



## ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Journal Vertical Structure and Double Diffusion Convection of the Water Column in the Mazandaran Coasts

Ali Akbar Vahedi<sup>1</sup>, Dariush Mansoury<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> Physical Oceanography, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Iran<sup>2</sup> Assistant professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Iran

## ARTICLE INFO

## Article History:

Received: 2021/03/18

Revised: 2021/12/6

Accepted: 2021/08/27

## Keywords:

Stable Stratification  
Finger Regime Research  
Diffusive Regime  
Mazandaran Coasts  
Caspian Sea

\*Corresponding author:

[mansoury@modares.ac.ir](mailto:mansoury@modares.ac.ir)

0000-0003-4190-4498

## ABSTRACT

**Background and Objectives:** Different types of instability occur at sea. Layered structures are one of the most important physical phenomena in marine environments. Static stability and double diffusion are associated with density changes with respect to depth and temperature and salinity gradients, respectively. Due to the difference in temperature and salinity in the water column, marine areas are inherently capable of double diffusion convection. Their study is important because of the effect they have on some oceanic processes (including: changing water stratification, the formation of internal waves, the speed of sound) and even on marine life. In this research, the static stability and double diffusion of the waters of the Caspian coast are investigated.

**Methods:** In this research, field data of temperature, salinity and density of coastal areas of Mazandaran from Ramsar to Babolsar have been used. Measurements were taken in summer (July and August) and late autumn (December). Temperature and salinity parameters directly from field measurements and other parameters (density, buoyancy frequency, density ratio and turner angle, etc.) using temperature and salinity data and related relationships by Excel program (Excel) is calculated. The profiles of temperature, salinity, density, buoyancy frequency and turner angles in the hot and cold seasons have been studied and compared.

**Findings:** Salinity inversion In most stations that have occurred, the thickness of the inversion layer varies from 3 to 10 meters. Most salinity changes in the inversion layer of about 0.5 psu occurred in summer. In the cold season, salinity inversion occurs at lower depths than in the warm season, which can be due to changes in the external factors of the Caspian Sea, including evaporation and rainfall. Also, slight temperature inversion was observed only in two stations with a thickness of 1.5 m and 3 m with temperature changes of 0.3 and 0.7 ° C, respectively. Due to the short range of salinity changes, density changes are mainly affected by temperature. The density ratio in salinity inversion stations is often negative, ie double diffusion convection has not occurred. However, in some stations, especially in the eastern part of the study area, the density ratio is positive and greater than 1, which indicates the occurrence of the phenomenon of double diffusion convection of the weak finger regime.

**Conclusion:** In the Mazandaran beach, due to the absence of inpatient complications, including Absheron, no specific temperature inversion has been observed. The density ratio in these areas is often negative, indicating stability in the water column. In the eastern part of the study area, a larger buoyancy frequency was recorded, which shows greater stability in this area. In deep layers, however, the buoyancy frequency tends to be zero (neutral stability). Also, the diffusive regime was not observed in the studied stations, but in the east of the research area, the finger regime occurred in several stations.

10.52547/joc.13.49.14

©2022 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES

1



NUMBER OF FIGURES

13



NUMBER OF REFERENCES

27

## مقاله پژوهشی (علوم دریایی)

## ساختار قائم و همرفت پخش دوگانه ستون آب سواحل دریایی مازندران

علی اکبر واحدی<sup>۱</sup>، داریوش منصوری<sup>۲\*</sup><sup>۱</sup> دانش آموخته اقیانوس‌شناسی فیزیکی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران<sup>۲</sup> استادیار گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

## اطلاعات مقاله

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** انواع مختلفی از ناپایداری در دریا رخ می‌دهد. ساختارهای لایه‌ای یکی از مهم‌ترین پدیده‌های فیزیکی در در محیط‌های دریایی هستند. پایداری ایستایی و انتشار دوگانه به ترتیب با تغییرات چگالی نسبت به عمق و گرادیان دما و شوری همراه است به دلیل اختلاف دما و شوری در ستون آب، مناطق دریایی ذاتاً قابلیت همرفت پخش دوگانه را دارند. بررسی آنها به دلیل تأثیری بر برخی فرآیندهای اقیانوسی (از جمله: تغییر لایه بندی آب، شکل‌گیری امواج داخلی، سرعت صوت) و حتی بر موجودات دریایی دارند، دارای اهمیت هستند. در این تحقیق پایداری ایستایی و انتشار دوگانه آب‌های سواحل دریایی مازندران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**روش‌ها:** در این تحقیق، از داده‌های میدانی دما، شوری و چگالی نواحی ساحلی مازندران از رامسر تا بابلسر استفاده شده است. اندازه‌گیری‌ها در فصل تابستان (تیر و مرداد) و اواخر فصل پاییز (آذرماه) انجام شده است. مقادیر فراسنج‌های دما و شوری به طور مستقیم از اندازه‌گیری‌های میدانی و دیگر فراسنج‌های (چگالی، فرکانس شناوری، نسبت چگالی و زاویه ترنر و ...) با استفاده از داده‌های دما و شوری و روابط مربوطه به وسیله برنامه اکسل (Excel) محاسبه شده است. نیم‌رخ‌های مربوط به فراسنج‌های دما، شوری، چگالی، فرکانس شناوری و زاویه ترنر در دو محدوده‌ی زمانی فصل گرم و فصل سرد سال مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند.

**یافته‌ها:** وارونگی شوری در اکثر ایستگاه‌هایی که اتفاق افتاده، ضخامت لایه وارونگی آنها از ۱۰-۳ متر در ایستگاه‌های مختلف متغیر است. بیشترین تغییرات شوری در لایه وارونگی حدود ۰/۵ psu در تابستان رخ داده است. در فصل سرد، وارونگی شوری در عمق‌های پایین‌تر نسبت به فصل گرم اتفاق می‌افتد که می‌تواند ناشی از تغییرات در عوامل بیرونی دریای خزر از جمله تبخیر و بارندگی باشد. همچنین وارونگی دمای جزئی فقط در دو ایستگاه به ضخامت ۱،۵ متر و ۳ متر با تغییرات دمایی، به ترتیب، ۰/۳ و ۰/۷ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به علت کم بودن محدوده‌ی تغییرات شوری، تغییرات چگالی به‌طور غالب تحت تأثیر دما است. نسبت چگالی در ایستگاه‌های با وارونگی شوری، غالباً منفی است یعنی همرفت پخش دوگانه رخ نداده است. اما در برخی ایستگاه‌ها، خصوصاً در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه، نسبت چگالی مثبت و بیشتر از ۱ است که وقوع پدیده همرفت پخش دوگانه از نوع رژیم انگشتی ضعیف را نشان می‌دهد.

