

بررسی تغییرات فصلی و مکانی خصوصیات فیزیکی آب در منطقه آلاشترود و لایچرود

عزیز عبدالهی^۱، سمیه نهاوندیان اصفهانی^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
aziz.abdoalhi@modares.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار، گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
s.nahavandian@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۶

چکیده

ساختار قائم دما، شوری و چگالی بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در پاییز، بهار و تابستان ۹۵-۹۶ در دو منطقه آلاشترود و لایچرود در مازندران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده سهم غالب دما در تعیین چگالی است که می‌تواند به دو علت دامنه تغییرات کوچک شوری در دریای خزر و نقش غالب دما در تعیین چگالی در مناطق گرمسیر اشاره کرد. با این وجود، نمی‌توان از نقش شوری در تعیین چگالی آب صرف‌نظر نمود. در فصل پاییز با وجود مشابهت زیاد ساختار دما در دو منطقه، تفاوت ساختار شوری به تفاوت ساختار چگالی در این دو منطقه منجر شده است. در فصل بهار منطقه لایچرود شاهد فرارفت توده آب گرم و کم‌شور در فاصله ۴-۸ کیلومتر از ساحل است که به تغییر کامل ساختار قائم آب انجامیده است و عمق لایه آمیخته در این محدوده کم می‌شود. عمق لایه آمیخته در فصل پاییز بیشینه و در فصل بهار کمینه است. در فصل تابستان با اینکه گرمای ناشی از تابش خورشید در سطح به تقویت لایه‌بندی و قاعدتاً کاهش عمق لایه آمیخته می‌انجامد، افزایش شوری به علت تبخیر زیاد به افزایش همرفت و عمق لایه آمیخته منجر می‌شود. به همین علت در هر دو منطقه برخلاف انتظار عمق لایه آمیخته در تابستان بیشتر از بهار است. ساختار قائم آب در تابستان در هر دو برش عرضی مناطق مورد اندازه‌گیری مشابه است.

واژه‌های کلیدی: دما، شوری، چگالی، دریای خزر، آلاشترود، لایچرود

۱. مقدمه

و سواحل به‌طور گسترده مورد بهره‌برداری انسان قرار دارند و مناطق ساحلی اغلب مناطقی پرجمعیت محسوب می‌شوند، شناخت فرایندهای اقیانوسی و دریایی، به‌ویژه فرایندهای

دریاها نقش بسزایی در شکل‌گیری سیستم‌های جوی، بارش، طوفان، تغییرات اقلیمی و اقلیم ایفا می‌کنند. از آنجاکه دریاها

کیلومتر در مقابل ۲۰۰-۴۰۰ کیلومتر)، شرایط متنوع آب و هوایی بر این دریا حکم فرماست. آب و هوا در قسمت جنوبی دریای خزر نیمه گرمسیری است، در حالی که قسمت شمالی سردسیری است، به طوری که در طول زمستان کاملاً یخ می‌زند. اکوسیستم منحصر به فرد دریای خزر به همراه ویژگی‌های غیرزیستی آن مانند تغییرات تراز آب مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۵، ۶]. پیش از این اهمیت مطالعه بر ساختار قائم آب و لایه‌های مختلف دما، شوری و چگالی مورد اشاره قرار گرفت. دما و شوری، همراه با فشار، خواص فیزیکی مهم مؤثر بر چگالی آب دریا هستند که در کنترل دینامیک و رفتار ترمودینامیکی دریاها و اقیانوس‌ها نقش بسزایی دارند [۷]. طبق مطالعات انجام شده، وجود لایه آمیخته و ترموکلاین فصلی تأثیرات زیادی بر گردش آب دریاها، اقیانوس‌ها و تغییرات پارامترهای زیستی و شیمیایی آب به خصوص در مناطق نزدیک به ساحل دارد. به علت بسته بودن دریای خزر، تغییرات ساختار قائم آب در لایه سطحی آن به طور مستقیم تحت تأثیر شرایط جوی و ورودی رودخانه‌هاست [۸-۹].

مطالعه‌ای روی تغییرات فصلی لایه‌بندی ستون آب در سه فصل بهار، تابستان و زمستان ۱۳۷۸ در مجاور بندر انزلی انجام شد. نتایج نشان داد که در فصل تابستان لایه ترموکلاین بین ۵۰-۲۰ متری تشکیل شده است. دمای پایه ترموکلاین ۱۰ درجه سانتی‌گراد بوده و به ۷/۵ درجه سانتی‌گراد در اعماق بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد. دمای لایه آمیخته در پاییز به ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. چگالی در آگوست از حدود ۶/۷ در لایه آمیخته تا ۱۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در عمق متغیر است. عمق لایه آمیخته در این منطقه در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برابر ۸، ۲۰ و ۳۵ متر بود [۱۰]. طبق نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها در منطقه رودسر در تابستان ۱۳۸۷، عمق لایه آمیخته تا عمق ۱۰ متر با دمای ۲۸-۲۹ درجه سانتی‌گراد و ترموکلاین در اعماق ۱۰-۴۰ متر با تغییر دمای حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد در پایه لایه آمیخته مشاهده شد. شوری در محدوده اندازه‌گیری در حدود ۱۳/۱۸-۱۲ (پی.اس.یو) مشاهده شد [۱۱]. در مطالعه دیگری که بر اساس اندازه‌گیری‌های فصلی در سال ۱۳۸۸ انجام شد

ساحلی، اهمیت زیادی دارند. از آنجا که عوامل فیزیکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرایندهای دریایی هستند، شناخت آن‌ها در فرایندهای ساحلی و نقش آن‌ها در زندگی روزمره در این مناطق مهم است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های دریایی که بررسی پیوسته آن ما را به درک بیشتر تبعات تغییر اقلیم و اقلیمی رهنمون می‌سازد، ساختار قائم آب است که تحت تأثیر تغییرات فیزیکی شامل دما، شوری و چگالی است. بخشی از لایه سطحی در دریاها و اقیانوس‌ها که به واسطه برهم‌کنش جو با دریا (ناشی از وزش باد، بارش باران، تبخیر، تولید یخ)، دارای ویژگی‌های فیزیکی مانند دما، شوری و چگالی تقریباً یکنواخت است، لایه آمیخته نامیده می‌شود. از آنجا که لایه آمیخته بر فرایندهای مختلف از تبادلات انرژی میان هوا و دریا گرفته تا فعل و انفعالات بیوشیمیایی، تأثیرات قابل توجهی می‌گذارد، حائز اهمیت است [۱-۲]. از طرفی با توجه به اینکه هفتاد درصد سطح کره زمین از اقیانوس‌ها و دریاها پوشیده شده است، به دلیل ظرفیت گرمایی بالای آب و جذب عمده تابش خورشیدی در لایه سطحی اقیانوس، تغییرات تبادلات شار گرمایی در سطح به طور مستقیم متأثر از تغییرات عمق این لایه است. همچنین اقیانوس‌ها، دریاها و دریاچه‌ها و به ویژه تغییرات ساختار قائم آب، نقش بسزایی در زمینه چرخه جهانی کربن و تبادلات گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن ایفا می‌کند [۳]. امروزه شواهد فراوانی از تأثیرات زیست‌محیطی تغییرات آب و هوایی در حوضه‌های آبی از مناطق قطبی گرفته تا گرمسیری مشهود است. اگرچه در حال حاضر با وجود اینکه در مراحل اولیه روند درک و پیش‌بینی گرم شدن کره زمین ناشی از تغییرات اقلیم هستیم، پاسخ‌های اکولوژیکی به تغییرات اخیر اقلیمی در حال حاضر نیز به وضوح قابل مشاهده است [۴].

