

## ارزیابی پایداری ستون آب و جریان در سواحل جنوبی دریای خزر

سیامک جمشیدی

Jamshidi@inio.ac.ir

استادیار پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران

### چکیده

براساس گزارشات و تحقیقات مختلف دریای خزر به عنوان یک منبع غنی منابع نفت و گاز و ماهیان خاویاری محسوب می شود. در سالهای اخیر بخشهای جنوبی دریای خزر به لحاظ گسترش صنعت گردشگری و شیلاتی (پرورش ماهی در قفس) مورد توجه قرار گرفته است. از اینرو در پژوهش حاضر که براساس نتایج داده برداری و اندازه گیری میدانی می باشد به بررسی مشخصات دینامیکی و پایداری ستون آب پرداخته شده است. پارامترهای مذکور با انتشار آلاینده ها، زباله های دریایی، سلامت شناگاهها و صنعت گردشگری و همچنین اثرات زیست محیطی توسعه قفسهای پرورش ماهی در قفس مرتبط است. از سوی دیگر می تواند زمینه ساز یک اقدام مهم در ارزیابی و بهره برداری مستمر و پایدار از توده های آبی باشد. در این مقاله با استفاده از جریان سنج های اتوماتیک و دستگاه اندازه گیر مشخصات فیزیکی و انجام برخی محاسبات و آنالیزهای اقیانوس شناختی به بررسی دینامیک آب منطقه جنوبی دریای خزر پرداخته شده است. ضمن بررسی مشخصات فیزیکی ستون آب و پایداری که در زمانهای لایه بندی دریا بیشتر مشاهده شده است، به جریانات دریایی نیز اشاره شده است. داده های برداشت شده جریان در منطقه فلات قاره نشان داد که روند کلی گردش آب در منطقه از سمت شمال غرب (غرب) به سمت شرق با سرعت حدود یک متر بر ثانیه بوده است. ساختار فیزیکی ستون آب نشان داد که، در فصل پاییز ستون آب در منطقه ساحلی عمدتاً در لایه اختلاط سطحی قرار گرفته است و تغییرات عمودی پارامترهای فیزیکی از سطح تا بستر کم است. ساختار فیزیکی آب دریا در اواخر فصل پاییز و اوائل زمستان نشان دهنده شروع اضمحلال لایه بندی ستون آب در منطقه مورد مطالعه بود. داده های ثبت شده توسط دستگاههای ترازسنج نشانده کاهش تراز آب دریا به اندازه حدود یک متر بوده است.

**واژگان کلیدی:** فلات قاره، ساختار فیزیکی، پارامترهای دینامیکی، پایداری ستون آب.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۷/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۷/۰۸/۲۲

## ۱- مقدمه

دریای خزر بزرگترین توده آبی محصور در خشکی در جهان، براساس ویژگی‌های جغرافیایی و شرایط دینامیکی و فیزیکی مختلف، به سه بخش خزر شمالی، خزر میانی و خزر جنوبی قابل تقسیم می‌باشد. آب دریا در بخش خزر شمالی کم عمق و کم شور بوده و بیشینه عمق دریای خزر در بخش جنوبی آن قرار دارد [۱]. حدود ۱۳۰ رودخانه بزرگ و کوچک به داخل دریای خزر می‌ریزد که اکثر رودخانه‌های مهم و اصلی در سواحل شمالی و غربی دریای خزر واقع شده و در بخش شرقی دریای خزر عملاً رودخانه دائمی وجود ندارد. رودخانه‌های ولگا، اورال، کورا، ترک، سمور و سولک بیشترین سهم آب ورودی به دریای خزر را تشکیل داده و درصد کمی از آب ورودی به دریای خزر توسط رودخانه‌های کوچکی در سواحل ایران تامین می‌شود [۲-۴]. در قسمت جنوبی دریای خزر رودخانه سفیدرود مهمترین رود ورودی به دریای خزر است. دریای خزر تحت تاثیر نوسانات اکولوژیک گسترده‌ای طی ۳۰ سال اخیر بوده است که سبب ورود آلودگی منابع آبی ورودی در بخش جنوبی دریای خزر به سموم کشاورزی، ارگانوکلره، مواد زائد صنعتی و خانگی شده است. در سالهای اخیر بخشهای جنوبی دریای خزر به لحاظ گسترش صنعت گردشگری و شیلاتی (پرورش ماهی در قفس) مورد توجه قرار گرفته است. از اینرو در پژوهش حاضر که براساس نتایج داده برداری و اندازه‌گیری میدانی می‌باشد به بررسی مشخصات دینامیکی و پایداری ستون آب پرداخته شده است. پارامترهای مذکور با انتشار آلاینده ها، زباله های دریایی، سلامت شناگاه‌ها و صنعت گردشگری و همچنین اثرات زیست محیطی توسعه قفسهای پرورش ماهی در قفس مرتبط است. از سوی دیگر می‌تواند زمینه ساز یک اقدام مهم در ارزیابی و بهره‌برداری مستمر و پایدار از توده‌های آبی باشد. هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی پایداری ستون آب و جریان در بخش میانی سواحل جنوبی دریای خزر است.