**نتیجه‌گیری:** در سواحل مازندران، به دلیل عدم وجود عارضه بستری، از جمله مشابه آبشرون، وارونگی دمای مشخصی مشاهده نشده است. نسبت چگالی در این مناطق، اغلب منفی است که بیانگر پایداری در ستون آب است. در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه، مقدار فرکانس شناوری بزرگ‌تری ثبت شد که پایداری بیشتر را در این منطقه نشان می‌دهد هر چند در لایه‌های عمیق، مقدار فرکانس شناوری به سمت صفر میل می‌کند (پایداری خنثی). همچنین رژیم پخشی، در ایستگاه‌های مورد بررسی، مشاهده نشده است ولی در شرق منطقه تحقیق، رژیم انگشتی در چند ایستگاه رخ داده است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۵

## واژگان کلیدی:

چینه بندی پایدار

رژیم انگشتی

رژیم پخشی

سواحل مازندران

دریای خزر

\*نویسنده مسئول

mansoury@modares.ac.ir

+989113251537

id 0000-0003-4190-4498

## مقدمه

عوامل درونی مرزهای آبی، مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب دریاها، از جمله دما، شوری و چگالی است. عوامل بیرونی یا محیطی مؤثر بر وضعیت دریاها، تغییرات فصول که باعث کاهش و افزایش دمای جوی می‌شوند شامل: تابش نور خورشید، وزش باد، ریزش باران، ورود آب رودخانه‌ها، نیروی جاذبه یا گرانشی و حرکت دورانی (تغییر چگالی در لایه‌های مختلف دریاها ناشی از نیروی کریولیس)، هستند. همچنین برای عوامل درونی مؤثر بر وضعیت دریاها، همرفت پخش دوگانه (Double diffusive convection)، وارونگی دما و شوری (Temperature and salinity inversions) را می‌توان نام برد. از تحقیقات اقیانوس‌شناسی فیزیکی می‌توان به شناخت و اندازه‌گیری ویژگی‌های آب‌های اقیانوسی مانند دما، شوری، چگالی، حرکات افقی و عمودی آب دریا اشاره کرد. همچنین مطالعاتی شامل بررسی جریانات جزر و مدی، حرکات ناشی از امواج و باد، حتی شامل مواد حل‌شده در آب دریا نیز است [۱، ۲]. داده‌های اقیانوسی نشان می‌دهند که ویژگی‌های فیزیکی آب دریا در تمام سطوح و لایه‌های افقی و قائم، یکنواخت نیست بلکه فراسنج‌های دما، شوری و چگالی توده‌های آب دریا، متفاوت است و مرز مشخصی بین آن‌ها وجود دارد (نواحی جبهه‌ای)، به طوری که آب دو طرف مرزها به‌سختی در جهت قائم باهم مخلوط می‌شوند [۳]. مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب دریا (نظیر دما، شوری، چگالی، وارونگی دما، وارونگی شوری، اکسیژن محلول و کدورت آب) از مهم‌ترین فراسنج‌های کیفی آب دریا، در بررسی مشخصات اکولوژیکی و حفظ سطح ایمنی محیط زیست دریای خزر به شمار می‌روند. تغییرات دما و شوری ستون آب و از آنجا انتشار دوگانه می‌تواند منجر به تشکیل پله‌های ترموهالین شود که معمولاً در فضای داخلی اقیانوس مشاهده می‌شود [۴]. انتشار دوگانه در دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها می‌تواند تغییرات قائم دما و شوری به پله‌کانی از لایه‌های اختلاط همرفتی تبدیل کند [۵]. شکل‌گیری پله‌کان در این پدیده‌ها، در تنظیم ضخامت لایه تعادل ضروری است [۶]. در برخی مشاهدات ارائه شده، تأثیر عواملی از جمله باران در لایه مرزی سطح اقیانوس و پله‌های ترموهالین نشان داده شده‌اند [۷]. چنین پدیده‌هایی از جمله همرفت پخش دوگانه و وارونگی دما و شوری، توسط داده‌های دما و شوری قابل‌بررسی است [۸، ۹]. جابجایی ستون آب در کوچک مقیاس (small scale) شامل فرآیندهای مربوط به امواج درونی و اثرات همرفت پخش دوگانه در اثر نفوذ گرما از ناحیه گرم‌تر به سردتر (رژیم پخشی) یا نفوذ شوری بیشتر به ناحیه‌ای با شوری کمتر (رژیم انگشتی) که معمولاً همراه با وارونگی دما است) هستند [۱۰]. مفهوم فیزیکی فرآیند همرفت پخش دوگانه، آزاد شدن قسمتی از انرژی پتانسیل توسط گرادیان قائم ناپایدار (دما یا شوری) است [۱۱]. در محیط‌های اقیانوسی ذاتاً همرفت پخش

دوگانه وجود دارد به دلیل اینکه اختلاف شوری و دما در اعماق مختلف آب‌ها مشاهده می‌شود [۱۲]. وقوع پدیده همرفت پخش دوگانه به طور طبیعی و دائمی در بسیاری از اقیانوس‌ها و دریاها ناشی از سه عامل اساسی است: الف) اختلاف دمای قائم، بدین معنی که آب‌های سطحی در مناطق استوایی در اثر تابش خورشید گرمای زیادی دریافت می‌کنند اختلاف دمای بین آب‌های سطحی و آب‌های عمقی سبب بروز جابجایی در آب‌های اقیانوس می‌شوند به این ترتیب که آب گرم سطحی به سمت قطب حرکت می‌کنند در عوض آب‌های سرد از مناطق قطبی از زیر روانه آب‌های غیر قطبی می‌شوند. ب) اختلاف غلظت شوری، بدین معنی که آب‌های سطحی در مناطق استوایی به دلیل شدت میزان تبخیر نسبت به بارندگی دارای غلظت بالایی است در عوض پدیده ته‌نشین شدن املاح نمک در اثر اشباع شدن، باعث می‌شود تا آب مقداری از نمک خود را از دست بدهد و رقیق‌تر شود که این پدیده منجر به جابجایی در ستون آب می‌شود. ج) اختلاف پخش گرما و شوری، سرعت پخش مولکولی گرما (حدود  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) برابر بیشتر از سرعت پخش مولکولی شوری (حدود  $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) است [۱۳]. در مناطقی که آب اقیانوس به‌طور نسبی ساکن است ستون‌های آب شورتر، ته‌نشین می‌شوند در عوض ستون‌های آب با غلظت کمتر و دمای بیشتر میل به صعود دارند. بر این اساس فرآیندهای همرفت پخش دوگانه را می‌توان به سه دسته؛ رژیم انگشتی (Finger regime)، رژیم پخشی (Diffusive regime) و جریان‌های نفوذی (Exchange flows) تقسیم کرد [۱۴، ۱۵]. رژیم انگشتی در امتداد مرز بین لایه‌های کاملاً آمیخته با عمق ۴۰-۵۰ m در اقیانوس اطلس ثبت شد به طوری که در این حالت یک گرادیان افقی شوری در جهت شمال غربی وجود دارد. حضور این لایه‌ها و ویژگی‌های آن به عملکرد گرادیان‌های افقی و قائم دما و شوری (T-S) و انتقال قائم توسط رژیم انگشتی نسبت داده می‌شود [۱۶]. در تحقیقی دیگر با استفاده از اندازه‌گیری میدانی، رژیم پخشی در قسمت‌های زیرین جزایر یخی آب‌های اقیانوس منجمد شمالی گزارش گردید. در این مکان، آب‌های سطحی سرد و با شوری کمتر در بالای آب‌های گرم و شور که منشأ آن از نواحی استوایی اقیانوس اطلس است، قرار می‌گیرد [۱۷]. چینه بندی ناشی از انتشار دوگانه در اقیانوس توسط ساختار پله‌ای متشکل از لایه‌های اختلاط جدا شده از گرادیان بالای دما و شوری مشخص می‌شوند. این لایه‌های انتشار دوگانه که بصورت قائم گرم می‌شوند، در منطقه وسیعی از اقیانوس منجمد شمالی در مرز بالای لایه آب نسبتاً گرم و شور اقیانوس اطلس مشاهده می‌شوند [۱۸]. ساختار لایه‌ای پخشی معمولاً همراه با مشاهدات وارونگی دما در قسمت‌های مختلف اقیانوسی است. بررسی نتایج بدست آمده از پایداری ایستایی و همرفت پخش دوگانه با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در فصول زمستان، بهار و تابستان (۲۰۱۲-۲۰۱۳) در تنگه هرمز نشان می‌دهد هر دو فرآیند انگشتی نمکی و همرفت پخش دوگانه در

فرکانس شناوری و نسبت چگالی و ... با استفاده از داده‌های دما و شوری و روابط مربوطه به وسیله برنامه اکسل (Excel) محاسبه شده است.



