

## ارزیابی پارامترهای هیدروشیمی در آب‌های ساحلی چابهار: تغییرات فصلی و نوسانات روزانه

حمید ارشادی فر<sup>۱\*</sup>، کمال‌الدین کر<sup>۱</sup>، امیر قاضی‌لو<sup>۱</sup>، عماد کوچک‌نژاد<sup>۱</sup>، غلامرسول بسکله

۱- پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی ایران، تهران، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: hamid.ershadifar@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

### چکیده

در این مطالعه نوسانات کوتاه مدت (روزانه) و تغییرات فصلی پارامترهای شوری، دما، pH، اکسیژن محلول، مواد مغذی معدنی (نیتрат، سیلیکات و فسفات)، فسفر و نیتروژن کل، و کلروفیل-آ در آب‌های ساحلی مرتبط با دریای آزاد در شرق بندر چابهار مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از یک ایستگاه با عمق ۳۰ متر در تاریخ‌های ۱۷ مهر، ۲۹ آبان، ۱۷ دی و ۱۹ اسفند سال ۱۳۹۷ و هرکدام در یک چرخه جزر و مدی انجام گرفت. نمونه‌ها با فاصله زمانی ۳ ساعت و از سه عمق ۰، ۱۰ و ۳۰ متر جمع‌آوری شدند. توزیع عمقی پارامترها در دوره بین مانسون پاییزه (مهر و آبان) متأثر از لایه‌بندی شدید ستون آب است در حالی که در مانسون زمستانه (دی و اسفند) ستون آب کاملاً مختلط بوده و نوسانات عمقی به حداقل می‌رسد. لایه‌بندی ستون آب و فساد مواد آلی در لایه نزدیک بستر در طی دوره‌های مهر و آبان منجر به کاهش اکسیژن محلول به کمتر از ۲/۰ میلی‌گرم در لیتر و کاهش pH به کمتر از ۸/۰ می‌شود. در تغییرات فصلی، دما با کاهش تدریجی، pH و DO با افزایش تدریجی، و شوری با ظهور بیشینه‌ای در آبان مشخص شده‌اند. از مهر به اسفند مواد مغذی روند غالباً نزولی را نشان می‌دهند اگرچه الگوی تغییرات برای همه یکسان نیست. کلروفیل-آ که به عنوان تخمینی از رنگدانه‌های فتوسنتزی و بیومس فیتوپلانکتونهاست، مقادیر بیشینه را در اسفندماه نشان می‌دهد که تقریباً ۳ برابر مقادیر ماه‌های دیگر است. به دلیل موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری در لبه شیب قاره‌ای و قرار گرفتن آب‌های ساحلی کم عمق در خلیج چابهار در غرب و فلات قاره گسترده‌تر در شرق، نوسانات کوتاه مدت به شدت تحت تاثیر نه تنها جریان‌های جزر و مدی بلکه جریان‌های القا شده تحت استرس باد است.

### کلمات کلیدی

"نوسانات روزانه"، "تغییرات فصلی"، "آب‌های ساحلی چابهار"، "مواد مغذی"، "کلروفیل-آ"

### ۱- مقدمه

مانند سدسازی که باعث کاهش سیلیسیوم محلول در رودخانه و مصب‌ها می‌شود بسیار حساس است (Tréguer & De La Rocha, 2013). ورود فسفر و نیتروژن بیشتر نسبت به سیلیس در اغلب موارد منجر به جایگزین شدن دیاتومه‌ها با گونه‌های غیر دیاتومه مضر پلانکتونی می‌شود (Paytan & McLaughlin, 2007). الگوی مواد مغذی و نسبت‌های آنها در آب دریا نقش مهمی در درک دینامیک و عملکرد یک اکوسیستم دارد. نسبت مولی مواد مغذی (C106:N16:P1:Si16) که سنگ بنای ژئوشیمی زیستی است، ارتباط بین نسبت مواد مغذی در آب و میکروارگانیسم‌ها را نشان می‌دهد (Redfield, 1963). انحراف در نسبت این مواد در ستون آب بیانگر محدودیت در تولید اولیه (رشد فیتوپلانکتونی) در یک اکوسیستم آبی است. پاسخ بیولوژیکی به تغییرات محیطی به طور نزدیکی وابسته به دوره تناوب این تغییرات است. در حالی که تغییرات مقیاس فصلی تحت تاثیر الگوی فصلی جریان‌های دریایی و عوامل جوی است در مقیاس روزانه تحت تاثیر فرایندهای فوتوسنتز و فساد مواد آلی است. پویایی این دو پارامتر نیز تحت تاثیر تغییرات فیزیکی (نفوذ نور، دما، و فعالیت امواج)، شیمیایی (در دسترس بودن مواد مغذی) و بیولوژیکی (فراوانی و ساختار جمعیتی فیتوپلانکتونها و ژئوپلانکتونها) است. این نوسانات در پارامترهای هیدروشیمی می‌تواند باعث تغییرات در ساختار جمعیتی فیتوپلانکتونها، شکوفایی گونه‌های مضر پلانکتونی و گسترش نواحی کم اکسیژن در لایه‌های بالایی ستون آب در مرحله پساشکوفایی شود. از این رو وضعیت تروفیکی به روش‌های گوناگون از جمله مقدار مواد مغذی و یا غلظت کلروفیل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Carlson &

پارامترهای محیطی و نوسانات روزانه و فصلی آنها برای برآورد تغییرات در کیفیت آب‌های ساحلی به طور وسیعی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تغییرات پویا در پارامترهای دما، pH، اکسیژن محلول، و مواد مغذی به طور نزدیکی در ارتباط با تولید اولیه توسط گونه‌های اتوتروف و ساختار جمعیتی آنهاست. در مناطق ساحلی فیتوپلانکتون‌ها سهمیه در تولید اولیه به شدت وابسته به دسترس پذیری مواد مغذی، نفوذ نور و اختلاط ستون آب می‌باشند. با این حال در دسترس بودن مواد مغذی و نسبت آنها به وفور به عنوان عامل کلیدی تعیین کننده توده زیستی فیتوپلانکتون‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Roelke, Eldridge, & Cifuentes, 1999). فراوانی رشد و متابولیسم این موجودات به شدت تحت تاثیر مواد معدنی نیتروژن، فسفر و سیلیسیوم است. نیتروژن فرم‌های شیمیایی متنوع‌تری نسبت به فسفر و سیلیس دارد. گونه‌های حاوی نیتروژن معدنی در محیط‌های دریایی شامل نیترات، نیتريت، و آمونیوم است. نیتروژن آلی در محیط دریایی در ساختار ترکیبات آلی در قالب گروه آمین با عدد اکسایش ۳ می‌باشد (Voss et al., 2013). غلظت سیلیسیوم محلول در لایه نوری توسط دیاتومه‌ها تا حد محدود-کننده برای تولید دیاتومه‌های جدید (کمتر از ۵ میکرومولار) کاهش می‌یابد. سیلیس هم چنین توسط موجودات دیگر مانند اسفنج‌ها، رادیولاریا، سیلیکوفلاژله‌ها و برخی پیکوسیانوباکتریها مصرف می‌شود (Struyf, Smis, Van Damme, Meire, & Conley, 2009; Tréguer & De La Rocha, 2013). نشان می‌دهد چرخه سیلیکون در مناطق ساحلی، به فشارهای بشرزاد

تعیین ارتباط پارامترهای محیطی با زی توده فیتوپلانکتون ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