دریای خزر به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه دنیا و دارای ذخایر هیدروکربن غنی و منابع زیستی بسیار متنوع، از اهمیت زیادی برخوردار است. این دریا به علت منزوی بودن و نداشتن ارتباط مستقیم با دریاهای آزاد، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است. به علت کشیدگی این دریاچه در راستای عرض جغرافیایی نسبت به طول جغرافیایی (۱۰۰۰

مقیاس کوچک در دو منطقه آلاشت رود و لایوچ رود به فاصله ۱۰ کیلومتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. آلاشت رود و لایوچ رود دو رود با ورودی محدود هستند که به ترتیب در موقعیت جغرافیایی شمالی $36^{\circ}35'36''/52''$ شرقی $52^{\circ}31'19''/89''$ و شمالی $36^{\circ}37'11''/21''$ شرقی $11^{\circ}52'52''/63''$ به دریای خزر می‌ریزد (شکل ۱). از طرفی با استفاده از اندازه‌گیری‌های عمود بر خط ساحلی در دو منطقه مورد مطالعه در ایستگاه‌های تنظیم شده از نزدیک ساحل به دور از ساحل در اعماق ۵-۹۰ متر، تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکی مربوطه با فاصله گرفتن از ساحل مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعه حاضر به منظور بررسی تغییرات فصلی و مکانی خصوصیات فیزیکی آب در دو منطقه آلاشت رود و لایوچ رود به فاصله ۱۰ کیلومتر از هم انجام شده است. منطقه مورد مطالعه تا به حال در مطالعات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه، داده‌های اندازه‌گیری شده و روش محاسبه پارامترهای مورد مطالعه می‌پردازیم. سپس در مورد نتایج به بحث و بررسی می‌پردازیم.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

دریای خزر به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه جهان میان کشورهای ایران، ترکمنستان، قزاقستان، روسیه و آذربایجان قرار گرفته است. مساحت این دریا ۴۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع، طول خط ساحلی آن حدود ۷۵۰۰ کیلومتر، میانگین و حداکثر عمق به ترتیب ۲۰۸ متر و ۱۰۲۵ متر و در حدود ۲۷ متر عمق زیر سطح اقیانوس واقع است. این دریا از شمال و جنوب بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 55' 54''$ و $47^{\circ} 53' 54''$ واقع است. با توجه به شرایط فیزیکی، جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی بستر، این دریا به سه بخش شمالی، میانی و جنوبی تقسیم شده است. نسبت مساحت بخش‌های مختلف به مساحت کل دریای خزر در شمالی $24/3\%$ ، خزر میانی $36/4\%$ و خزر جنوبی $39/3\%$ است. بیشینه عمق در بخش شمالی، میانی و جنوبی به ترتیب ۲۵، ۱۰۲۵، ۷۸۸ متر و متوسط عمق این بخش‌ها به ترتیب $4/4$ ، ۱۹۲، ۳۴۵ متر است [۶]. به دلیل تفاوت زیادی که در کشیدگی این دریاچه در

[۱۲]، تغییرات فصلی دما، شوری و چگالی مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده، عمق ترموکلاین فصلی بین ۵۰-۲۰ متر متغیر بوده است. از طرفی شوری با تغییرات بین $12/12-37/27$ (پی.اس.یو) به طور محسوسی تحت تأثیر تغییرات فصلی قرار نداشت. مطالعه مشابهی بر اساس اندازه‌گیری‌های فصلی در منطقه آنزلی در سال ۲۰۰۸ انجام شد [۱۳]. نتایج به دست آمده نشان داد که عمق لایه آمیخته در بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۸، ۲۰ و ۳۵ متر و عمق ترموکلاین در تابستان بین ۲۰-۵۰ متر، تابستان و پاییز به ترتیب بین گستره تغییرات شوری بین $12/27-12/37$ بوده است. چگالی لایه آمیخته در تابستان کمینه $6/5-6/8$ کیلوگرم بر متر مکعب و در پاییز بیشینه $8/7-8/6$ کیلوگرم بر متر مکعب است. چگالی در پیکنوکلاین نیز به طور هماهنگ با تغییرات چگالی لایه آمیخته متأثر از تغییرات فصلی است به طوری که در تابستان کمینه $6/8-10$ کیلوگرم بر متر مکعب و در پاییز بیشینه $8/7-10$ کیلوگرم بر متر مکعب بوده است. این در حالی است که تغییرات فصلی چگالی در لایه عمیق مشاهده نشده است. در مطالعه‌ای که در منطقه کیشهر روی پارامترهای فیزیکی آب در فصل تابستان انجام شده است، عمق لایه آمیخته حدود ۱۰ متر و ترموکلاین با ضخامت ۳۰ متر، بین اعماق ۱۰-۴۰ متر و در زیر آن لایه عمیق قرار دارد [۱۴]. در مطالعه‌ای که روی دریاچه ایسو^۱ در ایتالیا انجام شد، نقش امواج داخلی و لایه‌بندی در خصوصیات شیمیایی آب، به خصوص تغییرات اکسی کلاین^۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیقات نشان داد که لایه‌بندی دمایی دریاچه ایسو نقش قابل توجهی در لایه‌بندی خصوصیات شیمیایی آب بازی می‌کند. به طوری که لایه‌بندی خصوصیات شیمیایی منطبق بر لایه‌بندی دمایی بوده است [۱۵].