شکل ۱ موقعیت شماتیک ایستگاه‌های اندازه‌گیری منطقه تحقیق در دریای خزر

## ۲. بررسی همرفت پخش دوگانه با استفاده از زاویه ترنر (Turner angle)

زاویه ترنر پارامتری است که انتشار دوگانه‌ی دما و شوری در محیط را نشان می‌دهد و به صورت  $TU = \tan^{-1}[1 + R_p/1 - R_p]$  تعریف می‌شود که  $R_p$  نسبت چگالی نامیده می‌شود که برابر است با  $R_p = \beta \Delta S / (\alpha \Delta T)$  و یا  $R_p = \beta S_z / (\alpha T_z)$  که  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب تغییر چگالی، به ترتیب در اثر دما و شوری هستند.  $T_z = \partial T / \partial z$  و  $S_z = \partial S / \partial z$  نیز به ترتیب تغییرات دما و شوری نسبت به عمق هستند [۲۳، ۲۴]. شکل ۲ محدوده‌ی رژیم انگشتی، ناپایداری ایستایی و پایداری مضاعف را برای زوایای ترنر مختلف نشان می‌دهد. رژیم انگشتی هنگامی رخ می‌دهد که  $45^\circ < TU < 90^\circ$  باشد (هر چه زاویه ترنر به ۹۰ درجه نزدیک‌تر شود، این فرایند شدیدتر می‌شود) و رژیم پخشی زمانی رخ می‌دهد که  $-90^\circ < TU < -45^\circ$  باشد (مقدار بیشینه‌ی این فرآیند هنگامی رخ می‌دهد که زاویه ترنر تقریباً  $-90^\circ$  درجه باشد).

بیشتر قسمت‌های این منطقه رخ داده‌اند بطوریکه پدیده انگشتی نمکی در لایه‌های سطحی، به دلیل تبخیر، در اغلب ایستگاه‌ها مشاهده شده است [۱۹]. در دریای عمان (خروجی تنگه‌ی هرمز)، وارونگی دما در فصل گرم تقریباً بین عمق‌های ۱۵۰ m تا ۲۵۰ m رخ می‌دهد که میزان وارونگی دما در ۵۰ m اولیه‌ی این لایه خیلی شدیدتر است. در هر دو فصل گرم و سرد لایه‌ای به عمق تقریبی ۱۰۰ m وجود دارد که وارونگی شوری رخ می‌دهد در هر دو فصل در سراسر ستون آب، چگالی با عمق افزایش می‌یابد. افزایش چگالی با عمق، معرف پایداری ایستایی ستون آب است [۲۰]. همچنین بررسی تغییرات فصلی پایدار و لایه‌بندی ستون آب در بخش عمیق جنوب دریای خزر نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در لایه ۱۰۰ m بالای سطح دریا و به ویژه در لایه ترموکلاین فصلی رخ داده است. روند افزایشی تغییرات قائم شوری در ماه‌های اسفند و فروردین و روند کاهش مقدار قائم شوری در لایه هالوکلاین در ماه‌های مرداد و آبان بوده است. بیشینه مقدار فرکانس پایداری طی زمان‌های اندازه‌گیری در ماه فروردین در لایه ترموکلاین  $1/5 \times 10^{-2}$  مشاهده شد و مقدار کمینه نیز مربوط به اسفندماه در حدود  $1/5 \times 10^{-8}$  مشاهده شد و محاسبه شد [۲۱]. در تحقیقی که در رابطه با وارونگی دما و شوری در دریای خزر انجام شد، وارونگی شوری را بیشتر در اعماق ۳۰-۱۰ m و همچنین وارونگی دمایی را در دو ایستگاه که ضخامت آن ۲-۱ m و شدت آن  $0.4^\circ C$  بوده، گزارش گردید [۲۲].

## روش پژوهش

### ۱. منطقه تحقیق و داده‌های میدانی

در این تحقیق، داده‌های میدانی دما، شوری و چگالی نواحی ساحلی مازندران از رامسر تا بابلسر، با استفاده از دستگاه CTD در دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی (دانشگاه تربیت مدرس) تهیه شده است. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ مشخص شده‌اند. اندازه‌گیری‌ها در فصل تابستان (تیر و مرداد) و اواخر فصل پاییز (آذرماه) انجام شده است (جدول ۱). جهت کاهش خطا و اخذ داده‌های با دقت و کیفیت بالاتر و نیز حذف نسبی ناهنجاری در اندازه‌گیری‌ها، میانگین داده ثبت شده در عمق‌های مختلف در رفت و برگشت ابزار اندازه‌گیری (از سطح به بستر و بالعکس) لحاظ شده است. سپس مرحله پیش‌پردازش در داده‌ها انجام شده است. این مرحله جهت برطرف کردن مشکلات داده‌های اندازه‌گیری انجام شده است. شناسایی و حذف داده‌های مخدوش، حاصل از شرایط اندازه‌گیری و نواقص ذاتی دستگاه، در فرایند پاک‌سازی داده‌ها از جمله عملیاتی است که کیفیت داده را بهبود می‌دهد. در این تحقیق، نیم‌رخ‌های مربوط به فراسنج‌های دما، شوری، چگالی، فرکانس شناوری و زاویه ترنر در دو محدوده‌ی زمانی فصل گرم و فصل سرد سال مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. مقادیر فراسنج‌های دما و شوری به طور مستقیم از اندازه‌گیری‌های میدانی و دیگر فراسنج‌های (چگالی،