## ۲- روش انجام کار

## ۲-۱- اندازه‌گیری‌ها و نمونه‌برداری‌های میدانی

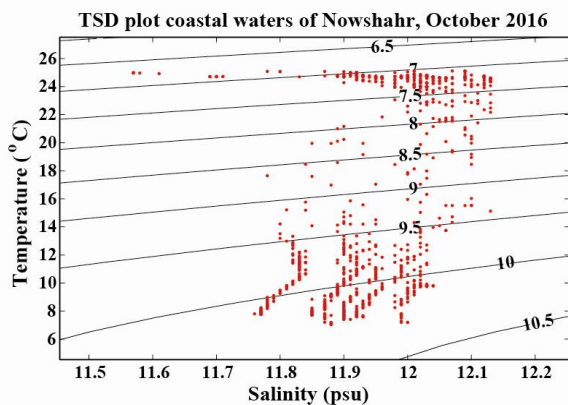
اندازه‌گیری و ثبت داده‌های جریان توسط دستگاه جریان‌سنج اتوماتیک انجام شده است. این دستگاه بطور

معمول در منطقه فلات قاره نصب می‌شود و داده‌های جریان را ثبت می‌کند. داده‌های پایداری ستون آب از محاسبه داده‌های فیزیکی بدست می‌آید. ثبت پارامترهای فیزیکی آب دریا توسط دستگاه CTD در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در راستای مقاطع عمود بر خط ساحلی انجام شد. داده‌های فیزیکی آب دریا به وسیله یک دستگاه (Ocean Seven ۳۱۶) CTD شرکت IDRONAUT کشور ایتالیا اندازه‌گیری شده است. دستگاه مذکور قبل از اجرای عملیات دریایی در آزمایشگاه مرکز دریای خزر وابسته به پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی واسنجی گردید. دستگاه CTD برای برداشت پارامترهای مذکور در مد داده‌برداری زمانی (Timed Data Acquisition) تنظیم گردید. در حین انجام اندازه‌گیری میدانی در دریا، دستگاه CTD با سرعت ۱ متر بر ثانیه در ستون آب از سطح دریا تا نزدیکی بستر پایین فرستاده شد.

## ۲-۲- تصحیح و محاسبه پارامترهای شوری و چگالی

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 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. 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، پیتر و همکاران [۵] با استفاده از داده‌های برداشت شده از دریای خزر توسط سازمان بین‌المللی انرژی اتمی روابطی را برای کالیبراسیون مقادیر داده‌های شوری و چگالی آب دریای خزر را ارائه کردند که در روابط (۱) و (۲) آورده شده است. در تحقیق حاضر نیز از روابط (۱) و (۲) که دقیق‌تر از موارد قبلی بیان گردیده، استفاده شده است.

ترموکلاین و آب عمیق را در ستون آب نشان داده‌اند. داده‌های توده آب عمیق (Deep water mass) با دمای کم و شوری زیادتر در بخش پایین نمودار، و داده‌های لایه‌های سطحی و ترموکلاین با دمای بیشتر در بخش بالایی در نمودار به خوبی مشهود است. پراکندگی داده‌های آب عمیق کم بوده اما در مورد داده‌های آب لایه ترموکلاین پراکندگی مذکور بیشتر بوده است. معمولاً در فصل پاییز لایه‌بندی نسبت به ماههای فصل تابستان ضعیفتر بوده است اما هنوز داده‌ها وجود سه لایه سطحی، ترموکلاین و آب عمیق را در ستون آب نشان داده‌اند. پراکندگی داده‌های آب عمیق کم بوده اما در مورد داده‌های آب لایه ترموکلاین پراکندگی مذکور بیشتر بوده است.



شکل (۱) نمودار دما-شوری-چگالی، اکتبر ۲۰۱۶

شکل شماره ۲ نمودار T-S-D را برای داده‌های اندازه‌گیری شده در ماه دسامبر نشان می‌دهد. درجه حرارت داده‌های برداشت شده در این فصل در بازه حدودی ۱۵٫۲-۱۴٫۶ درجه سانتی‌گراد و شوری حدود ۱۱٫۹-۱۱٫۶ گرم بر لیتر قرار گرفته است. داده‌های اندازه‌گیری شده در این ماه نشان داد که لایه‌بندی در ستون آب وجود ندارد. پراکندگی داده‌های آب کم بوده و دامنه تغییرات چشمگیر نیست. در این ماه لایه‌بندی ستون آب دریا تقریباً از بین رفته بنابراین داده‌های نمایش داده شده در نمودار خطوط همچگال کمتری را قطع نموده‌اند. بررسی نمودارهای دما-شوری-چگالی به خوبی تغییرپذیری لایه‌بندی ستون آب و توده‌های مختلف آب دریا را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. براساس نتایج این تحقیق و مقایسه با پژوهشها و اندازه‌گیری‌های قبلی می‌توان گفت، لایه‌بندی در ماه‌های سردتر سال که،

