساخته شده است اندازه‌گیری و محاسبه شده است. دستگاه مذکور مجهز به حسگرهای بسیار پیشرفته جهت اندازه‌گیری pH، کدوری، اکسیژن محلول و گلروفیل بوده و قبل از اجرای گشت دریایی در آزمایشگاه فیزیک دریای پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی واسنجی گردید.

عملیات پروفیل برداری در ۱۳ ایستگاه اندازه‌گیری ثابت که در راستای ۳ مقطع عمود بر ساحل در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر روبروی دهانه سفیدرود و در مجاورت بندر کیشهر انجام شد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در این مقاطع فاصله بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری حدود سه کیلومتر از یکدیگر می‌باشد و هر سه ایستگاه بعد از منطقه شکست واقع شده‌اند. همچنین ساختار عمودی و افقی پارامترهای مختلف آب دریا در امتداد مقاطع عمود و موازی ساحل و مشتمل بر ایستگاه‌های نیمرخ‌برداری در اشکال مشاهده می‌شود. در این مقطع عمق از حدود ۱۳ متر شروع و با افزایش سریع در انتهای مقطع به حدود ۱۲۰ متر می‌رسد. فلات قاره با عرض حدود ۴ کیلومتر به خوبی در نمودار (۳) قابل مشاهده است. اندازه‌گیری‌ها تا عمق ۹۰ متری از سطح تراز آب دریا انجام شده است. دستگاه CTD برای برداشت پارامترهای مذکور در مد داده‌برداری زمانی تنظیم شد. در حین انجام اندازه‌گیری میدانی در دریا، دستگاه CTD با سرعت ۱ متر بر ثانیه در ستون آب تا عمق ۹۰ متری از سطح دریا پایین فرستاده شد. فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری در سه مقطع عمود بر ساحل ۲ کیلومتر در نظر گرفته شد.

$$\bar{c} = 1/\bar{T} \text{ m/s} \quad (2)$$

همچنین سرعت صوت در آب دریاها و اقیانوس‌ها با استفاده از پارامترهای دما، شوری و فشار از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

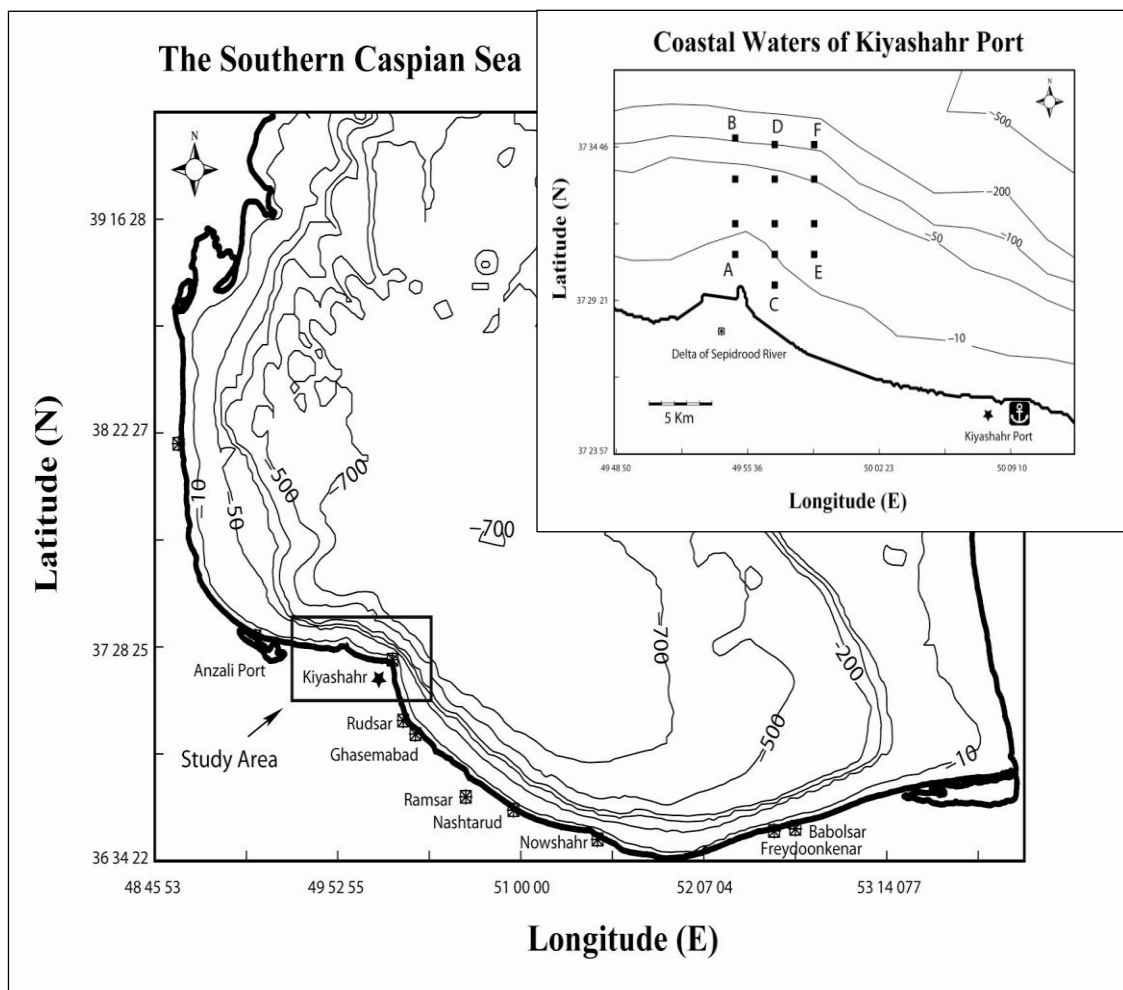
$$C = 1448.96 + 4.591t^2 + 0.0002374t^3 + 0.0160Z + (1.340 - 0.01025t)(S-35) + 1.675 \times 10^{-7} Z^2 - 7.139 \times 10^{-13} tz^3 \quad (3)$$

در رابطه فوق t دما، Z فشار یا عمق و S معرف شوری آب دریا می‌باشد [۱۵].

