

## پژوهشی

## ارزیابی اثر پایداری و اختلاط ستون آب دریا بر تغییرات زمانی و مکانی توزیع کلروفیل-آ در آبهای ساحلی نوشهر

سیامک جمشیدی

jamshidi@inio.ac.ir

پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

## چکیده

آبهای نواحی جنوبی دریای خزر به عنوان یکی از مناطق مهم اقتصادی و دارای اکوسیستم متنوع در این توده آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. از اینرو پایش و کنترل مشخصه‌ها و مولفه‌های مختلف فیزیکی و زیستی دریا و اثرات متقابل آنها در بهره برداری پایدار از این دریا نقش کلیدی دارد. بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده با اندازه‌گیری‌های میدانی پارامترهای مختلف و بررسی ساختار پایداری و آمیختگی ستون آب، تغییرات مکانی و زمانی توزیع کلروفیل-آ مورد مطالعه قرار گیرد. عملیات میدانی در آبهای نواحی جنوبی دریای خزر و با استفاده از دستگاه نمونه بردار پارامترهای آب دریا در ماههای مختلف سال برنامه‌ریزی و اجرا شد. نتایج نشان داد، بیشترین مقدار غلظت کلروفیل-آ در لایه‌های زیرسطحی و بین اعماق ۵ تا ۱۵ متر و یا در برخی موارد در مرز لایه شیب گرمایی قرار داشته است. در ماههایی که بعضا ورودی آب رودخانه‌های محلی در نواحی نزدیک خط ساحل بیشتر بوده است غلظتهای بیشینه و حدود ۲٫۵ میلی‌گرم بر مترمکعب نیز اندازه‌گیری و ثبت شده است. ساختار کلی نشان‌دهنده کاهش میزان غلظت کلروفیل-آ در ستون آب در لایه‌های پایینی به خصوص زیر لایه شیب گرمایی (ترموکلاین) می‌باشد. در لایه‌های میان‌آب در برخی موارد غلظتهای کلروفیل تا ۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب هم ثبت شده است. ارزیابی‌ها نشان داد که لایه زیر سطح از ۵ متر تا حد پایینی لایه شیب گرمایی لایه مناسبی برای ترازهای بالاتر کلروفیل در فصول و ماههای مختلف بوده که تحت تاثیر میزان نور وارد شده به آب دریا، لایه‌بندی، اغتشاش و پایداری ستون آب قرار داشته است.

واژه‌گان کلیدی: کرانه جنوبی دریای خزر، کلروفیل-آ، پایداری و لایه بندی، ساختار ستون آب.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۵

## ۱- مقدمه

دریای خزر بزرگترین بدنه آبی محصور در جهان به واسطه شرایط منحصر بفرد فیزیکی و وجود منابع غنی هیدروکربنی و همچنین وجود تنوع زیستی و ماهیان خاویاری از اهمیت بسیار بالایی در منطقه خاورمیانه و اوراسیا برخوردار است [۱-۳]. از اینرو تحقیقات و مطالعاتی در زمینه‌های مختلف زیست محیطی و اقیانوس‌شناسی در این دریا و مناطق ساحلی مجاور آن انجام شده است. علیرغم تحقیقات گذشته به واسطه تغییرات کوتاه مدت و اثرات تغییر اقلیم جهانی و منطقه‌ای بر شرایط و فاکتورهای آب دریا ضروری است روند تغییرات پارامترهای مختلف آب دریا و مناطق کم عمق آن به صورت دقیق و مستمر مورد مطالعه و پایش قرار گیرد. در گذشته تحقیقاتی در خصوص بررسی آب دریای خزر انجام شده که به بخشی از مهمترین آنها اشاره می‌شود.

بر اساس نتایج مطالعات ارائه شده توسط Kaplan در سال ۱۹۹۵ و Tuzhiklin and Kosarev, 2005 در طی فصل تابستان ماکزیمم درجه حرارت آب دریای خزر در سطح بیش از  $27^{\circ}\text{C}$  در بخش جنوبی دریا می‌رسد در حالیکه مینیمم سالانه درجه حرارت در زمستان حدود  $7^{\circ}\text{C}$  است [۴-۵]. در طی یک مطالعه و اندازه گیری میدانی، آژانس بین المللی انرژی اتمی (IAEA) یک گشت آموزشی تحقیقاتی در دریای خزر در سپتامبر ۱۹۹۵ انجام شد. در این گشت دریایی پارامترهای آب دریا نظیر دما و شوری اندازه‌گیری شد [۶]. براساس نتایج حاصله دمای حرارت در سطح آب دریا در بخش جنوبی در سپتامبر حدود  $27/5^{\circ}\text{C}$  بوده است. اندازه‌گیری‌های درجه حرارت آب دریا در سطح در بخش جنوبی حدود  $10^{\circ}\text{C}$  در فوریه و  $27\text{C}-28^{\circ}$  در ماه اگوست است [۱]. Tuzhilkin and Kosarev, 2005 گزارش داده‌اند که تغییرات زیاد درجه حرارت آب دریای خزر عمدتاً در لایه‌های بالایی رخ می‌دهد [۴ و ۱]. آنها همچنین معتقدند که درجه حرارت‌های در بخش آب عمیق دریا پایین‌تر از درجه حرارت میانگین سالیانه لایه اختلاط سطحی در حوضچه جنوبی است و حتی پایین‌تر از مینیمم سالیانه درجه حرارت سطحی است. به دلیل آنکه دریای خزر از دیگر دریاها و اقیانوس‌های دنیا ایزوله و جداساز تشکیل لایه شیب حرارتی و رژیم گردش آب دریا تحت تأثیر آبریز رودخانه‌های ورودی به آن می‌باشد. همچنین Tuzhilkin and Kosarev, 2005 گزارش کردند که درجه حرارت لایه سطحی دریای خزر

جنوبی به صورت زیر است: در ماه فوریه  $8\text{C}-10^{\circ}$ ، در آوریل  $12\text{C}-14^{\circ}$  و در نوامبر  $15\text{C}-16^{\circ}$  [۴].

