



## بررسی اثر پدیده مانسون بر فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و کلروفیل - آ در خلیج چابهار

حمید ارشادی‌فر\*، کمال الدین کر، عماد کوچک نژاد، امیر قاضی لو و غلامرسول بسکله

پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی ایران، چابهار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

ارشادی‌فر، ح.، ک. کر، ع. کوچک نژاد، ا. قاضی لو و غ. بسکله. ۱۴۰۰. بررسی اثر پدیده مانسون بر فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و کلروفیل - آ در خلیج چابهار. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۱): ۳۶-۱۹.

**سابقه و هدف:** خلیج چابهار یک محیط نیمه‌بسته در سواحل جنوب شرقی ایران است که دو بندر مهم کنارک و چابهار در حاشیه آن قرار دارند. ارتباط این خلیج با اقیانوس هند از طریق دریای عمان سبب متأثر شدن این ناحیه از پدیده مانسون بویژه مانسون جنوب غربی در اواخر بهار تا اواخر تابستان می‌شود. از سوی دیگر با گسترش صنایع مختلف دریایی و جمعیت حاشیه این خلیج انتظار می‌رود افزایش فعالیت‌های انسانی سبب متأثر شدن فراسنج‌های آب‌شناسی و در نتیجه اکوسیستم‌های حساس این ناحیه مانند زیستگاه‌های مرجانی و جنگل‌های حرا و همچنین تأسیسات آب‌شیرین‌کن شود. در این تحقیق اثر پدیده مانسون بر فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی، غلظت مواد مغذی و کلروفیل - آ مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. همچنین امکان تأثیر بارگذاری مواد مغذی از طریق اسکله‌های بنادر کنارک و تیس با مقایسه نتایج در این اسکله‌ها و ایستگاه‌های مجاور بررسی خواهد شد.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌برداری از ۴ ایستگاه در خلیج در دو عمق سطحی (۵/۰ متر) و بستر (۱ متر از بستر) با استفاده از بطری نیسکین ۵ لیتری هر کدام در سه تکرار انجام شد. فراسنج‌های دما، شوری،  $DO^1$  و pH توسط دستگاه‌های پرتابل مربوطه در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. در آزمایشگاه واکنشگرهای لازم برای روش کالریمتری بنابر دستورالعمل MOOPAM آماده شده و اندازه‌گیری مقدار مواد مغذی با دستگاه اسپکتروفومتر و در سل با طول مسیر نور ۲ سانتی‌متر انجام شد. بدین منظور فسفر معدنی و سیلیسیم محلول به روش کمپلکس مولیبدات و نیتريت به روش دی‌آزو با خواندن جذب‌ها به ترتیب در طول موج‌های ۸۸۰، ۸۱۰ و ۵۴۰ نانومتر، اندازه‌گیری شدند. نیترات موجود در نمونه‌ها پس از تبدیل به نیتريت به روش ستون کاهشی کادمیوم، و خواندن جذب در ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. کلروفیل - آ نیز پس از استخراج در استون ۹۰٪ به روش اسپکتروسکوپی اندازه‌گیری شد. تحلیل‌های آماری به کمک نرم افزار PRIMER و STATISTICA 10 انجام شد.

**نتایج و بحث:** بنابر نتایج، غلظت مواد مغذی فسفات، نیتريت و نیترات و همچنین کلروفیل - آ در دوره پس مانسون بیشتر و به ترتیب پس مانسون <پیش مانسون> مانسون است. در مورد سیلیکات این روند متفاوت بوده و به صورت پیش مانسون <مانسون> پس مانسون است. مقایسه نتایج بین سالیانه نشان می‌دهد که مقادیر فسفات، نیترات و نیتريت در سال ۹۶ بیشتر از مقادیر متناظر در دوره ۹۲ - ۹۳ بوده در

\*Corresponding Author: Email Address. hamid.ershadifar@inio.ac.ir  
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.29321>

حالی که در مورد سیلیکات عکس این حالت مشاهده می‌گردد. همبستگی مثبت کلروفیل - آ با غلظت مواد مغذی بیانگر آن است که تولید اولیه توسط مواد مغذی کنترل می‌شود. مقادیر pH و DO همبستگی مثبت دارند و به‌طور کلی در دوره پیش‌مانسون کمتر از دوره پس‌مانسون در هر دو دوره نمونه‌برداری ۹۲ - ۹۳ و ۹۶ هستند.

**نتیجه‌گیری:** مقایسه نتایج نمونه برداری بین دو نوبت ۹۲ - ۹۳ و ۹۶ نشان از تفاوت در مواد مغذی و فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی دارد که به دلیل تفاوت در شدت و دوره مانسون در سال‌های مختلف می‌باشد. مقادیر بالای مواد مغذی نترات، فسفات و نیتریت در فصل پس مانسون به دلیل پدیده فراجوشی القا شده توسط مانسون و رسیدن آب‌های غنی از مواد مغذی به سطح می‌باشد. مقادیر کمتر سیلیکات در فصل پس مانسون نسبت به فصل‌های پیش مانسون و پس مانسون به نظر می‌رسد نتیجه مصرف سیلیکات توسط دیاتومه‌هایی باشد که در این دوره شکوفایی می‌کنند، همچنانکه مقادیر کلروفیل - آ در پس مانسون از فصل‌های قبل بیشتر است. در نهایت مقایسه مقادیر مواد مغذی در دو اسکله صیادی مجاور خلیج با مقادیر ایستگاه‌های مجاور درون خلیج نشان می‌دهد که اگر چه مقادیر به‌طور قابل توجهی بیشتر هستند، ولی هنوز در مرحله‌ای نیستند که سطح مواد مغذی در خلیج را به‌طور وسیعی تحت تأثیر قرار دهند.

**واژه‌های کلیدی:** خلیج چابهار، مواد مغذی، مانسون، فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی، کلروفیل - آ.

## مقدمه

طرح‌های عمرانی، محیط زیستی و شیلاتی، کشتیرانی و نظامی، و توریستی یاری کند. ارتباط با اقیانوس هند از طریق دریای عمان موجب می‌شود تا این ناحیه نیز تحت تأثیر پدیده مانسون قرار گیرد (Hamzeh *et al.*, 2013). به‌طور کلی آب و هوای مانسونی اقیانوس هند دارای دو فاز متفاوت می‌باشد که در اصطلاح به آن‌ها مانسون تابستانه یا جریان‌های موسمی جنوب غربی اقیانوس هند و مانسون زمستانه یا جریان‌های موسمی شمال شرقی اقیانوس هند می‌گویند (Chaichitehrani and Allahdadi, 2018). مانسون تابستانه هر ساله از حدود خردادماه شروع شده، در تیرماه به اوج می‌رسد و در اواخر شهریورماه فروکش می‌کند. مانسون زمستانه که از مانسون تابستانه ضعیف‌تر است، نیز از اواخر آبان شروع شده در بهمن و اسفند به بیشترین مقدار رسیده و در فروردین ماه فروکش می‌کند. در حقیقت سال به پیش‌مانسون، مانسون تابستانه، پس‌مانسون و مانسون زمستانه تقسیم می‌شود. نوسانات بین سالیانه و گسترده‌گی جغرافیایی نواحی تحت تأثیر در اقیانوس هند، دریای عرب و دریای عمان سبب می‌شود که تعریف واحدی از دوره‌های مانسون در منابع نباشد (Morrison *et al.*, 1998).

خلیج چابهار یک خلیج کوچک نعلی‌شکل است که در سواحل جنوب شرقی ایران قرار دارد (شکل ۱). مساحت خلیج ۲۹۰ کیلومتر مربع و عمق میانگین این خلیج ۶ متر می‌باشد که در عمیق‌ترین نقاط به ۱۹ متر می‌رسد (Molamohyeddin *et al.*, 2017). این خلیج از طریق دهانه‌ای به طول ۵ کیلومتر با دریای عمان در ارتباط است. با گسترش صنایع مختلف دریایی از جمله اسکله‌های صیادی و تجاری و جمعیت حاشیه این خلیج از یک سو و جریان محدود آب در این محیط نیمه‌بسته از سوی دیگر، انتظار می‌رود افزایش فعالیت‌های انسانی سبب متأثر شدن فراسنج‌های آب‌شناسی و در نتیجه اکوسیستم‌های حساس این ناحیه گردد. وجود کارخانه آب‌شیرین‌کن در شمال این خلیج و همچنین زیستگاه‌های حساس و آسیب‌پذیر آبسنگ‌های مرجانی و جنگل‌های حرا اهمیت شناخت اطلاعات پایه‌ای از این ناحیه را بیشتر می‌کند. شناخت تغییرات زمانی و مکانی فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی که مهمترین عامل‌های مؤثر بر تولید اولیه در محیط‌های دریایی هستند (Rai and Rajashekhar, 2014; Roelke *et al.*, 1999)، به درک عمیق‌تر اکوسیستم مناطق ساحلی دریایی کمک خواهد کرد و می‌تواند مدیران منطقه را در امر هدایت و مدیریت جامع و یکپارچه برای اجرای