Belogol'skii و همکاران در سال ۱۹۹۹ فرمولی جهت محاسبه سرعت صوت ارائه کردند که برای دامنه دمایی صفر تا 40° سانتیگراد و فشار ۰/۱ تا ۶۰ مگاپاسگال کارایی دارد و تابعی از دما و شوری است. در آب دریا، وجود نمک یا سایر مواد حل نشده در آب، وجود حباب‌های گازی در محاسبه سرعت صوت برحسب دما و شوری خطا ایجاد می‌کند که این خطا در لایه سطحی و تا ۱۰ متری بیشترین تأثیر را دارد [۱۶]. معمولاً در لایه‌های سطحی و تا عمق ۱۰۰۰ متری دما و شوری و در عمق‌های بیشتر فشار نقش مهم‌تری در تغییرات سرعت صوت دارند. معمولاً حرکت امواج صوتی با سرعتی ثابت صورت می‌گیرد، بنابراین اساس اندازه‌گیری سرعت صوت بر پایه اندازه‌گیری فاصله زمانی بین پالس‌های ارسال و دریافت شده می‌باشد [۱۷].

۲-۲- منطقه مورد مطالعه و عملیات اندازه‌گیری میدانی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در محدوده طول جغرافیایی $57^\circ 49'$ شرقی و عرض جغرافیایی $29^\circ 37'$ شمالی و در آب‌های ساحلی فلات قاره جنوبی دریای خزر قرار گرفته است. اندازه‌گیری‌ها در منطقه‌ای به مساحت حدود ۵۰ کیلومترمربع از آب‌های ساحلی مجاور بندر کیشهر مطابق شکل (۱) انجام شده است. تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری ۱۳ عدد است که در آنها دستگاه CTD برای ثبت پارامترهای آب دریا از سطح تا عمق ۹۰ متری در ستون آب پایین فرستاده شد. ایستگاه‌ها در راستای مقاطع عمود بر خط ساحلی است. در این منطقه،



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های اندازه‌گیری در آب‌های ساحلی مجاور بندر کیشهر

اندازه‌گیری شده توسط دستگاه CTD اصلاح شود که روند محاسبه آن در فرمول‌بندی ارائه شده توسط UNESCO به صورت فرمول ۱ و ۲ است. بنابراین لازم است به منظور دستیابی به اعداد دقیق، ضرایب تصحیح در روابط و نحوه محاسبه پارامترهای شوری و چگالی مورد استفاده قرار گیرند. چندین رابطه حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، تجربی و شیمیایی برای محاسبه شوری و چگالی آب دریا وجود دارد [۱۸]. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی را با استفاده از چندین نمونه آب برداشت شده از سطح دریا در نزدیکی بندر نوشهر در بخش جنوبی دریای خزر انجام دادند و روابطی را ارائه نمودند. در راستای تکمیل و تدقیق روابط فوق، Peeters و همکارانش (۲۰۰۰) با استفاده از داده‌های برداشت شده از دریای خزر توسط سازمان انرژی اتمی (IAEA, 1996) روابطی را برای کالیبراسیون مقادیر داده‌های شوری و چگالی آب دریای خزر را ارائه

به منظور نيمرخ‌برداری از شناوری که مجهز به وينچ و جرثقیل مخصوص می‌باشد، استفاده شد. یک دستگاه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای (GPS) به منظور تعیین دقیق مختصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری استفاده شد. داده‌های استفاده شده در این مقاله به‌طور مستقیم با دستگاه اندازه‌گیری پارامترهای آب دریا، CTD (OCEAN SEVEN 316) اندازه‌گیری و محاسبه شده است. داده‌های برداشت شده پس از بررسی و کنترل کیفیت، به کمک نرم‌افزارهای تخصصی نظیر Matlab به گراف‌های مرسوم در علم اقیانوس‌شناسی تبدیل شدند.

۲-۳- کنترل و تصحیح برخی از پارامترها

با توجه به مشخصات و ترکیبات منحصر به فرد آب دریای خزر و تفاوت شوری و در نتیجه چگالی آن با دیگر دریاهای آزاد دنیا، نیاز است داده‌های شوری و چگالی

خط‌های هم‌دمای ترسیم شده به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند. در تمام نمودارها لایه‌بندی ستون آب به خوبی مشاهده می‌شود. دما با عمق کم شده و این کاهش تقریباً در کل منطقه به صورت یکنواخت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افت دمایی بسیار سریع بوده و درجه حرارت آب دریا در عمق حدود ۵۰ متر به نزدیک ۸ درجه سانتیگراد رسیده است. تأثیر تغییرات فصلی و پارامترهای جوی بر دمای آب دریا تا عمق ۵۰ متری بیشتر مشاهده می‌شود. لایه نزدیک سطح دریا دارای (لایه اختلاط سطحی) دمای آب حدود ۲۹/۵ تا ۲۹ درجه می‌باشد و این حالت تا نزدیکی عمق ۱۰ متر ادامه می‌یابد. در عرض لایه گرما شیب و یا ترموکلاین درجه حرارت از کمتر از ۲۹ درجه تا نزدیک ۹ درجه سانتی‌گراد و با گرادیان عمودی قابل توجه ثبت شده است. در زیر لایه شیب دمایی تغییرات عمودی دمای آب دریا بسیار کمتر از لایه‌های بالایی است و بین ۸ تا کمتر از ۷/۵ درجه سانتیگراد رسیده است. انتظار می‌رود تغییرات دمایی در زمان‌های مختلف در اعماق نزدیک ۹۰ متر ناچیز باشد.