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

$$\rho_{Solution}(T, S, p) = \rho_{Sea}(T, 0, p) + f(T, p)(\rho_{Sea}(T, S, p) - \rho_{Sea}(T, 0, p)) \quad (2)$$

که در آن چگالی آب با استفاده از فرمول‌های یونسکو 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 و با استفاده از اندازه‌گیری‌های دما و فشار و با احتساب شوری صفر است [۶-۷].

### ۳- نتایج و بحث

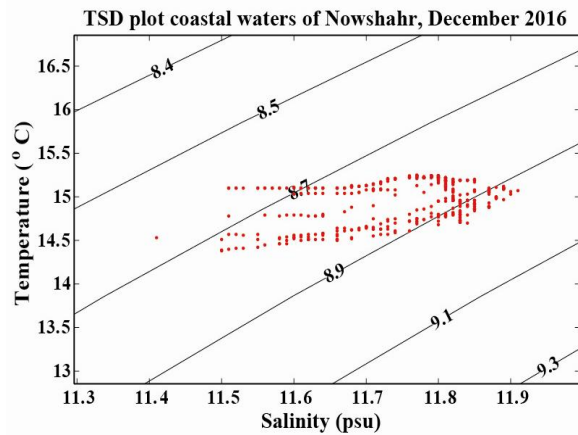
#### ۳-۱- لایه بندی و پایداری ستون آب

یک از روشهای مناسب و مفید که اقیانوس‌شناسان معمولاً برای بررسی داده‌های دریایی و اقیانوسی استفاده می‌کنند، ترسیم تغییرات دما، شوری و چگالی در ستون آب و مقایسه این داده‌ها با مشاهدات انجام شده در دیگر مناطق اقیانوس‌ها است. این داده‌ها می‌تواند به صورت نمودارهای دما-شوری-چگالی ترسیم شود. منحنی‌های با چگالی (سیگماتی) ثابت در این نمودار، غیر خطی بودن معادله حالت را نشان می‌دهد. داده‌های ایستگاهی ترسیم شده بر روی نمودارهای T-S-D جهت بررسی اطلاعات کیفی روی میزان لایه‌بندی در ستون آب نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال در لایه‌های بالایی خطی که داده‌های مختلف اندازه‌گیری را به هم متصل می‌کند چندین خط سیگماتی را نیز قطع می‌کند و این نشان می‌دهد که لایه‌بندی قوی است. در لایه‌های عمیق‌تر خطوط چگالی خیلی آهسته‌تر و با شدت کمتر و ضعیف‌تر توسط خطوط اتصال دهنده داده‌ها قطع می‌شوند و این نشان می‌دهد که لایه‌بندی ضعیف‌تر است.

شکل شماره ۱ نمودار T-S-D را برای داده‌های اندازه‌گیری شده در ماه اکتبر در فصل پاییز نشان می‌دهد. درجه حرارت داده‌های برداشت شده در این فصل در بازه حدودی ۲۵-۷٫۵ درجه سانتی‌گراد و شوری حدود ۱۲٫۱-۱۱٫۸ گرم بر لیتر قرار گرفته است. داده‌های اندازه‌گیری شده در این ماه نشان داد که لایه‌بندی ستون آب دریا هنوز قابل توجه بوده و داده‌ها وجود سه لایه سطحی،