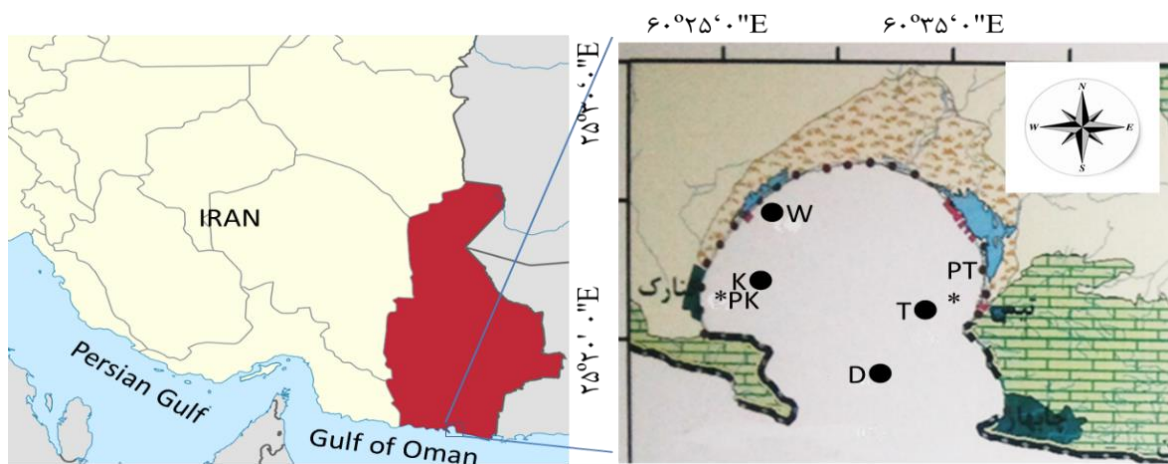
ایرانی ساحل دریای عمان (شامل خلیج چابهار) همزمان با افزایش مواد مغذی در اواخر دوره مانسون و پس مانسون اتفاق می‌افتد. اگرچه تغییرات فراسنج‌های محیطی و مواد مغذی در ارتباط با جمعیت فیتوپلانکتون‌ها در سواحل جنوب شرقی در طی سال‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است (Attaran-Fariman, 2009; Mirzaei *et al.*, 2017; Rabbaniha *et al.*, 2018)، با این حال مطالعات به‌طور عمده پراکنده بوده و مطالعه متمرکزی روی خلیج چابهار و همچنین مقایسه بین سالیانه‌ی فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی نیز انجام نشده است. تأثیرپذیری مقادیر مواد مغذی از فعالیت‌های انسانی در اسکله‌ها نیز مورد مطالعه قرار نگرفته است.

هدف از این تحقیق، بررسی فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی، غلظت مواد مغذی و کلروفیل - آ در فصل‌های پیش‌مانسون (بهار)، مانسون جنوب غربی (تابستان) و پس مانسون (پاییز) و مقایسه آن‌ها با همدیگر است. همچنین نوسانات بین سالیانه این فاکتورها با مقایسه نتایج نمونه‌برداری در دو دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۲ - ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. غلظت مواد در دو اسکله مهم با مقادیر متناظر در ایستگاه‌های مجاور در خلیج به‌منظور بررسی امکان تأثیرپذیری از ورود مواد مغذی از این نواحی، مقایسه خواهد شد.

### مواد و روش‌ها

موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری و عمق‌های مربوطه در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است. تعداد ۴ ایستگاه برای نمونه‌برداری در خلیج چابهار روبروی مناطق تیس (T)، در مجاورت آب‌شیرین‌کن (W)، سواحل بندر کنارک (K) و نزدیک دهانه خلیج چابهار (D) مشخص گردیدند. نمونه‌برداری در ۲ دوره انجام شد. دوره اول شامل نمونه‌برداری در دو نوبت آبان ۱۳۹۲ (پس مانسون) و اردیبهشت ۹۳ (پیش‌مانسون) بوده است. دوره دوم شامل سه نوبت اردیبهشت ۹۶ (پیش-مانسون)، تیر ۹۶ (مانسون) و آبان ۹۶ (پس مانسون) بوده است. همچنین نمونه‌برداری از دو ایستگاه در اسکله‌های تیس (PT) و کنارک (PK) در نمونه برداری دوره ۱۳۹۶ انجام شد.

تغییرات محیطی، مانسون ساختار و عملکرد حیات زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. قسمت اعظم این تأثیر از طریق فرآجوشی القا شده با بادهای مانسونی در مناطق ساحلی و جریان‌های چرخابی است که طی آن آب‌های سردتر و غنی از مواد مغذی از عمق‌های زیاد به سطح می‌رسند (Piontkovski and Al-Jufaili, 2013). ورود آب‌های شور از خلیج فارس از طریق تنگه هرمز در غرب این دریا از یک سو و قرار گرفتن جبهه رأس الحد در شرق آن سبب ایجاد چرخندهایی در آن می‌شود (Reynolds, 1993). اگرچه وجود مناطقی در دریای عمان و همچنین آب‌های ساحلی ایران که تحت تأثیر فرآجوشی قرار می‌گیرند، گزارش شده است (Watanabe *et al.*, 2017; Yi, 2017) فرآجوشی الزاما هر سال به‌صورت منظم اتفاق نمی‌افتد (Moradi, 2016). نوسانات در شدت مانسون و در پی آن نوسانات در فراسنج‌های فیزیکی بر لایه‌بندی و میزان مواد مغذی در نواحی ساحلی تأثیر گذار است (Praveen *et al.*, 2016). این نوسانات می‌تواند سبب تغییرات در شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها و گسترش نواحی کم اکسیژن در لایه‌های بالایی ستون آب شود (Al Busaidi *et al.*, 2007). شکوفایی گونه‌های مضر پلانکتونی در نتیجه افزایش غلظت مواد مغذی طی سالیان گذشته آب‌های ساحلی ایران در دریای عمان و خلیج فارس (Abbaspour and Zohdi, 2018; Al-Azri *et al.*, 2012; Hamzehei *et al.*, 2012; Marvasti *et al.*, 2015; Piontkovski *et al.*, 2017) و بویژه خلیج کوچک چابهار (Ghazilou *et al.*, 2017) را تحت تأثیر قرار داده است. مطالعات میدانی روی فراسنج‌های فیزیکی آب در خلیج چابهار (Sanjani and Chegini, 2011) و خلیج پزم (Ainali and Chegini, 2017) نشان از لایه‌بندی ضعیف آب در بهار و تابستان و محو شدن این لایه‌بندی با کاهش دما در دوره پس-مانسون است. مطابق مطالعات (Attaran-Fariman, 2009) روی تغییرات زمانی - مکانی فیتوپلانکتون‌ها، افزایش تولید اولیه و شکوفایی فیتوپلانکتونی و از جمله وقوع پدیده کشند قرمز و در نتیجه افزایش جمعیت گونه‌های مضر در آب‌های



شکل ۱- نقشه خلیج چابهار که ایستگاه‌های نمونه برداری را نشان می‌دهد.

Fig. 1- A map of Chabahar Bay showing sampling stations

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری

Table 1. Coordinates of sampling stations

مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها		عمق	محل ایستگاه	ایستگاه‌ها
Coordination of stations		Depth (m)	Location	Stations
طول	عرض			
Longitude	Latitude			
60°35'02.3"E	25°21'32.7"N	6	تیس Tiss	T
60°28'16.6"E	25°21'52.7"N	10	کنارک Konarak	K
60°29'53.0"E	25°25'00.4"N	5	آب شیرین کن Desalination plant	W
60°32'37.4"E	25°19'22.4"N	13	دهانه خلیج Bay entrance	D
60°25'56.7"E	25°21'13.3"N	2.5	اسکله کنارک Konarak port	PK
60°36'03.6"E	25°21'19.7"N	2	اسکله تیس Tiss port	PT

دستگاه pH متر مارک wtw آلمان مدل 330i، اکسیژن محلول با دستگاه DO سنج مارک wtw آلمان مدل 340i و شوری و هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر مارک wtw آلمان مدل 315i اندازه گیری شدند. شفافیت عمودی توسط دیسک سکشی براساس عمق قابل رؤیت در محل نمونه برداری ثبت شد. نمونه‌های آب برای تعیین کلروفیل - آنیز از دو عمق از بطری نیسکین به بطری‌های ۱ لیتری پلی اتیلن منتقل شد. در آزمایشگاه واکنشگرهای لازم برای روش کالریمتری بنابر دستورالعمل MOOPAM آماده شده و اندازه‌گیری مقدار مواد مغذی با دستگاه اسپکتروفومتر مدل

نمونه برداری از ایستگاه‌های خلیج در دو عمق سطحی (۵/۰ متر) و بستر (۱ متر از بستر) با استفاده از بطری نیسکین ۵ لیتری هر کدام در سه تکرار انجام شد. به منظور متوقف کردن فعالیت‌های زیستی، نمونه‌های آب بلافاصله توسط فیلتر با قطر چشمه ۰/۴۵ میکرون (Cellulose Acetate, Sartorius) صاف گردیده و درون یخدان نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در فریزر در  $20^{\circ}\text{C}$  - نگهداری و به فاصله زمانی کوتاهی پس از نمونه برداری آنالیز شدند. فراسنج‌های فیزیکی توسط دستگاه‌های پرتابل مربوطه در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شدند. برای این منظور pH و دما با

برای مقایسه نتایج استفاده شد. برای مقایسه گروهی ۴ ایستگاه و همچنین ۵ نوبت نمونه برداری، از Kruskal Wallis test و برای مقایسه دوتایی از Mann Whitney U test استفاده شد. برای مقایسه دو به دوی داده‌های بین سطح و عمق از آزمون Wilcoxon signed rank test استفاده شد. برای رسم نمودارهای PCA<sup>۲</sup> داده‌های خام پس از استاندارد شدن به داده‌های با میانگین صفر و انحراف استاندارد واحد مورد آنالیز قرار گرفتند. برای رسم نمودارهای خوشه‌بندی، ماتریس مشابهت بر پایه فاصله اقلیدسی محاسبه گردید و نمودار خوشه‌بندی مربوطه رسم شد. نمودارهای ستونی تغییرات فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی توسط نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردید.