سرعت صوت در آب دریای خزر و در منطقه مورد مطالعه از حدود ۱۵۲۰ متر بر ثانیه در سطح تا ۱۴۵۲ متر بر ثانیه در عمق ۹۰ متری کاهش می‌یابد. با توجه به بالا بودن درجه حرارت آب دریا در لایه‌های سطحی در زمان اندازه‌گیری‌ها و وجود شیب حرارتی قابل ملاحظه در ۵۰ متر لایه سطحی آب دریا، تغییرات سرعت صوت در این ناحیه زیاد می‌باشد. ورودی آب رودخانه سفیدرود اثر قابل ملاحظه‌ای بر تغییرات سرعت صوت در آب منطقه مورد مطالعه ندارد. در زمان اندازه‌گیری‌ها ستون آب دارای لایه‌بندی کاملاً مشخص و متمایز متشکل از لایه‌های اختلاط سطحی، ترموکلاین و عمقی می‌باشد و لایه ترموکلاین فصلی کاملاً شکل گرفته به خوبی مشاهده می‌شود [۱۰]. در لایه اختلاط سطحی که حدوداً ۱۰ متر ضخامت دارد سرعت صوت در آب دریا از حدود ۱۵۲۰ متر بر ثانیه در سطح تا ۱۵۱۶ متر بر ثانیه بالای لایه ترموکلاین کاهش می‌یابد. در لایه ترموکلاین با ضخامت حدود ۳۰ متر (بین عمق‌های ۱۰ تا ۴۰ متر) و با اختلاف دمایی ۲۰ درجه سانتیگراد (۲۹ تا ۹ درجه) سرعت صوت از ۱۵۱۶ تا ۱۴۵۶ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. در زیر لایه ترموکلاین و در لایه عمقی سرعت صوت در آب دریا از

کردند [۱۹] که در روابط (۴) و (۵) آورده شده است. در تحقیق حاضر نیز از روابط (۴) و (۵) که دقیق‌تر از موارد قبلی بیان گردیده، استفاده شده است.

$$S_{Caspian} = 1.1017S_{CTD} \quad (۴)$$

$$\rho_{Solution}(T, S, p) = \rho_{Sea}(T, 0, p) + f(T, p)(\rho_{Sea}(T, S, p) - \rho_{Sea}(T, 0, p)) \quad (۵)$$

که در آن $\rho_{Sea}(T, S, P)$ چگالی آب با استفاده از فرمول‌های یونسکو [۲۰-۲۱] با جای‌گذاری دما، شوری و فشار اندازه‌گیری شده درجا (in situ) است و $f(T, p)$ ضریب تصحیح می‌باشد.

$\rho_{Sea}(T, 0, P)$ چگالی آب با استفاده از فرمول‌های یونسکو [۲۰-۲۱] و با استفاده از اندازه‌گیری‌های دما و فشار و با احتساب شوری صفر است.

۳- نتایج و بحث

سرعت صوت: در این تحقیق ساختار عمودی سرعت صوت محاسبه شده براساس پارامترهای آب دریا شامل دما، شوری و فشار در راستای دو مقطع، یکی عمود بر خط ساحلی و دیگری موازی با آن در آب‌های ساحلی جنوبی دریای خزر مطابق شکل (۲) ارائه شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند که سرعت صوت در آب دریای خزر در منطقه مورد مطالعه از حدود ۱۵۲۰ متر بر ثانیه در سطح آب دریا تا ۱۴۵۲ متر بر ثانیه در عمق ۹۰ متری تغییر می‌کند. تغییرات سرعت صوت در ۹۰ متر آب دریا در حدود ۶۸ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین همبستگی زیاد بین سرعت صوت و دمای آب دریا در ساختار ستون آب به وضوح مشاهده شد.

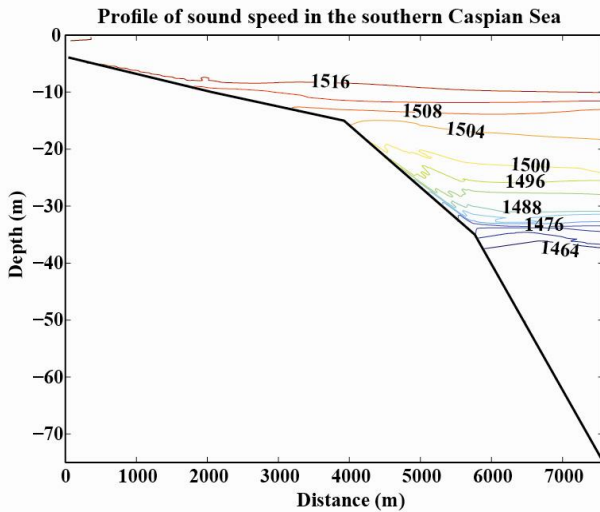
براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده می‌توان مشاهده کرد که تغییرات عمودی دمای آب دریا از سطح تا نزدیکی بستر دریا در عمق ۹۰ متری بین ۲۹/۵ و کمتر از ۷/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. اندازه‌گیری‌ها در میانه فصل تابستان (مرداد ماه) انجام شده است. از این‌رو دمای هوا و به تبع آن دمای آب‌های سطحی تقریباً در بیشترین مقدار خود قرار دارد. بنابراین گرادیان عمودی دمای آب دریا از لایه سطحی تا عمق درخور توجه می‌باشد. با توجه به مقطع عرضی ترسیم شده برای دمای آب دریا به خوبی مشاهده می‌شود که تغییرات افقی دما ناچیز است و تقریباً