در این مطالعه تغییرات فصلی و مکانی دما، شوری و چگالی در سواحل جنوبی خزر، واقع در استان مازندران در منطقه آلاشت رود و لایوچ رود با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در سه فصل پاییز، بهار و تابستان ۹۵-۹۶ مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات فصلی دما، شوری و چگالی در دو خط عمود بر ساحل است. همچنین پارامترهای فیزیکی بیان شده به منظور بررسی تغییرات مکانی

دستگاه سی.تی.دی دما، هدایت الکتریکی و فشار را اندازه گیری می کند و می تواند مجهز به سنسورهای چندگانه سنجش پارامترهای مختلف اعم از کدورت، اکسیژن محلول، پی.اچ^۱ و کلروفیل-آ باشد. از آنجا که فشار در عمق ۱۰۰۰ متر بر حسب دسی بار متناظر با عمق بر حسب متر است و پس از آن نیز انحراف بسیار کمی دارد، با اندازه گیری فشار، عمق متناظر پارامتر مورد نظر نیز به دست می آید. دستگاه آر.بی.آر مورد استفاده در این تحقیق را می توان نمونه کوچک سی.تی.دی دانست که فاقد سنسور فشار بوده است. دستگاه آر.بی.آر مورد استفاده در اندازه گیری های بهار و تابستان ۹۶، قابلیت اندازه گیری دما، هدایت الکتریکی و زمان را به صورت خودکار داشته است. به طوری که از زمانی که دستگاه با فواصل مشخص از زمان روشن می شود تا زمان خاموشی پارامترهای مورد نظر را به صورت خودکار اندازه گیری می کند. از آنجا که دستگاه آر.بی.آر مورد استفاده فاقد سنسور فشار بوده، به منظور اندازه گیری عمق با استفاده از طناب مدرج و خط کش نقاله طراحی شده و محاسبه شیب طناب نسبت به قائم عمق اندازه گیری محاسبه شده و هم زمان با آن، زمان نیز ثبت می شود (شکل ۲). نحوه تعیین عمق با استفاده از خط کش نقاله نشان داده شده در شکل ۲ به این صورت است که شاخص متحرک در راستای طناب مدرج که دستگاه به آن متصل است، قرار داده می شود و شاخص انطباق عمود در راستای عمود قرار داده می شود. میزان انحراف شاخص متحرک از شاخص انطباق عمود زاویه طناب مدرج را از عمود (θ) می دهد. عمق واقعی حاصل ضرب عمق طناب مدرج در $\cos \theta$ است. به منظور کالیبراسیون دستگاه، در هر بار اندازه گیری دستگاه در نزدیکی سطح در عمق کمتر از یک متر به مدت چند ثانیه نگه داشته می شود و پس از اتمام اندازه گیری ها نیز با آب شیرین دستگاه و سنسورها به طور کامل شستشو می شود. پس از انتقال داده ها به رایانه، اعماق اندازه گیری شده همراه با زمان ثبت آن وارد و با تطبیق زمان ثبت عمق با زمان ثبت خودکار پارامترهای مورد نظر (دما و رسانایی) در زمان ثبت عمق استخراج می شود. در نهایت نیز به منظور استخراج ساختار عمود آب، پارامترها در فاصله ۱ متر با استفاده از متلب^۱ درون یابی می شود.

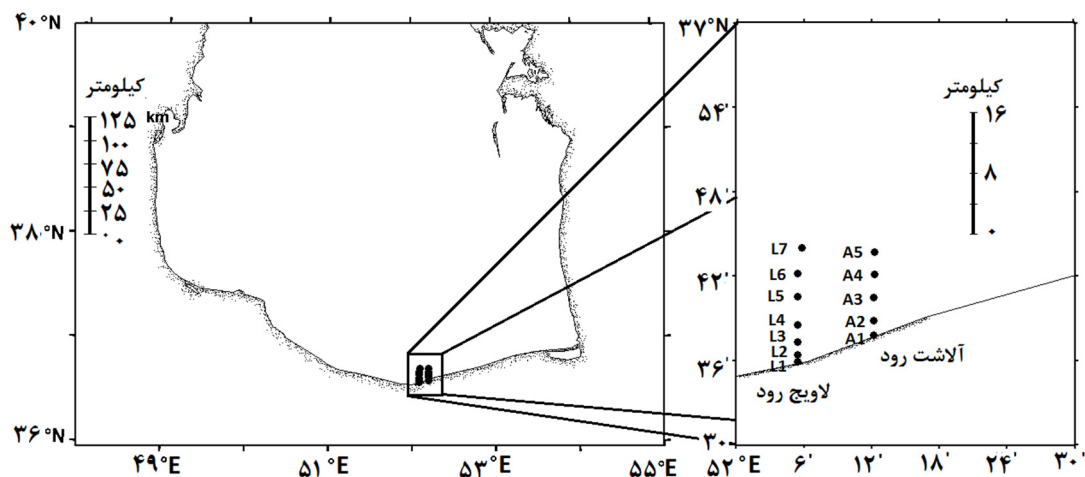
راستای عرض جغرافیایی با طول جغرافیایی آن دارد (۱۰۰۰ کیلومتر در مقابل ۲۰۰-۴۰۰ کیلومتر)، شرایط آب و هوایی متنوعی بر این دریاچه حکم فرماست. آب و هوا در قسمت جنوبی دریای خزر نیمه گرمسیری است، در حالی که قسمت شمالی در طول زمستان کاملاً یخ می زند. به طور کلی شرایط آب و هوایی این دریاچه تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی، چرخه های اتمسفری، کوه ها و بیابان های اطراف آن است. آب و هوای این دریا در شمال و شرق متأثر از بیابان ها و در قسمت غربی و جنوبی متأثر از رشته کوه های قفقاز و البرز است. از طرفی باد نقش بسزایی در شکل گیری جریان ها، انتشار و انتقال آلاینده ها در لایه بالایی دریا ایفا می کند [۶]. حدود ۱۳۰ رودخانه بزرگ و کوچک به این دریا سرازیر می شوند. میانگین رواناب سالانه رودخانه هایی که از روسیه به دریای خزر می ریزند (ولگا، اورال، ترک، سولاک و کورا) بیش از ۹۰٪ از کل رواناب تمام رودخانه هایی است که به خزر می ریزند و ۱۰ درصد باقی مانده نیز در ایران و دیگر کشورهای همسایه خزر و مقدار اندکی نیز در ترکیه قرار دارد. در تغذیه دریای خزر، مهم ترین رودخانه، رودخانه ولگا بوده که حدود ۸۰٪ آب ورودی را تأمین می کند. این امر خود نشان دهنده نقش ویژه حوضه شمالی و این رودخانه در خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی دریای خزر است. تمامی رودخانه های اصلی از قسمت شمالی یا از سواحل غربی به این دریا می ریزند. بزرگ ترین رودخانه ورودی به دریای خزر در ایران سفیدرود با میانگین ۴ کیلومتر مکعب آب ورودی به دریای خزر در سال است [۱۱، ۱۶].