## ۲- روش انجام تحقیق

ایستگاه نمونه برداری با عمق ۳۰ متر در فاصله ۱ کیلومتری از اسکله بندر رمین در آبهای ساحلی شرق چابهار انتخاب شد (شکل ۱). ایستگاه در سواحل اقیانوسی واقع در شرق چابهار و دور از اسکله های ترانزیتی و صیادی انتخاب شده است تا تأثیرپذیری از فعالیت های محلی به حداقل برسد. نمونه برداری در تاریخ های ۱۷ مهر، ۲۹ آبان، ۱۷ دی و ۱۹ اسفند سال ۱۳۹۷ انجام شد. نمونه برداری در هر دوره در فواصل زمانی ۳ ساعت انجام گردید. لازم به توضیح است که به دلیل شرایط نامساعد جوی، نمونه برداری های دی ماه و اسفندماه محدود به بازه زمانی ساعت ۸-۲۰ بوده است. نمونه ها از سه عمق ۱۰، ۳۰ و ۳۰ متر با استفاده از بطری نیسکین هرکدام در سه تکرار جمع آوری شدند. از دستگاه های پرتابل برای ثبت پارامترهای فیزیکی دما، و شوری، اکسیژن محلول، و pH در محل نمونه برداری استفاده شد. به منظور متوقف کردن فعالیت های زیستی، نمونه های آب بلافاصله توسط فیلتر با قطر چشمه ۰/۴۵ میکرون (Cellulose acetate, Sartorius) فیلتر و درون یخدان نگهداری شدند. نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه مرکز اقیانوس شناسی چابهار در فریزر در 20- C° نگهداری و در مدت کوتاهی آنالیز شدند. در آزمایشگاه واکنشگرهای لازم برای روش طیفسنجی طبق دستورالعمل (Moopam, 1999) آماده شده و اندازه گیری مقدار مواد مغذی با دستگاه اسپکتروفومتر مدل Rayleigh UV-920 و در سل با طول مسیر نور ۲ سانتی متر مطابق دستورالعمل های لازم برای آنالیز مواد مغذی در محیط های دریایی (Hansen & Koroleff, 1999) انجام شد. اندازه گیری فسفر و نیتروژن کل در نمونه های فیلتر نشده نیز به روش اکسیداسیون تر در حضور اکسند پرسولفات در دمای بالا در اتوکلاو (۶۰ دقیقه، ۱۲۱ درجه سانتیگراد) و هیدرولیز محتوای نیتروژن و فسفر به نترات و فسفات انجام شد (Grasshoff, Kremling, & Ehrhardt, 1999). متعاقباً نترات و فسفات حاصل به روش رنگسنجی اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری کلروفیل-آ نمونه ها بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه، در استون ۹۰٪ استخراج شده و مطابق دستورالعمل ESS Method 150.1 به روش اسپکتروفوتومتری اندازه گیری شدند (EPA, 1991). به طور خلاصه در لوله های آزمایش ۱۵ میلی لیتری ۱۰ میلی لیتر استون ۹۰٪ به فیلترها اضافه شد، توسط فویل آلومینیومی کاملاً پوشیده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند. نمونه ها ۲۴ ساعت بعد پس از قرار دادن در حمام التراسونیک به مدت ۴ دقیقه، سانتریفیوژ شدند و جذب آنها در طول موج های ۶۳۰، ۶۴۵ و ۶۶۵ و ۷۵۰ نانومتر در سل ۵ سانتیمتری خوانده شد. از برنامه Ocean Data View (odv 5.1.7) برای ترسیم نوسانات پارامترهای مورد بررسی استفاده شد (Schlitzer, R., 2020, Ocean Data View, <http://odv.awi.de>). از تکنیک (General Linear Model (GLM جهت بررسی تغییرات فصلی پارامترهای مورد بررسی و از پس آزمون Tukey برای مقایسه دو به دوی در نرم افزار Minitab V17 استفاده شد.

(Simpson, 1996). در حالی که به طور کلی، محدودیت نیتروژن (N) در مقیاس های زمانی کوتاه مدت در بیشتر سیستم های دریایی حاکم است (Voss et al., 2013)، و نتایج حاصل در دریای عرب نیز موید کمبود نترات در این ناحیه است (Morrison et al., 1998). با این حال ماده مغذی محدودکننده و غلظت آن معمولاً به صورت فصلی و محلی در دریاهای حاشیه ای متغیر است (Cardona et al., 2016; Geider & La Roche, 2002). شمال دریای عمان شرایط آب و هوایی و ویژگی های ستون آب تحت تأثیر مانسون تابستانه (خرداد-مرداد) و زمستانه (آذر-اسفند) است. قسمت اعظم تأثیر مانسون تابستانه بر هیدروشیمی و ساختار و عملکرد حیات زیستی از طریق فراچاهش القا شده محلی در مناطق ساحلی توسط بادهای مونسونی و جریان های چرخابی است که طی آن آب های سردتر و غنی از مواد مغذی از عمق های زیاد به سطح می رسند (Harrison, Piontkovski, & Al-Hashmi, 2017). در حالی که در طی مانسون زمستانه کاهش دما و اختلاط همرفتی باعث افزایش لایه اختلاط و رسیدن مواد مغذی به سطح می شوند (Harrison et al., 2017). از آنجا که در این ناحیه رودخانه دائمی وجود ندارد و میزان بارش سالانه نیز محدود است، ورود مواد مغذی و به طور کلی تأثیر پذیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دریا در مقیاس محلی محدود است. البته رشد جمعیت در شهرهای بندری و به تبع آن افزایش فاضلاب و زباله های شهری از یک سو و افزایش فعالیت های صنایع مختلف مانند صیادی، ترانزیت و شیرین سازی آب از سوی دیگر پتانسیل تأثیرگذاری بر آب های ساحلی بویژه منطقه خلیج چابهار را افزایش داده است. شکوفایی گونه های مضر پلانکتونی و ایجاد شرایط کمبود اکسیژن در نتیجه افزایش غلظت مواد مغذی طی سالیان گذشته آب های ساحلی چابهار را تحت تأثیر قرار داده است (Ershadifar et al., 2020; Kor, Ghazilou, Ershadifar, & Koochaknejad, 2020). پایش مداوم آب های ساحلی در راستای توسعه پایدار دریا محور در گسترش طرح های آبرزی پروروری در قفس، اکوتوریسم دریایی، صنایع شیرین سازی آب دریا و هم چنین جهت حفاظت از اکوسیستم های حساس منطقه از جمله مناطق مرجانی الزامی است. از سوی دیگر، دریای عمان به عنوان بخشی از شمال غربی دریای عرب، به دلیل وقوع پدیده های مختلف بیوژئوشیمیایی مانند فراچاهش آب های غنی از مواد مغذی، کمبود نترات و تثبیت نیتروژن، و همچنین کمبود اکسیژن در مناطق ساحلی و فراساحلی، دارای این پتانسیل می باشد که در سطح جهانی به عنوان شاخص حساس تغییر اقلیم جهانی در مقیاس اقیانوسی در نظر گرفته شود (Fauzi et al., 1993). ارزیابی فصلی پارامترهای محیطی در آب های ساحلی پیرامونی ایران به طور وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است (Saraji, 2014); اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ نصراله زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۲). با این حال این مطالعات به ندرت نوسانات روزانه و تغییرات عمقی تمامی پارامترهای لازم را پایش نموده اند و نیاز به مطالعات بیشتر برای پر کردن این خلا احساس می شود. هدف این تحقیق بررسی نوسانات کوتاه مدت (در طی روز) و فصلی پارامترهای شوری، دما، pH، اکسیژن محلول، مواد مغذی معدنی (نترات، سیلیکات و فسفات)، در آب های ساحلی مرتبط با دریای آزاد است. کلروفیل-آ که تخمینی از رنگدانه های فتوسنتزی است جهت

### ۳- نتایج و بحث

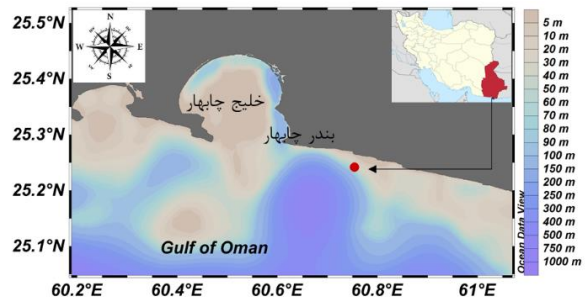
#### تغییرات فصلی

تغییرات عمقی و فصلی پارامترهای هیدروشیمی ارزیابی شده طی دوره-های مورد مطالعه در شکل ۲ با هم مقایسه شده است. مهمترین مشخصه تغییرات عمقی در فصول مختلف تغییرات شدید عمقی این پارامترها در ماه‌های آبان و مهر است که به عنوان دوره بین مانسون پاییزه (یا پس مانسون) در نظر گرفته می‌شوند. در طی ماه‌های دی و اسفند که مانسون زمستانه بوده ستون آب در نتیجه اختلاط همرفتی مختلط بوده و مقدار پارامترها در ستون آب از سطح تا عمق در مقادیر کمایش