است. بیشترین مقادیر کدوری در محدوده لایه ترموکلاين (و یا پیکنوکلاين) اندازه‌گیری شده است. با بررسی دقیق توزیع و تغییرات کدوری ستون آب دریا در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که لایه شیب چگالی و شیب حرارتی به نوعی مانند یک سد و حائل برای جابجایی مواد معلق در راستای عمودی در ستون آب عمل نموده است. در زیر لایه ترموکلاين، میزان کدوری آب دریا با افزایش عمق کاهش یافته است. در مجموع می‌توان به وضوح مشاهده نمود که شفافیت (Transparency) آب دریا در زمان تابستان در نزدیکی دهانه رودخانه سفیدرود قابل توجه است. البته انتظار می‌رود که در زمان بارندگی‌ها و خروج سیلاب‌های فصلی و در نتیجه ایجاد پلوم رودخانه کدوری آب منطقه ساحلی افزایش چشمگیری داشته باشد. خاصیت اسیدیته (pH): مقادیر pH آب دریای خزر به میزان قابل توجهی نسبت به مقدار آن در دیگر دریاها و اقیانوس‌های جهان بیشتر است. علت عمده این مهم را می‌توان در مواد و پارامترهای دخیل در آب رودخانه‌های ورودی که دارای آنیون‌های اسیدهای ضعیف و اسید کربنیک هستند جستجو نمود. محدوده تغییرات pH در راستای دو مقطع مورد نظر بین ۸/۵۵ تا ۸/۷ واحد بوده است. در لایه اختلاط سطحی pH حدود ۸/۶ بوده که با افزایش عمق در میانه لایه ترموکلاين به ۸/۵۵ رسیده است. در زیر لایه ترموکلاين، مقادیر pH با کمی افزایش در لایه آب عمیق حدود ۸/۶ تا ۸/۶۵ واحد اندازه‌گیری شده است. تاثیر لایه‌بندی ستون آب دریا بر تغییرات خاصیت اسیدیته هم در نمودارهای نیمرخ عرضی ارائه مشخص شده است.

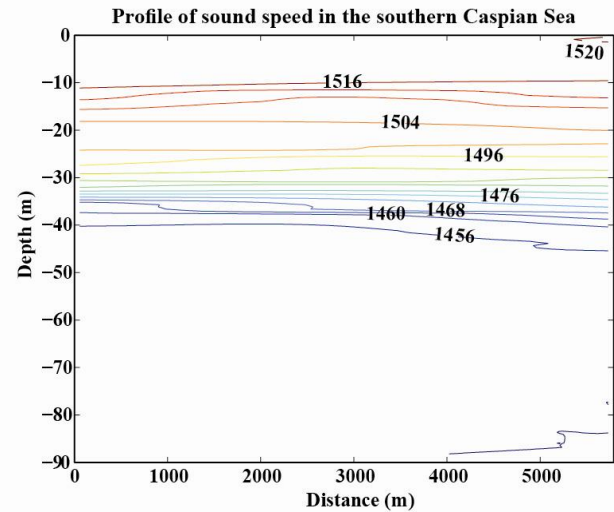
کلروفیل-آ: مقادیر کلروفیل اندازه‌گیری شده در زمان اجرای گشت دریایی در نواحی ساحلی بندر کیشهر بین ۰/۱ تا ۲/۹ میلی‌گرم بر متر مکعب بوده است. میزان بیشینه کلروفیل عمدتاً در لایه زیر سطحی و در اعماق حدود ۱۰ تا ۱۵ متری و در لایه ترموکلاين مشاهده شده است. در لایه اختلاط سطحی مقادیر عمدتاً بین ۱/۱ تا ۲/۱ میلی‌گرم بر متر مکعب بوده که با افزایش عمق در میانه لایه شیب دمایی افزایش داشته و به مقدار بیشینه ۲/۹ میلی‌گرم بر متر مکعب رسیده است. در زیر لایه

۱۴۵۶ به ۱۴۵۲ متر بر ثانیه در عمق حدود ۹۰ متر تقلیل می‌یابد. خطوط کانتور سرعت صوت در آب دریا کاملاً با خطوط همدمای همخوانی داشته و تقریباً موازی تراز سطح آب دریا می‌باشد. تغییرات افقی سرعت صوت در آب دریا در مقایسه با تغییرات عمودی آن در هر دو مقطع بسیار ناچیز به نظر می‌رسد. با بررسی نمودارهای ترسیم شده مشاهده می‌شود، نحوه تغییرات عمودی و افقی سرعت صوت در آب دریا در منطقه مورد مطالعه این تحقیق مشابه تغییرات دمایی می‌باشد. با افزایش عمق و در نتیجه کاهش دمای آب، سرعت صوت از سطح تا بستر دریا به شدت کاهش می‌یابد. اثر دما بر سرعت صوت در آب دریا خیلی بیشتر از سایر پارامترها می‌باشد و تغییرات سرعت صوت در آب دریا وابستگی بیشتری به دمای آب نسبت به شوری و فشار ستون آب از خود نشان می‌دهد. با توجه به تأثیر کمتر شوری در تغییرات سرعت صوت در آب دریا نسبت به پارامترهای دما و فشار، ورود آب با شوری کمتر رودخانه سفیدرود در مقطع عمود بر ساحل مشاهده نمی‌شود.

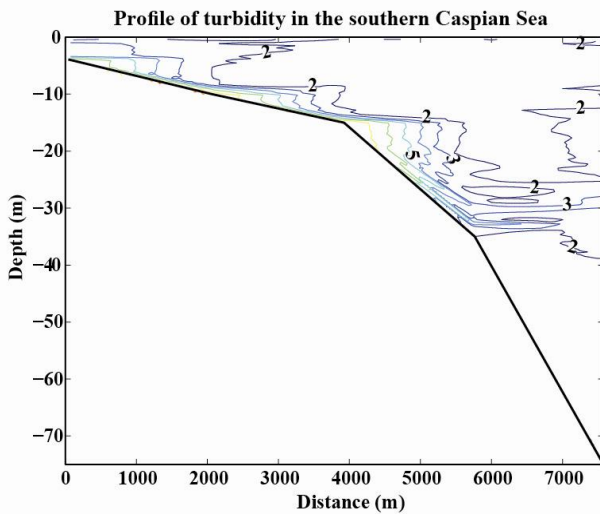
کدوری: رنگ طبیعی دریا آبی است، ولی به سبب وجود عناصر آلی و مواد معدنی از نواحی مختلف به رنگهای سبز، زرد و سرخ نیز دیده می‌شود. رنگ آب دریا در برخی موارد متمایل به سبز است. این رنگ به علت وجود پلانکتون‌های نوع دیاتومه می‌باشد. رنگ زرد در اثر وجود مواد تخریبی است که معمولاً در دهانه رودهای بزرگ دیده می‌شود. 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 زمان اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در منطقه، میزان کدوری آب دریا در منطقه مورد مطالعه خیلی زیاد نبوده است. بیشینه و کمینه مقادیر عمدتاً در محدوده ۳ تا ۱/۵ واحد NTU بوده و در برخی قسمت‌ها نزدیک بستر دریا در محل منطقه شکست فلات قاره به مقدار ۵ واحد هم رسیده