نمودارهای فرکانس پایداری مربوط به ایستگاه‌های اندازه‌گیری آب عمیق براساس تغییرات عمودی چگالی آب دریا در ماه اکتبر و دسامبر در شکل‌های ۴-۶ و ۴-۷ ارائه شده است. همانطور که در نمودارهای ترسیم شده مشاهده می‌شود، در لایه‌های فوقانی گرادیان عمودی شدیدتر چگالی باعث نوسانات بیشتر و با پریود کوتاهتر (در حد چند دقیقه) همراه است. ولی در لایه‌های آب عمیق که عدد پایداری از مرتبه  $10^{-8}$  تا  $10^{-6}$  است پریود نوسانات در حد چند ساعت است. در این حالت، با توجه به عمق ایستگاه‌های اندازه‌گیری (کمتر از ۵۰۰ متر) اثر تراکم‌پذیری خیلی محسوس نیست و قابل اغماض بوده است. در توافق با محاسبات انجام شده توسط محققین روسی [۵] برای دیگر مناطق دریای خزر، مقادیر پایداری در اغلب موارد مثبت بوده است. سهم گرادبان عمودی درجه حرارت در پایداری به صورت بسیار مشهود بیشتر از سهم گرادبان شوری در ستون آب مشاهده گردید. نمودارها نشان‌دهنده مقادیر زیاد پایداری استاتیکی در چند ده متر اول ستون آب هستند که بیانگر وجود ترموکلاین-پیکنوکلاین فصلی در ستون آب دریا در منطقه مورد مطالعه در ماه اکتبر است. این حالت در نمودارهای پایداری ترسیم شده برای ماههایی که لایه بندی ستون آب وجود دارد به وضوح دیده شده است، اما در زمان اندازه‌گیری‌ها در ماه دسامبر که لایه‌بندی حرارتی قوی وجود نداشته است، کمتر مشاهده شد. در زمان اندازه‌گیری در ماه دسامبر نمودار پایداری حتی در عمق‌های زیادتر هم دارای نوسانات زیاد بوده است که می‌تواند به دلیل عدم وجود لایه‌بندی قوی و شاید وجود تلاطم در ستون آب بوده باشد. بیشینه مقادیر فرکانس پایداری در لایه سطحی در ماه اکتبر  $0.1271 \times 10^{-3}$  برمجذور ثانیه و بیشینه مقدار آن در لایه زیرین آن  $0.06213 \times 10^{-3}$  برمجذور ثانیه محاسبه شده است.

تغییرات عمودی درجه حرارت ستون آب کم بوده است، خیلی ضعیف و در ماه‌های گرم سال که گرادبان عمودی ستون آب دریا قابل توجه بوده قوی دیده شد.



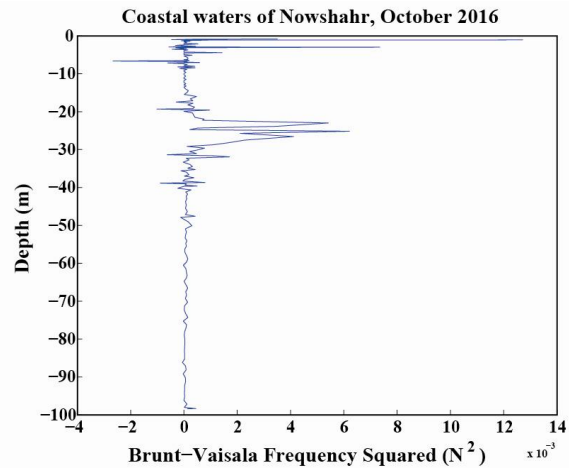
شکل (۲) نمودار دما-شوری-چگالی، دسامبر ۲۰۱۶

داده‌های برداشت شده تعداد قابل توجهی از خطوط همچگال را قطع نموده است که نشان دهنده وجود لایه‌بندی ستون آب دریا بوده است. در این زمان پراکنش داده‌ها در نمودار نشان‌دهنده نواحی آب عمیقتر و آب سطحی بوده است. شایان توجه است در نمودار از سمت داده‌های سطحی به سمت داده‌های لایه‌های آب عمیق بر تراکم داده‌ها افزوده شده است و داده‌ها تقریباً بر روی یک خط قرار گرفته‌اند.

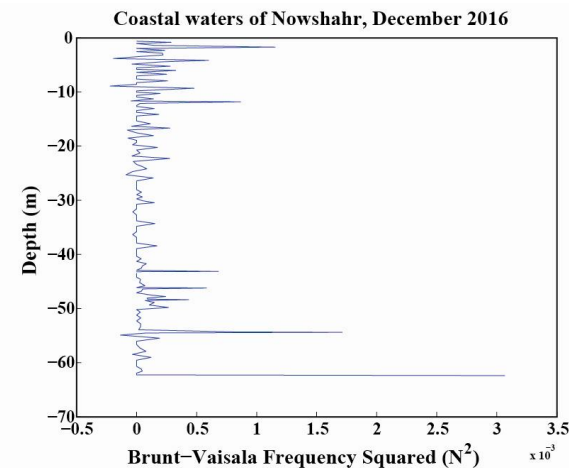
در راستای اندازه‌گیری دما، شوری و محاسبه چگالی، پارامتر دیگری به نام فرکانس برانت وایسالا که پایداری محلی ستون آب را بیان می‌کند قابل محاسبه است. تغییرات عمودی چگالی آب دریا متأثر از تغییرات دما، شوری و چگالی است. نیمی از افزایش چگالی آب دریا در لایه ۲۰۰ متر بالایی ستون آب در اقیانوس‌ها مشاهده می‌شود. نرخ نرمال شده افزایش چگالی را پایداری می‌نامند. با توجه به نمودارهای نیم‌رخ عمودی و مقاطع عرضی ارائه شده دما، شوری و چگالی، بیشترین تغییرات در لایه ۵۰ متر بالایی و بعضاً تا نزدیکی عمق ۲۰۰ متری در دریای خزر در زمان اندازه‌گیری‌ها مشاهده شده است. معیار دیگری برای بررسی پایداری ستون آب دریا و یا به عبارتی گرادبان عمودی چگالی، فرکانس برانت وایسالا و یا فرکانس پایداری  $(N = \frac{1}{T} = (gE)^{1/2})$  است.