۲-۲. اندازه گیری ها

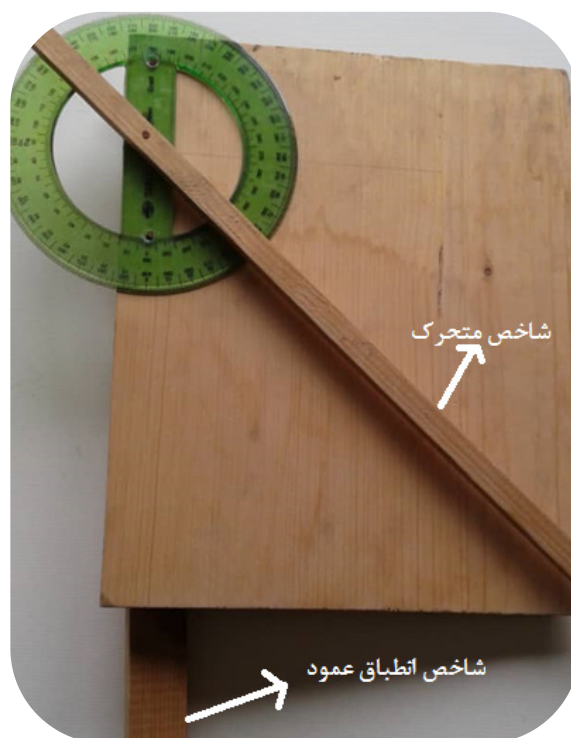
داده های استفاده شده در این مطالعه شامل داده های اندازه گیری شده در سه فصل پاییز، بهار و تابستان ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در منطقه لایح رود و آلاشت رود است. مشخصات زمانی و مکانی اندازه گیری ها در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است. اندازه گیری ها با استفاده از دو دستگاه سی.تی.دی^۳ و در فصل پاییز آر.بی.آر^۴ در فصل بهار و تابستان انجام شده است. دستگاه سی.تی.دی مورد استفاده در این تحقیق ساخت کارخانه سی اند سان تکنولوژی^۵، مدل سی.تی.دی مدل ام.۱۱۵^۶ و دستگاه آر.بی.آر ساخت شرکت آر.بی.آر گلوبال^۷، مدل سی.تی.اکس.آر-۴۲۰^۸ است.

جدول ۱. مشخصات زمانی اندازه گیری ها

ردیف	روز	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی
۱	یکشنبه	۹۵/۰۹/۲۹	۲۰۱۶/۱۲/۱۸
۲	یکشنبه	۹۶/۰۳/۰۷	۲۰۱۷/۰۵/۲۸
۳	سه شنبه	۹۶/۰۶/۲۸	۲۰۱۷/۰۹/۱۹



شکل ۱. مکان برش های عرضی و ایستگاه های اندازه گیری در منطقه آلاشت رود (A5-A1) و لایوچ رود (L7-L1)، منطقه آلاشت رود در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری شرق لایوچ رود قرار دارد.



شکل ۲. خط کش نقاله طراحی شده به منظور محاسبه زاویه انحراف طناب نسبت به عمود، با استفاده هم زمان با طناب مدرج می توان عمق مورد نظر را تخمین زد.

۳. یافته‌ها

در این بخش به بررسی تغییرات فصلی و مکانی پارامترهای فیزیکی از قبیل دما، شوری و چگالی در منطقه آلاشت‌رود و لویج‌رود می‌پردازیم.

۳-۱. تغییرات فصلی

تغییرات قائم دما، شوری و چگالی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در منطقه آلاشت‌رود در شکل ۳ نشان داده شده است. نیم‌رخ چگالی در دریای خزر در مقایسه با شوری بیشتر از دما تأثیر می‌پذیرد، که به علت غالب بودن نقش دما نسبت به شوری در تعیین چگالی در مناطق گرمسیری است. از طرف دیگر گستره تغییرات بسیار کوچک شوری در دریای خزر، به کاهش نقش شوری در تعیین چگالی می‌انجامد. در فصل بهار به علت لایه‌بندی لایه سطحی، در بعضی از ایستگاه‌ها شاهد لایه‌آمیخته نیستیم و عمق لایه‌آمیخته در صورت وجود، حدود ۵-۷ متر است. دامنه تغییرات شوری حتی با تغییر فصل‌ها بسیار کوچک است و در این دامنه کوچک به‌غیراز فصل پاییز تغییرات نوسانات زیادی دارد. همان‌طور که در جدول ۲ نیز نشان داده شده است، شوری لایه‌آمیخته در بهار کمینه (۱۲ پی.اس.یو)) و در تابستان بیشینه (۱۲/۸ پی.اس.یو)) است. به‌طوری‌که در ساختار قائم شوری در بسیاری از مواقع شاهد تفکیک لایه‌های مختلف از قبیل؛ لایه‌آمیخته، هالوکلاین و لایه عمیق نیستیم. محدوده تغییرات دما، شوری و چگالی در لایه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. عمق لایه‌آمیخته در بهار کمینه (حدود ۱۰ متر) و در پاییز به بیشینه مقدار خود (حدود ۷۰ متر) می‌رسد. طبق تقسیم‌بندی لایه‌های مختلف، لایه‌آمیخته و لایه ترموکلاین، هالوکلاین و پیکنوکلاین به‌واسطه ارتباط مستقیم لایه‌آمیخته با جو، دمای این لایه‌ها در پاییز کمینه و در تابستان بیشینه است.

۳-۲. تصحیحات شوری و چگالی

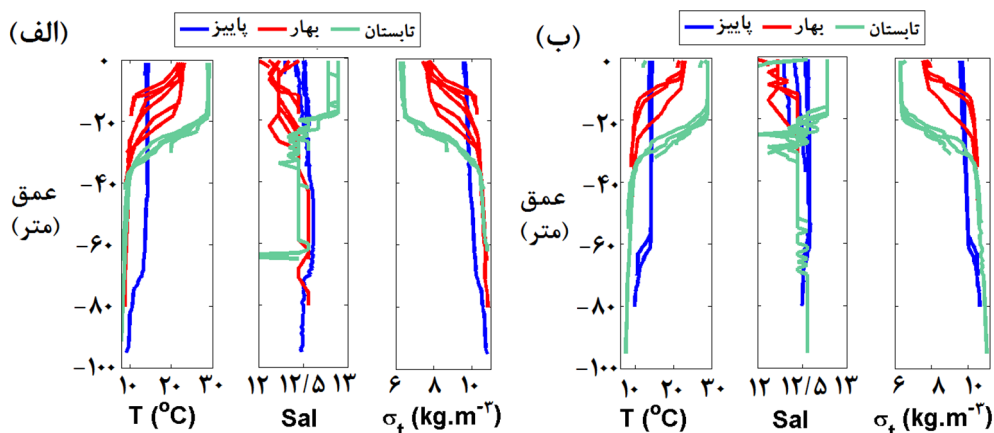
در حالت کلی شوری اندازه‌گیری شده با دستگاه سی.تی.دی با استفاده از هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده به دست می‌آید و چگالی نیز در هر عمق با در دست داشتن دما، فشار و شوری با معادله حالت برای آب دریا استاندارد محاسبه می‌شود. از آنجا که ترکیب یونی آب خزر متفاوت از آب استاندارد اقیانوس‌هاست و روابط تجربی ارائه‌شده نیز برای آب اقیانوس‌های استاندارد است، به همین منظور آزمایش‌هایی برای ارائه یک معادله حالت تجربی در آب‌های خزر انجام شده است [۱۷، ۱۹]. در مطالعه حاضر از معادله‌های زیر که به ترتیب روابط تصحیح پیشنهادشده برای محاسبه شوری (۱) و چگالی (۲) است، استفاده شده است [۱۹].