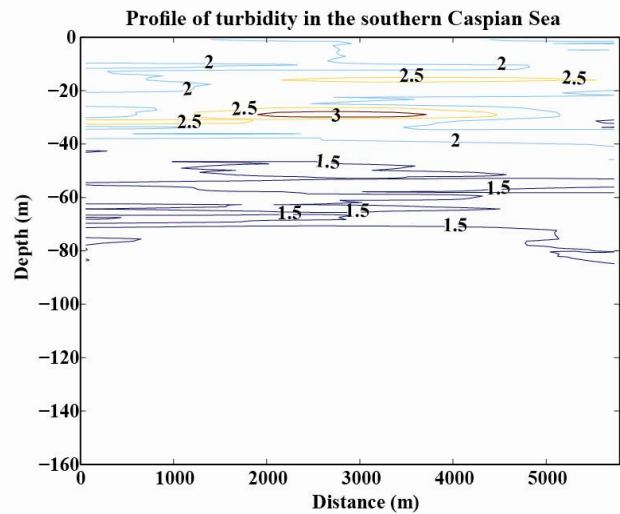
الف



ب



پ

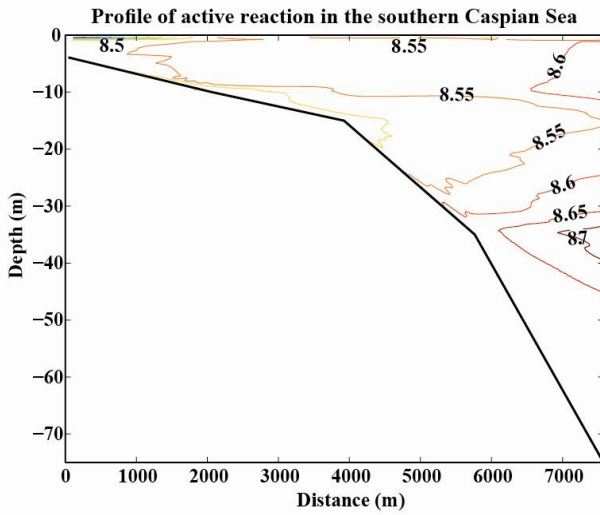


ت

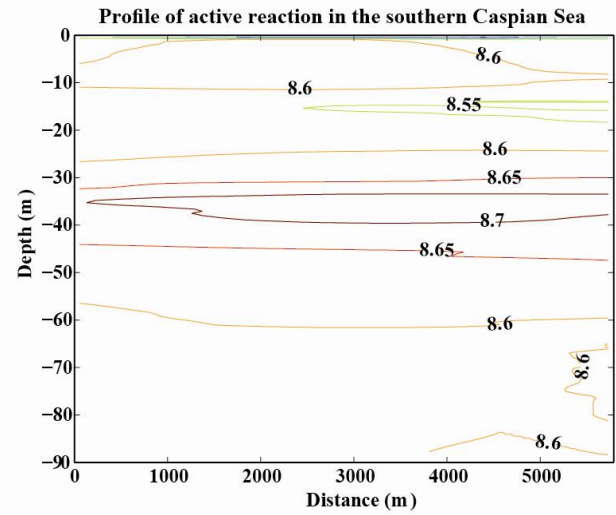
شکل (۲) نیمرخ عرضی تغییرات سرعت صوت و کدوری آب دریا در امتداد مقطع عرضی CD و مقطع موازی ساحل BF

محیطی با مقادیر کم تولید جانداران دریایی محسوب می‌شود. لایه‌بندی فصلی قوی و شرایط اقلیمی به عنوان عوامل ایجاد کننده این مهم بشمار می‌آید. غلظتهای 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 می‌کنند. به جز اعماق چند دریا وجود جانوران در تمام نقاط مشاهده شده، لذا اکسیژن نیز در تمام قسمت‌های دریاها و اقیانوس‌ها وجود دارد، ولی مقدار آن در همه جا به یک اندازه نیست. مقادیر اکسیژن محلول در آب دریا از ملزومات و ضروریات اولیه برای جانداران دریایی به حساب می‌آید.

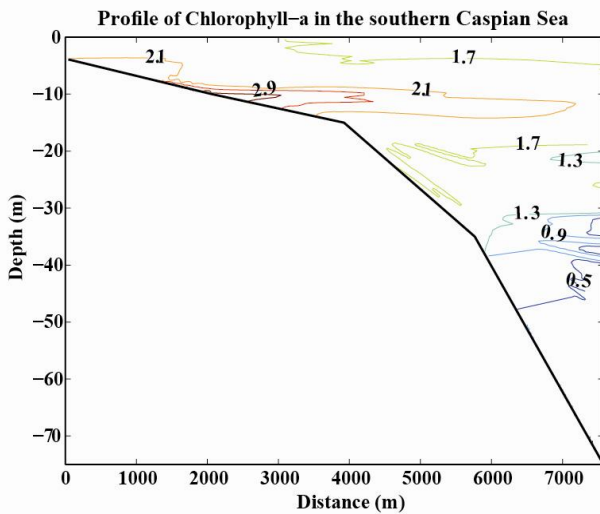
ترموکلاین مقدار کلروفیل در عمق ۴۰ متری به ۰/۴ تا ۰/۵ میلی‌گرم بر متر مکعب رسیده و با افزایش عمق به شدت کاهش یافته و به مقدار ۰/۱ میلی‌گرم بر متر مکعب در لایه آب عمیق رسیده و تا نزدیکی بستر در عمق ۹۰ متری رسیده است. واقعیت این است که لایه‌بندی به صورت یک دیوار طبیعی باعث می‌شود که مواد مغذی و نیترات‌های موجود در آب رودخانه‌ها که به آب منطقه وارد شده و همچنین مواد مغذی نزدیک بستر نتواند از لایه‌های آب عمیق به لایه‌های بالایی برسد. بنابراین میزان و مقادیر کلروفیل-آ موجود در آب منطقه کم بوده و حجم تولیدات دریای خزر نسبت به دیگر نقاط و توده‌های آب کمتر باشد. از این رو به نوعی می‌توان گفت که دریای خزر،