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های برداشت داده

تاریخ	عمق (m)	عرض جغرافیایی (°N)	طول جغرافیایی (°E)	ایستگاه
۱۳۹۲/۴/۷	۲۵	۳۶° ۵۷' ۳۵,۶۹"	۵۰° ۴۱' ۳۵,۹۰"	رامسر ۱S - Ra
۱۳۹۲/۴/۷	۳۹	۳۶° ۵۹' ۱۹,۲۳"	۵۰° ۴۲' ۲۷,۶۵"	رامسر Ra - S۲
۱۳۹۲/۴/۷	۵۰	۳۷° ۰' ۱۶,۵۸"	۵۰° ۴۳' ۱۰,۵۳"	رامسر ۳S - Ra
۱۳۹۲/۴/۷	۶۰	۳۷° ۰' ۵۶,۱۱"	۵۰° ۴۳' ۵۶,۷۱"	رامسر ۴S - Ra
۱۳۹۱/۳/۴	۱۳	۳۶° ۳۸' ۵۳,۰۳"	۵۱° ۳۶' ۲,۷۸"	نوشهر ۵S - No
۱۳۹۱/۳/۴	۲۰	۳۶° ۴۰' ۳۰,۳۸"	۵۱° ۳۶' ۳,۵۳"	نوشهر ۶S - No
۱۳۹۱/۳/۴	۴۵	۳۶° ۴۲' ۷,۷۳"	۵۱° ۳۶' ۴,۲۹"	نوشهر ۷S - No
۱۳۹۱/۳/۴	۷۲	۳۶° ۴۳' ۴۵,۰۹"	۵۱° ۳۶' ۵,۰۵"	نوشهر ۸S - No
۱۳۹۰/۴/۱۴	۲۴	۳۶° ۳۸' ۱۹,۳۰"	۵۲° ۹' ۲۳,۹۲"	ایزدشهر ۹S - Iz
۱۳۹۰/۴/۱۴	۴۳	۳۶° ۴۰' ۱,۰۵"	۵۲° ۹' ۲۷,۶۵"	ایزدشهر ۱۰S - Iz
۱۳۹۰/۴/۱۴	۷۲	۳۶° ۴۱' ۵۹,۹۹"	۵۲° ۹' ۸,۰۹"	ایزدشهر ۱۱S - Iz
۱۳۹۰/۴/۱۴	۹۸	۳۶° ۴۳' ۴۶,۸۵"	۵۲° ۸' ۵۲,۵۲"	ایزدشهر ۱۲S - Iz
۱۳۹۱/۵/۱۵	۱۵	۳۶° ۴۴' ۲۱,۲۳"	۵۲° ۳۹' ۱۸,۷۶"	بابلسر ۱۳S - Ba
۱۳۹۱/۵/۱۵	۳۳	۳۶° ۴۵' ۳۹,۳۲"	۵۲° ۳۹' ۲۶,۸۸"	بابلسر ۱۴S - Ba
۱۳۹۱/۵/۱۵	۶۲	۳۶° ۴۷' ۴۶,۵۹"	۵۲° ۳۹' ۲۹,۹۶"	بابلسر ۱۵S - Ba
۱۳۹۱/۵/۱۵	۹۸	۳۶° ۵۰' ۴۳,۱۷"	۵۲° ۳۹' ۳۵,۸۰"	بابلسر ۱۶S - Ba
۱۳۹۱/۹/۱۳	۱۰	۳۶° ۵۷' ۲۰,۰۷"	۵۰° ۳۹' ۱۸,۵۹"	رامسر ۱۷S - Ra
۱۳۹۱/۹/۱۳	۳۰	۳۷° ۰' ۲,۳۳"	۵۰° ۳۹' ۱۷,۸۶"	رامسر ۱۸S - Ra
۱۳۹۱/۹/۱۳	۵۰	۳۷° ۱' ۳۹,۶۹"	۵۰° ۳۹' ۱۷,۴۲"	رامسر ۱۹S - Ra
۱۳۹۱/۹/۱۳	۸۵	۳۷° ۳' ۱۷,۰۴"	۵۰° ۳۹' ۱۶,۹۷"	رامسر ۲۰S - Ra
۱۳۹۲/۹/۱۸	۱۵	۳۶° ۴۰' ۳۳,۲۷"	۵۱° ۳۱' ۲۰,۸۴"	نوشهر ۲۱S - No
۱۳۹۲/۹/۱۸	۳۰	۳۶° ۴۱' ۵۲,۴۴"	۵۱° ۳۳' ۱۴,۷۰"	نوشهر ۲۲S - No
۱۳۹۲/۹/۱۸	۵۰	۳۶° ۴۳' ۲۰,۳۶"	۵۱° ۳۳' ۲۹,۹۷"	نوشهر ۲۳S - No
۱۳۹۲/۹/۱۸	۶۰	۳۶° ۴۳' ۵۹,۹۵"	۵۱° ۳۴' ۱۲,۰۴"	نوشهر ۲۴S - No
۱۳۹۱/۹/۱۱	۲۵	۳۶° ۳۸' ۹,۲۴"	۵۲° ۸' ۵۱,۹۳"	ایزدشهر ۲۵S - Iz
۱۳۹۱/۹/۱۱	۳۵	۳۶° ۳۹' ۱۸,۰۰"	۵۲° ۸' ۲۸,۶۵"	ایزدشهر ۲۶S - Iz
۱۳۹۱/۹/۱۱	۴۹	۳۶° ۴۰' ۲,۸۵"	۵۲° ۸' ۹,۰۱"	ایزدشهر ۲۷S - Iz
۱۳۹۱/۹/۱۱	۷۰	۳۶° ۴۱' ۳۴,۷۸"	۵۲° ۷' ۵۸,۷۷"	ایزدشهر ۲۸S - Iz
۱۳۹۱/۹/۱۴	۱۰	۳۶° ۴۴' ۸,۵۷"	۵۲° ۳۸' ۱۵,۶۳"	بابلسر ۲۹S - Ba
۱۳۹۱/۹/۱۴	۲۳	۳۶° ۴۵' ۸,۹۱"	۵۲° ۳۸' ۸,۲۷"	بابلسر ۳۰S - Ba
۱۳۹۱/۹/۱۴	۵۴	۳۶° ۴۷' ۲,۶۰"	۵۲° ۳۷' ۵۲,۰۱"	بابلسر ۳۱S - Ba
۱۳۹۱/۹/۱۴	۷۵	۳۶° ۴۸' ۴۸,۵۴"	۵۲° ۳۷' ۱۳,۵۹"	بابلسر ۳۲S - Ba

$$\rho(z) \frac{d^2h}{dz^2} = g[\rho(z+h) - \rho(z)] \quad (1)$$

در شارهای ژئوفیزیکی به‌طور معمول چینه‌بندی چگالی ضعیف و تغییرات چگالی ایجادشده به‌طور نسبی کوچک است هرچند بر حرکت تأثیر می‌گذارد ولی نسبت به چگالی محیط مرجع کوچک است (تقریب بوسینسک). با استفاده از این تقریب به‌جای  $\rho(z)$  در طرف چپ معادله از مقدار مرجع آن  $\rho_0$  و با استفاده از بسط تیلور، معادله (۱) به‌صورت زیر خواهد شد:

$$\frac{d^2h}{dz^2} + N^2 h = 0 \quad (2)$$

که در آن  $N^2$  (فرکانس شناوری) برابر است با:

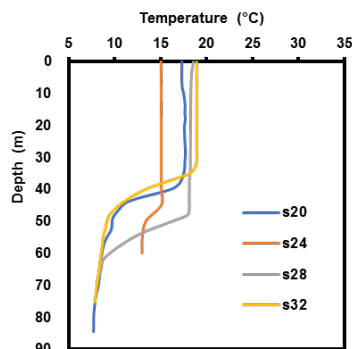
$$N^2 = \frac{-g}{\rho_0} \frac{d\rho}{dz} \quad (3)$$

$N^2$  پایداری استاتیکی محیط را نشان می‌دهد. اگر  $\frac{d\rho}{dz} < 0$  و  $N^2 > 0$  باشد بسته شاره حول ارتفاع اولیه خود نوسان خواهد کرد و همچنین ستون آب در حالت‌های  $N^2 = 0$  و  $N^2 < 0$  به ترتیب شرایط ناپایدار و پایداری خنثی را تجربه خواهد کرد [۲۷، ۲۸]

## نتایج و بحث

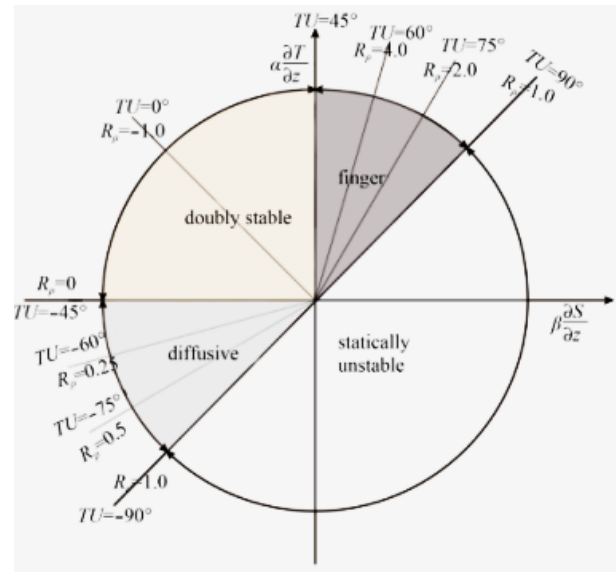
### ۱. نیم‌رخ‌های دما

با مشاهده نیم‌رخ‌های دما، لایه اختلاط (mixed layer)، لایه ترموکلاین (Thermocline) و لایه عمیق قابل مشاهده است. مقایسه‌ی نیم‌رخ‌های دما در فصول گرم و سرد سال نشان می‌دهد که عمق لایه سطحی (لایه اختلاط) در فصل سرد بیشتر از فصل گرم است دلایل آن، کاهش قابل توجه دمای محیط، وزش باد و ایجاد تلاطم در لایه‌ی سطحی در فصل سرد است (شکل ۳). هرچند در فصل گرم لایه‌ی سطحی آن‌قدر گرم می‌شود که چگالی‌اش به مراتب از چگالی آب‌های سرد و لایه‌های پائین تر کمتر می‌شود و به دلیل پایداری استاتیکی ستون آب به‌راحتی نمی‌تواند با آب‌های لایه‌های زیرین آمیخته شود (شکل ۴).