در دهه‌های اول قرن گذشته دلیل افزایش ورودی آب شیرین به دریای خزر و افزایش سطح آب دریا یک کاهش اندک در شوری آب‌های سطحی ایجاد می‌کند. مقدار میانگین شوری دریای خزر کمتر از میانگین شوری آب‌های آزاد است. شوری آب دریای خزر از بخش شمالی به سمت جنوب افزایش می‌یابد. شوری آب حوضه جنوبی دریای خزر معمولاً بین ۱۲ تا  $13/5$  گرم بر لیتر متغیر است [۱]. تغییرات شوری آب دریای خزر از شمال به جنوب نشان دهنده ورودی آب شیرین در حوزه شمالی و مقادیر  $13/5-12/5$  در بخش‌های میانی و جنوبی دریای خزر است و تغییرات فصلی شوری کمتر از  $0/4-0/2$  گرم بر لیتر است. ورودی رودخانه ولگا و اورال و تبخیر سطحی آب دریا معمولاً دو عامل کنترل کننده سطح تراز آب دریاست. ورودی آب شیرین تراز آب دریا را بالا می‌برد و تبخیر سطحی تراز را پایین می‌برد. مقادیر شوری در بخش شمالی دریای خزر قویاً تحت تأثیر خروج آب‌های شیرین رودخانه‌های ولگا و اورال می‌باشد. بخش‌های میانی و جنوبی دریای خزر دارای آب کم شور و با تغییر در نمک به میزان ۱۰ تا  $13$  گرم بر لیتر است. براساس اندازه‌گیری‌های سازمان بین‌المللی انرژی اتمی در حوضه جنوبی و نزدیک سواحل ایران، میزان شوری بین  $12/239$  گرم بر لیتر در سطح و  $12/863$  در لایه‌های آب عمیق می‌باشد. تغییرات فصلی مهم در شوری آب دریا در لایه سطحی (تا  $5-3$  گرم بر لیتر) در نزدیکی دهانه رودخانه، مرداب‌ها و خلیجها در دریای خزر اتفاق می‌افتد. تغییرات فصلی شوری در مناطق آب عمیق دریا تحت اثر توزیع سالانه شدت تبخیر است. در زمانهای سکون و آرامش دریا، تغییرات چندین سالانه شوری آب دریا بیش از  $0/5$  واحد است و شوری از سطح تا عمق تقریباً یکنواخت است. به علاوه تغییرات شوری در سطح بین  $12-13/6$  در حوضه جنوبی است.

در سال‌های اخیر یکی از مهمترین و اساسی‌ترین علایق و محورهای تحقیقاتی اقیانوس‌شناسی بررسی مشخصات اکولوژیکی آب دریاها است. ارگانیزم‌های حاوی کلروفیل-آ اولین مرحله از تولید در اغلب زنجیره‌های غذایی است و وجود و یا کمبود این فرآیندهای تولیدی اولیه بر صحت دیگر ترازهای غذایی در دریای خزر موثر است. آب‌های کم عمق

ماهواره‌های صورت گرفته است [۷ و ۸]. ساختار عمودی غلظت کلروفیل آ و تغییرات آن در لایه‌های عمیق تر دریای خزر در بخش‌های جنوبی هنوز به مطالعات و شناخت بیشتر دارد [۷ و ۸]. هدف از این تحقیق مطالعه تغییرات غلظت کلروفیل در آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر است. برای این منظور تغییرات توزیع کلروفیل در ماه‌های مختلف در منطقه نزدیک نوشهر با استفاده از اندازه‌گیری‌های درجا (in situ) ارزیابی شده است.

## ۲- روش کار

منطقه مورد مطالعه در مجاورت بندر نوشهر در بخش میانی آب‌های ساحلی جنوب دریای خزر در نظر گرفته شده است. به منظور داده‌برداری، ایستگاه‌های ثابت اندازه‌گیری در منقه فلات قاره جنوبی دریای خزر در نظر گرفته شد و در ماه‌های مختلف سال عملیات داده برداری انجام شد. این مطالعه براساس اندازه‌گیری‌های میدانی برداشت داده توسط دستگاه‌های متداول در علم اقیانوس‌شناسی فیزیکی انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها به روش نیم‌رخ‌برداری پارامترهای فیزیکی آب دریا و توسط شناور مجهز به وینچ، کابل فولادی و جرثقیل صورت گرفت. داده‌های برداشت شده پس از تخلیه از حافظه دستگاه‌ها، کنترل کیفیت و پردازش اولیه، آماده ترسیم نمودارهای متداول در علم اقیانوس‌شناسی فیزیکی گردید و پس از آن مورد تحلیل و نتیجه‌گیری قرار گرفت. براساس نتایج مطالعات انجام شده توسط توژیلکین و همکاران (Tuzhilkin and Kosarev, 2005) ماه‌های میانی هر فصل بهترین زمان برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی آب دریای خزر است [۴].