فرکانس پایداری را فرکانس لایه‌بندی (Stratification Frequency) نیز می‌نامند.

استفاده شد. نیمرخ‌های عمودی پارامترهای دما، شوری و چگالی در ماه دسامبر نشان می‌دهد که تغییر پارامترهای مذکور از سطح تا نزدیکی بستر کم بوده است، که این حاکی از آن است که تقریباً ستون آب آمیخته بوده است. از سوی دیگر براساس داده‌های برداشت شده می‌توان دریافت که در آب‌های ساحلی در ماه اکتبر ضخامت لایه اختلاط سطحی بیش از ۲۳ متر بوده است. در حالی که نیمرخ‌های پارامترهای مذکور در ماه دسامبر نشان از عدم وجود یک لایه‌بندی قوی در ستون آب و ایجاد تغییرات هرچند کم در هر سه پارامتر دارد. ساختار فیزیکی آب همچنین نشان می‌دهد که تقریباً شوری آب دریا در هر دو زمان نزدیک به ۱۲ واحد بوده 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 سطح کاهش داشته است. مقادیر شوری هم در اغلب موارد تغییراتی کمتر از ۰٫۵ واحد نشان می‌دهد. می‌توان گفت، شوری کمتر آب دریا در نزدیکی خط ساحلی تحت تأثیر عوامل ساحلی نظیر ورودی رودخانه‌های محلی است. مطالعات انجام شده بر روی ساختار فیزیکی آب دریای خزر با استفاده از داده‌های برداشت شده و مقایسه آنها با دیگر تحقیقات انجام شده [۸-۱۱] نشان می‌دهد، که از اواسط فصل پاییز با سرد شدن تدریجی هوا روند استهلاک و اضمحلال لایه‌بندی آغاز شده است. از اواخر فصل پاییز روند اضمحلال لایه‌بندی قویتر شده و در فصل زمستان به حالت حدی خود یعنی از بین رفتن کامل لایه‌بندی برسد. در زمان اندازه‌گیری‌ها در ماه اکتبر ساختار حرارتی آب منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود یک لایه ترموکلاین ضعیف به پهنای کمتر از ۱۰ متر بین اعماق ۲۰ تا ۳۰ متری است. در فصل پاییز ضخامت لایه مخلوط سطحی حدود ۳۰ متر مشاهده گردید. با کاهش درجه حرارت لایه مخلوط سطحی، گرادیان درجه حرارت در عرض ترموکلاین کاهش یافته و در زمستان لایه ترموکلاین تقریباً مستهلک شده است. داده‌های برداشت شده بخوبی نشان‌دهنده عمیق شدن لایه سطحی در طی ماه آخر فصل پاییز می‌باشد.



شکل (۳) نمودار فرکانس پایداری در ستون آب دریا در ماه اکتبر



شکل (۴) نمودار فرکانس پایداری در ستون آب دریا در ماه دسامبر

اندازه‌گیری‌های ماه اکتبر نشان داد که در این ماه نیز لایه‌بندی سه‌گانه و تغییرات چگالی باعث ایجاد یک پیک تقریباً قابل توجه در نوسانات پایداری آب دریا در نمودار قابل مشاهده است. فرکانس پایداری در ماه دسامبر نشان داد که بیشینه مقدار در لایه سطحی حدود  $0.001154 \times 10^{-3}$  برمجذور ثانیه و در لایه‌های پایین‌تر حدود  $0.003067 \times 10^{-3}$  برمجذور ثانیه ایجاد شده است. در ماه دسامبر ساختار فیزیکی آب دریا لایه‌بندی را نشان نداده است.

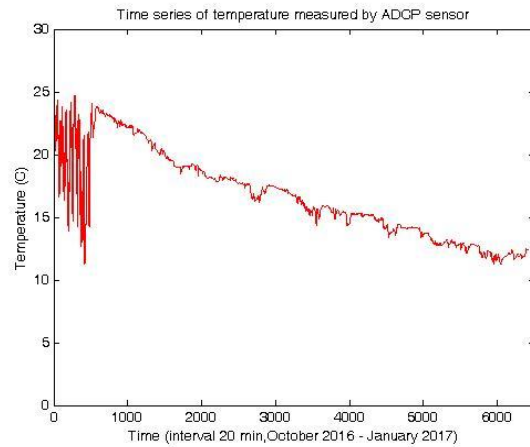
### ۳-۲- پارامترهای فیزیکی و دینامیکی

به منظور بررسی ساختار تغییرات پارامترهای فیزیکی آب دریا از داده‌های برداشت شده توسط دستگاه CTD

ناپایداری‌هایی وجود دارد که می‌تواند در برخی موارد باعث ایجاد امواج داخلی و جریانات باشد.