### نتایج و بحث

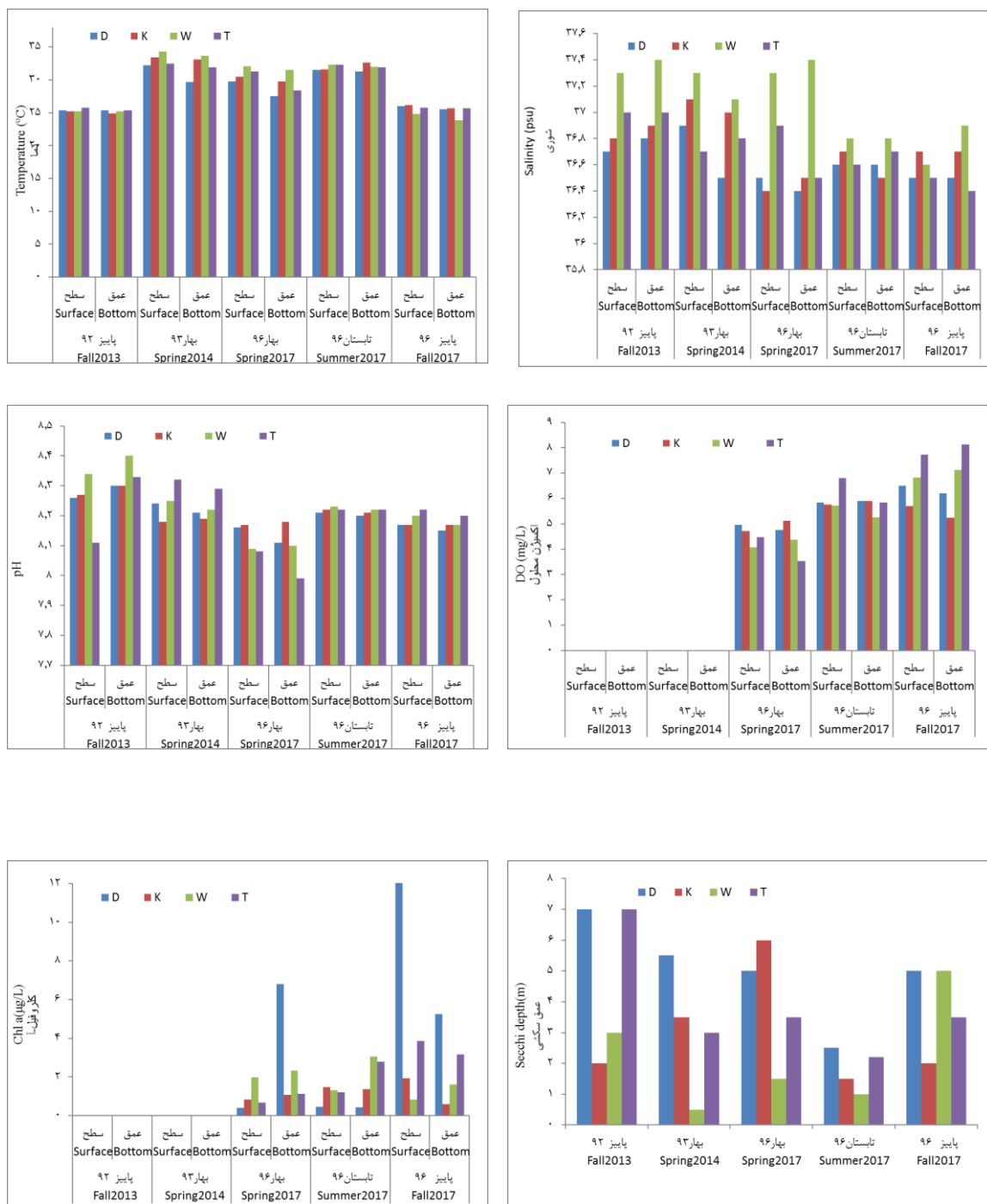
نمودارهای ستونی در شکل ۲ مقادیر فراسنج‌های دما، شوری، pH، DO، شفافیت و کلروفیل - آ را در نمونه‌های سطحی و بستر نشان می‌دهد. داده‌های DO و کلروفیل - آ مربوط به دوره ۹۲ - ۹۳ ثبت نشده‌اند.

Ray Light UV-920 و در سل با طول مسیر نور ۲ سانتی‌متر انجام شد (MOOPAM, 1999). بدین منظور فسفر فعال (ارتوفسفات) و سیلیسیم محلول به روش مولیبدات پس از افزودن واکنشگرهای مربوطه به ترتیب در طول موجهای ۸۸۰ و ۸۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. نیتريت به روش دی-آزو و با خواندن جذب‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد. نترات موجود در نمونه‌ها پس از تبدیل به نیتريت به روش ستون کاهشی کادمیوم، جذب آن در ۵۴۰ خوانده شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل - آ نمونه‌ها بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه به کمک پمپ خلأ از فیلترهای با قطر چشمه ۰/۷ میکرون عبور داده شد و پس از استخراج در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۹۰٪ جذب آن‌ها در طول موجهای ۶۳۰، ۶۴۵ و ۶۶۵ و ۷۵۰ نانومتر در سل ۵ سانتیمتری خوانده شد. تحلیل‌های آماری به کمک نرم افزار PRIMER 6 و STATISTICA 10 انجام شد. ابتدا توزیع نرمال داده‌ها توسط آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد بررسی قرار گرفت و از آنجایی که حتی با تبدیل نیز داده‌ها از شرط نرمال بودن تبعیت نمی‌کردند از آزمون‌های غیرپارامتری

جدول ۲- میزان همبستگی فراسنج‌های محیطی در مدت مطالعه  
Table 2. Correlation between environmental parameters during the study period

	دما Temp.	شوری Salinity	pH	اکسیژن محلول DO	کلروفیل Chl a	فسفات Phosphate	سیلیکات Silicate	نیتريت Nitrite	نترات Nitrate
شوری Salinity	0.143*	1							
pH	-0.145	0.26	1						
اکسیژن محلول DO	-0.462*	-0.348	0.69**	1					
کلروفیل Chl a	-0.358*	-0.193	-0.038	0.214	1				
فسفات Phosphate	-0.466**	-0.343*	-0.391*	0.305	0.382*	1			
سیلیکات Silicate	0.446*	0.414**	0.083	-0.382	-0.07	-0.185	1		
نیتريت Nitrite	-0.65**	-0.365*	-0.035	0.586*	0.533*	0.685**	-0.249	1	
نترات Nitrate	-0.483*	-0.546*	-0.241	0.236	0.645**	0.534*	-0.334*	0.612**	1
عمق سکشی Secchi Depth	-0.485*	-0.304*	-0.028	0.101	0.262	0.171	-0.268*	0.361*	0.386*

\* p<0.05 ; \*\* p<0.01



شکل ۲- مقادیر فراسنج‌های فیزیوشیمیایی در ۴ ایستگاه اصلی طی ۵ دوره نمونه‌برداری  
 Fig. 2- Physicochemical parameters of water in four sampling stations during the study period

مهمترین ویژگی تغییرات دما، دمای پایین‌تر فصل پس‌مانسون نسبت به مانسون و پیش‌مانسون است (Z=-5.2906, p= 0.0001). لایه‌بندی بسیار ضعیف قبل از مانسون سبب تفاوت بین عمق و سطح

مهمترین ویژگی تغییرات دما، دمای پایین‌تر فصل پس‌مانسون نسبت به مانسون و پیش‌مانسون است (Z=-5.2906, p= 0.0001). لایه‌بندی بسیار ضعیف قبل از مانسون سبب تفاوت بین عمق و سطح

در نتیجه پایین آمدن دمای لایه سطحی، محو می‌شود. از

تضعیف می‌شود و در پس‌مانسون به دلیل اختلاط عمودی

به دلیل امواج ناشی از مانسون و تلاطم زیاد آب، لایه‌بندی

در فصل مانسون (Z=2.0023, p= 0.0352) می‌شود.

در فصل مانسون (Z=2.0023, p= 0.0352) می‌شود.

به دلیل امواج ناشی از مانسون و تلاطم زیاد آب، لایه‌بندی

تضعیف می‌شود و در پس‌مانسون به دلیل اختلاط عمودی

در نتیجه پایین آمدن دمای لایه سطحی، محو می‌شود. از

مهمترین ویژگی تغییرات دما، دمای پایین‌تر فصل پس‌مانسون نسبت به مانسون و پیش‌مانسون است (Z=-5.2906, p= 0.0001). لایه‌بندی بسیار ضعیف قبل از مانسون سبب تفاوت بین عمق و سطح

منطقه‌های آنوکسیک و هایپوکسیک محلی فصلی (Al-Azri *et al.*, 2010) و همچنین ناحیه کم اکسیژن ناحیه دریای عرب و رسیدن آب‌های این نواحی به مناطق ساحلی بویژه در طی دوره‌هایی که لایه‌بندی شدید است و پدیده فراجوشی نیز اتفاق می‌افتد، می‌تواند مقدار اکسیژن محلول را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Naqvi, 2006; Naqvi *et al.*, 2006).

مقادیر DO برای سال ۹۲ - ۹۳ در دسترس نیست ولی در سال ۹۶ از بهار به پاییز روند افزایشی را نشان می‌دهد ( $H_{2,24} = 16.49217, p = 0.0003$ ) و مقادیر میانگین mg/L  $50/50 \pm 43/0$ ،  $48/4 \pm 88/0$  و  $93/0 \pm 6/68$  به ترتیب برای پیش‌مانسون، مانسون و پس‌مانسون است. مطابق انتظار، پراکندگی نتایج در فصل پس‌مانسون به دلیل تفاوت در فعالیت فیتوپلانکتونی و فوتوسنتز، بیشتر است. مقادیر بیشتر اکسیژن محلول در فصل مانسون علیرغم اختلاف دمایی اندک بین این دوره و دوره پیش‌مانسون، به دلیل اختلاط بیشتر ستون آب طی مانسون است. البته در دوره پیش‌مانسون در نواحی مختلف دریای عمان کاهش غلظت اکسیژن و شرایط هایپوکسیک در نتیجه لایه‌بندی فصلی مشاهده می‌شود (Al-Azri *et al.*, 2010)، که البته در اوج مانسون تضعیف می‌گردد. در پاییز که زمان تغییر از مانسون تابستانه به زمستانه است، کاهش دمای آب و ضعیف شدن لایه‌بندی به‌همراه شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها سبب افزایش میزان اکسیژن محلول می‌شود.