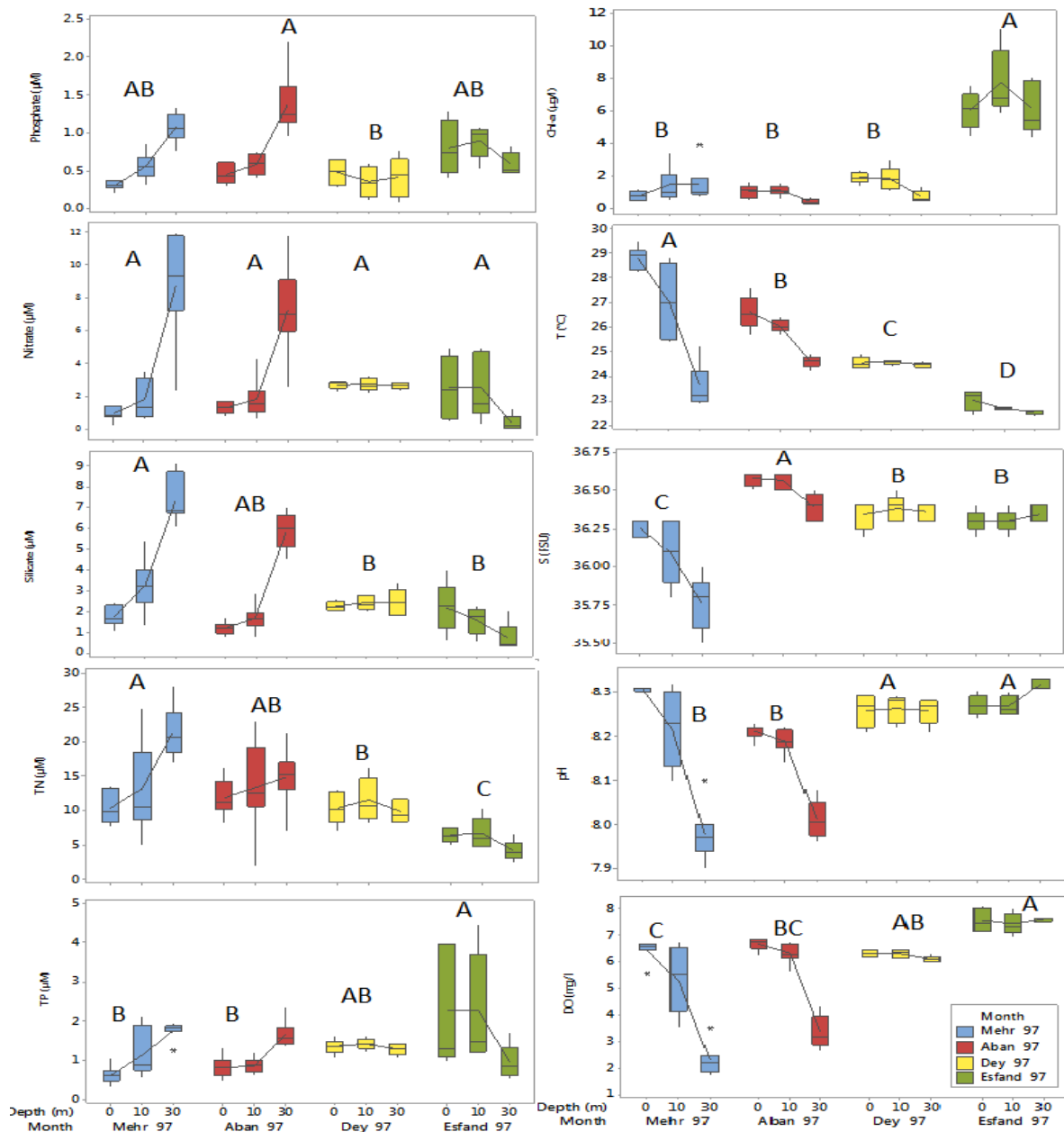
یکسانی

است.

شکل ۲- نمودارهای جعبه و شاخک مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در ماه‌های مختلف در سه سطح عمقی نمونه برداری. بالا و پایین جعبه چارک اول و سوم بوده و خط وسط نیز میانه است. مقادیر میانگین سه سطح در هرماه با خط به هم متصل شده‌اند. حروف ناهمسان بیانگر تفاوت نتایج بر اساس پس آزمون Tukey می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت نقطه نمونه برداری در آب‌های سواحل شرقی چابهار در لبه فلات قاره در شمال دریای عمان.

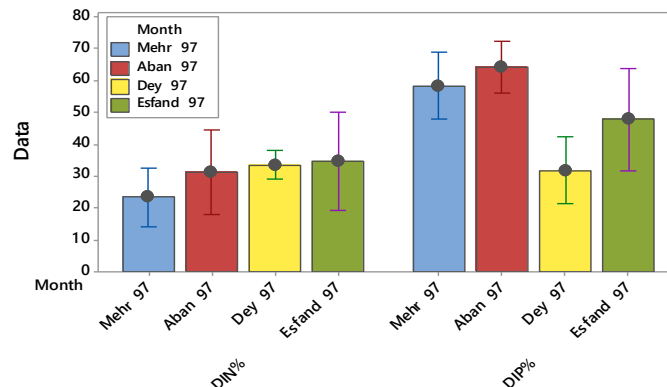


ستون آب است. با این حال مقادیر میانگین (سه سطح) برای سه ماده مغذی معدنی یکسان نبوده و روندی به طور کلی کاهش را نشان می‌دهد که برای سیلیکات مشهودتر است که این تفاوتها می‌تواند به دلیل تفاوت در ساختار جمعیتی فیتوپلانکتونها باشد که رژیم‌های تغذیه‌ای متنوعی دارند (Anderson, Glibert, & Burkholder, 2002). کاهش سیلیکات به مقادیر کمتر از ۲ میکرومولار در اسفندماه می‌تواند بیانگر این واقعیت باشد که بلوم گونه‌های دیاتومه در زمستان غلظت آن را تا مقادیری که دیگر قابل جذب توسط فیتوپلانکتونهاست کاهش می‌دهد. پارامترهای فسفر و نیتروژن کل برآوردی از مجموع فرم‌های این دو عنصر به صورت محلول (آلی و معدنی) و معلق (آلی و معدنی) ارائه می‌دهند. نیتروژن و فسفر کل الگوهای متفاوتی را نسبت به مواد مغذی محلول نشان می‌دهند. مقادیر بالای نیتروژن کل نسبت به مقادیر بسیار پایین معدنی (نترات و نیتريت) بیانگر آن است که قسمتی از نیتروژن که به فرم آلی محلول یا در ترکیب میکروارگانیزم-هاست، بسیار بیشتر از نیتروژن معدنی محلول است. همچنانکه اثبات شده در محیط‌های دریایی تقریباً بخش اعظم نیتروژن به فرم آلی در ساختار ترکیبات آلی محلول است (Voss et al., 2013). مقادیر فسفر و نیتروژن کل در مهرماه با میانگین ۰/۶۲ و ۱۰/۳ میکرومولار در لایه سطحی و ۱/۷۴ و ۲۱/۸۰ میکرومولار در لایه عمقی متاثر از لایه بندی ستون آب است. تفاوتها در آبان کاهش یافته و در دی‌ماه کاملاً از بین می‌رود. روند تغییرات فصلی به گونه‌ای است که فسفر افزایش تدریجی را از مهر تا اسفند نشان می‌دهد در حالی که نترات با شیب تندی از مهرماه تا اسفندماه کاهش می‌یابد. شکل ۳ سهم مجموع نیتريت و نترات به عنوان گونه‌های نیتروژن معدنی محلول (DIN%) در نیتروژن کل و سهم فسفات محلول (DIP%) را در فسفات کل نشان می‌دهد. برخلاف نیتروژن که سهم آن غالباً کمتر از ۵۰٪ بوده و تغییرات فصلی زیادی را نشان نمی‌دهد، سهم فسفات معدنی در دوره بین مانسون پاییزه (مهر و آبان) غالباً از ۵۰٪ بیشتر بوده و به طور معنی‌داری ( $F=13.8; P=0.000$ ) بیشتر از مانسون زمستانه (دی و بهمن) است. کلروفیل-آ که به عنوان تخمینی از رنگدانه‌های فتوسنتزی و بیومس فیتوپلانکتونهاست، مقادیر بیشینه را در اسفندماه نشان می‌دهد. مقادیر مشاهده شده در مهرماه پراکندگی بیشتری نشان می‌دهند که مقادیر تا ۳/۴ میکروگرم در لیتر نیز در لایه‌های میانی ثبت شده و بیانگر شکوفایی پراکنده در این فصل است. به طور کلی مطابق تحقیقات میدانی (Ershadifar et al., 2020) و داده‌های ماهواره‌ای گذشته (Khan, Ghazal, Arsalan, Siddiqui, & Kazmi, 2015) در دریای عمان کلروفیل-آ دو بیشینه را در طول سال نشان می‌دهد. بیشینه ضعیف‌تر در اواخر مانسون تابستانه یا دوره پس مانسون و بیشینه قوی‌تر در طی مانسون زمستانه مشاهده می‌شود. مقادیر بالای کلروفیل-آ در نواحی ساحلی و فراساحلی در طی این دوره از نمونه‌برداری به دلیل فراوانی نسبتاً بالای گونه فیتوپلانکتونی *Scintillans* است. این گونه دینافلاژله میکسوتروف در فراوانی بالا در آبهای خلیج فارس و دریای عمان هر ساله از پاییز تا اوایل بهار حضور دارد و طی شرایط محیطی متنوع در دو دهه گذشته شکوفایی گسترده‌ای را در این ناحیه نشان داده است (do Rosário Gomes et al., 2014; Ghazilou, Koochakejad, et al., 2017). نوسانات بین سالیانه نسبتاً شدید در مقادیر بیشینه کلروفیل-آ در طی مانسون