جریانات غالب در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شمال غربی و غربی است و معمولاً سرعتها حدود  $1 - 0.9$  m/s است. با افزایش عمق و نزدیک شدن به بستر فلات قاره سرعت جریانات کم شده است. شکل شماره ۵ سری زمانی دمای آب دریا در محل قرارگیری جریان‌سنج (سنسور دمای دستگاه جریان‌سنج) را نشان می‌دهد.

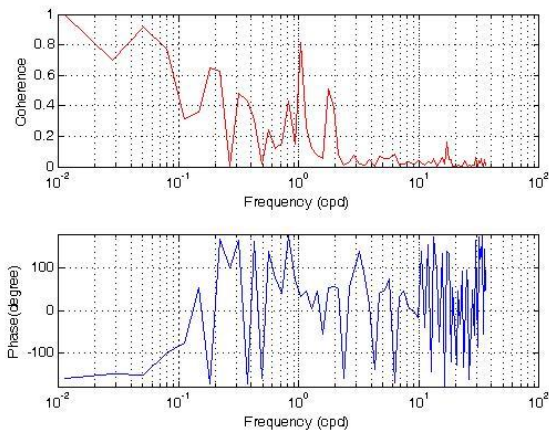
سری زمانی دمای آب به خوبی روند نزولی دمای عمق مربوطه را در طی پاییز و اوایل زمستان نشان می‌دهد. تغییرات و نوسانات زیاد در دوره اولیه سری زمانی که بعضاً حدود  $7-8$  درجه سانتیگراد بوده است که می‌تواند ناشی از تغییرات روزانه و هفتگی دمای هوای منطقه باشد. پس از مدتی که هوای منطقه کلاً رو به سردی رفته است تقریباً سری زمانی الگوی کاهشی با نوسانات کمتری را نشان می‌دهد. در اواخر سری زمانی هنگامی است که



شکل (۵) سری زمانی درجه حرارت آب دریا در عمق ۲۲ متر بر منطقه فلات قاره

در سالهای اخیر سواحل جنوبی دریای خزر به لحاظ ورود حجم فزاینده آلاینده‌ها و افزایش صنایع پرورش ماهی در قفس بسیار حائز اهمیت شده است. از اینرو بررسی تغییرات و الگوی تغییرات پارامترهای فیزیکی و دینامیکی آب دریا بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و دینامیکی از ۷ اکتبر ۲۰۱۶ تا ۴ ژانویه ۲۰۱۷ انجام شده است. ساختار فیزیکی در ابتدای نصب جریان‌سنج کاملاً مشخص و سه لایه است در ماه اکتبر. لایه اختلاط سطحی تا عمق ۲۲ متر است و لایه ترموکلاین از ۲۲ تا ۳۰ متر گسترش یافته و زیر لایه ۳۰ متر دما به تدریج تا عمق ۱۰۰ متر کاهش می‌یابد.

تغییرات شوری آب دریا از سطح تا لایه‌های حدود ۱۰۰ متر در منطقه خیلی قابل توجه نبوده و عمدتاً حدود ۱۲٫۵ تا ۱۲ بوده است. تغییرات چگالی عمدتاً تحت تأثیر تغییر دمایی و فشار آب بوده است. تغییرات سرعت صوت در آب دریا هم تقریباً مشابه چگالی آب بیشتر تحت تأثیر تغییرات عمودی درجه حرارت آب دریا است. دینامیک بادهای منطقه بر اساس داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد که اغلب جریانات دریایی منطقه تابع وزش باد در منطقه می‌باشد. البته در برخی موارد هم مشاهده می‌شود که سمت و سوی جریانات دریایی از رژیم باد منطقه پیروی نمی‌کند که می‌تواند ناشی از اثر امواج دوراً و خارج از منطقه سیرکولیشن کلی خزر باشد. اندرکنش جریانات و لایه‌بندی هم نکته دیگری است که در این گونه مطالعات قابل بررسی است. با توجه نمودارهای پایداری ستون آب مشاهده می‌شود که در مرز لایه‌های مختلف



شکل (۶) اسپکتروال آنالیز (تحلیل طیفی فاز و کوهرنسی) سری زمانی داده‌های جریان لایه سطحی آب دریا در منطقه فلات قاره

ستون آب کلاً از نظر دمایی یکنواخت و مخلوط بوده است. و تحت تأثیر دمای هوای منطقه بوده است.