$$S_{Caspian} = 1.1017 S_{Sea} \quad (1)$$

که در آن S_{Sea} شوری اندازه‌گیری شده با دستگاه سی.تی.دی به دست آمده از معادله‌های ارائه‌شده یونسکو (۱۹۸۱) است [۱۷]. برای محاسبه چگالی از فرمول (۲) استفاده شده است.

$$\rho_{solution} = \rho_{sea}(T, 0, P) + f(T, P)[\rho_{sea}(T, S, P) - \rho_{sea}(T, 0, P)] \quad (2)$$

که در آن $\rho_{sea}(T, 0, P)$ چگالی به دست آمده از فرمول‌بندی یونسکو (۱۹۸۱) در شوری صفر و با جایگذاری فشار، دمای اندازه‌گیری شده و $\rho_{sea}(T, S, P)$ چگالی به دست آمده از فرمول‌بندی یونسکو (۱۹۸۱) در شوری، فشار و دمای اندازه‌گیری شده است. $f(T, P)$ ضریب تصحیح پیشنهادشده است [۱۷]. لازم به یادآوری است در اندازه‌گیری‌های بهار و تابستان ۹۶، از آنجا که آر.بی.آر مورد استفاده دما، رسانایی و زمان را اندازه‌گیری می‌کرد، برای محاسبه شوری با استفاده از فرمول یونسکو، جاگذاری دما و عمق متناظر در آن، شوری محاسبه و پس از اعمال تصحیح‌های پیشنهادشده با استفاده از فرمول تصحیح اشاره‌شده در بالا، چگالی محاسبه می‌شود [۱۹].



شکل ۳. نیم‌رخ دما، شوری و چگالی در منطقه لایوچ‌رود (الف) و آلاشت‌رود (ب)

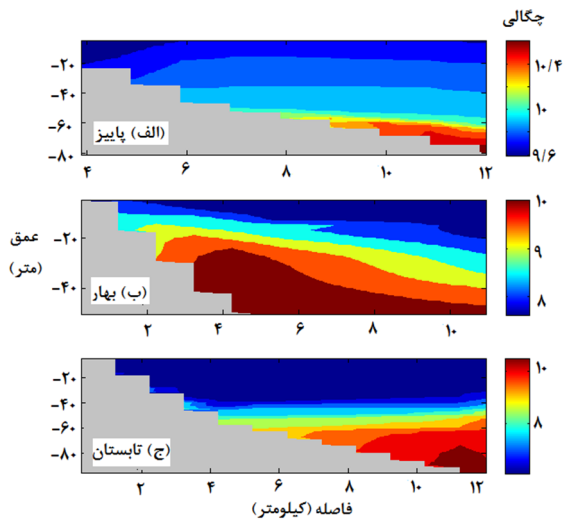
جدول ۲. تغییرات دما (درجه سانتی‌گراد)، شوری (پی.اس.یو) و چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) در لایه‌های مختلف آمیخته و ترموکلاین (متر)

فصل	پارامتر	دامنه تغییرات	عمق لایه آمیخته	عمق ترموکلاین	میانگین لایه آمیخته	میانگین ترموکلاین	میانگین لایه عمیق
پاییز ۹۵	دما	۱۴/۹-۵/۸	۵۵-۶۰	۵۵-۶۰	۱۳/۸	۱۲	۹
	شوری	۱۲/۱۲-۶/۳	۵۵-۶۰	۵۵-۶۰	۱۲/۵۶	۱۲/۵	۱۲/۵
	چگالی	۱۰/۹-۷/۶	۵۵-۶۰	۵۵-۶۰	۹/۹	۱۰/۵۵	۱۰/۶۵
بهار ۹۶	دما	۸-۲۳/۷	۵-۱۰	۵-۱۰	۲۲/۵	۲۱	۱۰/۸
	شوری	۱۲/۱۲-۵	۵-۱۰	۵-۱۰	۱۲	۱۲/۲۵	۱۲/۴
	چگالی	۱۰/۷-۶/۵	۵-۱۰	۵-۱۰	۷/۷	۸	۱۰/۱۶
تابستان ۹۶	دما	۷-۲۹/۵	۱۹-۱۶	۱۹-۱۶	۲۸/۹	۱۷/۵	۸/۲۵
	شوری	۱۲/۱۲-۸	۱۹-۱۶	۱۹-۱۶	۱۲/۸	۱۲/۵	۱۲/۵
	چگالی	۶-۱۱/۲۵	۱۹-۱۶	۱۹-۱۶	۶/۳	۸/۹	۱۰/۸

است. وجود لایه‌های با رنگ‌های متفاوت در نزدیکی سطح، لایه ترموکلاین را نشان می‌دهد که خود نشان از کم عمق بودن و حتی گاهی عدم وجود لایه آمیخته است. در فصل تابستان (شکل ۴. ج) علی‌رغم گرم‌تر بودن لایه سطحی، لایه‌بندی در اعماق بیشتر نسبت به فصل بهار مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵. الف و جدول ۲ نشان داده شده است، شوری در این فصل تغییرات ناچیز (۱۲/۳-۱۲/۶) دارد که به علت افزایش شدت باد و کاهش دمای هوا است که به افزایش آمیختگی منجر می‌شود و آمیختگی از سطح تا بستر آب را ایجاد می‌کند. به‌طوری‌که در هر ایستگاه از سطح تا عمق شوری تقریباً یکنواخت است. شوری از نزدیک ساحل (حدود ۱۲/۳) به دور از ساحل (۱۲/۶) افزایش می‌یابد.

شکل ۴ تغییرات فصلی برش عمودی دما را در منطقه آلاشت‌رود نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴. الف نشان داده شده است، در فصل پاییز در نزدیکی ساحل دمای آب بیشتر از دور از ساحل است و در مناطق دور از ساحل تغییرات فصلی برش عمودی دما تا عمق حدود ۶۰ متر کاملاً یکنواخت است. این امر نشان‌دهنده آمیختگی بالای لایه سطحی است که به علت وزش بادهای شدید و طوفان‌های رایج در این فصل و کاهش دمای هوا اتفاق می‌افتد. از طرفی شاهد عمیق شدن ملایم لایه هم‌دمای حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد از نزدیک ساحل به دور از ساحل هستیم. نزدیکی لایه‌های رنگی از عمق حدود ۶۰-۷۰ نشان‌دهنده لایه ترموکلاین است. برش عمودی دما در فصل بهار (شکل ۴. ب) نشان‌دهنده لایه‌بندی شدید ستون قائم آب در این فصل

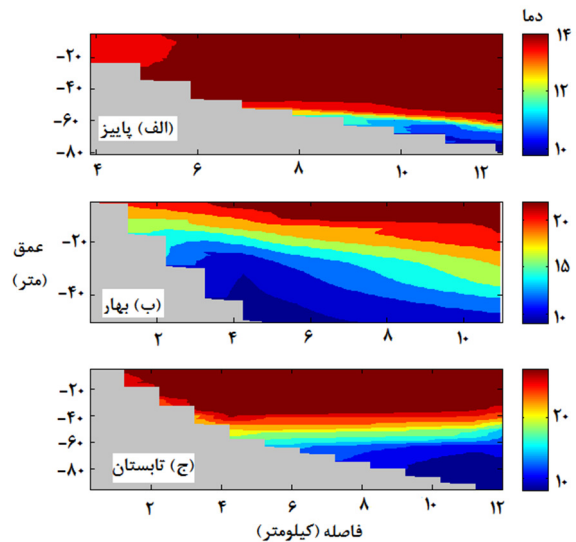
عمودی از نزدیک ساحل تا به دور از ساحل یکرنگ نمایش داده خواهد شد. یکرنگ بودن برش عمودی تا عمق حدود ۶۰ متر نشان‌دهنده آمیختگی زیاد در این فصل است که سازگار با دما و شوری است که نشان‌دهنده نقش هر دو این پارامترها در تعیین چگالی در این فصل است.