دما به عنوان یکی از مهمترین عوامل محیطی تاثیرگذار بر فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی در محیط‌های دریایی متاثر از تغییرات فصلی دمای محیط و شدت و زمان تابش نور خورشید است. لایه گرمایشی ( $\approx 6^{\circ}\text{C}$ ) که در مهرماه از سطح تا بستر گسترش یافته در آبان ماه تضعیف شده، در دی‌ماه کاملاً محو شده و در اسفندماه دوباره شروع به ظاهر شدن می‌کند. بیشینه و کمینه دمای سطحی ثبت شده در ماه‌های مهر و اسفند بوده است. برخلاف دما که از مهر تا اسفند روند نزولی را نشان می‌دهد، تغییرات فصلی شوری بیانگر حداقل بودن شوری در مهرماه و حداکثر بودن آن در آبان ماه است. این تغییرات شدید در شوری بیانگر تغییر الگوی جریان‌های دریایی در این فصل است. به طور کلی شوری در آبهای ساحلی این ناحیه تحت تاثیر عوامل جوی مانند سرعت تبخیر، شدت تابش و به ویژه الگوی جریان‌های دریایی قرار می‌گیرد. آبهای سطحی اقیانوس هند از شمال دریای عرب به دریای عمان وارد می‌شود. حرکت این آب سطحی کم شور تحت استرس باد و فعالیت چرخند‌های بزرگ در دهانه اتصال دریای عمان به دریای عرب بوده و جریان آن به صورت فصلی تغییر می‌کند به طوری طبق مشاهدات حداکثر انتقال آب در فصل تابستان اتفاق می‌فتد (عینعلی، چگینی، & وحید، ۲۰۱۷). شوری این آبها کمتر از شوری آبهای دریایی عمان است که به ویژه تحت تاثیر ورودی آبهای شور از خلیج فارس است. تغییرات پارامترهای pH و اکسیژن محلول در آبهای اقیانوسی و ساحلی تحت تاثیر پارامترهای فیزیکی (دما و شوری، و فشارهیدروستاتیک) از یک سو و فعالیت‌های بیولوژیکی (فتوسنتز و فساد مواد آلی) از سوی دیگر است (Libes, 2011). به دلیل لایه بندی ستون آب در طی دوره‌های مهر و آبان مقادیر این پارامترها از سطح به عمق تغییرات (کاهش) شدیدی را نشان می‌دهد. فساد مواد آلی در لایه نزدیک بستر منجر به کاهش اکسیژن محلول به کمتر از ۲ میلی گرم در لیتر می‌شود (کمینه ۱/۷ و ۲۰٪ اشباع) که معمولاً شرایط هایپوکسیک در نظر گرفته می‌شود (Breitburg et al., 2018). متناظر با این کاهش و در نتیجه افزایش مقادیر دی‌اکسید کربن، pH به طور هم‌نوا با اکسیژن افت شدیدی (حداقل ۷/۹) را نشان می‌دهد. تثبیت این شرایط در مناطقی که به واسطه فراچاهش در طی مانسون جمعیت فیتوپلانکتونی افزایش می‌یابد، در شرایط پسا‌شکوفایی می‌تواند در نتیجه ترکیب فساد زیاد و لایه بندی شدید منجر به هایپوکسی ساحلی شود و حیات آبریان را به مخاطره اندازد (Naqvi et al., 2010). بیشینه مقادیر اکسیژن محلول (۸/۱) در اسفندماه مشاهده می‌شود که متناظر با کمینه دما و بیشینه کلروفیل-آ است. به طور کلی با کاهش دما هر دو پارامتر اکسیژن محلول و pH از دوره بین مانسون پاییزه به مانسون زمستانه افزایش ملایمی را نشان می‌دهند. اثرات لایه‌بندی در توزیع عمقی مواد مغذی در ماه‌های مهر و آبان نیز منعکس می‌شود که در آن غلظت‌ها از سطح به عمق افزایش زیادی را نشان می‌دهند. در مهرماه مقادیر متوسط ۰/۹۵ و ۱/۷۲ و ۰/۲۹ میکرومولار به ترتیب برای نترات، سیلیکات و فسفات در سطح به ۸/۴۲ و ۷/۰۶ و ۱/۰۸ میکرومولار در لایه نزدیک بستر افزایش می‌یابد. با افزایش اختلاط از مهر به آبان تفاوت میان سطح و عمق ۱۰ متری از بین می‌رود و مختلط بودن ستون آب در دی‌ماه منجر به از بین رفتن شیب غلظتی می‌شود. مقایسه مقادیر سطحی بیانگر بالاتر بودن نتایج مانسون زمستانه نسبت دوره بین مانسون پاییزه به دلیل اختلاط بیشتر

بر پایه دسته‌بندی سطح تروفی براساس شاخص کلروفیل-آ به استثنای اسفندماه که در سطح مزوتروف (۲/۶-۷/۳۰) است در بقیه ماه‌ها در محدوده الیگوتروفی (۰/۶-۰/۲) هستند.

زمستانه در دریای عمان به تغییرات در فراوانی این گونه نسبت داده شده است (Piontkovski, Al-Azri, & Al-Hashmi, 2011).

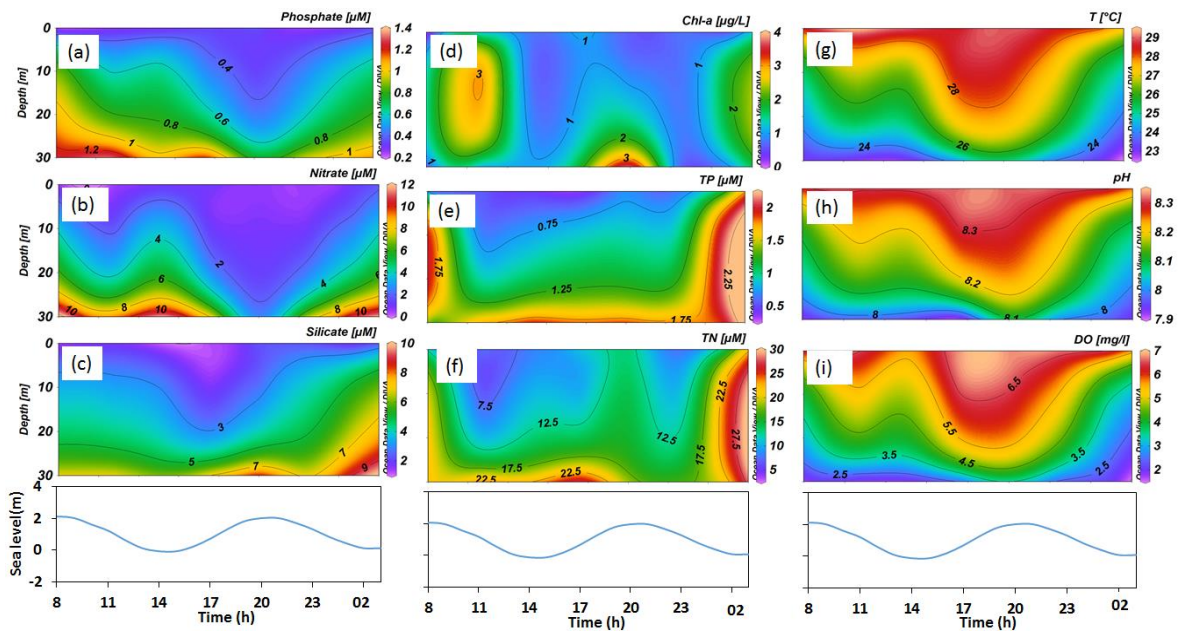


شکل ۳- نمودار ستونی تغییرات فصلی مقادیر سهم DIN (مجموع نیترات و نیتريت) از نیتروژن کل و سهم DIP (فسفات) از فسفر کل. آنتنک‌ها مقادیر انحراف استاندارد را نشان می‌دهند.