شکل ۳- نیم‌رخ دما نسبت به عمق در فصل سرد

در  $-45^\circ < TU < 45^\circ$  انتشار دوگانه رخ نمی‌دهد. زاویه ترنر بزرگ‌تر از  $90^\circ$  درجه و یا کمتر از  $-90^\circ$  درجه نشان‌دهنده‌ی ناپایداری ایستایی در ستون آب است [۲۵].



شکل ۲- محدوده‌ی رژیم انگشتی، رژیم پخشی، ناپایداری ایستایی و پایداری مضاعف برای زوایای ترنر مختلف [۲۶]

### ۳. بررسی همرفت پخش دوگانه با استفاده از نسبت چگالی

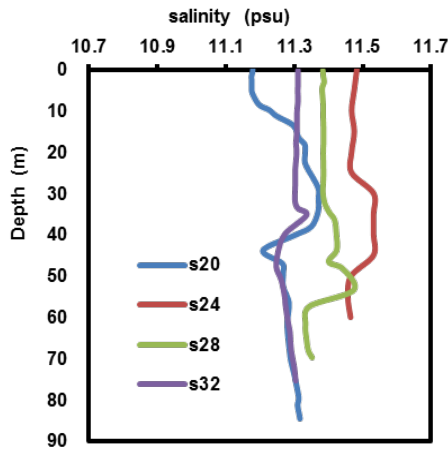
برای محاسبه نسبت چگالی از رابطه  $R_D = \alpha \Delta T / (\beta \Delta S)$  استفاده می‌شود که در این رابطه، اگر  $1 \leq R_D \leq 10$  باشد، همرفت پخش دوگانه از نوع رژیم انگشتی و اگر  $0 < R_D \leq 1$  باشد، همرفت پخش دوگانه از نوع رژیم پخشی رخ می‌دهد. نسبت چگالی  $R_D \geq 10$  بیانگر وقوع رژیم انگشتی ضعیف‌تر است و هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد شدت همرفت انگشتی، خیلی ضعیف‌تر خواهد شد تا حدی که می‌توان رخداد رژیم انگشتی را نادیده گرفت. در مطالعه همرفت پخش دوگانه پارامتر نسبت چگالی اهمیت بسزایی دارد آن‌گونه که نسبت چگالی در این پدیده نقش کنترل‌کننده و مشخص‌کننده دارد بنابراین برای بررسی همرفت پخش دوگانه در لایه با وارونگی شوری، از نیم‌رخ‌های نسبت چگالی برحسب عمق استفاده می‌شود.

### ۴. بررسی پایداری و ناپایداری ستون آب

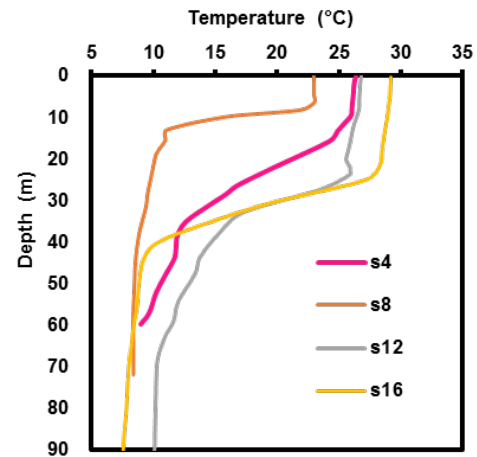
یک بسته شاره که با چگالی  $\rho(z)$  در یک ارتفاع مرجع Z قرار دارد، اگر در جهت قائم تا ارتفاع  $z+h$  با چگالی  $\rho(z+h)$  جا به جا شود. با فرض اینکه، شاره تراکم‌ناپذیر و حرکت بسته بدون تبادل جرم و دما با محیط باشد، بسته شاره، چگالی اولیه خود را حفظ می‌کند. طبق قانون دوم نیوتن نیروی شناوری باعث ایجاد شتاب و حرکت ذره می‌شود:

کم شدن تبخیر آب دریا اندکی کاهش می‌یابد در تابستان به علت تبخیر شدید آب دریا، مقدار شوری رو به افزایش می‌رود (شکل ۶).

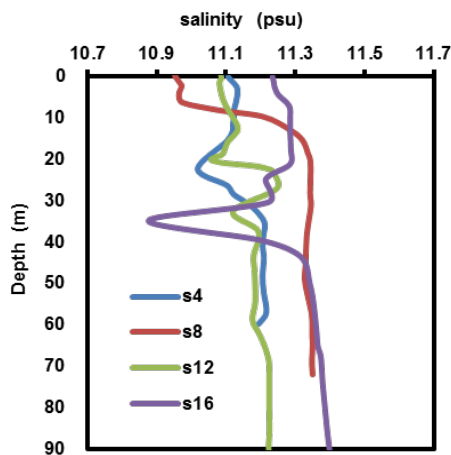
در این نواحی عمدتاً وارونگی دما رخ نداده است به‌جز در دو ایستگاه به ضخامت ۱،۵ متر و ۳ متر با تغییرات دمایی ۰،۳ درجه سانتی‌گراد و ۰،۷ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود.



شکل ۵- نیم‌رخ شوری نسبت به عمق در فصل سرد



شکل ۴- نیم‌رخ دما نسبت به عمق در فصل گرم



شکل ۶- نیم‌رخ شوری نسبت به عمق در فصل گرم

در فصل پائیز، عمق لایه آمیخته در مقایسه با فصل تابستان بیشتر است به طوری که در پائیز بیشترین ضخامت لایه آمیخته در ایستگاه شماره ۲۸ به ۴۵ متر و در تابستان کمترین ضخامت لایه آمیخته در ایستگاه شماره ۸ به ۱۰ متر می‌رسد. بیشترین تغییرات دما در ایستگاه شماره ۱۶ از عمق ۲۵ متری شروع شده و تا عمق حدود ۴۵ متر ادامه دارد.