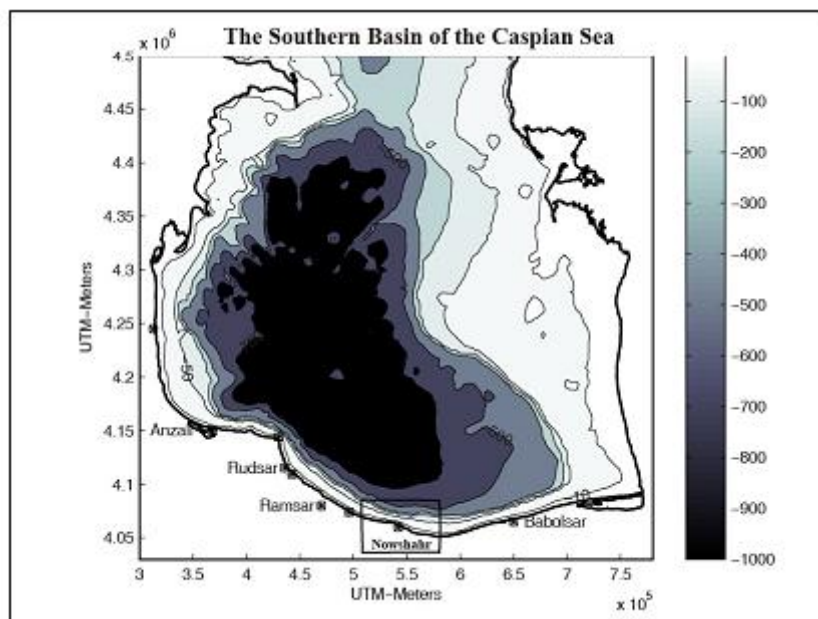
پارامترهای اندازه‌گیری در این ماه‌ها می‌تواند به خوبی رژیم و مشخصات استاتیکی مربوط به آن فصل را ارائه نماید. هزینه عملیات‌های میدانی در دریا، تهیه و اجاره دستگاه و شناور مناسب، بیمه تجهیزات و نفرات از محدودیت‌های موجود در مسیر اجرای اینگونه مطالعات فیزیک دریایی می‌باشد. عملیات‌های نیم‌رخ‌برداری در ایستگاه‌های اندازه‌گیری ثابت در فصول مختلف سال و در راستای مقاطع عرضی عمود بر خط ساحلی انجام شد. هر مقطع عرضی متشکل از چندین ایستگاه اندازه‌گیری با فواصل تقریباً یکسان در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد (جدول شماره (۱)).

شمالی دریای خزر و بخش‌های میانی و جنوبی آن از نظر مشخصات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی با یکدیگر تفاوت دارند. غلظت‌های کلروفیل در بخش‌های مختلف دریای خزر توسط فاکتورهای مهمی نظیر دمای هوا و آب دریا، اثر باد بر روی مناطق مختلف دریا و تخلیه آب رودخانه‌های ولگا و اورال تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۷].

در مناطق عمیق‌تر خزر میانی و جنوبی، ساختار حرارتی و لایه‌بندی ستون آب دریا غلظت‌های کلروفیل را تنظیم می‌نماید. در مناطق اشاره شده، ساختار حرارتی و لایه‌بندی فصلی بر توزیع فیتوپلانکتون غلظت و کلروفیل اثر می‌گذارد. در بخش کم عمق شمالی دریای خزر تغییرات فصلی و کوتاه مدت توده‌های فیتوپلانکتون تحت اثر تخلیه آب شیرین رودخانه‌های بزرگ شمالی است. در کل، غلظت‌های کلروفیل-آ در بخش شمالی بیش از مقادیر آن در بخش‌های میانی و جنوبی است [۷].

الگوی فصلی غلظت کلروفیل بر اساس مشاهدات SeaWiFS در سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۷ نشان داد که بیشترین مقدار در بخش‌های جنوبی دریای خزر در لایه زیر سطحی در میانه تابستان بوده است. یک افزایش مقدار ماکزیمم غلظت کلروفیل در بخش‌های میانی و جنوبی دریای خزر در تابستان سال ۲۰۰۱ مشاهده گردید [۷-۸]. این پدیده با تغییرات شرایط فیزیکی نظیر دمای آب و وزش باد مرتبط نبود بلکه برخی از محققین معتقد بودند که ناشی از افزایش ترازهای فیتوپلانکتون و افزایش میزان گونه‌های مهاجم در بخش‌های جنوبی و میانی خزر بوده است [۷-۸]. در مجموع می‌توان گفت غلظت و میزان کلروفیل-آ یکی از شاخص‌های مطالعه شرایط سلامت هر اکوسیستم دریایی است. تغییرپذیری کلروفیل ممکن است به عنوان یک نشانگر شرایط اکولوژیکی در محیط زیست دریایی باشد.

در سال‌های اخیر توده آبی دریای خزر تحت تأثیر و تهدید بهره‌برداری شدید، تخلیه مقادیر انبوه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و کشاورزی بوده است که اکوسیستم آن را تهدید به نابودی می‌کند [۲ و ۳ و ۹ و ۱۰]. برای مثال یک بی‌نظمی بزرگ مقیاس شکوفایی جلبکی در بخش جنوب دریای خزر در سال ۲۰۰۵ مشاهده و ثبت شد. شکوفایی جلبکی ناشی از افزایش بی‌رویه و شاخص غلظت کلروفیل آ در آب دریای خزر بود [۸]. در مطالعات گذشته پایش ترازهای کلروفیل-آ در دریای خزر جنوبی بر اساس داده‌های برداشت شده



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه، بخش جنوبی دریای خزر و مناطق مهم بندری در راستای خط ساحلی (محل داده برداری در آبهای ساحلی استان مازندران، منطقه نوشهر می باشد که ایستگاههای اندازه گیری در راستای مقطع عرضی عمود بر ساحل انجام شده است.

توسط کاربر دستگاه و با بکارگیری محلولهای مرجع ارائه شده توسط شرکت سازنده می باشد. مرحله سوم نیز توسط کاربر دستگاه در منطقه مورد مطالعه و با استفاده از Log Sheetهای دستگاه و اعمال ضرائب موجود در راهنمای دستگاه انجام می شود. در عملیات نیمرخ برداری براساس دستورالعمل شرکت سازنده، دستگاه CTD با سرعت ۱ متر بر ثانیه در ایستگاههای اندازه گیری از سطح تا بستر دریا پایین فرستاده شده است. مقادیر کلروفیل-آ موجود در آب دریا توسط سنسور فلوئورومتر دستگاه CTD و با تابش نور مرئی بین یک چشمه فرستنده و یک ورودی گیرنده اندازه گیری و توسط حافظه دستگاه ثبت می شود.

فراهم شدن مقدمات، امکانات و اعتبارات لازم به همراه شرایط خوب جوی و دریایی در برنامه ریزی عملیاتیهای میدانی عوامل تأثیرگذار و تعیین کننده بودند. تنظیمات دستگاه در مد Timed Data Acquisition برای اندازه گیری پارامترهای مورد نظر لحاظ گردید. خطای سنسور دمای دستگاه در حدود یک هزارم سانتی گراد، سنسور شوری یک هزارم psu و خطای سنسور فلوئورومتر (کلروفیل-آ) در حدود ۵ هزارم واحد است. داده های برداشت شده پس از اتمام عملیات میدانی توسط نرم افزارهای ویژه از دستگاه تخلیه و پس از کنترل کیفیت جهت پردازش با نرم افزارهای مرتبط آماده گردید.