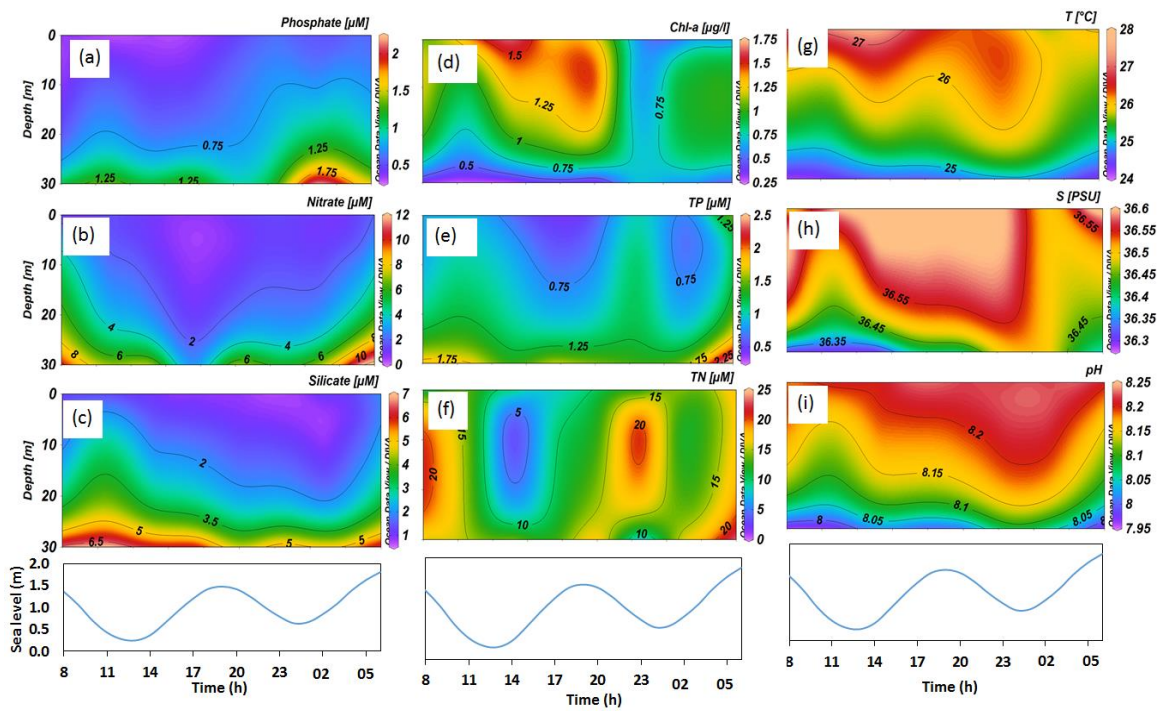
مواد مغذی و بیشینه‌هایی در دما، شوری، pH، و اکسیژن محلول در زمان مد کامل می‌شود (شکل ۴). در آبان‌ماه سرعت (حداکثر ۷ متر برثانیه) و تنوع جهت وزش باد (شرقی-جنوب شرقی) در این دوره نسبت به مهرماه کمتر است. نوسانات بیانگر وقوع بیشینه در مقادیر پارامترهای فیزیکی شیمیایی در جزر دوم است در حالی که جزر اول فقط بیشینه دما محسوس است. کلروفیل مقدار بیشینه از ساعت ۱۴ تا ۲۰ نشان می‌دهد که متناظر با مقادیر کم مواد مغذی در این بازه زمانی است و بیانگر آن است که سطح مواد مغذی به طور فعالی توسط فعالیت فیتوپلانکتونی کنترل می‌شود. در دی و اسفندماه به دلیل اختلاط عمودی و افقی ستون آب دامنه نوسانات محدودتر است. در دی‌ماه شوری بیشینه‌ای را در شرایط جزر نشان می‌دهد در حالی که بیشینه دما به نظر می‌رسد تابع تغییرات شدت تابش و دمای هوا باشد و در ساعت ۱۴ مشاهده می‌گردد. بیشینه مقدار کلروفیل-آ نیز منطبق بر کمینه دما و مواد مغذی (نیترات و سیلیکات) در شرایط جزر است. در اسفندماه نیز مانند دی‌ماه بیشینه مواد مغذی در شرایط مد مشاهده می‌گردد و بیشینه دما متأثر از تابش نور خورشید و دمای محیط در ساعت ۱۴ مشاهده می‌گردد. بیشینه کلروفیل-آ منطبق بر کمینه مواد مغذی در شرایط جزر است.

نوسانات روزانه

شکل‌های ۴-۸ نیمرخ عمقی-زمانی پارامترهای هیدروشیمی در ایستگاه مورد نظر در طی چهار فصل را نشان می‌دهد. به دلیل موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری در لبه شیب قاره تند در این ناحیه و قرار گرفتن آبهای ساحلی کم عمق در خلیج چابهار در غرب و فلات قاره گسترده‌تر در شرق نوسانات کوتاه مدت به شدت تحت تاثیر نه تنها جریانات جزر و مدی بلکه جریانات القا شده با وزش باد است. جهت باد و در نتیجه جریانات سطحی ساحلی در این منطقه بسیار ناپایدار است که باعث پیچیده شدن الگوی نوسانات در طی شبانه روز می‌شود. هم‌چنانکه مشاهده می‌شود در طی ماه‌های آبان و مهر به دلیل اختلاط ضعیف عمقی و افقی ستون آب، تحت تاثیر جریانات (جزر و مدی و غیر جزر و مدی) نوسانات شدیدی در طی شبانه روز در پارامترها مشاهده می‌شود. نمونه‌برداری مهرماه در زمان جزرومد کامل انجام شده است که ارتفاع مد حدود ۲ متر بوده است. هم چنین وزش باد شدید غربی و جنوب غربی (۱۲ متر بر ثانیه در بیش از ۱۲ ساعت روز) سبب ایجاد جریانات سطحی شده که توده آب گرم، شور، و تخلیه شده از مواد مغذی که از خلیج چابهار در جزر خارج شده را در چرخه مد بعدی به منطقه نمونه برداری وارد کند. این ترکیب جریانات القا شده با باد و جریانات جزر و مدی سبب ظهور کمینه‌هایی در

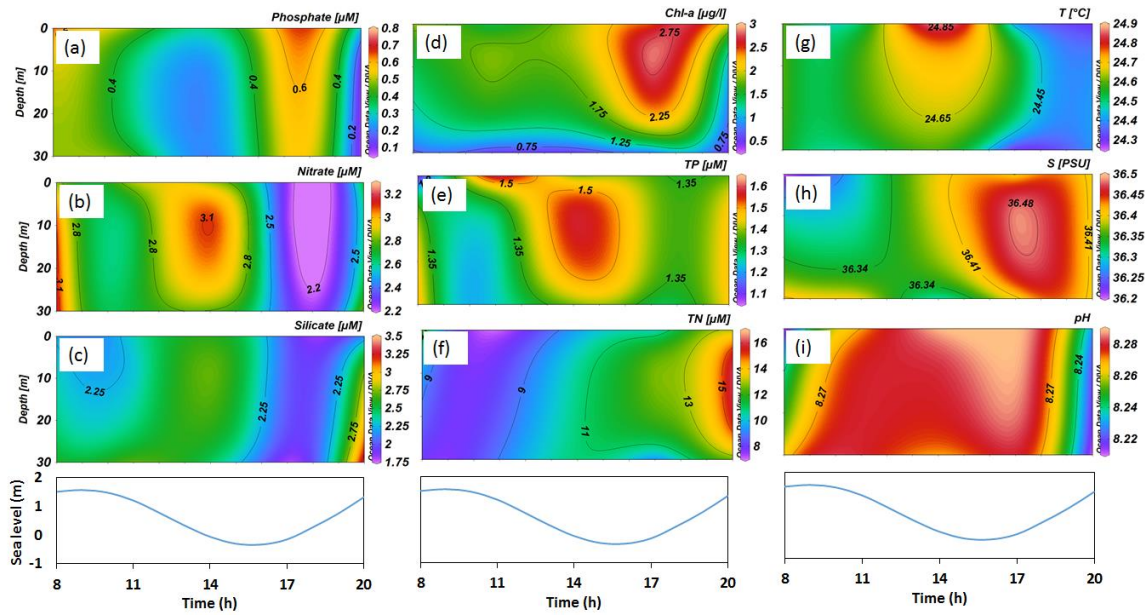


شکل ۴- نیمرخ نوسانات زمانی-عمقی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در طی دوره نمونه برداری مهرماه ۱۳۹۷.

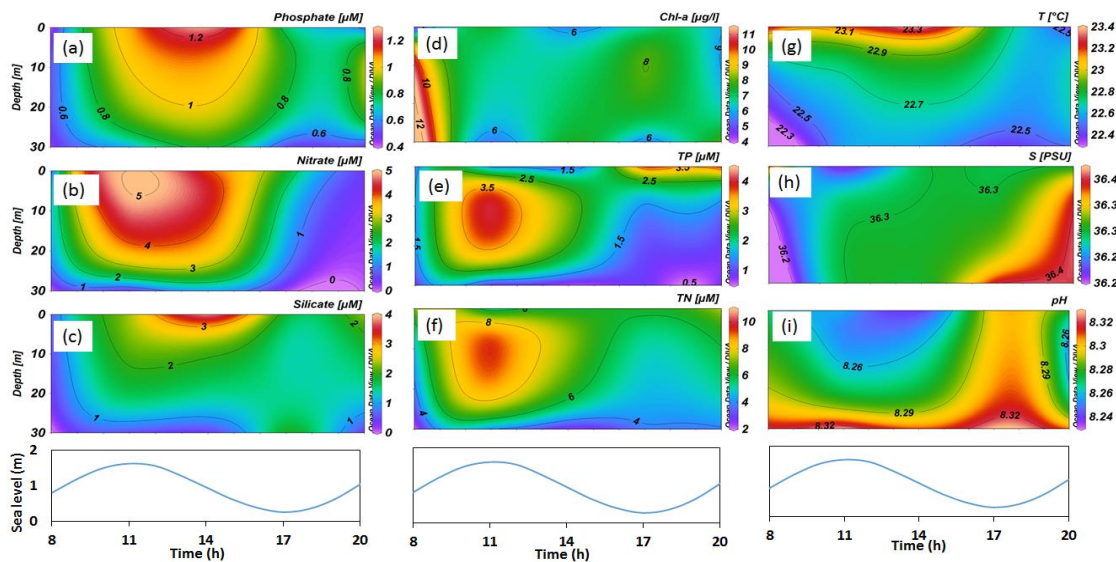


شکل ۵- نیمرخ نوسانات زمانی-عمقی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در طی دوره نمونه برداری آبان ۱۳۹۷.