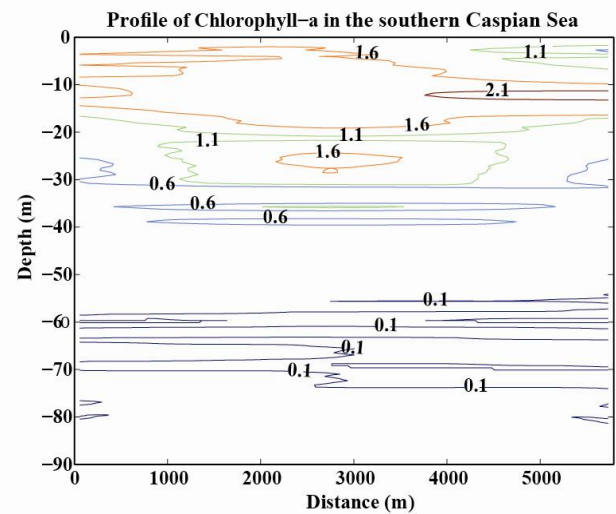
الف



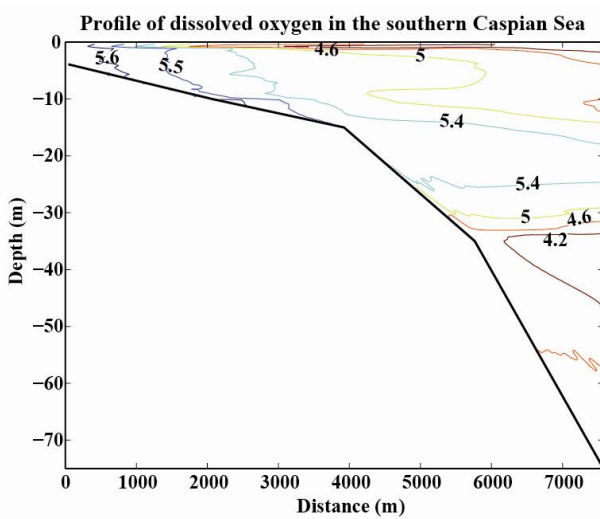
ب



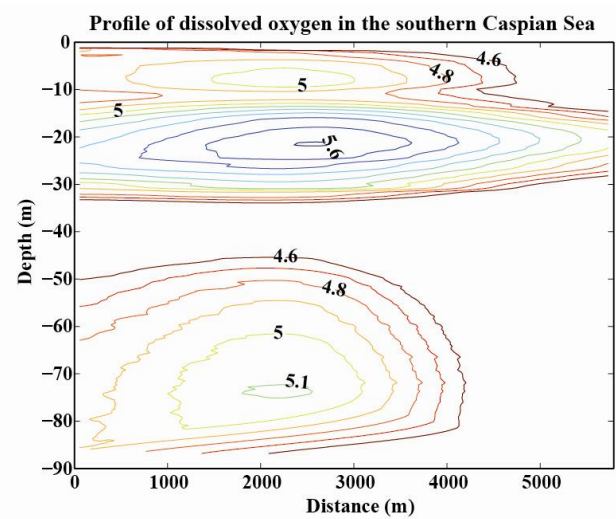
پ



ت



ج



چ

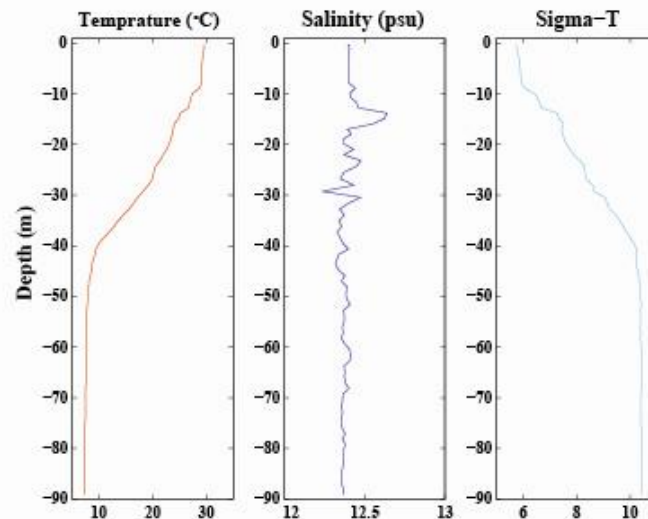
شکل (۳) نیمرخ عرضی اسیدیته، کلروفیل و اکسیژن محلول در آب دریا در امتداد مقطع عرضی CD، و مقطع موازی ساحل BF

شوری در نمودارهای (۴) ترسیم شده است. نمودارهای مقطع عرضی ترسیم شده نشان می‌دهند که ستون آب دارای لایه‌بندی فصلی سه‌گانه شامل اختلاط سطحی، پیکنوکلاين (ترموکلاين) و آب عمیق می‌باشد. خطوط هم‌چگالی عمدتاً با گرادیان افقی کم و تقریباً به موازات خط تراز آب دریا دیده می‌شود. مقایسه تغییرات عمودی دما و چگالی آب دریا نشان دهنده قرارگیری لایه پیکنوکلاين در محل ترموکلاين است که نشان‌دهنده هماهنگی بین تغییرات چگالی و دما می‌باشد. همانند تغییرات عمودی دمایی آب در زمان اندازه‌گیری گرادیان عمودی چگالی آب دریا در لایه شیب چگالی قابل توجه بوده است در حالیکه تغییرات این پارامتر در هر دو لایه سطحی و عمقی در بالا و پایین پیکنوکلاين ناچیز بوده است.