جدول (۱) مشخصات زمانی و مکانی اندازه گیری های میدانی در آبهای ساحلی بندر نوشهر

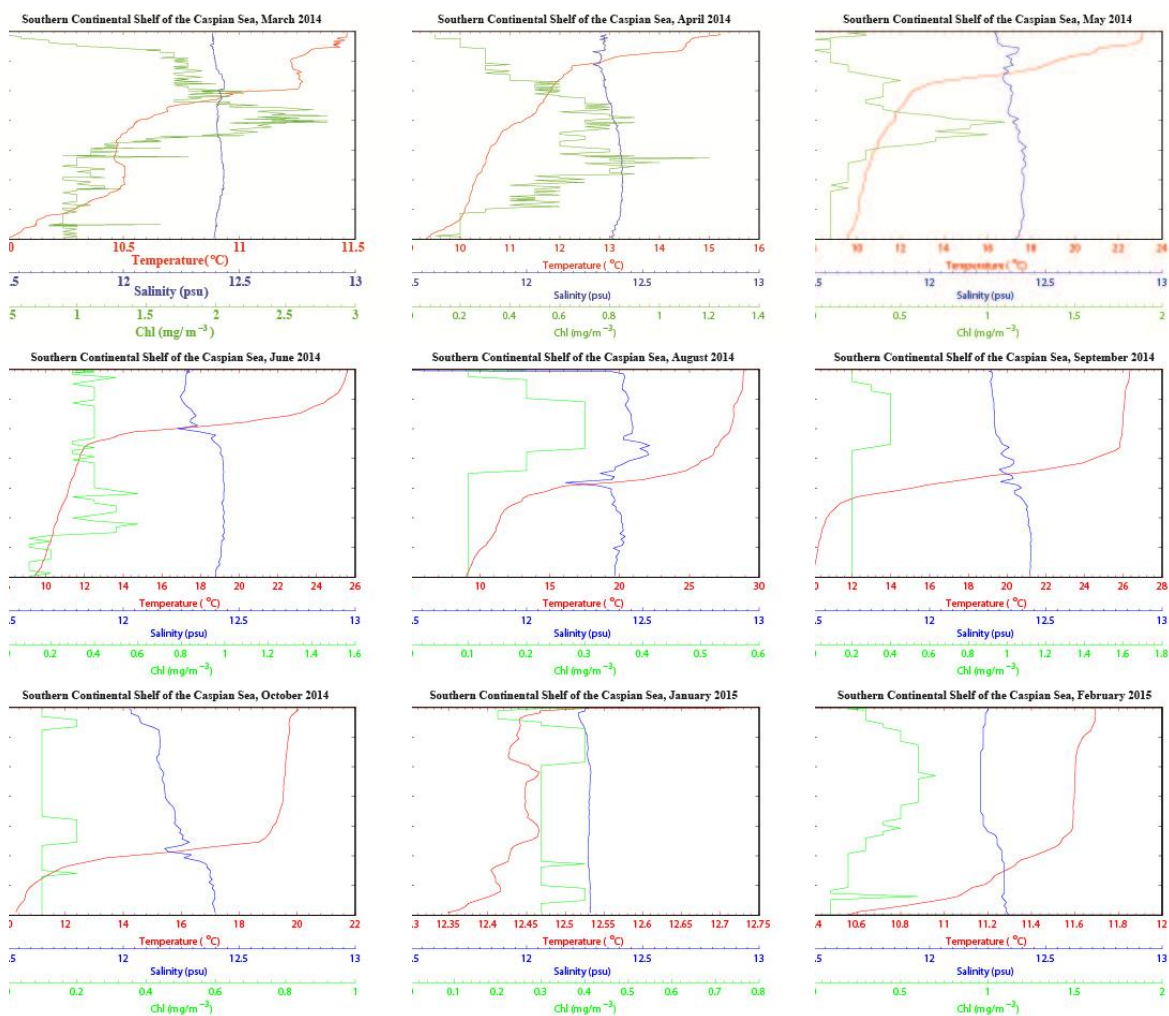
| مراحل | زمان اندازه گیری | مختصات ابتدای ترانسکت      | مختصات انتهای ترانسکت        |
|-------|------------------|----------------------------|------------------------------|
| ۱     | مارچ ۲۰۱۴        | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۲     | آوریل ۲۰۱۴       | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۳     | می ۲۰۱۴          | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۴     | ژوئن ۲۰۱۴        | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۵     | اگوست ۲۰۱۴       | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۶     | سپتامبر ۲۰۱۴     | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۷     | اکتبر ۲۰۱۴       | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۸     | ژانویه ۲۰۱۵      | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |
| ۹     | فوریه ۲۰۱۵       | N 36 39 53<br>E 51 32 20.6 | N 36 41 55.9<br>E 51 33 33.2 |

ایستگاههای اندازه گیری به گونه ای توزیع شدند که بتوان ساختار فیزیکی و تغییرات پارامترهای آب دریا را در ستون آب از سطح تا نزدیکی بستر در عمقهای مختلف به خوبی مورد بررسی قرار داد. کالیبراسیون (و یا واسنجی) سنسورهای دستگاه به سه روش مختلف انجام می شود. اول کالیبراسیون های سالانه که توسط کارخانه سازنده بر روی سنسورها انجام شده و حساسیت و خطای آنها تنظیم و تصحیح می شود. مرحله دوم در آزمایشگاه فیزیک دریا و

## ۳- نتایج و بحث

افزایش یافته است و لایه بندی ستون آب و تشکیل لایه شیب حرارتی (ترموکلاین) به خوبی در نمودار قابل تشخیص است. در ماه مارچ اختلاف دمایی بین مرز بالایی و پایینی ترموکلاین تازه تشکیل شده حدود ۱۰ درجه بوده است. در اوایل فصل تابستان تشکیل سه لایه اختلاط سطحی، شیب حرارتی و عمقی را می توان در نمودارهای ترسیم شده بر اساس داده های ثبت شده مشاهده نمود. اندازه گیریهای ماه ژوئن نشان داد که دمای سطحی حدود ۲۵/۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد داشته است. در زمان مذکور ترموکلاین حدوداً بین عمق های ۱۰ تا ۳۰ متری واقع شده است و اختلاف دمایی آن حدود ۱۲/۵ درجه (بین ۲۵ و ۱۲/۵ درجه) به ثبت رسیده است. در زیر تراز ۳۰- متر نیز لایه عمقی با شرایط دمایی کمتر از ۱۲ درجه در نمودار متمایز است.