به‌طور کلی pH در محیط‌های تحت دریایی تأثیر عوامل فشار ستون آب، شوری، دما و میزان فوتوسنتز است (Wright, 1995). افزایش دما با کاهش انحلال گاز CO<sub>2</sub> و همچنین فرآیند فتوسنتز از طریق مصرف مستقیم CO<sub>2</sub> منجر به افزایش مقادیر pH می‌شوند. مقادیر pH در لایه عمقی در گستره ۷/۹۹ - ۸/۴۰ و در لایه سطحی در گستره ۸/۰۸ - ۸/۳۴ به‌دست آمد.

به مانند شوری، پراکندگی نتایج در دوره مانسون و پس مانسون ۹۶ کمتر از بقیه نمونه‌برداری بود. نتایج pH در

نظر مکانی تفاوت معنی‌داری بین نقاط مختلف مشاهده نمی‌شود ( $H_{3,40} = 0.6920714, p = 0.8751$ ). مقادیر دمای سطحی در فصل پس‌مانسون در گستره ۲۴/۸ تا ۲۶/۰ درجه سانتی‌گراد و در فصول پیش‌مانسون و مانسون در گستره ۲۹/۸ - ۳۴/۳ درجه متغیر است.

به‌دلایل متعدد از جمله عمق کم، محیط نیمه‌بسته، و جریان محدود آب در خلیج چابهار انتظار می‌رود که تغییرات شوری بویژه در فصول گرم، بیش از آنکه توسط جریانات دریایی کنترل شود تحت تأثیر نرخ تبخیر باشد. مقادیر شوری کمتر در سال ۹۶ بویژه در نمونه‌های پس-مانسون ( $36/0 \pm 98/24$  psu) نسبت به دوره ۹۲-۹۳ ( $36/0 \pm 60/16$  psu)، باوجود دمای کمابیش برابر بیانگر تأثیرپذیری شوری از جریانات دریایی و نوسانات این جریانات در دو دوره نمونه‌برداری است که سبب همبستگی ضعیف شوری با دما می‌شود ( $R = 0.14, p < 0.05$ ). تفاوت شوری بین ایستگاه‌ها معنی‌دار است ( $H_{3,40} = 13.5654, p = 0.0036$ ) و مقایسه ایستگاه آب-شیرین‌کن با سه ایستگاه دیگر به‌عنوان یک گروه تأیید کننده آن است که به‌دلیل عمق کمتر و جریان ضعیف‌تر آب در این ناحیه شوری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها بیشتر است ( $Z = -3.4325, p = 0.0006$ ). البته نباید نقش خروجی واحد آب‌شیرین‌کن را نادیده گرفت با این حال به نظر می‌رسد که تعیین سهم آن در افزایش شوری نیازمند نمونه‌برداری‌هایی با فاصله مکانی متفاوت در جهت‌های مختلف باشد.

اکسیژن محلول در آب، از عامل‌های مهم محیط زیستی به‌شمار می‌رود که به دو طریق فیزیکی و بیولوژیکی مقدار آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مسیر فیزیکی شامل ورود اکسیژن جوی توسط اختلاط و مسیر بیولوژیکی شامل تولید و مصرف اکسیژن طی چرخه‌های فوتوسنتز و تنفس است. عامل‌های دما، فشار (عمق) و شدت اختلاط می‌توانند سبب تغییر اکسیژن محلول شوند. بنابر تحقیق‌های روز افزون در مورد شرایط اکسیژن در دریای عمان، حضور

آ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Carlson and Simpson, 1996). دامنه کلروفیل - آ در آب‌های اقیانوسی ۰/۰۱ - ۲ میکرو گرم در لیتر عنوان شده است (Ebrahimi, 2015). با این حال مقادیر در نواحی ساحلی رنج وسیع‌تر و به‌طور معمول بیشتری را شامل می‌شود.

مقادیر کلروفیل - آ در واحد حجم (میکروگرم در لیتر)، در فصل پیش‌مانسون در گستره ۰/۴ - ۶/۸ با میانگین ۱/۹۰، در مانسون در گستره ۰/۴۲ - ۳/۰۵ با میانگین ۱/۵۱ و در پس‌مانسون در گستره ۰/۵۹ - ۱۲/۹۷ با میانگین ۳/۷۷ است. مقادیر بالا در پیش‌مانسون و پس‌مانسون در ایستگاه دهانه خلیج با عمق بیشتر، تأییدکننده شکوفایی جلبکی است همچنانکه وقوع کشتن قرمز در این مکان با تغییر رنگ توده‌ای آب قابل تشخیص بوده است. در حالیکه تفاوت معنی‌داری بین پیش‌مانسون و مانسون مشاهده نمی‌شود ( $Z = -0.3675, p = 0.7131$ )، دوره پس‌مانسون به‌طور معنی‌داری از دو مورد دیگر به‌عنوان یک گروه بیشتر است ( $Z = -1.8396, p = 0.0658$ ). این رفتار سبب همبستگی مثبت به‌نسبت قوی ( $p < 0.05$ ) بین مقادیر کلروفیل - آ با غلظت‌های فسفات، نیتريت و نترات می‌شود (جدول ۲) بیانگر کنترل شدن تولید اولیه با دسترس پذیری مواد مغذی است (Beman *et al.*, 2005; Biswas *et al.*, 2015). همچنین تفاوت مقادیر کلروفیل - آ بین ایستگاه‌ها معنی‌دار نیست ( $H_{3,23} = 1.8413, p = 0.6060$ )، اگرچه به نظر می‌رسد به‌طور کلی مقادیر در ایستگاه دهانه خلیج بیشتر است. بررسی نتایج داده‌های ماهواره‌ای توسط Piontkovski *et al.* (2011) برای بررسی تغییرات میزان کلروفیل - آ در غرب دریای عمان (نواحی ایران و عمان) برای دوره زمانی ۱۹۹۷ - ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که بیشینه‌های غلظت کلروفیل - آ در فوریه (بهمن) و جولای - سپتامبر (مرداد - شهریور) دیده می‌شود که اولی در طی مانسون زمستانه و دومی در طی فاز آسایش مانسون تابستانه اتفاق می‌افتند. مقدار کلروفیل - آ در دوره پیش-مانسون به‌دلیل تراکم کمتر فیتوپلانکتون‌ها به‌طور معمول

پیش‌مانسون ۹۶ به‌طور معنی‌داری از بقیه نمونه‌ها به‌عنوان یک گروه پایین‌تر است ( $Z = 3.88, p = 0.0001$ ) به‌طوری‌که مقادیر پایین ۷/۹۹ نیز ثبت شده است. چنین رفتاری سبب همبستگی مثبت به‌نسبت قوی بین pH با DO می‌شود ( $R = 0.69, p < 0.01$ ). شفافیت که بر حسب عمق سکشی برآورد می‌شود به‌عامل‌هایی از قبیل جنس و نوع بستر، شرایط جریان‌ات دریایی، جزر و مد و عامل‌های بیولوژیکی از قبیل شکوفایی جلبکی و جمعیت زئوپلانکتون‌ها بستگی دارد. عدم همبستگی معنی‌دار بین شفافیت و کلروفیل - آ می‌تواند تأییدکننده کنترل شدن شفافیت توسط عامل‌های فیزیکی باشد. تفاوت بین دوره‌های نمونه‌برداری معنی‌دار است ( $H_{4,40} = 10.1346, p = 0.0382$ ) به‌گونه‌ای که در طی دوره مانسون به‌طور چشمگیری کاهش یافته (گستره ۱-۵/۵ متر) و از بقیه موارد به‌عنوان یک گروه کمتر است ( $Z = 2.9068, p = 0.0036$ ). به‌دلیل تفاوت در عمق، نوع بستر و شدت جریان‌ات، اختلاف بین ایستگاه‌ها معنی‌دار بوده است ( $H_{3,40} = 12.6232, p = 0.0055$ ) بدین ترتیب که کمترین مقادیر در ایستگاه آب‌شیرین‌کن و بیشترین مقادیر در دهانه خلیج مشاهده گردید. ایستگاه تیس باوجود اینکه عمقی نزدیک به ایستگاه آب‌شیرین‌کن دارد و کم عمق‌تر از ایستگاه کنارک است ولی شفافیتی بسیار بیشتر از اولی و قابل مقایسه با دومی دارد که ناشی از تفاوت در جنس بستر است. همچنانکه پیشتر گزارش شده (Agah *et al.*, 2016)، جنس بستر در ایستگاه تیس سنگی و یا ماسه‌ای (بیش از ۸۸ درصد) است در حالیکه در مورد ایستگاه کنارک به‌طور عمده رس - سیلت (۸۸ درصد) و در مورد ایستگاه آب‌شیرین‌کن نیز بستر به‌طور عمده سیلت - ماسه‌ای است.