تغییر دمای آب در محدوده زمانی اندازه‌گیری توسط سنسور دمای جریان‌سنج از حدود ۲۵ درجه سانتیگراد به حدود ۱۱ درجه سانتیگراد رسیده است. شکل شماره ۶ اسپکتروال آنالیز (تحلیل طیفی فاز و کوهرنسی) سری زمانی داده‌های جریان سطحی آب دریا در منطقه فلات قاره را نشان می‌دهد. جریانات دریایی و گردش کلی آب دریای خزر در بخش جنوبی آن یک عمدتاً مسیر



تا عمق حدود ۵۰ متر تحت تأثیر اثر باد و تلاطم جوی و دریایی قرار می‌گیرد.

#### ۴- نتیجه گیری

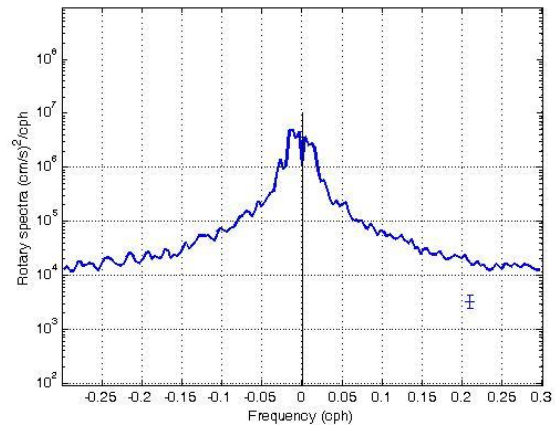
تغییرات ساختار فیزیکی، پایداری ستون آب، پارامترهای دینامیکی و همچنین فرایند لایه‌بندی و اختلاط در بازه زمانی اندازه‌گیری‌ها مورد بحث و ارزیابی قرار گرفت. نوشتار براساس نتایج داده‌برداری و اندازه‌گیری میدانی می‌باشد به بررسی مشخصات دینامیکی و پایداری ستون آب پرداخته شده است. پارامترهای مذکور با انتشار آلاینده‌ها، زباله‌های دریایی، سلامت شناگاه‌ها و صنعت گردشگری و همچنین اثرات زیست محیطی توسعه قفسهای پرورش ماهی در قفس مرتبط است. از سوی دیگر می‌تواند زمینه‌ساز یک اقدام مهم در ارزیابی و بهره‌برداری مستمر و پایدار از توده‌های آبی باشد. در این مقاله با استفاده از جریان‌سنج‌های اتوماتیک و دستگاه اندازه‌گیر مشخصات فیزیکی و انجام برخی محاسبات و آنالیزهای اقیانوس‌شناختی به بررسی دینامیک آب منطقه جنوبی دریای خزر پرداخته شده است. ضمن بررسی مشخصات فیزیکی ستون آب و پایداری که در زمانهای لایه‌بندی دریا بیشتر مشاهده شده است، به جریان‌های دریایی نیز اشاره شده است. ساختار فیزیکی ستون آب نشان داد که، در فصل پاییز ستون آب در منطقه ساحلی عمدتاً در لایه اختلاط سطحی قرار گرفته است و تغییرات عمودی پارامترهای فیزیکی از سطح تا بستر کم است. ساختار فیزیکی آب دریا در اواخر فصل پاییز و اوائل زمستان نشان دهنده شروع اضمحلال لایه‌بندی ستون آب در منطقه مورد مطالعه بود. نتایج تحلیل پایداری نشان داد که تغییرات و پیکهای قابل توجه در نیمرخ ترسیم شده در زمان وجود لایه‌بندی در اوایل دوره اندازه‌گیری در مرز لایه‌های مختلف ستون آب مانند ترموکلاین بوده است. در زمان دیگر اندازه‌گیری در ماه دسامبر تغییرات و نوسانات نمودار گسترده و از نظم کمتری نسبت به نمودار ماه اکتبر برخوردار است.

#### تقدیر و تشکر

این تحقیق با کمک مالی و حمایت معنوی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی انجام شده است. نتایج ارائه

پادساعتگرد را ایجاد می‌کند که بیشتر ناشی از تغییرات فشار هوا، میدان‌های وزش باد ورودی‌های آب شیرین رودخانه‌ها می‌باشند. جریان‌های دریایی در سواحل جنوبی دریای خزر عمدتاً باعث ایجاد برخی مشکلات از قبیل انتقال رسوب و تغییر عمق بنادر تجاری و صیادی، پخش آلودگی در مناطق توریستی و شناگاه‌ها و ایجاد جریان‌های شکافنده در نزدیکی خط ساحلی و تهدید جان انسانها می‌شود. شکل شماره ۷ تحلیل اسپکترال (طیفی) سری زمانی داده‌های جریان سطحی در منطقه فلات‌قاره را نشان می‌دهد.