## ۲. نیم‌رخ‌های شوری

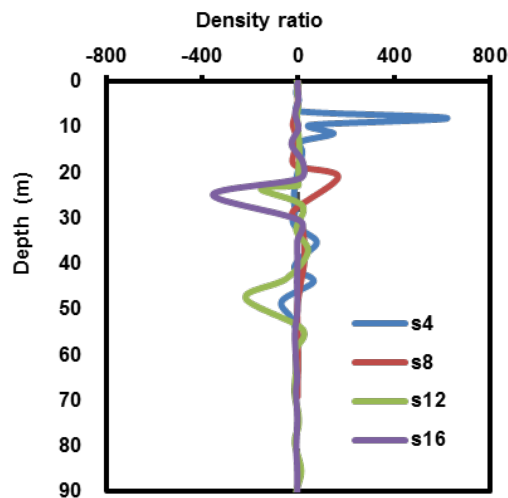
در بررسی نیم‌رخ‌های شوری در مناطق ساحلی مازندران، با وجود محدوده‌ی ناچیز تغییرات شوری در دریای خزر، نوسانات شوری در لایه سطحی به نسبت زیاد است (شکل‌های ۵ و ۶). با توجه به نیم‌رخ‌های شوری، کم شدن شوری با عمق (وارونگی شوری) در منطقه مورد مطالعه، به دلیل شوری کم دریای خزر نسبت به اقیانوس‌ها و میزان اندک وارونگی شوری، نشان‌دهنده‌ی رفتار همرفت پخش دوگانه از نوع رژیم انگشتی ضعیف است. عمق لایه وارونگی شوری از ۱۰ متر تا ۴۵ متر در ایستگاه‌های مختلف شروع می‌شود که ضخامت آن از ۳ تا ۱۰ متر متغیر است همچنین بیشترین تغییرات شوری در لایه وارونگی به‌اندازه‌ی تقریباً  $\Delta S = 0.5 \text{ psu}$  در تابستان ثبت گردید. در فصل‌های سرد وارونگی شوری در عمق‌های پائین تر نسبت به فصل‌های گرم اتفاق می‌افتد (شکل ۵). مقدار شوری آب دریا در هر فصل نسبت به فصل دیگر متفاوت است که علت آن، تغییرات تبخیر آب دریا و بارندگی است. در فصل پائیز، مقدار شوری آب دریا به علت

## ۳. نیم‌رخ‌های چگالی

برخلاف نیم‌رخ‌های دما و شوری که دارای وارونگی‌ها و افت و خیزهایی هستند در هر دو فصل در سراسر ستون آب، چگالی با عمق افزایش می‌یابد. افزایش چگالی با عمق، معرف پایداری ایستایی ستون آب است. همان‌طور که انتظار می‌رود میزان این پایداری در ترموکلاين بیشتر است زیرا تغییرات چگالی با عمق در این لایه تندتر است. همچنین ساختار لایه‌ای چگالی یعنی لایه سطحی، لایه پیکنوکلاين و لایه آب عمیق با چگالی تقریباً ثابت قابل مشاهده است (شکل‌های ۷ و ۸). چگالی پتانسیل ( $\sigma_t$ ) سطحی در اکثر ایستگاه‌ها، تقریباً از  $\text{kg/m}^3$

#### ۴. نیم‌رخ‌های نسبت چگالی

نسبت چگالی در ایستگاه‌های با وارونگی شوری غالباً منفی است یعنی همرفت پخش دوگانه رخ نداده است. در بعضی از ایستگاه‌ها، خصوصاً در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه، نسبت چگالی مثبت و بیشتر از ۱ است (شکل ۹) که وقوع پدیده همرفت پخش دوگانه از نوع رژیم انگشتی ضعیف را نشان می‌دهد. همرفت پخش دوگانه در دریای خزر با شرط نسبت چگالی، (معمولاً در محدوده تپه آبشرون) خیلی بیشتر از ۱ ایجاد می‌شود [۲۲] ما در محدوده‌ی مورد مطالعه، از آنجایی‌که نسبت چگالی در اغلب ایستگاه‌ها منفی است پدیده پخش دوگانه در قسمت‌های محدودی ممکن است، رخ دهد بنابراین ساختار لایه‌ای مشاهده شده را نمی‌توان به این پدیده نسبت داد چون نسبت چگالی منفی یعنی حالت پایداری، حاکم است.

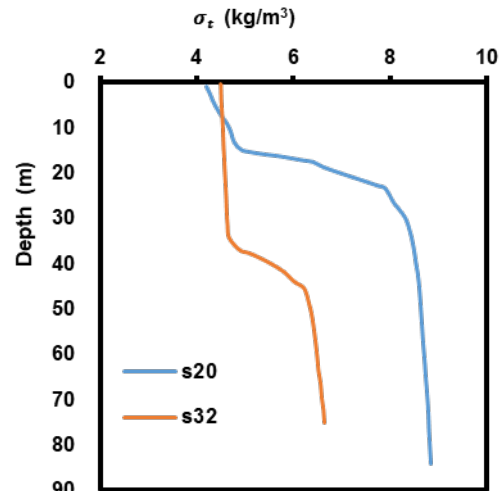


شکل ۹- نیم‌رخ نسبت چگالی نسبت به عمق

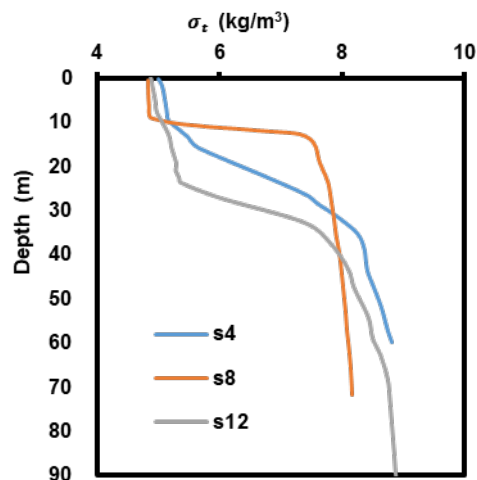
#### ۵. نیم‌رخ‌های زاویه ترنر

برای نشان دادن رژیم پخش و انگشت نمکی، از نیم‌رخ‌های زاویه ترنر استفاده شده است. تغییرات پایداری ستون آب و رژیم‌های پخشی و انگشتی در برش عرضی مناطق دریایی نوشهر (فصل سرد) و بابلسر (فصل گرم) در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در فصل سرد، ناپایداری ناشی از رژیم انگشتی (SF) در لایه‌های بالایی ستون آب (به دلیل برودت هوا) و رژیم پخشی (DC) در اعماق ۵۰-۱۰ m مشاهده می‌شود (شکل ۱۰-الف).

۴ شروع می‌شود این بدین معنی است که تغییرات چگالی در راستای افقی از ساحل به دریا بسیار کم است. در راستای قائم و در نزدیک ساحل به دلیل عمق کم، تغییرات چگالی تا بستر ناچیز است. دور از ساحل تغییرات این پارامتر با افزایش عمق زیاد شده و منجر به تشکیل ساختار لایه‌ای چگالی می‌شود.