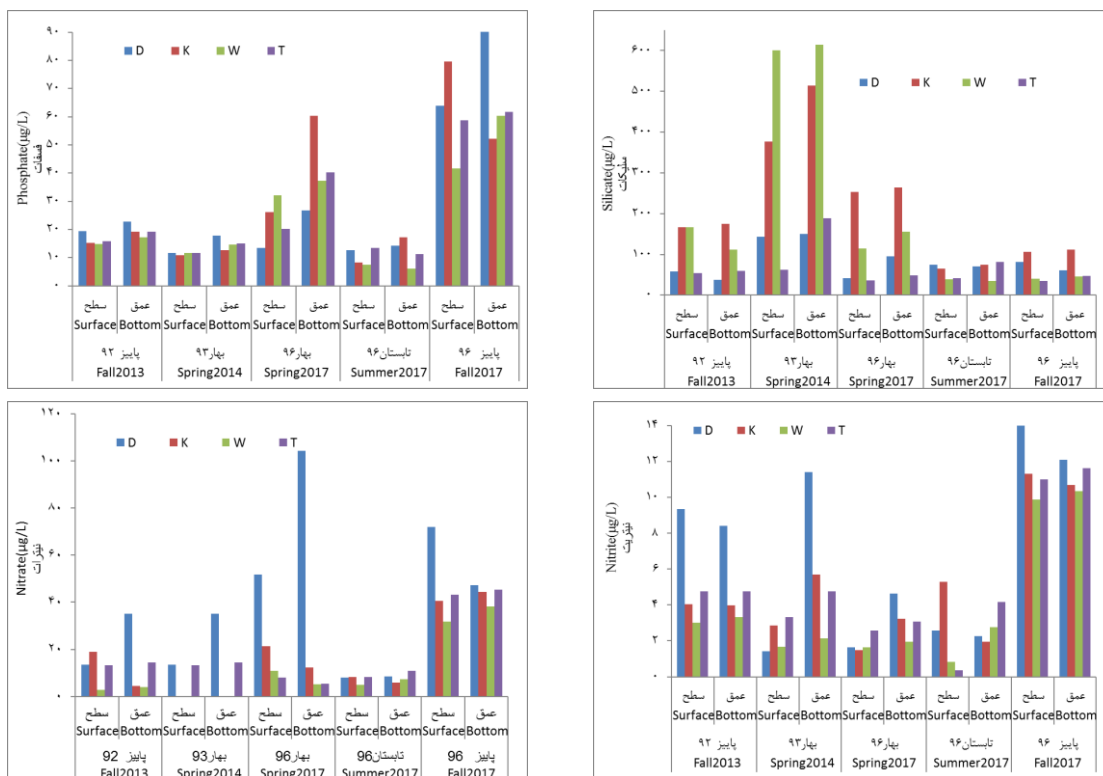
زی‌توده فیتوپلانکتون‌ها با کلروفیل - آ اندازه‌گیری می‌شود و تخمینی از رنگدانه‌های فتوسنتزی است. وضعیت تروفیکی آب‌های ساحلی، خورها و دریاچه‌ها با روش‌های گوناگون از جمله مقدار مواد مغذی و یا غلظت کلروفیل -



نسبت مولی مواد مغذی (C<sub>106</sub>:N<sub>16</sub>:P<sub>1</sub>:Si<sub>16</sub>) که توسط Redfield (1958) پیشنهاد شد و سنگ بنای ژئوشیمی زیستی است، ارتباط بین نسبت مواد مغذی در آب و میکروارگانیسم‌ها را نشان می‌دهد. انحراف در نسبت این مواد در ستون آب بیانگر محدودیت در تولید اولیه (رشد فیتوپلانکتونی) در یک اکوسیستم آبی است.

پایین است.

نمودارهای ستونی در شکل ۳ مقادیر غلظت‌های مواد مغذی نیترات، نیتريت، سیلیکات و فسفات را در ۵ نوبت نمونه‌برداری در نمونه‌های سطحی و بستر نشان می‌دهد. الگوی مواد مغذی و نسبت‌های آن‌ها در آب دریا نقش مهمی در درک دینامیک و عملکرد یک اکوسیستم دارد.



شکل ۳- مقادیر مواد مغذی در خلیج چابهار در طی ۵ دوره نمونه‌برداری  
 Fig. 3- Nutrient concentrations in Chabahar Bay during five sampling periods

مهمترین ویژگی تغییرات فسفات بالاتر بودن آن در دوره پس مانسون ۹۶ نسبت به بقیه ادوار نمونه‌برداری ( $Z = -4.19394, p = 0.0001$ ) و از جمله دوره متناظر پاییز ۹۲ است. همچنین داده‌ها نشان می‌دهند که غلظت فسفات در طی فصل مانسون به کمترین مقادیر خود می‌رسد. مقایسه مقادیر عمقی و سطحی به صورت جفت شده، معنی‌دار بودن اختلاف سطح و عمق را نشان می‌دهد ( $Z = 2.1279, p = 0.0333$ ). همچنین میانگین فسفات در لایه سطحی و بستر به ترتیب ۲۱/۵ و ۳۲/۳ µg/L است. عدم تفاوت معنی‌دار بین ایستگاه‌ها ( $H_{3,40} = 0.61864$ ),

در دسترس‌پذیری فسفر می‌تواند سرعت تولید اولیه و همچنین توزیع گونه و ساختار اجتماعات موجودات زنده را تحت تأثیر قرار دارد. بویژه در طی سال‌های اخیر مشخص شده است که محدودیت فسفری در آب‌های اقیانوسی غالب‌تر از آن چیزی است که در مطالعات گذشته برآورد شده است. به عنوان نمونه معلوم شده است که ارتوفسفات عامل محدودکننده در مدیترانه غربی و دریای سارگاسو است (Paytan and McLaughlin, 2007). با این حال محدودیت فسفری در آب‌های ساحلی و فراساحلی در دریای عمان و دریای عرب گزارش نشده است.

دریاها، به سرعت در ستون آب تشکیل و مصرف می‌شود و تنها در صورتی تجمع می‌یابد که سرعت تولید آن از مصرفش پیشی بگیرد (Rixen *et al.*, 2013). نیتريت نیز روندی کمابیش مشابه نیتريت از خود نشان می‌دهد. مقادیر در نمونه‌برداری پس مانسون ۹۶ نسبت به بقیه فصل‌ها در فسفات بر خلاف نیتريت تفاوت بین ایستگاه‌ها معنی‌دار نیست ( $H_{3,40} = 3.3900, p = 0.3353$ ).

سیلیکات رفتار به‌طور کامل متفاوتی نسبت به دیگر مواد مغذی نشان می‌دهد به‌طوری‌که مقایسه فصل‌های پیش مانسون به‌عنوان یک گروه و مانسون و پس مانسون به‌عنوان گروه دیگر بیانگر اختلاف معنی‌دار ( $Z = -3.3730, p = 0.0007$ ) این دو و بیشتر بودن در دوره پیش مانسون و بویژه در بهار ۹۳ است. به نظر می‌رسد پس از رسیدن مانسون و فراجوشی حاصل از آن، در دوره بعد از مانسون مقدار سیلیکات در نتیجه شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها و بویژه دیاتومه‌ها کاهش چشمگیری می‌یابد. غلظت‌های پایین سیلیکات و نسبت پایین سیلیس به نیتروژن و فسفات در دریای عرب پس از فروکش کردن مانسون تابستانه و تغییر به مانسون زمستانه نیز مشاهده شده است (Morrison *et al.*, 1998). میانگین نسبت  $DSi/DIP^6$  در طی دوره نمونه‌برداری سال ۹۶ در پیش مانسون، مانسون و پس مانسون به ترتیب  $۱۱/۳۸ \pm ۷/۸$ ،  $۱۳/۱۱ \pm ۵/۸$  و  $۳/۱ \pm ۶/۸$  به‌دست آمد، که مقادیر پس مانسون بسیار پایین‌تر از نسبت جذب شده توسط دیاتومه‌ها در فاز رشد (۱۶:۱) بود (Capone and Knapp, 2008) و می‌تواند بیانگر تغییر از محدودیت نیتروژنی به محدودیت سیلیکاتی در این فصل باشد همچنانکه نسبت‌های کمتر از ۱۰ به‌عنوان محدودیت سیلیسی در نظر گرفته می‌شود (Nasrollahzadeh Saravi *et al.*, 2013). از مطالعه تغییرات مواد مغذی در آب‌های برمودا در اقیانوس اطلس چنین نتیجه‌گیری شده که در آب‌های گرم با مقادیر پایین نیتروژن معدنی و سیلیکات فعال حذف مقادیر کمتر از ۰/۶

( $p = 0.8922$ ) در کنار مقادیر بیشتر در لایه عمقی نسبت به سطح، می‌تواند به این دلیل باشد که فسفات به راحتی جذب رسوبات معدنی شده و زمانی که غلظت آن در محیط کاهش یابد، دوباره واجذب می‌شود و یک محیط بافری ایجاد می‌کند که غلظت فسفات را در بوم‌سامانه‌های دریایی تنظیم می‌کند (Froelich, 1988).

نیتريت تنها حالت اکسیداسیون پایدار نیتروژن از نظر ترمودینامیک در آب دریا و در حضور اکسیژن است و به‌عنوان مهمترین منبع نیتروژن در منابع غذایی در محیط‌های آبی بویژه فیتوپلانکتون‌ها محسوب می‌شود (Voss *et al.*, 2013; Voss *et al.*, 2011).

در مورد نیتريت نیز تفاوت بین مقادیر در دوره‌های مختلف معنی‌دار است ( $H_{4,40} = 16.8223, p = 0.0021$ ) و مانند فسفات تفاوت زیادی بین مقادیر پس مانسون ۹۶ با بقیه فصل‌ها مشاهده می‌گردد. برخلاف فسفات، تفاوت بین مقادیر در ایستگاه‌ها معنی‌دار است ( $H_{3,40} = 11.0639, p = 0.0114$ ). ویژگی عمده تغییرات مکانی نیتريت، غلظت‌های بالا در ایستگاه دهانه خلیج با عمق بیشتر و غلظت‌های پایین بویژه در ایستگاه‌های آب‌شیرین‌کن و کنارک است که در نتیجه جریان ضعیف‌تر و زمان ماندگاری بیشتر آب در این ایستگاه‌ها و در نتیجه مصرف شدن توسط فیتوپلانکتون‌ها تا مقادیر زیر حد تشخیص است. این مشاهده بیانگر تأمین نیتريت در خلیج از طریق آب‌های عمقی و هم‌چنین عدم تأثیرپذیری قابل ملاحظه از منابع طبیعی و غیر طبیعی محلی است.