نمودارهای ساختار عمودی درجه حرارت آب دریا نشان می‌دهد که ستون آب دریا به طور کامل لایه‌بندی شده است و از سه لایه اختلاط سطحی، دما شیب و آب عمیق مطابق شکل (۳) تشکیل شده است. بر اساس نتایج، این لایه‌بندی فصلی است و با آغاز فصل بهار و گرم شدن هوا تشکیل می‌شود و در اواسط تابستان به قوی‌ترین حالت خود می‌رسد و در اواخر پاییز و در طول فصل زمستان از بین می‌رود. لایه اختلاط سطحی با دمای ۲۹-۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۱۰ متر در نمودارها مشاهده می‌شود. در زیر لایه اختلاط سطحی، لایه شیب دمایی با ضخامت ۳۰ متر بین اعماق ۱۰ و ۴۰ متر و با اختلاف دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. در زیر لایه دما شیب تغییرات عمودی دما حدود ۱/۵ درجه با تغییرات افقی ناچیز دیده می‌شود. ستون آب در ایستگاه‌های واقع بر روی فلات قاره عمدتاً در لایه‌های اختلاط سطحی و شیب دمایی قرار گرفته است. با توجه به نیمرخ عمودی شوری می‌توان دریافت که شیب شوری قابل ملاحظه‌ای در منطقه وجود ندارد و نوسانات کم شوری آب دریا در لایه بین ۱۰ تا ۴۰ متر مشاهده می‌شود. تغییرات عمودی شوری آب ناچیز است و عمدتاً شوری حدود ۱۲/۴ گرم بر لیتر می‌باشد. نمودار تغییرات چگالی برعکس نمودار تغییرات درجه حرارت است. یعنی با کاهش دمای آب چگالی آن کاهش می‌یابد. ولی به نظر می‌رسد همبستگی شدیدی به دما دارد. که می‌تواند به

آب اکسیژن را از هوا دریافت می‌کند. در قسمت سطحی به علت اختلاط با هوای مجاور میزان اکسیژن همیشه زیاد است. علاوه بر آن، اکسیژنی که گیاهان دریا ضمن فتوسنتز دفع می‌کنند، در آب حل می‌شود. گیاهان در آب‌های کم‌عمق تا جایی که نور خورشید نفوذ دارد، زندگی می‌کنند و امواج حداکثر تا عمق دویست متری می‌توانند آب را به هم بزنند. بنابراین اکسیژن اعماق زیاد از طریق دیگر تامین می‌شود. روش معلوم برای اعماق متوسط، جریان‌های عمقی است که آب اشباع شده از اکسیژن را به آنجا می‌رساند. در سواحل جنوبی دریای خزر و همچنین بندر کیشهر میزان گیاهان دریایی و کلروفیل آب دریا خیلی زیاد نیست و آنچه که بیشتر باعث افزایش اکسیژن می‌شود امواج و اختلاط لایه سطحی ستون 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. میزان غلظت‌های اکسیژن محلول در زمان اندازه‌گیری‌ها در میانه فصل تابستان در راستای دو مقطع ارائه شده بین ۴/۲ تا ۵/۶ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که عمدتاً با افزایش عمق از میزان آن کاسته شده است. معمولاً تلاطم و امواج در لایه‌های سطحی باعث افزایش اکسیژن محلول در ستون آب دریا می‌شود. این عامل به دلیل ایجاد لایه‌بندی بسیار قوی فصلی در میانه تابستان در منطقه وجود نداشته و به همین دلیل مشاهده می‌شود که میزان اکسیژن محلول در آب دریا در منطقه خیلی چشمگیر نبوده است. این شرایط برای موجودات و جانداران دریایی می‌تواند استرس‌زا باشد.

شوری آب دریای خزر یک سوم شوری آب‌های آزاد جهان است، از این رو این دریا یک محیط منحصر به فرد و درخور توجه از دیدگاه تنوع گونه‌های زیستی و محیط زیست دریایی است. شوری آب در منطقه مورد مطالعه و در زمان اندازه‌گیری‌های بیشتر بین ۱۲/۲ تا ۱۲/۴ واحد می‌باشد. البته در اعماق بین ۳۰ تا ۴۰ متر شوری ۱۲/۵ واحد هم به ثبت رسیده است. میزان تغییرات عمودی و افقی شوری، ناچیز و در حدود ۰/۴ می‌باشد. در منطقه نزدیک ساحل میزان شوری آب دریا تا حد زیادی تحت تأثیر ورودی آب شیرین رودخانه سفیدرود می‌باشد. تغییرات



شکل (۴) نیمرخ های عمودی پارامترهای آب دریا و لایه‌بندی ستون آب

دریای خزر به واسطه عمق زیاد کاملاً محسوس است و در منطقه شمالی دریای خزر ناچیز است.

تغییرات عمودی درجه حرارت آب دریا در فصل بهار عمدتاً حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با نزدیک شدن به فصل تابستان به ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. گرادیان عمودی درجه حرارت در فصل پاییز هم تقریباً مشابه فصل بهار می‌باشد و در فصل زمستان به واسطه تلاطم ناشی از باد و جریان‌ها در فصل زمستان به کمترین میزان خود می‌رسد و حدود ۵ درجه سانتی‌گراد می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده بیشترین اثرات پارامترهای جوی در منطقه دریای خزر تا عمق ۱۰۰ متر می‌رسد و با افزایش عمق تغییرات فصلی به شدت کاهش می‌یابد.

مقدار و نحوه تغییرات و توزیع پارامترهای آب دریای خزر از جنبه‌های مختلف نظیر، زیست دریا، شیلات، علوم محیط‌زیستی دریایی، ساخت سازه‌های دریایی، ساحلی و دور از ساحل مانند اسکله‌ها و سکوه‌های نفتی و گازی حائز اهمیت می‌باشند. از این‌رو پایش مستمر و دقیق پارامترهایی نظیر شوری آب دریا و دیگر مشخصات آب دریا در پیش بینی هزینه‌ها و اجرای پروژه‌های دریایی نقش بسیار کلیدی ایفا می‌کند. در برخی مناطق ساحلی و در نزدیکی مصب رودخانه‌ها و همچنین در ساحل شهرهای ساحلی ورود فاضلاب و پسماند خانگی و صنعتی، رژیم و ساختار طبیعی توزیع پارامترهای شیمیایی آب دریا نظیر شوری را برهم می‌زند و در اغلب موارد صدمات

دلایل کم بودن قدرمطلق میزان شوری آب دریا باشد. تشکیل لایه شیب چگالی در محل قرارگیری لایه شیب دمایی به خوبی مشاهده می‌شود.