ساختار داده های برداشت شده، دمای سطحی آب در ماه مارچ تقریباً ۱۱/۵ درجه سانتیگراد بوده است که با کاهش حدود ۱۰ درجه در عمق حدود ۷۰ متر رسیده است. در زمان مذکور لایه بندی مشهود و قوی در ستون آب مشاهده نشده است. با گذشت زمان و در اوایل بهار به تدریج دمای ستون آب از سطح افزایش یافته و به حدود ۱۵ درجه رسیده است. نمودار ترسیم شده برای دمای ستون آب در ماه آوریل نشان می دهد که ستون آب دریا در حال تشکیل و ایجاد لایه بندی از بخش سطحی است و در نهایت دمای آب اختلاف بیشتری را در راستای عمود نسبت به ماه مارچ ثبت نموده است. درجه حرارت آب در سطح دریا در ماه می به بش از ۲۲/۵ درجه



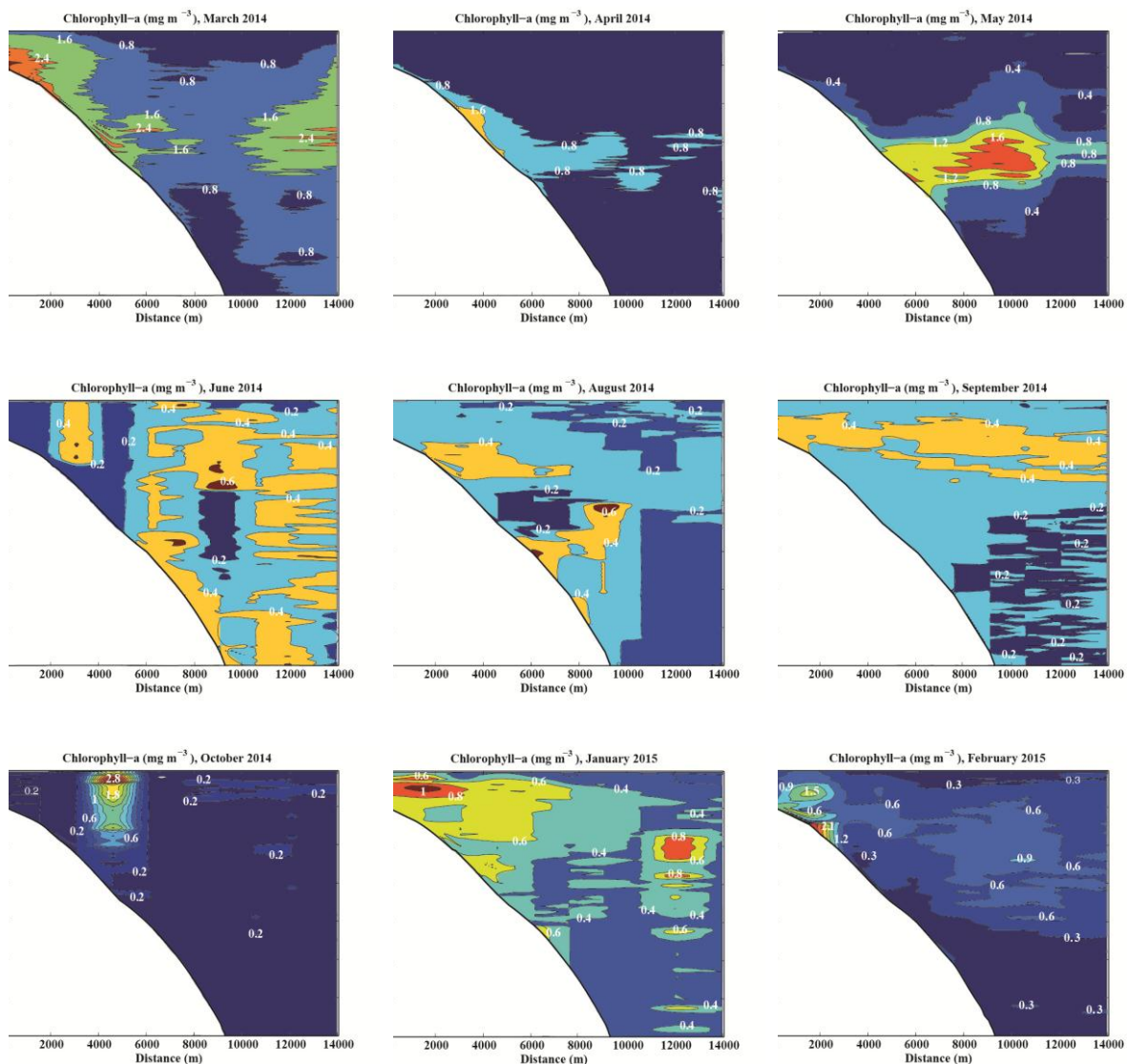
شکل (۲) تغییرات عمودی پارامترهای دما، شوری، کلروفیل در ماههای مختلف سال

راهنمای اشکال: در شکل های ترسیم شده، تغییرات درجه حرارت آب دریا با رنگ قرمز، تغییرات شوری با رنگ آبی و تغییرات نیمرخ کلروفیل با رنگ سبز نشان داده شده است.