اگرچه مقادیر آمونیاک برای محاسبه نسبت  $DIP^6/DIN^6$  و مقایسه با نسبت ردفیلد در دسترس نیست، با این حال تخلیه نیتريت در فصل‌های مانسون و پیش مانسون می‌تواند محدودیت نیتروژنی را نشان دهد. همچنانکه پیشتر نسبت ۴/۹ برای دریای عمان (Emara, 2010) و مقادیر بسیار کمتر از نسبت ۱۶:۱ برای دریای عرب (Morrison *et al.*, 1998)، محدودیت نیتروژنی در این ناحیه را تأیید کرده است. نیتريت به‌عنوان یک گونه حد واسط در چرخه نیتروژن در

همجوار در خلیج نشان از تفاوت معنی‌دار در تمامی موارد است. مقادیر در اسکله‌ها بویژه در مورد نیترا ت بیشتر از آب-های مجاور است، با این حال به نظر می‌رسد مقادیر در حدی نیستند که بتواند در مقیاس گسترده آب‌های مجاور در خلیج را تحت تأثیر قرار دهد. طی دهه‌های اخیر ورود فسفر و نیتروژن نسبت به سیلیس در سطح بالایی بوده که در بیشتر موارد می‌تواند منجر به تغییرات اکوسیستمی در آب‌های ساحلی و جایگزین شدن دیاتومه‌ها با گونه‌های غیر دیاتومه مضر پلانکتونی شود (Paytan and McLaughlin, 2007).

مقادیر مواد مغذی در مانسون به دلیل جریان و اختلاط بیشتر و همچنین کاهش فعالیت‌های انسانی در اسکله‌ها نسبت به دو فصل دیگر کمتر است. همچنانکه پیشتر بیان شد به دلیل عمق کمتر آب‌های ساحلی و تفاوت نوع بستر و در نتیجه مقدار ذرات رسوب معلق مقادیر سیلیکات در اسکله کنارک بیشتر از اسکله تیس است ( $Z = -3.5320, p = 0.0004$ ).

فسفات نیز مانند سیلیکات مقادیر بیشتری را در اسکله کنارک نشان می‌دهد ( $Z = -1.9426, p = 0.0520$ ) که به نظر می‌رسد به دلیل ورود بیشتر فاضلاب‌های شهری و تخلیه بیشتر فاضلاب کشتی‌های صیادی در این اسکله باشد. در حالیکه نیتريت تفاوت معنی‌داری را بین دو اسکله نشان نمی‌دهد ( $Z = 0.5309, p = 0.5954$ ). غلظت نیترا ت در اسکله تیس به‌طور معنی‌داری بیشتر از اسکله کنارک است ( $Z = 1.5011, p = 0.1333$ ).

در تکنیک PCA اجزا اصلی ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند. از میان اجزاء حاصل دو جزء با ویژه مقدار بزرگتر از ۱ انتخاب گردید که ۸۵/۶٪ از تغییرات توسط این دو PC تشریح می‌شود. PC اول ۶۳/۹٪ درصد از کل تغییرات را تشریح کرده که به دلیل بارگذاری مثبت فراسنج‌های دما، شوری و سیلیکات و بارگذاری منفی مربوط به مواد مغذی شامل نیترا ت، نیتريت، فسفات و شفافیت است. PC دوم ۲۱/۷٪ تغییرات را تشریح می‌کند و فراسنج‌های دما و فسفات دارای بارگذاری قوی مثبت و شوری، شفافیت و pH دارای بارگذاری قوی منفی است. این نتایج تأییدکننده

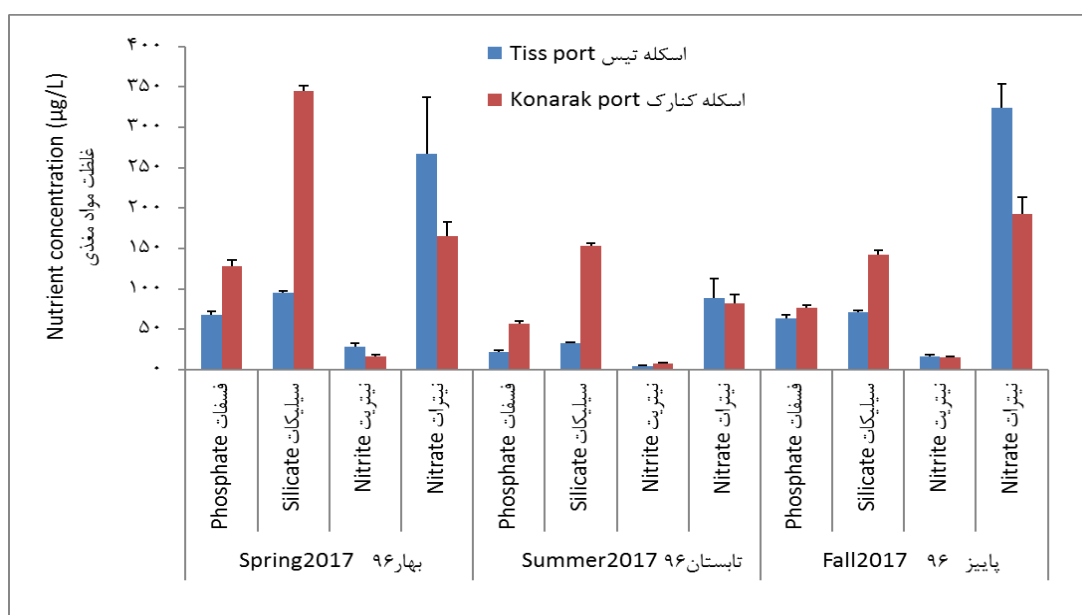
۰/۸ میکرومولار از محیط ممکن نیست. شرایطی که می‌تواند سیستم را از محدودیت نیتروژنی به محدودیت سیلیسی تغییر دهد (Brzezinski and Nelson, 1995). اهمیت سیلیس محدود به نقش آن‌ها در ساختمان اسکلتی دیاتومه‌ها نیست، و توسط موجودات دیگر مانند اسفنج‌ها، رادیولاریا، سیلیکوفلاژله‌ها و برخی پیکوسیانوباکتری‌ها نیز مصرف می‌شود (Struyf *et al.*, 2009; Tréguer and De La Rocha, 2013).

تفاوت بین ایستگاهی در مقادیر سیلیکات معنی‌دار بود ( $H_{3,40} = 10.9436, p = 0.0120$ ) و مقادیر دو ایستگاه کنارک و آب‌شهرین کن تفاوت معنی‌دار را با دو ایستگاه دیگر نشان داده است ( $Z = -2.7323, p = 0.0062$ ). هم‌چنانکه پیشتر بیان شد، جنس بستر در این مناطق مقادیر بالایی سیلت و رس دارد و مطابق انتظار مقادیر بالای ذرات معلق در نواحی ساحلی، خورها و مصب‌ها نقش مهمی در تأمین منابع سیلیکات را برعهده دارند (Abedi *et al.*, 2016; Ghaemi and Gholamipour, 2017). مقایسه نتایج عمق و سطح بیانگر معنی‌دار بودن تفاوت این دو ( $Z = 2.1279, p = 0.0333$ ) و بیشتر بودن غلظت در لایه عمقی است.

غلظت‌های پایین مواد مغذی در اوج مانسون در تیرماه نسبت به دوره‌های پیش و پس مانسون که در این تحقیق به‌دست آمد، در تطابق با نتایج Attaran-Fariman (2009) در نمونه‌برداری از آب‌های ساحلی چابهار در سال ۱۳۸۸ است، اگرچه به‌طور کلی مقادیر نیترا ت گزارش شده بسیار بیشتر از مطالعه حاضر است. مقادیر بالای سیلیکات در طی فصل پیش مانسون در آب‌های سواحل مکران توسط میرزایی نیز گزارش شده است (Mirzaei *et al.*, 2017). برای بررسی تأثیر ورود مواد مغذی از طریق فاضلاب‌ها و زباله‌های شهری و همچنین فعالیت‌های صیادی در نزدیکی مناطق پرجمعیت، مقادیر مواد مغذی در طی سه نوبت پیش مانسون، مانسون و پس مانسون در سال ۹۶ در دو اسکله تیس و کنارک اندازه‌گیری شده و نتایج در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند. مقایسه جداگانه فراسنج‌ها در ماه‌های مختلف با نتایج نقاط