شکل ۶. تغییرات فصلی برش عمودی چگالی در منطقه آلاشت‌رود

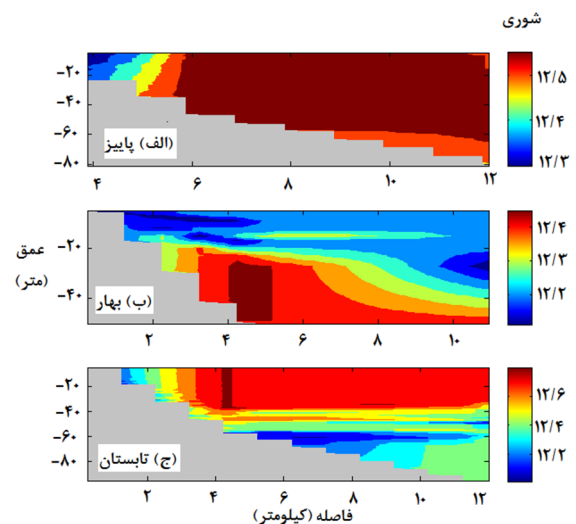
۳-۲. تغییرات مکانی

شکل‌های ۷ و ۸ مقایسه مکانی خصوصیات فیزیکی میان دو منطقه آلاشت‌رود و لایوچ‌رود در فصل‌های پاییز و بهار را نشان می‌دهد. در شکل ۷ الف نیز نشان داده شده است ساختار قائم دما در فصل پاییز در هر دو منطقه آلاشت‌رود و لایوچ‌رود دامنه تغییرات کمی دارد، از حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد از سطح تا حدود ۹ درجه سانتی‌گراد در بستر. تغییرات مکانی ساختار قائم دما در این دو منطقه مشاهده نمی‌شود. عمق آمیختگی با مشاهده شکل‌های ۳ و ۷ در منطقه لایوچ‌رود در فصل پاییز کمی عمیق‌تر از منطقه آلاشت‌رود است، به طوری که عمق لایه آمیخته در منطقه آلاشت‌رود حدود ۶۰ متر و در منطقه لایوچ‌رود حدود ۶۵ متر است. باین حال در حالت کلی تفاوت بارزی میان برش عمودی دمای این دو منطقه که نشان‌دهنده تغییرات شکل هم‌زمان عمودی و افقی دما است، وجود ندارد. شوری در دو منطقه آلاشت‌رود و لایوچ‌رود در فصل پاییز تفاوت قابل توجهی دارد. به طوری که شوری در منطقه آلاشت‌رود در هر ایستگاه از سطح تا عمق آمیخته است و بیشینه مقدار آن بین محدوده



شکل ۴. تغییرات فصلی برش عمودی دما در منطقه آلاشت‌رود

در فصل بهار (شکل ۵، ب و جدول ۲) کمترین شوری را در سطح آب و لایه آمیخته شاهد هستیم و با افزایش عمق، شوری افزایش می‌یابد که نشان از لایه‌بندی و تعادل ستون آب از نظر شوری است. این نتیجه در هماهنگی با نتایج مشاهده شده در نمودار مربوط به دما در شکل ۵ ب است. در فصل تابستان شوری در سطح بیشتر از شوری در بستر است (شکل ۵، ج) و با تغییر بیشتر چگالی شاهد پیکنو کلاین هستیم (شکل ۶).