ماه‌های مارچ و آوریل و همچنین زانویه و فوریه تدریجی و ملایم بوده است و در ماه‌های گرم سال اختلاف عمودی و نرخ تغییرات عمودی قابل توجه و زیاد مشاهده شده است. براساس داده‌های ثبت شده در ماه سپتامبر لایه اختلاط سطحی با ضخامت حدود ۳۰ متر و با درجه حرارت  $۲۶/۵-۲۶$  درجه سانتیگراد در سطح قرار گرفته است. در مقایسه با نمودار و ساختار دمایی ماه آگوست، در ماه سپتامبر لایه اختلاط سطحی به عمق‌های پایین‌تر گسترش یافته و به نوعی تعمیق لایه اختلاط سطحی اتفاق افتاده است. در این شرایط لایه اختلاط سطحی از مرز پایینی خود شروع به استهلاک لایه ترموکلاین نموده است.

در میانه فصل تابستان و در ماه آگوست لایه‌بندی ستون آب در منطقه مورد مطالعه در پایدارترین و قویترین شرایط خود در طول ماه‌های اندازه‌گیری قرار داشته است. لایه اختلاط سطحی با حداقل ضخامت ۲۰ متر و دمای حدود  $۲۸/۵$  درجه سانتیگراد در سطح ستون آب قرار داشته است.

لایه شیب حرارتی در ماه آگوست دارای ضخامت حدود ۳۰ متر و بین عمق‌های ۲۰ تا ۵۰ متر در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. اختلاف دمایی مرز بالایی و پایینی لایه ترموکلاین حدود ۱۶ درجه سانتیگراد ثبت شده است. در این زمان دمای آب از  $۲۹-۲۸/۵$  در سطح به  $۹/۵$  درجه در عمق ۷۰ متری کاهش یافته است. تغییرات عمودی دمای آب در



شکل (۳) مقاطع عرضی تغییرات غلظت‌های کلروفیل در ماه‌های مختلف سال

راهنمای اشکال: در نمودارهای ترسیم شده غلظت‌های بیشتر کلروفیل -آ با رنگ‌های قرمز و زرد مشخص شده است.

دست می‌آورد. در فصل پاییز با تغییر شرایط جوی و آب دریا لایه‌بندی ستون آب دریا به سوی اضمحلال پیش می‌رود و لایه‌های ترموکلاین و پیکنوکلاین فصلی در ستون آب به تدریج از بین می‌روند. این روند (فرآیند) رشد فیتوپلانکتون و افزایش غلظت کلروفیل-آ را به دلیل افزایش نوترینت‌ها (مواد مغذی) در ستون آب دریا را در پی دارد. در فصل پاییز ضخامت لایه ترموکلاین به دلیل افزایش انرژی جنبشی و اغتشاش دینامیکی کاهش می‌یابد و لایه اختلاط سطحی از سوی مرز پایینی به عمق گسترش می‌یابد. و به اصطلاح اقیانوس‌شناسان فرآیند تعمیق لایه اختلاط سطحی (deepening of the Surface Mixed layer) رخ می‌دهد [۱۱]. این پدیده باعث ایجاد جریانات مختلف ناشی از تعادلات گرمایی، فشاری و جریانات بادرانده (wind driven current) در راستای افقی و عمود ستون آب و جابجایی مواد مغذی از بستر به لایه‌های بالایی می‌شود. در فصل بهار تغییرات عمودی مقادیر کلروفیل در منطقه فلات قاره قابل توجه بوده است. بیشترین مقدار ثبت شده کلروفیل آ در مقایسه بین داده‌های برداشت شده در ماه‌های آوریل و می حدود ۱/۶ میلی گرم بر متر مکعب بوده است. نمودارهای ترسیم شده برای ماه‌های مارچ، آوریل و می مقادیر بیشتر و ترازهای بالاتر کلروفیل-آ را در عمق حدود ۳۰ تا ۴۰ متر بر روی منطقه فلات قاره را به خوبی مشاهده می‌شود. این احتمال وجود دارد که ورودی مواد مغذی توسط آب رودخانه‌ها و جریانات نزدیک ساحل باعث افزایش نوترینت‌ها در محدوده عمق مذکور باعث افزایش کلروفیل در ماه‌های مذکور باشد که در نمودارها مشاهده می‌شوند. به طور کلی مقادیر برداشت شده در ماه‌های مارچ، آوریل و می از ترازهای کلروفیل در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر بوده است. توزیع مقادیر کلروفیل-آ نشان می‌دهد که غلظت‌های با عمق کاهش نسبی داشته است به گونه‌ای که مقادیر در زیر لایه ۵۰ متری به کمترین میزان رسیده است. که این پدیده نیز به دلیل کاهش نفوذ نور خورشید در این لایه می‌تواند باشد. معمولاً بیشترین مقادیر در لایه سطحی ثبت شده و کمترین مقادیر با توجه به کمبود نور خورشید در لایه‌های زیرین و عمقی اندازه‌گیری شده است. مقایسه نتایج مطالعات انجام شده توسط جمشیدی و همکاران در سال ۲۰۰۸ در منطقه رودسر نشان داد بیشترین مقادیر تا بیش ۳/۸ و کمترین مقادیر در آنجا ۰/۱