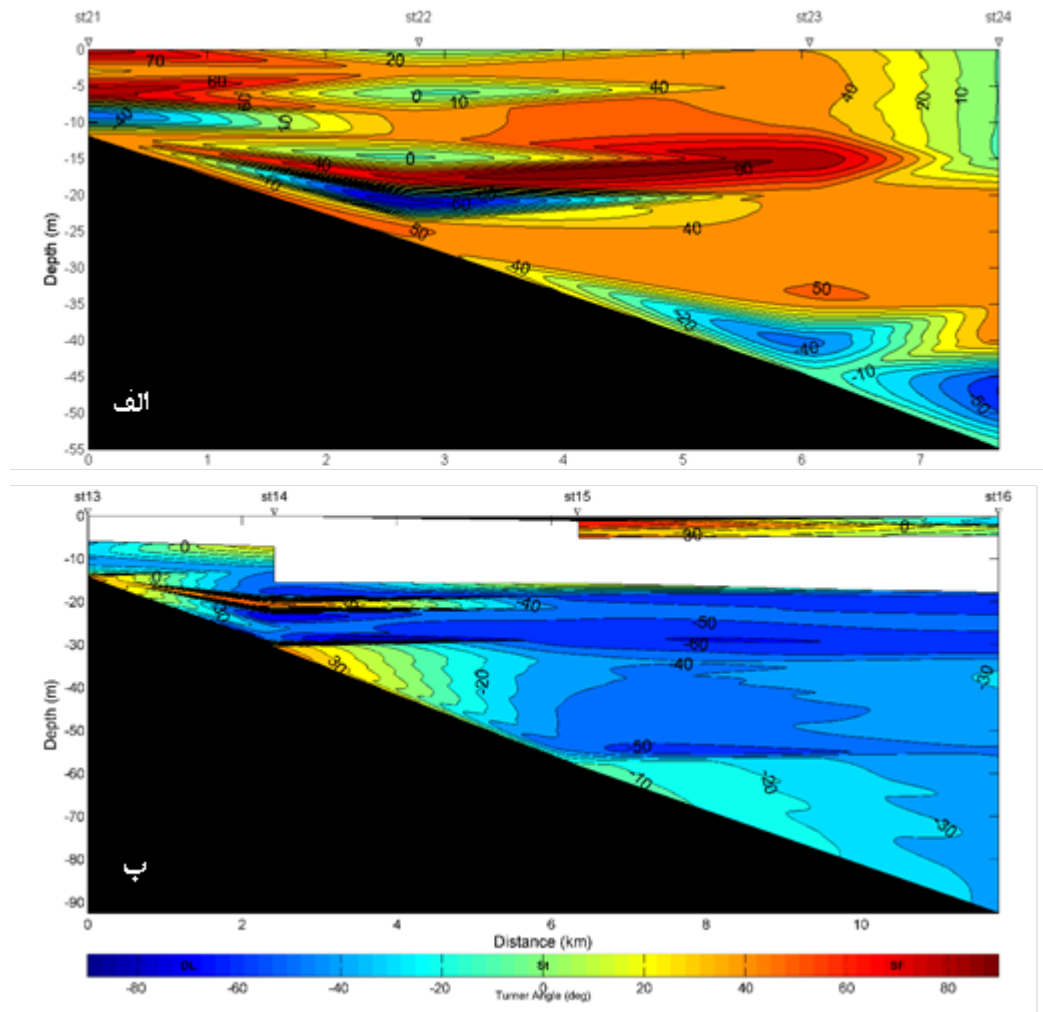
شکل ۷- نیم‌رخ چگالی نسبت به عمق در فصل سرد



شکل ۸- نیم‌رخ چگالی نسبت به عمق در فصل گرم

در سواحل مازندران به علت کم بودن محدوده‌ی تغییرات شوری، تغییرات چگالی به‌طور غالب تحت تأثیر دما است و شوری در تغییرات چگالی نقش کمتری دارد به همین دلیل انطباق لایه ترموکلاین در نیم‌رخ‌های دما بر لایه پیکنوکلاین در نیم‌رخ‌های چگالی مشهود است (شکل‌های ۳ و ۴ و ۷ و ۸).





شکل ۱۰- نیمرخ زاویه ترنر در برش عرضی سواحل دریایی الف) نوشهر (فصل سرد) و ب) بابلسر (فصل گرم)

### ۶. نیمرخ‌های فرکانس شناوری

در کلیه ایستگاه‌های تحقیق، فرکانس شناوری مثبت به دست آمده که بیانگر چینه بندی چگالی پایدار در این مناطق است. هر چه مقدار فرکانس شناوری بیشتر، شدت پایداری بیشتر است در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه، مقدار فرکانس شناوری بزرگ‌تری نسبت به بخش غربی آن ثبت شد که بیانگر شدت بیشتر پایداری در این منطقه است (شکل ۱۲ و ۱۳).

در فصل گرم، به دلیل گرم شدن لایه‌های بالایی آب، عمدتاً پایداری ستون آب (رنگ سفید) برقرار است. رژیم انگشتی در لایه‌های سطحی و در مناطق کم عمق ساحلی مشاهده می‌شود اما در مناطق دور از ساحل و اعماق  $90-15$  m، رژیم پخشی، پدیده غالب نسبت به رژیم انگشتی است (شکل ۱۰-ب).

نیمرخ تغییرات زاویه ترنر در منطقه تحقیق (شکل ۱۱-الف و ب)، نشان می‌دهد زاویه ترنر همیشه و در همه عمق‌ها بین  $90-90$  + درجه در حال تغییر است بنابراین در هر دو فصل گرم و سرد، ستون آب دارای پایداری ایستایی است. رژیم پخشی در منطقه مورد بررسی، رخ نداده است. در لایه‌های عمیق، در هر دو فصل، رژیم انگشتی وجود دارد و همچنین در شرق، رژیم انگشتی در ایستگاه‌های بیشتری نسبت به غرب قابل مشاهده است.

شکل ۱۳- نیمرخ فرکانس شناوری نسبت به عمق در فصل گرم

### نتیجه‌گیری

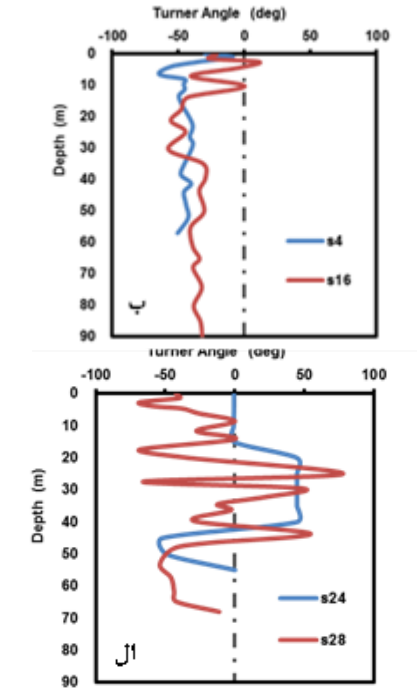
در سواحل مازندران عمدتاً وارونگی دما وجود ندارد با افزایش عمق، دما رو به کاهش می‌رود. اما در برخی ایستگاه‌ها، کاهش شوری مشاهده می‌شود که بیانگر وارونگی شوری است. شوری آب دریای خزر کم و به واسطه آن تغییرات آن نیز اندک است و تغییرات چگالی، عمدتاً متأثر از تغییرات دما است. ساختار لایه‌ای مشاهده شده در این آب‌ها را نمی‌توان به پدیده همرفت پخش دوگانه نسبت داد چون نسبت چگالی منفی یعنی حالت پایداری حاکم است. در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه، مقدار فرکانس شناوری بزرگ‌تری ثبت شد که پایداری بیشتر را در این منطقه نشان می‌دهد. در مقایسه با تحقیق آل یاسین کلاشمی و همکاران (۱۳۹۲) تطابق خوبی مشاهده می‌شود. بطوریکه وارونگی شوری در دریای خزر در اعماق ۱۰ تا ۳۰ متر ثبت گردید که عمق میانگین این لایه‌ها حدود ۴ متر و شدت وارونگی psu  $\Delta S = 0.16$  برآورد شد. در دو ایستگاه (در منطقه آبشرون) وارونگی دمایی را مشاهده شد که متوسط ضخامت آن ۱ تا ۲ متر بوده است اما در این تحقیق، به دلیل عدم وجود عارضه بستری، مشابه آبشرون، چنین وارونگی دمایی مشاهده نشده است. نسبت چگالی در بیشتر ایستگاه‌ها منفی بود که نشان می‌دهد ستون آب در دریای خزر پایدار است. همچنین در عمق‌های پایین (لایه‌های عمیق)، مقدار  $N^2$  به سمت صفر میل می‌کند که نشان می‌دهد ستون آب به سمت پایداری خنثی نزدیک می‌شود.