شکل ۶- نیمرخ نوسانات زمانی-عمقی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در طی دوره نمونه برداری دی ۱۳۹۷.



شکل ۷- نیمرخ نوسانات زمانی-عمقی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در طی دوره نمونه برداری اسفند ۱۳۹۷.

نسبت مواد مغذی و عامل محدود کننده

جهت ارزیابی نقش مواد مغذی در تولید اولیه، علاوه بر غلظت‌های منفرد مواد مغذی نسبت آنها نیز باید بررسی شود. علیرغم تغییرات زیادی که در معادله اصلی فتوسنتز تنفس هوازی ردفیلد (Redfield, 1963) انجام شده است، مفهوم بنیادی ردفیلد از نسبت N:P (16:1) معتبر باقی مانده است. انحراف از نسبت متعارف (Brzezinski, 1985; Redfield, 1963) ۱۶:۱۶:۱ برای فسفر:سیلیس:نیتروژن کلید تصمیم‌گیری است در مورد اینکه کدام ماده غذایی می‌تواند به طور بالقوه رشد فیتوپلانکتون را محدود کند. در اینجا، ما از معیارهای ارائه شده توسط (Cardona et al., 2016) برای تعیین اینکه کدام ماده مغذی می‌تواند به طور بالقوه تولید اولیه را در منطقه محدود کند، استفاده می‌کنیم  $N:P > 30$  : به عنوان نشانه ای برای محدودیت فسفر،  $NO_3 < 1 \mu M$  و  $N:P < 10$  به عنوان نشانه برای محدودیت نیتروژن و  $Si < 2 \mu M$ ،  $Si:N < 1$  و  $Si:P < 3$  به عنوان علامتی برای محدودیت سیلیکاتی. مقادیر شیب خط رگرسیون نیترات-فسفات برابر ۵/۴ و میانگین نسبت آنها نیز برابر ۵/۰ است که بسیار کمتر از ۱۶ است. این مقادیر میانگین از مقدار متوسط ۱۴/۳ محاسبه شده برای آب‌های آبیانوسی (Tyrrell & Law, 1997) و از مقدار نظری ۱۶ پیشنهاد شده توسط ردفیلد (Redfield, 1963) کمتر است. برخلاف آب‌های آبیانوس آزاد، غلظت مواد مغذی و نسبت آنها معمولاً به صورت فصلی و محلی در دریا‌های حاشیه‌ای در نوسان است (Cardona et al., 2016; Geider & La Roche, 2002). پروژه تحقیقاتی USGOFS در دریای عرب (Morrison et al., 1998)، مقادیر نسبت N/P در ۲۵ متر بالای ستون آب در طی فصول مختلف از ۱۵ تجاوز نمی‌کند و پیشنهاد شده است که کمبود نیتروژنی در این ناحیه نمی‌تواند تماماً توسط تثبیت نیتروژن توسط دیازوتروف‌ها جبران شود. هم چنین مقادیر این مطالعه نسبت به مشاهدات پیشین در نواحی فراساحلی شرقی دریای عمان (نسبت ۷/۸) کمتر است (Emara, 2010). محدودیت فسفری به طور کلی در هیچ کدام از ماه‌ها نامحتمل است چون نسبت N:P در بیش از ۹۰ درصد نمونه‌ها کمتر از ۱۰ است. در آب‌های کم عمق ساحلی به دلیل تامین بخش زیادی از فسفات از طریق بازتعلیق رسوبات به ندرت محدودیت فسفری مشاهده می‌شود. با این حال برای محدودیت نیتروژنی نیز شرط دوم تنها در ۲۵٪ داده‌ها وجود دارد که عمدتاً مربوط به دوره اسفند و هم‌چنین برخی نمونه‌های سطحی در مهر و آبان است. معادله رگرسیون بیانگر غلظت ۰/۱ فسفات در غلظت ۰/۰ نیترات است که موید محدودیت نیتروژنی نسبت به فسفری است. نیتروژن و فسفر کل همبستگی ضعیفی را نشان می‌دهند که حتی با کنار گذاشتن داده‌های دور افتاده در اسفندماه نیز ضریب تعیین

معادله رگرسیون پایین است (۰/۳). با این حال مقادیر میانگین کلی TN/TP (۱۰/۵) بیش از دو برابر مقدار میانگین Nitrate/Phosphate (۵/۰) است. هم چنین نسبت‌ها در دوره بین مانسون پاییزه (۱۴/۰±۵/۴) در مهر و ۱۳/۰±۵/۰ در آبان (بسیار بزرگتر از مانسون زمستانه ۷/۸±۱/۹) در دی و ۳/۹±۱/۴ در آبان) است. (F=57.0, p=0.000) شیب رگرسیون خطی نیترات-سیلیکات برابر ۱/۱ و نزدیک به مقدار تئوری ۱ است. مقدار میانگین نسبت Si:N در آبان و دی به ترتیب ۱/۰ و ۰/۹ است که به مقدار تئوری نزدیک است با این حال نتایج مهر و اسفند پراکندگی زیادی را نشان می‌دهند و مقادیر میانگین (به ترتیب ۱/۹ و ۲/۴) با مقدار نظری فاصله زیادی دارند. این تفاوت و پراکندگی می‌تواند به دلیل شکوفایی‌های جلبکی در این دوره‌ها باشد که به صورت لکه‌ای بوده و در توزیع مقادیر کلروفیل-آ (شکل ۲) نیز منعکس شده است. در ۴۵٪ نتایج مقدار سیلیکات کمتر از ۲/۰ میکرومولار است که شامل نمونه‌های اسفندماه و تقریباً تمامی نمونه‌های سطحی در مهر و آبان است. شرایط کامل برای محدودیت سیلیکاتی در ۲۰ درصد نمونه‌ها وجود دارد که همگی نمونه‌های آبان و اسفندماه هستند. اگرچه محدودیت سیلیکاتی در آبان‌ماه که دوره پس از شکوفایی تابستانه فیتوپلانکتونهاست قبلاً نیز در این منطقه مشاهده شده است (Ershadifar et al., 2020)، با این حال به نظر می‌رسد که کاهش شدید سطح سیلیکات در اسفندماه ناشی از شکوفایی گونه‌های دیاتومه در این فصل است.