در ماه سپتامبر لایه شیب حرارتی حدود ۲۰ متر ضخامت داشته (۱۰ متر کاهش نسبت به ماه آگوست) و با اختلاف دمایی حدود ۱۵ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود. در عمق دود ۷۰ متری دمای آب بین ۱۰ تا ۱۰/۵ درجه بوده است. در ماه اکتبر لایه اختلاط سطحی بسیار قدرتمند و پایدار و با ضخامت ۴۰ متر و با درجه حرارت ۲۰ سلسیوس به خوبی در سطح آب دریا قرار گرفته است. در زیر آن لایه شیب حرارتی تضعیف شده و با ضخامت کمتر از ۲۰ متر و اختلاف دمایی ۸ درجه سانتیگراد قرار گرفته است. روند استهلاک و اضمحلال لایه شیب حرارتی در ماه ژانویه کامل شده و اثری از لایه شیب حرارتی در ستون آب مشاهده نشد. لایه سطحی از سطح آب تا عمق حدود ۸۰ متری با درجه حرارت ۱۲/۵-۱۲ درجه ثبت شده است. در ماه فوریه دمای آب در لایه سطحی ۱۱/۵ بوده و در عمق ۷۰ متری به حدود ۱۰/۵ درجه کاهش یافته است. در مجموع روند تغییرات لایه‌بندی ستون آب از ابتدای بهار آغاز شده، در میانه تابستان به بیشترین و قویترین حالت خود رسیده و در فصل پاییز به سمت ضعیف شدن و کاهشی پیش رفته است. در ابتدای فصل زمستان اثری از لایه شیب حرارتی (ترموکلاین) مشاهده نشد. مقایسه داده‌های چگالی با داده‌ها و ساختار دما چنان می‌نماید که لایه شیب چگالی عمدتاً در محل قرارگیری لایه شیب حرارتی تشکیل شده است و با توجه به کم بودن قدرمطلق عدد شوری آب دریای خزر به تغییرات چگالی آب دریا عمدتاً از تغییرات دمایی آب پیروی کرده و ساختاری مشابه دارند. تغییرات ماهیانه شوری آب دریا در منطقه عمدتاً بین ۱۲ تا ۱۲/۵ واحد بوده و در برخی موارد که بارندگی و جریان رودخانه‌ای قوی وجود نداشته (مانند ماه‌های اکتبر و ژانویه)، مناطق نزدیک ساحل تحت تأثیر ورودی آب شیرین بوده است. نتایج مطالعه تغییرات ماهیانه غلظت‌های کلروفیل-آ در منطقه میانی قاره جنوبی دریای خزر مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج این تحقیق مشاهده شد که مقادیر کلروفیل-آ در بیشتر از سایر زمانهای اندازه‌گیری بوده است. چندین عامل مهم نظیر لایه‌بندی اختلاط ستون آب دریا و دمای آب به خوبی بر ترازهای کلروفیل-آ تأثیرگذار هستند. عمدتاً بیشترین مقادیر کلروفیل در لایه‌های بالایی در زیر سطح آب دریا مشاهده شده است. این به دلیل آن است که لایه‌های سطحی در منطقه بیشترین میزان نور و گرما را به



نمونه بارز این موضوع را در نمودار ترسیم شده برای ماه اکتبر می توان جستجو نمود. از سوی دیگر با توجه به میزان آب تخلیه شده از رودخانه ها و مواد مغذی موجود در آنها می توان انتظار داشت که در زمان های مختلف سال میزان افزایش و تغییر تراز کلروفیل در نواحی نزدیک ساحل متفاوت باشد.

در اینجا مناسب است نتایج پژوهش جاری را با نتایج تحقیق [۱۳] مقایسه نمود که ترازهای بالای مواد مغذی و پدیده ای شکوفایی جلبکی در منطقه خزر جنوبی و ارتباط آن با مقادیر بیشینه فیتوپلانکتون ها و کلروفیل-آ را مورد بررسی قرار داده است. داده برداری و تغییرات کلروفیل در این تحقیق کاملاً در دامنه تغییرات اندازه گیری ها و تحقیق انجام شده در سال ۲۰۰۸ توسط نصراله زاده و همکاران قرار دارد و همانگونه که مشاهده می شود بیشترین مقادیر غلظت های کلروفیل در لایه زیر سطحی متمرکز و تجمع داشته است. Nezhlin در سال ۲۰۰۵ گزارش کرده که غلظت های کلروفیل در دریای خزر به چند عامل مهم نظیر تخلیه رودخانه ها و دمای آب دریا در مناطق مختلف ارتباط دارد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر می توان گفت که تغییرات غلظت کلروفیل در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر دمای آب در ماه های مختلف، لایه بندی و گرمای لایه های سطحی و زیر سطحی است [۱۳-۱۴].

مطالعات انجام شده در طی این تحقیق هیچ گونه شکوفایی جلبکی و یا افزایش شدید کلروفیل-آ را در منطقه نشان نداد. در حالیکه در سنوات قبل و طبق مشاهدات ماهواره ای و داده های اندازه گیری شده در مناطق جنوبی و به ویژه بخش شرقی بخش جنوبی دریای خزر مقادیر فزاینده کلروفیل دیده و گزارش شده است. یکی دیگر از مواردی که بر ساختار لایه بندی و تغییرات پارامترهای مختلف آب دریا و کلروفیل در منطقه موثر است پدیده های فراجوشی و فروجوشی است که در منطقه مورد مطالعه و در خلال این تحقیق پدیده های مذکور نیز مشاهده نشد.

#### ۴- نتیجه گیری

تغییرات مکانی و زمانی توزیع کلروفیل-آ و اثر مولفه های فیزیکی و لایه بندی ستون آب بر آن مورد مطالعه قرار گرفت. عملیات میدانی در آبهای نواحی جنوبی دریای خزر

میلی گرم بر متر مکعب بوده است. بیشترین مقادیر عمدتاً در لایه ۱۵ متری بوده و در عمق ۸۰ متری به ۰/۱ میلی گرم بر متر مکعب رسیده است [۱۲].

مقایسه نتایج اینطور نشان می دهد که بیشترین مقادیر توزیع کلروفیل عمدتاً محدود به لایه های سطحی و ترموکلاین بوده و در زیر تراز عمق ۵۰ متری بسیار ناچیز بوده است. در مقایسه با نتایج تحقیقاتی دیگر توسط Nezhlin 2005 دامنه و محدوده اعداد و غلظت ها، محدوده داده های برداشت شده در تحقیق حاضر را تأیید می نماید [۷].

در شرایط نرمال اغلب مقادیر کمتر از ۵ میلی گرم بر متر مکعب گزارش شده است. الگوی تغییرات ماهیانه غلظت کلروفیل نشان دهنده آن است که دامنه تغییرات در نزدیکی دهانه رودخانه ها، تالابها و خلیج هایی که در روی آب حامی املاح و مواد مغذی هستند عمدتاً تحت تأثیر بیشتر از مناطق دور از ساحل بوده است. در مناطق دور از ساحل غلظت ها عمدتاً تحت تأثیر لایه بندی گرمایی در ستون آب بوده است. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات اندیشمندان و محققین ایرانی و روسی نشان می دهد که بیشترین ترازها و مقادیر در ایستگاه های اندازه گیری دور از ساحل بیشتر در لایه زیر سطحی و در محل قرارگیری لایه شیب حرارتی یا شیب چگالی مشاهده شده است [۱۱].