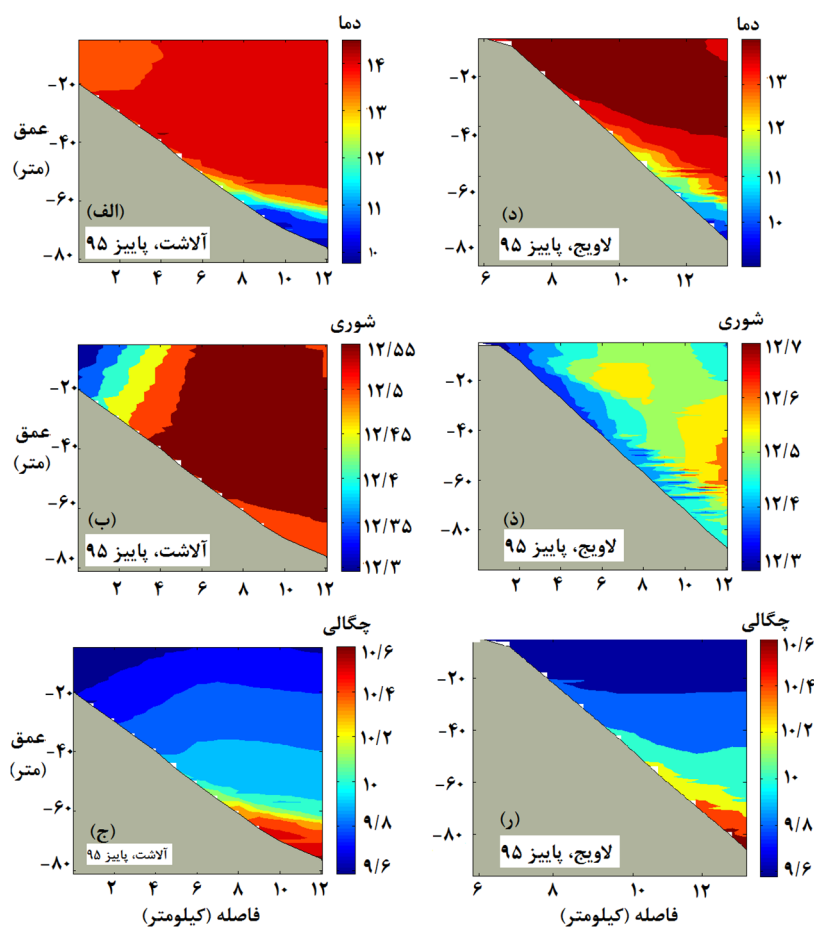


شکل ۵. تغییرات فصلی برش عمودی شوری در منطقه آلاشت‌رود

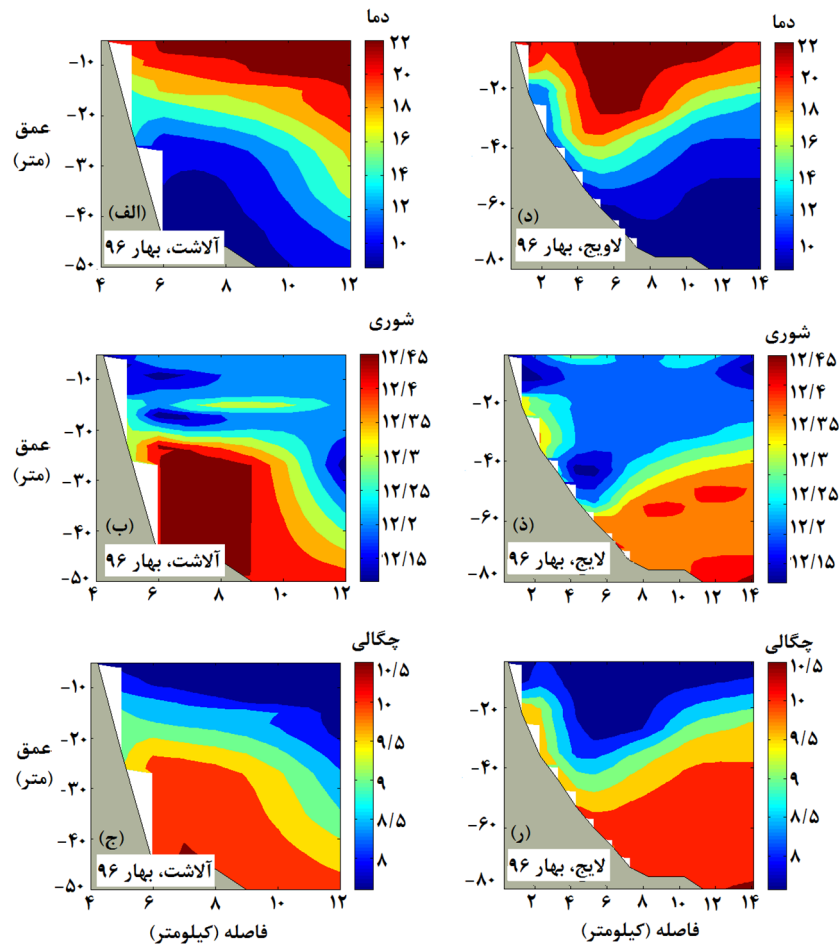
لازم به یادآوری است که گستره تغییرات چگالی در فصل پاییز بسیار کم است و اگر حد پایین تغییرات همانند بهار و تابستان (۷ کیلوگرم بر مترمکعب) قرار داده شود، برش

عمودی دما، شوری و چگالی در فصل بهار (شکل ۸)، تفاوت بارزی را میان این دو منطقه به نمایش می‌گذارد. در منطقه لایوچ رود توده آب گرم و کم شور از فاصله ۴-۸ کیلومتر مشاهده می‌شود که به کشیدگی خطوط هم‌دمای گرم‌تر به سمت اعماق بیشتر منجر شده است. در منطقه آلاشت رود همان‌طور که در هردو شکل ۳ و ۸ مشهود است، ورود توده آب گرم و کم شور به کاهش عمق لایه آمیخته نسبت به منطقه آلاشت رود منجر شده است. از طرف دیگر در لایوچ رود عمق لایه آمیخته با فاصله گرفتن از ساحل در جایی که فرارفت توده آب گرم و کم شور مشاهده شده است، کاهش می‌یابد و پس از آن با روند افزایشی عمق لایه آمیخته مواجه هستیم. از مشابهت‌های دو منطقه مورد اندازه‌گیری لایه‌بندی شوری است که در هر دو منطقه در راستای پایداری ستون قائم آب قابل مشاهده است. به طوری که در نزدیکی سطح در هردو منطقه شوری در حدود ۱۲/۱ (پی.اس.یو) و در اعماق تا حدود ۱۲/۴۵ (پی.اس.یو) مشاهده می‌شود.

۴-۱۲ کیلومتر از ساحل در حدود ۱۲/۵۵ است. در حالی که در منطقه لایوچ رود ستون آب به اندازه آلاشت رود تا بستر آمیخته نیست و در نزدیکی بستر در منطقه لایوچ رود شوری ثابت و کمینه (حدود ۱۲/۳-۱۲/۴) باقی می‌ماند. در منطقه آلاشت رود شوری در نزدیک بستر از حدود ۱۲/۳ در نزدیک ساحل تا مقدار ۱۲/۵۵ دور از ساحل متغیر است. گستره تغییرات چگالی در دو منطقه اندازه‌گیری شده یکسان ۱۰/۹-۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب است. با در نظر گرفتن کوچکی دامنه تغییرات چگالی در هر دو این مناطق در فصل پاییز و با نگاه دقیق‌تر به شکل ۳، می‌بینیم که شدت پیکنوکلاین در این فصل به علت آمیختگی زیاد بسیار کوچک است. همچنین با دقت در برش عمودی چگالی در شکل ۷ ج و ر، می‌بینیم لایه‌بندی در منطقه آلاشت رود کمی از منطقه لایوچ رود بیشتر است. به همین دلیل عمق لایه آمیخته در منطقه آلاشت رود (حدود ۶۰ متر) کمی از منطقه لایوچ رود (حدود ۶۵ متر) کمتر است. مقایسه برش‌های



شکل ۷. مقایسه مکانی تغییرات دما (الف و د) شوری (ب و د) و چگالی (ج و ر) میان آلاشت رود و لایوچ رود در فصل پاییز



شکل ۸. مقایسه مکانی تغییرات دما (الف و د)، شوری (ب و ز) و چگالی (ج و ر) میان آلاشت رود و لایج رود در فصل بهار

شوری و چگالی در هردو محور اندازه گیری در جهت پایداری کامل است، به طوری که دما از سطح تا عمق روند کاهشی و شوری و چگالی روند افزایشی دارند. در منطقه لایج رود در فاصله ۸ کیلومتری از ساحل شاهد نفوذ توده گرم و کم شور آب هستیم. همچنین فرارفت آب گرم و کم شور به کاهش عمق لایه آمیخته و به تغییر قابل توجه ساختار قائم دما، شوری و چگالی در این منطقه با منطقه آلاشت رود منتهی شده است. به طوری که برخلاف پدیده رایج افزایش عمق لایه آمیخته با فاصله گرفتن از ساحل، شاهد کاهش عمق لایه آمیخته در مناطق دور از ساحل، به خصوص در محدوده فرارفت هستیم. در فصل تابستان پارامترهای فیزیکی در هر دو منطقه اندازه گیری بسیار شبیه به هم و در مقایسه با دیگر فصلها لایه بندی ستون قائم آب از بهار و پاییز شدیدتر است. به صورتی که در این فصل شاهد بیشترین دامنه تغییرات پارامترهای فیزیکی در ستون آب