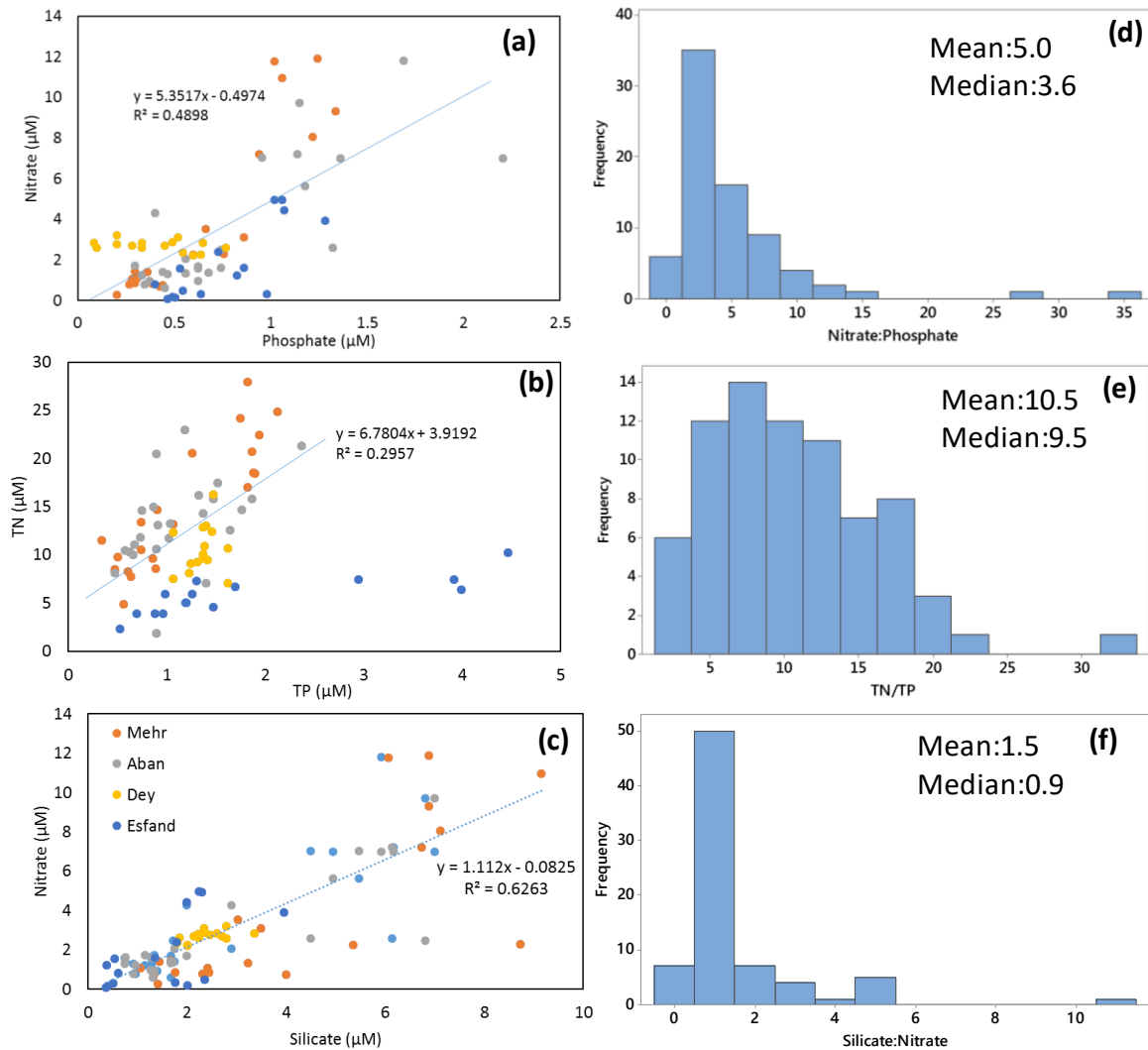
#### ۱- نتیجه‌گیری

پایش مداوم آب‌های ساحلی در راستای توسعه پایدار دریا محور در گسترش طرح‌های آبی پزوری در قفس، اکوتوریسم دریایی، صنایع شیرین‌سازی آب دریا و هم چنین جهت حفاظت از اکوسیستم‌های حساس منطقه از جمله مناطق مرجانی الزامی است. تغییرات در توزیع پارامترهای هیدروشیمی در آب‌های ساحلی چابهار متأثر از تغییرات در ساختار ستون آب و افزایش اختلاط عمقی و افقی از دوره بین مانسون پاییزه به مانسون زمستانه است. با کاهش دما از دوره بین مانسون پاییزه به مانسون زمستانه ترموکلاین فصلی موجود در مهرماه در دی‌ماه کاملاً محو شده و تفاوت مقادیر سطحی و عمقی پارامترها از بین رفته است. اکسیژن محلول و pH که در دوره بین مانسون متأثر از فرایندهای فساد هوازی مواد آلی به ویژه در لایه عمقی مقادیر پایینی را تجربه کرده‌اند در مانسون زمستانه افزایش یافته و تفاوت زیادی بین سطح و عمق مشاهده نمی‌شود. مواد مغذی نیز که در دوره لایه‌بندی ستون آب در لایه سطحی مقادیری کمی دارند در زمستان افزایش نشان می‌دهند، اگرچه مقادیر میانگین ستون آب برای سیلیکات، نیترات، و نیتروژن کل روند کلی کاهشی را از مهر تا اسفند نشان می‌دهند. در نتیجه افزایش اختلاط ستون آب، کلروفیل-آ



تمامی نمونه های اسفندماه است که بیانگر حذف فعال سیلیس توسط دیاتوم هاست. نوسانات روزانه پارامترها به ویژه در دوره لایه بندی ستون آب تحت تاثیر جریانات جزر و مدی و غیر جزر و مدی بوده به طوری که مقادیر بیشینه و کمینه در یک چرخه روزانه می تواند در هر دو موقعیت جزر یا مد ظاهر شوند.

نیز بیشینه خود را در اسفندماه نشان می دهد. نسبت نیترات به فسفات معدنی در ۹۰٪ موارد کمتر از ۱۰ بوده و مقدار میانگین ۵/۰ برای کل دوره نمونه برداری از بیانگر احتمال بیشتر محدودیت نیتروژنی نسبت به محدودیت فسفوری است. در ۴۵٪ نتایج مقدار سیلیکات کمتر از ۲/۰ میکرومولار است شامل نمونه های سطحی مهر و آبان و تقریباً



شکل ۸- نمودارهای رگرسیون خطی مواد مغذی و بافت‌نگاری توزیع نسبت آنها در کل دوره نمونه‌برداری.

### منابع

- اکبرزاده، غ، سالارپوری، ع، بهزادی، س، درویشی، م، ۱۳۹۳. بررسی ساختار جامعه فیتوپلانکتونی در آب‌های ساحلی استان هرمزگان (مناطق قشم و بندر لنگه). نشریه علمی بوم‌شناسی آبیان ۵، ۱۴۵-۱۵۰.
- نصراله زاده ساروی، ح، مخلوق، آ، واحدی، ف، نصراله تبار، ع، علومی، ی، ۱۳۹۲. بررسی مطالعه نسبت های استوکیومتری ماکرونوترینت در محدودیت رشد فیتوپلانکتون در سواحل ایرانی حوزه جنوبی دریای خزر-استان مازندران. مجله علمی پژوهشی زیست شناسی دریا، ۱۷، ۷۱-۸۶.
- نصراله زاده ساروی، ح، مخلوق، آ، روشن طبری، م، اسلامی، ف، ۱۳۹۲. بررسی روابط تغذیه ای زئوپلانکتون-فیتوپلانکتون در فصول مختلف حوزه جنوبی دریای خزر با به کارگیری آزمون های آماری چند متغیره، اقیانوس شناسی، ۱۵، ۲۹-۳۸.
- عینعلی، ع، چگینی، و، ۱۳۹۶. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای فیزیکی (دما، شوری و چگالی) آب خلیج پزم. مجله علوم و فنون دریایی ۱۶، ۱۱۱-۱۲۴.

- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4), 704-726.
- Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., Isensee, K. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371), eaam7240.
- Brzezinski, M. A. (1985). The Si: C: N ratio of marine diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables 1. *Journal of Phycology*, 21(3), 347-357.
- Cardona, Y., Bracco, A., Villareal, T. A., Subramaniam, A., Weber, S. C., & Montoya, J. P. (2016). Highly variable nutrient concentrations in the Northern Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 129, 20-30.
- Carlson, R. E., & Simpson, J. (1996). A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. *North American Lake Management Society*, 96, 305.
- do Rosário Gomes, H., Goes, J. I., Matondkar, S., Buskey, E. J., Basu, S., Parab, S., & Thoppil, P. (2014). Massive outbreaks of *Noctiluca scintillans* blooms in the Arabian Sea due to spread of hypoxia. *Nature communications*, 5, 4862.
- Emara, H. I. (2010). Nutrient salts, inorganic and organic carbon contents in the waters of the Persian Gulf and the Gulf of Oman. *Journal of the Persian Gulf*, 1(2), 33-44.
- EPA. (1991). ESS Method 150.1: Chlorophyll—Spectrophotometric: Environmental Sciences Section Madison, WI.
- Ershadifar, H., Koochaknejad, E., Ghazilou, A., Kor, K., Negarestan, H., & Baskaleh, G. (2020). Response of phytoplankton assemblages to variations in environmental parameters in a subtropical bay (Chabahar Bay, Iran): Harmful algal blooms and coastal hypoxia. *Regional Studies in Marine Science*, 39, 101421.
- Fauzi, R., Mantoura, C., Law, C. S., Owens, N. J., Burkill, P. H., Woodward, E. M. S., . . . Llewellyn, C. A. (1993). Nitrogen biogeochemical cycling in the northwestern Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 40(3), 651-671.
- Geider, R., & La Roche, J. (2002). Redfield revisited: variability of C: N: P in marine microalgae and its biochemical basis. *European Journal of Phycology*, 37(1), 1-17.
- Ghazilou, A., Koochaknejad, E., Ershadifar, H., Kor, K., & Negarwstan, H. (2017). Autumnal algal bloom succession in Northern coasts of Gulf of Oman. *Harmful algae News*, 56.
- Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. (1999). *Methods of seawater analysis* 3rd edn. Verlag Chemie.
- Hansen, H. P., & Koroleff, F. (1999). Determination of nutrients. *Methods of seawater analysis*, 159-228.
- Harrison, P. J., Piontkovski, S., & Al-Hashmi, K. (2017). Understanding how physical-biological coupling influences harmful algal blooms, low oxygen and fish kills in the Sea of Oman and the Western Arabian Sea. *Marine pollution bulletin*, 114(1), 25-34.
- Khan, I. A., Ghazal, L., Arsalan, M. H., Siddiqui, M. F., & Kazmi, J. H. (2015). Assessing spatial and temporal variability in phytoplankton concentration through chlorophyll-a satellite data: A case study of northern Arabian Sea. *Pak. J. Bot*, 47(2), 797-805.
- Kor, K., Ghazilou, A., Ershadifar, H., & Koochaknejad, E. (2020). Use of regression tree to investigate the effective parameters on algal bloom in the southeastern coasts of Iran. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(4), 3086-3095.
- Libes, S. (2011). *Introduction to marine biogeochemistry*: Academic Press.
- Moopam, R. (1999). *Manual of oceanographic observations and pollutant analysis methods*. ROPME. Kuwait, 1, 20.
- Morrison, J. M., Codispoti, L., Gaurin, S., Jones, B., Manghnani, V., & Zheng, Z. (1998). Seasonal variation of hydrographic and nutrient fields during the US JGOFS Arabian Sea Process Study. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(10-11), 2053-2101.
- Naqvi, S., Bange, H. W., Farías, L., Monteiro, P., Scranton, M., & Zhang, J. (2010). Marine hypoxia/anoxia as a source of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O. *Biogeosciences (BG)*, 7, 2159-2190.