می توان چنین نتیجه گیری نمود که در برخی از موارد لایه بندی و لایه شیب چگالی ممکن است به صورت یک دیوار طبیعی آب گرم و شفاف لایه سطحی و زیر سطحی را از لایه نزدیک بستر دریا که غنی از مواد مغذی (نوترینت ها) است جدا می کند. برخی از محققین معتقدند که دهانه رودخانه ها، تالابها و نواحی ساحلی جنوب دریای خزر تقریباً توسط منابع ناشی از گسترش فعالیت های انسانی در مناطق و شهرهای ساحلی آلوده شده اند [۲ و ۳ و ۹ و ۱۰] به دلیل قرارگیری منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در نزدیکی چند رودخانه در اطراف نوشهر و چالوس ترازهای اندازه گیری شده قابل توجه بوده است و در برخی از موارد هم می توان افزایش غیر طبیعی در برخی از ایستگاه ها را مشاهده نمود. که ممکن است ناشی از تخلیه رسوبات انتقال داده شده از حوضچه بندر به فواصل دورتر باشد. این انتظار وجود دارد این رسوبات حاوی مواد مغذی به نوعی پراکنش طبیعی و روند نرمال کلروفیل-آ را در منطقه برهم زده است.



- of Environmental Chemistry, Vol.5, pp.33-57, 2005.
- [5] Kosarev, A.N., "Phsico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. In: The Caspian Sea Environment", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry, Vol.5, pp.5-31, 2005.
- [6] IAEA (International Atomic Energy Agency), Research/Training on the Caspian Sea. Data Report 1995, Vienna, 95 p, 1996.
- [7] Nezlin N.P., "Pattern of Seasonal and Interannual Variability of Remote Sensed Chlorophyll. In: The Caspian Sea Environment, Kostianoy", A.G. and A.N. Kosarev, (Eds.). Vol.5, part P. Germany: Springer-Verlag, pp.143-1157, 2005.
- [8] Kideys A.E, A. Roohi, E. Eker-Develi, F. Melin and D. Beare, "Increased Chlorophyll Levels in the Southern Caspian Sea Following an Invasion of Jellyfish". Research Letter Ecology, pp.1-4, 2008.
- [9] Korshenko A.N. and A.G. Gul, "Pollution of the Caspian Sea. In: The Caspian Sea Environment, Kostianoy", A.G. and A.N. Kosarev, (Eds.). Vol.5, part P. Germany: Springer-Verlag, pp.109-142, 2005.
- [10] Zonn, I. S., Environmental Issues of the Caspian. In: Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry, Vol.5, pp.223-242, 2005.
- [11] 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, pp.564-569, 2007.
- [12] Jamshidi, S., "Concentration of Chlorophyll-a in Coastal Waters of Rudsar", Research journal of Environmental Science, Vol.4, pp.383-391, 2010.
- [13] 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, Vol.28, pp.1153-1165, 2008.
- [14] Roohi, A., Yasin, Z., Kideys, A. E., Hawai, 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. Vol.29, pp.421-434, 2008.

و با استفاده از دستگاه نمونه بردار پارامترهای آب دریا در ماههای مختلف سال برنامه‌ریزی و اجرا شد.

نتایج نشان داد، بیشترین مقدار غلظت کلروفیل-آ در لایه‌های زیرسطحی و بین اعماق ۵ تا ۱۵ متر و یا در برخی موارد در مرز لایه شیب گرمایی قرار داشته است. در ماههایی که گاه و ورودی آب رودخانه‌های محلی در نواحی نزدیک خط ساحل بیشتر بوده است غلظت‌های بیشینه و حدود ۲.۵ میلی‌گرم بر مترمکعب نیز اندازه‌گیری و ثبت شده است. ساختار کلی نشاندهنده کاهش میزان غلظت کلروفیل-آ در ستون آب در لایه‌های پایینی به خصوص زیر لایه شیب گرمایی (ترموکلاین) می‌باشد. در لایه‌های میاناب در برخی موارد غلظت‌های کلروفیل تا ۰.۱ میلی‌گرم بر مترمکعب هم ثبت شده است. ارزیابی‌ها نشان داد که لایه زیر سطح از ۵ متر تا حد پایینی لایه شیب گرمایی لایه مناسبی برای ترازهای بالاتر کلروفیل در فصول و ماههای مختلف بوده که تحت تاثیر میزان نور وارد شده به آب دریا، لایه‌بندی و پایداری ستون آب قرار داشته است. نتایج این تحقیق می‌تواند در مطالعات محیطی، صنایع شیلاتی (پرورش ماهی در قفس) و سلامت محیط زیست دریایی مورد توجه قرار گیرد.

#### تقدیر و تشکر:

این تحقیق با کمک مالی و حمایت معنوی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی انجام شده است. نتایج ارائه شده در این نوشتار در قالب طرح تحقیقاتی نویسنده مقاله با کد ۰۵-۰۲۰-۰۱-۰۱۲-۰۳۹۶ به دست آمده است.

#### ۵- مراجع

- [1] Dumont, H. J. "The Caspian Lake: History, Biota, Structure, and Function", Limnology and Oceanography, Vol.43, No.1, pp.44-52, 1998.
- [2] Kosarev, A.N., Kostianoy A. G., "Introduction. In: The Caspian Sea Environment". Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry. Vol.5, pp.1-3, 2005.
- [3] Zonn, I. S., Economic and International Legal Dimensions. In: Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook of Environmental Chemistry, Vol.5, pp.243-256, 2005.
- [4] Tuzhilkin, V.S., Kosarev, A.N., "Thermohaline Structure and General Circulation of the Caspian Sea Waters. In: Caspian Sea Environment", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Handbook