براساس نتایج حاصل از این تحقیق و مقایسه آن با مطالعات انجام شده به خوبی مشاهده می‌شود که لایه‌بندی ستون آب دریا در مجاورت مرزهای جنوبی دریای خزر فصلی است و عمدتاً از سه لایه تشکیل می‌شود [۱،۲،۵]. تغییرات دمایی آب دریا در سواحل جنوبی دریای خزر دارای دامنه‌ای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. عمده تغییرات درجه حرارت آب دریا با الگوی منظمی از تغییرات درجه حرارت هوای منطقه و اثرات جوی پیروی می‌نماید. درجه حرارت ستون آب در منطقه با افزایش عمق به شدت کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش در ۵۰ متر سطحی روی می‌دهد. تغییرات درجه حرارت آب دریای خزر فصلی بوده و در فصل تابستان دارای بیشینه دما و در فصل زمستان دارای کمینه دما می‌باشد. دامنه تغییرات فصلی لایه سطحی خیلی بیشتر از تغییرات فصلی لایه‌های عمقی است. روند گرم شدن ستون آب از لایه سطحی از اوایل فصل بهار در منطقه شروع می‌شود و در فصل تابستان به بیشینه مقدار خود می‌رسد و در فصل پاییز از شدت آن کاسته می‌شود و به کمترین مقدار در فصل زمستان می‌رسد. این روند خود یکی از دلایل تشکیل لایه‌بندی حرارتی آب دریا در منطقه می‌باشد. لایه‌بندی در آب‌های منطقه میانی و جنوبی

Circulation of the Caspian Sea Waters. In: Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 33-57, 2005.

[8] Kosarev, A. N., Phsico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. In: The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 5-31, 2005.

[9] Jamshidi, S., "Distribution of Temperature, Salinity and Density on the Southern Continental Shelf of the Caspian Sea, off Babolsar; during the Fall Season" 5th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2009), World Scientific Press, Singapore, 3: 13-16, 2009

[10] Nasrollahzadeh, H. S.; Din, Z. B.; Foong, S. Y.; Makhlogh, A., Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. Continental Shelf Research, 28: 1153-1165, 2008

[11] Roohi, A.; Yasin, Z.; Kideys, A. E.; Hawaii, A. T. S.; Khanari, A. G.; Eker-Develi, E., Impact of a new invasive ctenophore (*Mnemiopsis Laiyi*) on the zooplankton community of the Southern Caspian Sea. Marine Ecology. 29: 421-434, 2008.

[12] Jamshidi, S.; Bakar, N., "Temperature, Salinity and Density Measurements in the Coastal Waters of Rudsar, South Caspian Sea", Journal of the Persian Gulf (Marine Science) JPG, 1 (1): 27-35, 2010.

[13] Safarov, J. T.; Mirzaliyev, A. A.; Shahverdiyev, A. N.; Hassel, E. P., "(p, ρ, T) properties of the Caspian Sea", Conference of ICPWS XV, Berlin, Germany, 2008.

[14] N. P. Fofonoff and R. C. Millard, "Algorithms for Computation of Fundamental Properties of Seawater", Unesco/SCOR/ICES/IAPSO (1983).

[15] Fundamentals of Ocean Acoustics, ADVANCED STRUCTURAL DYNAMICS AND ACOUSTICS, Lecture 1, New York (2000).

[16] K. V. Mackenzie, "A decade of experience with velocimeters", J. Acoust. Soc. Am., 50 (1971).

[17] J. Dera, "Marine Physics", Polish Elsevier Oceanography Series; 53 (1992).

جبران ناپذیری را به محیط زیست و اکوسیستم دریایی وارد می‌نماید. که خود عاملی در جهت کاهش جمعیت و یا حتی انقراض گونه‌های زیستی در این دریا می‌باشد. همان‌طور که می‌دانید اغلب جانداران دریایی با شرایط خاص محیطی با دارار بودن مشخصات ویژه‌ای از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دریا نظیر دما، شوری، اکسیژن محلول، و کدوری سازگاری دارند و تغییرات در خصوصیات محیط زندگی آنها باعث بوجود آمدن مشکلاتی نظیر آنچه در بالا بیان شد، می‌شود. از این‌رو پایش، بررسی و کنترل مداوم و دقیق محیط‌های دریایی از جمله نکاتی است که ما را در حفظ منابع و ثروت‌های دریایی و بهره‌وری بهینه از این محیط‌های آبی می‌نماید.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت و پشتیبانی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی انجام شده است.

مراجع

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

[2] Kosarev, A. N.; Kostianoy A. G., Introduction. In: The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 1-3, 2005.

[3] Zonn, I. S., Economic and International Legal Dimensions. In: Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 243-256, 2005.

[4] IAEA (International Atomic Energy Agency), Research/Training on the Caspian Sea. Data Report 1995, Vienna, 95 p, 1996.

[5] Zaker, N. H.; Ghaffari, P.; Jamshidi, S., "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, 2007.

[6] Zonn, I. S., Environmental Issues of the Caspian. In: Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 223-242, 2005

[7] Tuzhilkin, V. S.; Kosarev, A. N., Thermohaline Structure and General

- [18] Millero, F. J.; Chetirkin, P. V., "The density of the Caspian Sea waters", *Journal of Deep-Sea Research*, 27A: 265-271, 1980.
- [19] Peeters, F.; Kipfer, R. et al., "Analysis of deep-water exchange in the Caspian Sea based on environmental tracers". *Journal of Deep-Sea Research*, I 47: 621-654, 2000.
- [20] UNESCO, Background papers and supporting data on the practical salinity scale 1978. UNESCO technical papers in marine science, 1981, Nr. 37, 1981.
- [21] UNESCO, Background papers and supporting data on the International Equation of state of Sea Water 1980. UNESCO technical papers in marine science, 1981, Nr. 38, 1981.