- Paytan, A., & McLaughlin, K. (2007). The oceanic phosphorus cycle. *Chemical reviews*, 107(2), 563-576.
- Piontkovski, S., Al-Azri, A., & Al-Hashmi, K. (2011). Seasonal and interannual variability of chl-a in the Gulf of Oman compared to the open Arabian Sea regions. *International Journal of Remote Sensing*, 32(22), 7703-7715.
- Redfield, A. C. (1963). The influence of organisms on the composition of seawater. *The sea*, 2, 26-77.
- Roelke, D., Eldridge, P., & Cifuentes, L. (1999). A model of phytoplankton competition for limiting and nonlimiting nutrients: implications for development of estuarine and nearshore management schemes. *Estuaries*, 22(1), 92-104.
- Saraji, F. (2014). *Phytoplankton Community And Water Quality During Pre And Post Monsoon In The Oman Sea (Part Of Iranian Waters)*. Universiti Sains Malaysia.
- Struyf, E., Smis, A., Van Damme, S., Meire, P., & Conley, D. J. (2009). The global biogeochemical silicon cycle. *Silicon*, 1(4), 207-213.
- Tréguer, P. J., & De La Rocha, C. L. (2013). The world ocean silica cycle. *Annual review of marine science*, 5, 477-501.
- Tyrrell, T., & Law, C. (1997). Low nitrate: phosphate ratios in the global ocean. *Nature*, 387(6635), 793-796.
- Voss, M., Bange, H. W., Dippner, J. W., Middelburg, J. J., Montoya, J. P., & Ward, B. (2013). The marine nitrogen cycle: recent discoveries, uncertainties and the potential relevance of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130121.

## Evaluation of hydrochemical parameters in coastal waters of Chabahar: seasonal variations and diurnal fluctuations

Hamid Ershadifar<sup>1\*</sup>; Kamalodin Kor<sup>1</sup>; Amir Ghazilou<sup>1</sup>; Emad Koochanejad<sup>1</sup>; Gholmrasoul Baskaleh<sup>2</sup>

1-Assistant Professor, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran

2- Laboratory expert, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran

\*Email Address: hamid.ershadifar@inio.ac.ir

### Abstract

#### Introduction

Environmental parameters and their short and long-term variations are widely studied to monitor the changes in coastal water quality. Dynamic changes in parameters such as temperature, pH, DO, and nutrients are closely related to primary production by autotrophic species and their population structure. The availability of nutrients and their ratio is considered the key factors regulating the biomass of phytoplankton (Roelke, Eldridge, & Cifuentes, 1999). The growth and metabolism of these organisms are strongly influenced by nitrogen, phosphorus, and silicon as nutrients. The biological response to environmental changes is closely related to the periodicity of fluctuations in these parameters. While the variation in seasonal scale is influenced by the seasonal pattern of currents and meteorological parameters, on a diurnal scale, they are influenced by the processes of photosynthesis and decomposition of organic matter. These fluctuations in hydrochemical parameters can shape the population structure of phytoplankton, the outbreaks of harmful species, and the expansion of low-oxygen regions in the upper layers of the water column in the post-bloom phase. Therefore, the trophic status is evaluated in various ways, including the concentration of nutrients or chlorophyll-a (Carlson & Simpson, 1996). In the northern regions of the Gulf of Oman, meteorological conditions and water column characteristics are mostly governed by the summer (June-August) and winter (December-March) monsoons. Most of the summer monsoon's impact on hydrochemistry and function of biological life is through local wind-driven or eddy-induced upwelling in coastal areas, during which, colder nutrient-rich waters rise to the surface from depths (Harrison, Piontkovski, & Al-Hashmi, 2017). During the winter monsoon, cool convective mixing increases the mixing layer depth and helped nutrients to reach the surface (Harrison et al., 2017). The frequent occurrence of harmful algal blooms and the establishment of hypoxic conditions as a result of the increase in the concentration of nutrients have affected the coastal waters of Chabahar in recent years (Ershadifar et al., 2020; Kor, Ghazilou, Ershadifar, & Koochanejad, 2020). On the other hand, Gulf of Oman, as a part of the northwest of the Arabian Sea, has the potential to be considered globally as a sensitive indicator of global climate change at the oceanic scale (Fauzi et al., 1993). The region is host to various biogeochemical phenomena such as the upwelling of nutrient-rich waters, nitrogen fixation and nitrogen deficiency, as well as the deoxygenation in both coastal and offshore areas.

#### Methodology

In the present study, the short-term fluctuations (diurnal) as well as seasonal variations in hydrochemical parameters including salinity, temperature, pH, dissolved oxygen, and nutrients (nitrate, silicate, and phosphate) were investigated in Chabahar coastal waters. Sampling has been done from a single station (depth of 30 m) on October 9 of 2018, November 19 of 2018, January 07 of 2019, and March 10 of 2019. The samples were collected in time intervals of 3 h and from three depth levels of 0, 10, and 30 m using a Niskin bottle each in three replicates. Environmental parameters including temperature, salinity, DO and pH were recorded by using portable devices at the sampling site. The samples were stored in a freezer at -20°C and analyzed in a short period of time. In the laboratory, nutrients concentration were measured according to the instructions for the analysis of nutrients in marine environments (Hansen & Koroleff, 1999). The double beam Rayleigh UV-920 spectrophotometer with 2 cm pathlength was used for colorimetric determination. Measurement of total phosphorus and nitrogen in unfiltered samples was also done by wet oxidation method in the presence of persulfate as an oxidizing agent at high-temperature conditions followed by the

spectrophotometric determination of nitrate and phosphate (Grasshoff, Kremling, & Ehrhardt, 1999). To measure chlorophyll-a, the samples were extracted in 90% acetone and measured by the spectrophotometric method according to ESS Method 150.1 (EPA, 1991). The Ocean Data View (odv 5.1.7) software was used to depict the temporal-vertical fluctuations (Schlitzer, R., 2020, Ocean Data View, <http://odv.awi.de>). The General Linear Model (GLM) followed by Tukey's post-hoc tests (Minitab V17 software) was used to evaluate the seasonal changes in the investigated parameters.

### **Conclusion**

Continuous monitoring of coastal water quality is required for the sustainable development of cage culture projects, marine ecotourism, and desalination plants, and also to protect the sensitive ecosystems of the region, including coral reefs. The diurnal and vertical variations in the distribution of hydrochemical parameters in the coastal waters of Chabahar are affected by the changes in the water column structure varied from strong stratification in the fall intermonsoon monsoon to mixed column in the winter monsoon. As the temperature declined, the seasonal thermocline established in October completely faded in January and the vertical gradients in hydrochemical parameters weakened or completely faded. Dissolved oxygen and pH, which have experienced low values in the inter-monsoon period, more profoundly in the near bottom layer, were affected by the processes of aerobic remineralization of organic matter. They were increased in the winter monsoon and there was no significant difference between the surface and near bottom values. Surface nutrients, with low concentrations during the stratification period, showed an increase toward winter monsoon. However, the average values for silicate, nitrate, and nitrogen over the water column showed a general decreasing trend from October to March. As a result of the increase in water column mixing, Chl-a also shows its maximum in March. The ratio of nitrate to phosphate is less than 10 in 90% of samples. The average value of the nitrate: phosphate ratio was 5.0, which was much lower than the theoretical value of 16 suggested by Redfield for offshore open ocean waters. This could implies the higher probability of nitrogen limitation rather than phosphorus limitation. In 45% of the samples, the silicate concentration was less than 2.0  $\mu\text{M}$ , including the surface samples in October and November and almost all samples from March, which showed the active removal by diatoms. The diurnal fluctuations of the parameters, especially during the stratification period of the water column, are influenced by tidal and non-tidal currents so that the maximum and minimum values in a diurnal cycle could appear in both low and high tide situations.

### **Keywords**

Diurnal fluctuations; Seasonal variations; Chabahar coastal waters; nutrients; Chlorophyll-a