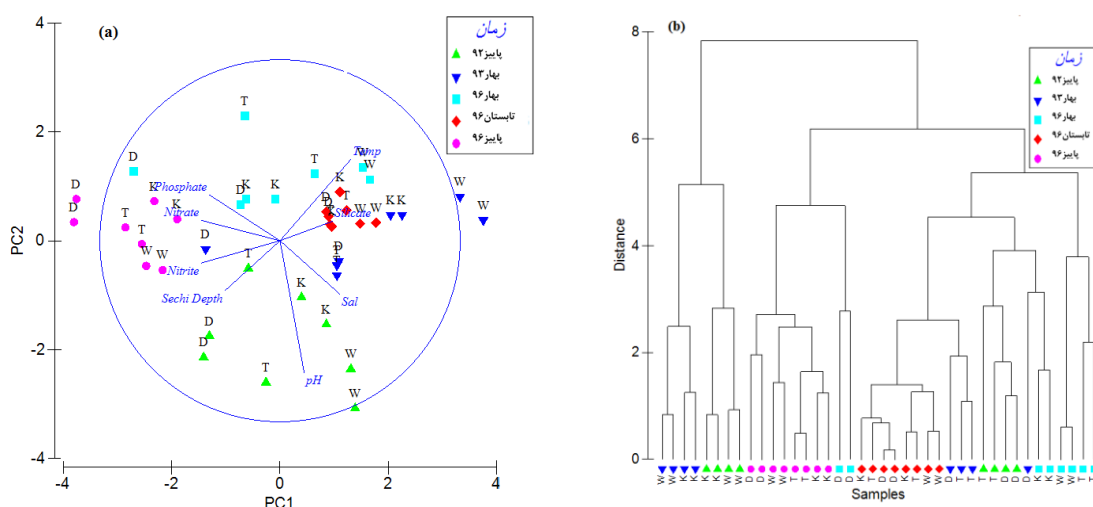
سوم قرار گرفته و مشابهت به نسبت بالایی دارند داده‌های سال ۹۲ - ۹۳ پراکندگی بیشتری را نشان می‌دهند. دو ایستگاه آب‌شیرین‌کن و دهانه خلیج خارج از دایره همبستگی قرار داشتند بنابراین از بیشترین تغییرات ویژگی‌های فیکوشیمیایی برخوردار بودند. همچنین به نظر می‌رسد pH و غلظت یون سیلیکات به ترتیب بیشترین و کمترین مشارکت را در PC اول و دوم داشته‌اند.

نتایج حاصل از ماتریس همبستگی پیرسون است. با استفاده از داده‌های نرمال ماتریس مشابهت بر پایه فاصله اقلیدسی ساخته شد و نمودار خوشه‌ای مربوطه رسم گردید. نتایج ایستگاه‌های کنارک و آب‌شیرین‌کن در سال ۹۲ - ۹۳ مشابهت کمتری را با دیگر نتایج نشان می‌دهند. نتایج پاییز ۹۶ همبستگی بالایی نشان داده و به خوبی از بقیه نتایج جدا شده‌اند. در حالیکه نتایج بهار و تابستان ۹۶ در گروه



شکل ۴- مقادیر مواد مغذی در ۲ ایستگاه در اسکله‌های تیس و کنارک طی ۳ دوره نمونه‌برداری سال ۹۶ (آنتنک‌ها بیانگر انحراف استاندارد هستند).

Fig. 4- Nutrient concentrations in stations located in Tiss and Konarak ports during sampling period in 2017.



شکل ۵- نتایج آنالیز PCA (a) و آنالیز خوشه‌بندی (b) شرایط محیطی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 5- (a) PCA and (b) clustering analyses of environmental conditions in study stations

## نتیجه گیری

پیش مانسون کمترین مقادیر خود را نشان می دهند. در نهایت مقایسه مقادیر مواد مغذی در دو اسکله صیادی مجاور خلیج با مقادیر ایستگاه های مجاور درون خلیج نشان می دهد که اگر چه مقادیر به طور قابل توجهی بیشتر هستند، ولی هنوز در مرحله ای نیستند که سطح مواد مغذی در خلیج را به طور وسیعی تحت تأثیر قرار دهند.

## سپاسگزاری

مطالعه حاضر در قالب طرح پژوهشی با شماره گرنت ۱۲-۳۹۵-۰۱۱-۰۱-۰۳۴ با استفاده از امکانات و تجهیزات پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی انجام شده است. بدین وسیله از پشتیبانی مادی و معنوی صورت گرفته تقدیر و تشکر به عمل می آید. همچنین از زحمات آقای عبدالحکیم بارانی ملوان پژوهشگاه در طول نمونه برداری تشکر و قدردانی می شود.

## پی نوشت ها

- <sup>1</sup> Dissolved Oxygen
- <sup>2</sup> Principal Component Analysis
- <sup>3</sup> Practical Salinity Unit
- <sup>4</sup> Dissolved Inorganic Nitrogen
- <sup>5</sup> Dissolved Inorganic phosphorus
- <sup>6</sup> Dissolved Silicate

مقایسه نتایج نمونه برداری به کمک آزمون های آماری نشان از تفاوت در مواد مغذی و فراسنج های فیزیکوشیمیایی بین دو نوبت ۹۲ - ۹۳ و ۹۶ دارد که به دلیل تفاوت در شدت و دوره مانسون در سال های مختلف می باشد. مقادیر بالای مواد مغذی نیترات، فسفات و نیتريت در فصل پس مانسون نسبت به دوفصل دیگر (Mann Whitney U test,  $p < 0.05$ ) به دلیل پدیده فراجوشی القا شده توسط مانسون و رسیدن آب های غنی از مواد مغذی به سطح می باشد. مقادیر کمتر سیلیکات در فصل پس مانسون نسبت به فصل های پیش مانسون و پس مانسون (Mann Whitney U test,  $p < 0.05$ ) به نظر می رسد نتیجه مصرف سیلیکات توسط دیاتومه های باشد که در این دوره شکوفایی می کنند همچنانکه مقادیر کلروفیل - آ در پس مانسون از فصل های قبل بیشتر است (Mann Whitney U test,  $p < 0.05$ ). کاهش غلظت سیلیکات می تواند به محدودیت سیلیکاتی در ادامه این دوره منجر شود. مقادیر دما نیز در هر دو دوره در پس مانسون کمترین است در حالیکه شوری روند یکسانی را نشان نمی دهد که این امر می تواند نتیجه تفاوت در جهت جریانات در دو دوره باشد. مقادیر DO و pH در نتیجه بالاتر بودن دما و کمینه بودن فعالیت فوتوسنتزی در

## منابع

- Abbaspour, M. and Zohdi, E., 2018. Red tide development modeling in Persian Gulf and study nutrient effects on algal bloom. *Research in Marine Sciences*. 3, 289-302.
- Abedi, E., Gholamipoor, S., Ghaemi, M., 2016. Seasonal determination of nutrients concentration in the Bardestan creek and loading analysis of them on the Persian Gulf. *Journal of Oceanography*. 7, 33-40.
- Agah, H., Bastami, K.D. and Fumani, N.S., 2016. Ecological risk, source and preliminary assessment of metals in the surface sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. *Marine pollution bulletin*. 107, 383-388.
- Ainali, A. and Chegini, V., 2017. Investigation of temporal and spatial variations of physical parameters (temperature, salinity and density) of the Pozm Bay. *Marine Science and Technology*. 16, 111-124.
- Al-Azri, A., Piontkovski, S., Al-Hashmi, K., Al-Gheilani, H., Al-Habsi, H., Al-Khusaibi, S. and Al-Azri, N., 2012. The occurrence of algal blooms in

- Omani coastal waters. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 15, 56-63.
- Al-Azri, A.R., Piontkovski, S.A., Al-Hashmi, K.A., Goes, J.I. and Do Gomes, H.R., 2010. Chlorophyll a as a measure of seasonal coupling between phytoplankton and the monsoon periods in the Gulf of Oman. *Aquatic Ecology*. 44, 449-461.
- Al Busaidi, S., Al Rashdi, K. and Al Gheilani, H., 2007. Massive fish mortality during red tide of Masirah Island, Arabian Sea: 2007: The Arabian Seas International Conference on Science and Technology of Aquaculture. *Fisheries and Oceanography*. 10-13.
- Attaran-Fariman, G., 2009. Initial assessment on dispersion of harmful algae bloom along South-East Coast of Oman Sea. Department of the environment, I.R.Iran, Division of Marine Environment, Sistan and Baluchestan, Chabahar, Iran, 88p (in Persian). Available online at <http://www.harmfulalgalblooms.ir/en/index.php/research-studies-projects>.
- Beman, J.M., Arrigo, K.R. and Matson, P.A., 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature*. 434, 211.
- Biswas, H., Reddy, N., Rao, V.S., Bharathi, M. and Subbaiah, C.V., 2015. Time series monitoring of water quality and microalgal diversity in a tropical bay under intense anthropogenic interference (SW coast of the Bay of Bengal, India). *Environmental Impact Assessment Review*. 55, 169-181.
- Brzezinski, M.A. and Nelson, D.M., 1995. The annual silica cycle in the Sargasso Sea near Bermuda. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 42, 1215-1237.
- Carlson, R.E. and Simpson, J., 1996. A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. *North American Lake Management Society*. 96, 305.
- Chaichitehrani, N. and Allahdadi, M.N., 2018. Overview of Wind Climatology for the Gulf of Oman and the Northern Arabian Sea. *American Journal of Fluid Dynamics*. 8, 1-9.
- Ebrahimi, M., 2015. Monitoring of algal bloom in the coastal waters of Persian Gulf and sea of Oman (waters of Hormozgan Province). Research Report, Iranian Fisheries Science Research Institute-Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Institute, 82p (in Persian). Available online at <https://www.civilica.com/R/44199>.
- 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, 33-44.
- Ghaemi, M. and Gholamipour, S., 2017. Seasonal measurement of nutrient concentrations and total alkalinity in the Mond Estuary ecosystem. *Journal of Oceanography*. 8, 11-18.
- Ghazilou, A., Koochaknejad, E., Ershadifar, H., Kor, K. and Negarwstan, H., 2017. Autumnal algal bloom succession in Northern coasts of Gulf of Oman. *Harmful Algae News*. 56.
- Hamzeh, M.A., Shah-hosseini, M. and Beni, A.N., 2013. Effect of fishing vessels on trace metal contamination in sediments of three harbors along Iranian Oman Sea coast. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185, 1791-1807.
- Hamzehei, S., Bidokhti, A., Mortazavi, M., Gheiby, A., Ebrahimi, M. and Saraji, F., 2012. Field study of the 2008-2009 red tide in the northern Strait of Hormuz. *Life Science Journal*. 9, 4727-4733.