### مشارکت نویسندگان

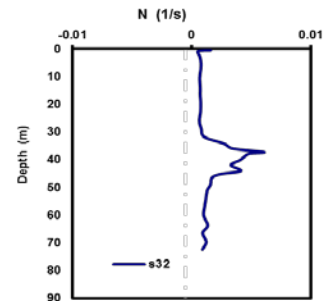
در نگارش این مقاله نویسندگان بصورت دانشجو و استاد راهنما سهم داشتند. تدوین و نظارت بر انطباق مقاله با فرمت مجله، نگارش و جمع‌آوری مطالب، ترجمه و ویراستاری مقالات و هماهنگی محتوایی مقاله بر عهده استاد راهنما (داریوش منصوری) بوده است. **تعارض**

### منافع

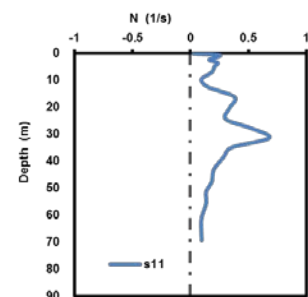
«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»



شکل ۱۱- نیمرخ زاویه ترنر منطقه تحقیق در الف) فصل سرد و ب) فصل گرم



شکل ۱۲- نیمرخ فرکانس شناوری نسبت به عمق در فصل سرد



## References

- Pond S, Pickard GL. Introductory Dynamical Oceanography, Pergamon Press.1983.
- Dabestani M, Mohammad Mahdizadeh M, Azizpour J. Comparison of surface salinity of Persian Gulf water using field data and FVCOM numerical model. (In Persian). JOC. 2020;11(43):81-7.
- Ali Akbari Beidakhti AA, Sabagh Kashani Z. Dual diffusion convection and temperature inversion in the waters of the Persian Gulf and the Oman Sea (In Persian). J Earth Space Physic. 2003;49(1):33-45.
- Buffett GG, Krahnemann G, Klaeschen D, Schroeder K, Sallare's V, Papenberg C, et al. Seismic oceanography in the Tyrrhenian Sea: Thermohaline staircases, eddies, and internal waves. JGR Ocean. 2017;8503-23. doi: 10.1002/2017JC012726
- Sommer T, Schmid M, Wüest A. The role of double diffusion for the heat and salt balance in Lake Kivu. Limnol Ocean. 2019;64(2):650-60. doi: 10.1002/lno.11066
- Radko T, Flanagan J, Stellmach S, Timmermans ML. Double-diffusive recipes. Part II: Layer-merging events. J Phys Oceanogr. 2014;44:1285-305. doi: 10.1175/JPO-D-13-0156.1
- Walesby K, Vialard J, Minnett PJ, Callaghan AH, Ward B. Observations indicative of rain-induced double diffusion in the ocean surface boundary layer, Geophys. Res Lett. 2015;42:3963-72. doi: 10.1002/2015GL063506
- Jamshidi S, Soheili Far M. Analysis of Caspian Sea parameters in Nowshahr region (In Persian). Sci Technol Quarter. 2014;19(74):14-25.
- Ghazi E, Ali Akbari Beidakhti AA, Ezam M, Zoljoodi M. Study of Temperature and Salinity Inversions in the Oman Sea (In Persian). JOC. 2021;12(45):17-27.
- Khalilabadi MR, Sadrinasab M, Chegini V, Akbarinasab M. Internal Wave Generation in the Gulf of Oman (Outflow of Persian Gulf). India J Geo Marine Sci. 2015;44(3):371-5.
- Kantha LH, Clayson CA. Small scale processes in geophysical fluid flows. Academ Press. 2000;67:750. doi: 10.1063/1.1420560
- Scheifele B, Pawlowicz R, Sommer T, Wuest A. Double Diffusion in Saline Powell Lake, British Columbia. Phys Ocean. 2014;44(11):2893-908. doi: 10.1175/JPO-D-14-0070.1
- Thorpe SA. An Introduction to Ocean Turbulence. Cambridge University Press.2007.
- Schmitt RW. Double diffusion in oceanography. Annu Rev Fluid Mech. 1994;26:255-85. doi: 10.1146/annurev.fl.26.010194.001351
- Radko T. Double-Diffusive Convection. Cambridge University Press.2013.
- Schmitt RW. The salt finger experiments of Jevons (1857) and Rayleigh (1880). J Phys Oceanogr. 1995;25(1):8-17. doi: 10.1175/1520-0485(1995)025<0008:TSFEOJ>2.0.CO;2
- Neshyba S, Neal VT, Denner W. Temperature and conductivity measurements under Ice Island T-3. J Geophys Res. 1971;76(33):8107-20. doi: 10.1029/JC076i033p08107
- Shibley NC, Timmermans ML. The formation of Double-diffusive layers in a weakly turbulent environment. J Geophys Res Ocean. 2019;124:1445-58. doi: 10.1029/2018JC014625
- Azizpour J, Chegini V, Siadatmousavi SM. Seasonal variation of the double diffusion processes at the Strait of Hormuz. Acta Ocean Sin. 2017;36:26-34. doi: 10.1007/s13131-017-0990-6
- Khalilabadi MR, Akbari Nasab M. Study of static stability and double diffusion in the Oman Sea (In Persian). Quarter J Mar Sci Technol. 2014;18(71):11-9.
- Jamshidi S. Seasonal changes in the stability and stratification of the water column in the deep part of the southern Caspian Sea (In Persian). JOC. 2015;6(22):83-95.
- Al Yasin Kalashmi SM, Ali Akbari Beidakhti AA, Ahmadi Givi F. Study of layered and stable structure in the Caspian Sea, 15th Conference on Dynamics of Fluids, Bandar Abbas, Hormozgan University (In Persian)2013.
- Gill AE. Atmosphere-Ocean Dynamics, New York, Academic Press.1982.
- IOC SaI. The International Thermodynamic Equation of Seawater. Calculation and Use of Thermodynamic Properties, International Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56 (UNESCO).2010.
- Turner JS, Veronis G. Laboratory studies of double-diffusive sources in closed regions. J Fluid Mech. 2000;405:269-304. doi: 10.1017/S0022112099007351
- You Y. A global ocean climatological atlas of the Turner angle: implications for double-diffusion and water-mass structure. Deep Sea Res. 2002;49(11):2075-93. doi: 10.1016/S0967-0637(02)00099-7
- Ali Akbari Beidakhti AA. Fundamentals of Fluid Dynamics, Tehran University Press. (In Persian)2004.
- Khademi A, Akbarinasab M, Ali Akbari Beidakhti AA, Khalilabadi MR. Numerical calculation of Prandtl number in water column stratification in the Strait of Hormuz (In Persian). J Mar Sci Technol. 2017;16(3):14-26.

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**Vahedi, A.A.**, Graduate of Physical Oceanography (MSc), Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Iran.

[aliakbarvahedi@modares.ac.ir](mailto:aliakbarvahedi@modares.ac.ir)

 0000-000-7699-4636

**Mansoury, D.**, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Iran

[mansoury@modares.ac.ir](mailto:mansoury@modares.ac.ir)

 0000-0003-4190-4498



## HOW TO CITE THIS ARTICLE

**Citation (Vancouver)** Vahedi, AA., Mansoury, D, Journal Vertical Structure and Double Diffusion Convection of the Water Column in the Mazandaran Coasts. *J Oceanography*, 2022.13(49): 14-25

 <http://doi.org/10.52547/joc.13.49.14>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1645-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-000-7699-4636>



## COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.