آنالیز داده‌های برداشت شده جریان آب دریا در منطقه نشان داد که مولفه موازی ساحل کمی قویتر از مولفه



شکل (۷) تحلیل اسپکترال (طیفی) سری زمانی داده‌های جریان سطحی در منطقه فلات‌قاره

عمود بر ساحل بوده است. مولفه‌های جریان در منطقه به دو جهت قابل ملاحظه هستند. یکی آنکه جریان‌های باعث جابجایی شدید رسوبات، مواد اضافی و فضولات قفسهای پرورش ماهی در منطقه و پخش شدن آن در منطقه فلات قاره می‌شود. همچنین انتشار و حمل آلاینده‌ها و مواد خروجی از فعالیتهای شهری، روستایی و صنعتی و انتقال آنها به سمت مناطق و نواحی شرقی و تجمع آنها می‌نماید. در فصل پاییز با شدت گرفتن بادهای منطقه که عمدتاً از سمت شمال و شمال غرب هستند و افزایش انرژی جنبشی جو، دینامیک و حرکت ستون آب افزایش یافته و باعث اختلاط ستون آب می‌شوند. از اینرو عمق لایه مخلوط بالایی (سطحی) افزایش یافته و از بخش زیرین خود لایه ترموکلاین را مستهلک می‌کند. این حالت به علت افزایش جریان‌های ناشی از باد ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر با شدت یافتن جریان در ستون آب بخشهای بالایی

- [۶] UNESCO, "Background papers and supporting data on the practical salinity scale ۱۹۷۸". UNESCO technical papers in marine science, Nr. ۳۷, ۱۹۸۱a.
- [۷] UNESCO, "Background papers and supporting data on the International Equation of state of Sea Water ۱۹۸۰". UNESCO technical papers in marine science, Nr. ۳۸, ۱۹۸۱b.
- [۸] Zaker N. H., Ghaffari P. and Jamshidi S., "Physical study of the southern coastal waters of the Caspian Sea, off Babolsar, Mazandaran in Iran", Journal of Coastal Research. SI ۵۰: ۵۶۴-۵۶۹, ۲۰۰۷.
- [۹] Zaker, N.H., Ghaffari, P., Jamshidi, "Currents on the Southern Continental Shelf of the Caspian Sea off Babolsar, Mazandaran, Iran". Journal of Coastal Research, SI ۶۴ (Proceedings of the ۱۱th International Coastal Symposium),. Szczecin, Poland, ISSN ۰۷۴۹-۰۲۰۸, ۲۰۱۱.
- [۱۰] Jamshidi, S. and N.A. Bakar, "Seasonal Variations in Temperature, Salinity and Density in the Southern Coastal Waters of the Caspian Sea", Oceanology, Vol. ۵۲, No. ۳, p. ۳۸۰-۳۹۶, ۲۰۱۲.
- [۱۱] Jamshidi S. and N.A. Bakar, "Variability of Dissolved Oxygen and Active Reaction in Deepwater of the Southern Caspian Sea, Near the Iranian Coast", Polish Journal of Environmental Studies, Vol. ۲۰, No. ۵, p. ۱۱۶۷-۱۱۸۰, ۲۰۱۱.
- شده در این نوشتار در قالب طرح تحقیقاتی با کد ۳۹۵-۰۱۲-۰۱-۰۲۰-۰۳ به دست آمده است.
- ۶- منابع**
- [۱] Kostianoy, A.G. and Kosarev, A.N., "The Caspian Sea Environment", The Handbook of Environmental Chemistry . Volume: ۵p, ۲۰۰۵.
- [۲] Leonov, A.V. and Nazarov, N.A., "Nutrient Input into the Caspian Sea with River Runoff", Water Resources. Volume ۲۸, Issue ۶, pp ۶۵۶-۶۶۵, ۲۰۰۱.
- [۳] Tuzhilkin, V.S., Katunin, D.N. and Nalbandov, Y.R., "Natural chemistry of Caspian Sea waters", In A. G. Kostianoy & A. N. Kosarev (Eds.) The Caspian Sea Environment, Berlin, Germany: Springer-Verlag, p. ۸۳-۱۰۸, ۲۰۰۵.
- [۴] Tuzhilkin V.S. and Kosarev A.N., "The Caspian Sea Environment", Ed. by A. G. Kostianoy and A. N. Kosarev (Springer-Verlag, Berlin): ۳۳-۵۸, ۲۰۰۵.
- [۵] Peeters, F. and Kipfer, R., "Analysis of deep-water exchange in the Caspian Sea based on environmental tracers". Journal of Deep-Sea Research, I ۴۷: ۶۲۱-۶۵۴, ۲۰۰۰.