- Marvasti, S.S., Gnanadesikan, A., Bidokhti, A., Dunne, J. and Ghader, S., 2015. Challenges in modelling spatiotemporally varying phytoplankton blooms in the Northwestern Arabian Sea and Gulf of Oman. *Biogeosciences*. 13, 1049–1069.
- Mirzaei, M.R., Seraji, F., Erfanifar, E., Rad, T.A., Aminikhoei, Z. and Azhang, B., 2017. Assessing phytoplankton community structure in relation to hydrographic parameters and seasonal variation (Pre and Post Monsoon). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 18, 507-513.
- Molamohyeddin, N., Ghafourian, H. and Sadatipour, S.M., 2017. Contamination assessment of mercury, lead, cadmium and arsenic in surface sediments of Chabahar Bay. *Marine Pollution Bulletin*. 124, 521-525.
- MOOPAM, R., 1999. Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analysis Methods. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME). Kuwait 1, 20.
- Moradi, M., 2016. Identification of upwelling areas in the Oman Sea using satellite data, 41st COSPAR Scientific Assembly.
- Morrison, J.M., Codispoti, L., Gaurin, S., Jones, B., Manghnani, V. and 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, 2053-2101.
- Naqvi, S., 2006. Oxygen deficiency in the north Indian Ocean. *Gayana*. 70, 53–58.
- Naqvi, S., Naik, H., Pratihary, A., DeSouza, W., Narvekar, P., Jayakumar, D., Devol, A., Yoshinari, T. and Saino, T., 2006. Coastal versus open-ocean denitrification in the Arabian Sea. *Biogeosciences*. 3, 621-633.
- Nasrollahzadeh Saravi, H., Makhloogh, A., Vahedi, F., Nasrollahtabar, A. and Ulomi, Y., 2013. Study on stoichiometric of macronutrients molar ratios to determine growth limiting factors of phytoplankton in the southern of Caspian Sea-Mazandaran Province (2012-2013). *Marine Biology*. 5, 71-86.
- Paytan, A. and McLaughlin, K., 2007. The oceanic phosphorus cycle. *Chemical Reviews*. 107, 563-576.
- Piontkovski, S., Al-Azri, A. and Al-Hashmi, K., 2011. Seasonal and interannual variability of chlorophyll-a in the Gulf of Oman compared to the open Arabian Sea regions. *International Journal of Remote Sensing*. 32, 7703-7715.
- Piontkovski, S. and Al-Jufaili, S., 2013. Coastal upwellings and mesoscale eddies of the western Arabian sea: some biological implications. *International Journal of Oceans and Oceanography*. 7, 93-115.
- Piontkovski, S.A., Queste, B.Y., Al-Hashmi, K.A., Al-Shaabi, A., Bryantseva, Y.V. and Popova, E.A., 2017. Subsurface algal blooms of the northwestern Arabian Sea. *Marine Ecology Progress Series*. 566, 67-78.
- Praveen, V., Ajayamohan, R., Valsala, V. and Sandeep, S., 2016. Intensification of upwelling along Oman coast in a warming scenario. *Geophysical Research Letters*. 43, 7581-7589.
- Rabbaniha, M., Gerami, M.H. and Golsefid, S.A.M., 2018. Temporal phytoplankton diversity patterns and community structure in a monsoonal region, Oman Seawater (Iranian parts). *Regional Studies in Marine Science*. 24, 355-363.
- Rai, S.V. and Rajashekhar, M., 2014. Seasonal assessment of hydrographic variables and phytoplankton community in the Arabian Sea

waters of Kerala, southwest coast of India. *Brazilian Journal of Oceanography*. 62, 279-289.

Redfield, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*. 46, 230A-221.

Reynolds, R.M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*. 27, 35-59.

Rixen, T., Baum, A., Gaye, B. and Nagel, B., 2013. Seasonal and interannual variations of the nitrogen cycle in the Arabian Sea. *Biogeosciences Discuss*. 10, 19541-19570.

Roelke, D., Eldridge, P. and Cifuentes, L., 1999. A model of phytoplankton competition for limiting and nonlimiting nutrients: implications for development of estuarine and nearshore management schemes. *Estuaries*. 22, 92-104.

Sanjani, M.S. and Chegini, V., 2011. Study of seasonal variation trend of physical parameters of the Chabahar Bay (Part II: 2008), Research Report, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences. 76p (in Persian with English abstract) . Abstract available online at <http://www.inio.ac.ir/LinkClick.aspx?fileticket=c%2Fs9znux14U%3D&tabid=2473>.

Struyf, E., Smis, A., Van Damme, S., Meire, P. and Conley, D.J., 2009. The global biogeochemical silicon cycle. *Silicon*. 1, 207-213.

Tréguer, P.J. and De La Rocha, C.L., 2013. The world ocean silica cycle. *Annual Review of Marine Science*. 5, 477-501.

Voss, M., Baker, A., Bange, H.W., Conley, D., Deutsch, B., Engel, A., Heiskanen, A.-S., Jickells, T., Lancelot, C. and McQuatters-Gollop, A., 2011. *Nitrogen Processes in Coastal and Marine*

*Ecosystems*. Cambridge University Press.UK.

Voss, M., Bange, H.W., Dippner, J.W., Middelburg, J.J., Montoya, J.P. and 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, 20130121.

Watanabe, T.K., Watanabe, T., Yamazaki, A., Pfeiffer, M., Garbe-Schönberg, D. and Claereboudt, M.R., 2017. Past summer upwelling events in the Gulf of Oman derived from a coral geochemical record. *Scientific Reports*. 7, 4568.

Wright, J. and Colling, A., 1995. *Seawater: its composition, properties, and behaviour*. Pergamon Press. New York.

Yi, X., 2017. Impact of large-scale climate variability on the Arabian Sea coastal upwelling system. Ph.D. Thesis. University of Hamburg, Hamburg, Germany







Environmental Sciences Vol.19 / No.1 / Spring 2021

19-36

## Effects of the monsoon phenomenon on physicochemical parameters, nutrients, and chlorophyll-*a* content in Chabahar Bay

Hamid Ershadifar\*, Kamalodin Kor, Emad Koochaknejad, Amir Ghazilou and Gholamrasoul Baskaleh

Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences, Chabahar, Iran

Received: 2019.08.19

Accepted: 2020.07.12

**Ershadifar, H., Kor, K., Koochaknejad, E., Ghazilou, A. and Baskaleh, G., 2021.** Effects of the monsoon phenomenon on physicochemical parameters, nutrients, and chlorophyll-*a* content in Chabahar Bay. *Environmental Sciences*. 19(1):19-36.

**Introduction:** Chabahar Bay is a semi-enclosed marine environment in the southeastern coast of Iran, with two important ports i.e., Konarak and Chabahar in its margins. The connection of this Bay to the Indian Ocean through the Gulf of Oman causes this region to be affected by the monsoon phenomenon, especially the southwest monsoon, from late spring to late summer. Due to the expansion of various industries and increasing marginal population, aquatic environments are expected to be severely affected by human activities. Sensitive ecosystems such as coral reef habitats and mangrove forests are vulnerable to these changes. In this research, the effects of the monsoon phenomenon on physicochemical parameters, nutrient concentration, and chlorophyll-*a* (Chl-*a*) were studied. The possibility of nutrient loading through the ports of Konarak and Tass was examined by comparing the results from these ports with the adjacent stations in the Bay.

**Material and methods:** Sampling from two depths (0.5 m beneath the surface and 1 m above the bottom) at 4 stations was performed using 5l Niskin bottle in three replicates during five seasons. Physicochemical parameters were measured by relevant portable probes at the sampling site. In the laboratory, the reagents were prepared for colorimetric detection according to the standard instructions, and the amount of nutrients were measured by spectrophotometer in a quartz cell with a path length of 2 cm. Statistical analyses were performed using PRIMER 6 and STATISTICA 10 software.

**Results and discussion:** According to the acquired results, the concentration of phosphate, nitrite, and nitrate, as well as Chl-*a*, were higher in the post-monsoon period and were in the order of post-monsoon > pre-

---

\* Corresponding Author: *Email Address*. hamid.ershadifar@inio.ac.ir  
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.29321>

monsoon> monsooon. In the case of silicate, its trend was different and showed a decreasing trend in the order of pre-monsoon> monsoon≈post-monsoon. Comparison of inter-annual results showed that the phosphate, nitrate, and nitrite values recorded in 2017 were higher than the corresponding values in 2013-2014. Chl-*a* showed a positive correlation with the nutrient concentration, which indicated that the primary production was controlled by the nutrient availability. The pH and dissolved oxygen values had a positive correlation and both were generally low in the pre-monsoon than the post-monsoon in both sampling periods of 2013-2014 and 2017.

**Conclusion:** Comparison of the results between 2013-2014 and 2017 showed that there were differences in nutrient concentrations and physicochemical parameters due to variations in the intensity and duration of the monsoon in different years. High concentrations of nitrate, phosphate, and nitrite in the post-monsoon season occurred due to the monsoon-induced upwelling and the emergence of nutrient-rich waters. Lower silicates in the post-monsoon than the pre-monsoon and monsoon seasons seems to be the result of the silicate depletion by diatoms that show outbreaks during this period, as the Chl-*a* in the post-monsoon was greater than the preceding seasons. Finally, the amount of nutrients was significantly higher in two marginal ports compared to adjacent stations in the Bay. However, they are still not at the stage to intensely elevate the nutrients levels throughout the Bay.

**Keywords:** Chabahar Bay, Nutrients, Monsoon, Physicochemical parameters, Chlorophyll-*a*.