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از داده های اندازه گیری شده در دو برش عرضی عمود بر ساحل در منطقه آلاشت رود و لایج رود (با فاصله حدود ۱۰ کیلومتر) در سال ۹۵-۹۶، تغییرات ساختار قائم دما، شوری و چگالی به طور فصلی و مکانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان دهنده نقش پررنگ تر دما در تعیین چگالی نسبت به شوری است ولی باین وجود نقش شوری قابل چشم پوشی نیست. دما، شوری و چگالی در فصل پاییز در هر دو منطقه از سطح تا نزدیک عمق (حدود ۶۰-۶۵ متر) تقریباً یکنواخت است که نشان از لایه آمیخته عمیق در این فصل به علت وجود بادهای و طوفان های شدید و کاهش شدید دمای آب است. لایه بندی در این فصل کم و به دنبال آن ترموکلاین، هالوکلاین و پیکنوکلاین نیز در این فصل بسیار ضعیف است. در فصل بهار لایه بندی افزایش می یابد و ساختار قائم دما،

- responses to recent climate change. *Nature*. 2002 Mar;416(6879):389.
- [5] Lebedev SA, Kostianoy AG. Satellite altimetry of the Caspian Sea. *Sea*, Moscow. 2005;366.
- [6] Kostianoy AG, Kosarev AN, editors. *The Caspian Sea Environment*. Springer Science & Business Media; 2005.
- [7] Chand S, Aung T, Rao S. Physical properties of southern Fiji waters. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*. 2004;22(1):57-61.
- [8] Tuzhilkin VS, Kosarev AN. *The Caspian Sea Environment*. Berlin, Heidelberg, Springer;2005. Thermohaline structure and general circulation of the Caspian Sea waters. p.33-57
- [9] Kosarev AN. *The Caspian Sea Environment*. Berlin, Heidelberg: Springer;2005. Physico-geographical conditions of the Caspian Sea. p. 5-31.
- [۱۰] جمشیدی سیامک. تغییرات فصلی پایداری و لایه بندی ستون آب در بخشی عمیق جنوب دریای خزر. اقیانوس شناسی. ۱۳۹۴؛۶(۲۲):۸۳-۹۵.
- [11] Jamshidi S, Bakar A, Noordin M. Temperature, salinity and density measurements in the coastal waters of the Rudsar, South Caspian Sea. *Journal of Persian Gulf*. 2010 Sep 15;1(1):27-36.
- [12] Jamshidi S, Bakar NA. Seasonal variations in temperature, salinity and density in the southern coastal waters of the Caspian Sea. *Oceanology*. 2012 May 1;52(3):380-96.
- [۱۳] عزیزاده کتک لاهیجانی حمید، نادری بنی عبدالمجید. پایش محیطی و پردازش داده های دریایی خزر. پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی؛ ۱۳۹۳. ص. ۷۳۰.
- [۱۴] جمشیدی سیامک، سهیلی فر محمدرضا. اندازه گیری و تحلیل پارامترهای شیمیایی و انتشار امواج صوتی در آب های ساحلی جنوب دریای خزر. فصلنامه علوم و فناوری دریا. ۱۳۹۴؛ ۷۵.
- [15] Valerio G, Pilotti M, Lau MP, Hupfer M. Oxycline oscillations induced by internal waves in deep Lake Iseo. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2019 Apr 2;23(3):1763-77.
- هستیم. دما در سطح آب از ۲۹ درجه سانتی گراد در سطح تا ۹ درجه سانتی گراد در عمق و چگالی از ۶ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح تا ۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است و نیم رخ قائم دما و چگالی در این فصل کاملاً پایدار است. شوری در سطح بیشینه و بین ۱۲/۷-۱۲/۸ و در عمق کاهش می یابد (۱۲/۲-۱۲/۴)، که بر خلاف پایداری است؛ زیرا انتظار می رود شوری در سطح کمینه و با افزایش عمق افزایش یابد، به طوری که در بستر بیشینه باشد. در تابستان به علت تبخیر زیاد در سطح شوری افزایش می یابد. همین ناپایداری در نیم رخ شوری به اختلاط بیشتر و افزایش عمق لایه آمیخته در این فصل نسبت به بهار منجر شده است.
- با مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعه پیشین دریافتیم که عمق لایه آمیخته در فصل تابستان (۱۶-۱۹ متر) بیشتر از عمق این لایه در منطقه کیشهر (حدود ۱۰ متر) و گستره تغییرات شوری آن نیز بیشتر و بین ۱۲-۱۲/۸ (پی.اس.یو) از منطقه کیشهر بین ۱۲/۲-۱۲/۵ (پی.اس.یو) بوده است [۱۴]. دلیل این تفاوت مکانی به علت تأثیر پذیری منطقه کیشهر از ورودی رودخانه سفیدرود است که به کاهش شوری، افزایش لایه بندی و کاهش عمق لایه آمیخته منجر شده است. با مقایسه فصلی بین یافته های حاصل از اندازه گیری در نزدیکی بندر انزلی و منطقه مورد مطالعه درمی یابیم که عمق لایه آمیخته در تمامی فصل های در منطقه مورد مطالعه بیشتر از بندر انزلی است [۱۰].

منابع

- [1] Stewart RH. *Introduction to physical oceanography*. College Station: Texas A & M University; 2008 Sep.
- [2] Forest A, Coupel P, Else B, Nahavandian S, Lansard B, Raimbault P, et al. Synoptic evaluation of carbon cycling in the Beaufort Sea during summer: contrasting river inputs, ecosystem metabolism and air-sea CO₂ fluxes. *Biogeosciences*. 2014;11(10): 2827-56.
- [3] Rutgersson A, Smedman A, Sahlée E. Oceanic convective mixing and the impact on air-sea gas transfer velocity. *Geophysical Research Letters*. 2011 Jan;38(2).
- [4] Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological

پی نوشت

1. Lake Iseo

2. Oxycline

3. Conductivity-Temperature-Depth (سی.تی.دی)

4. RBR

5. Sea & Sun Technology

6. M115

7. RBR Global

8. XR-420 CT

9. PH

10. Matlab

[۱۶] علیزاده حمید. مقدمه‌ای بر ویژگی‌های دریای خزر. انتشارات نور بخش؛ ۱۳۸۳. ص. ۱۱۹.

[17] Unesco I, SCOR I. Background papers and supporting data on the international equation of state of seawater, 1980.

[18] Millero FJ, Chetirkin PV. The density of Caspian Sea waters. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1980 Apr 1;27(3-4):265-71.

[19] Peeters F, Kipfer R, Achermann D, Hofer M, Aeschbach-Hertig W, Beyerle U, Imboden DM, Rozanski K, Fröhlich K. Analysis of deep-water exchange in the Caspian Sea based on environmental tracers. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2000 Apr 1;47(4):621-54.