دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست-پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال بیست و یکم، شماره ۶، صفحه ۴۵۸ - ۴۳۹ (بهمن و اسفند ۱۳۹۷)

Iran South Med J 2019; 21(6): 439-458

سنجش غلظت فلزات سنگین و استفاده از شاخص‌های WQI، TRIX در ارزیابی کیفیت آب سواحل بین جزر و مدی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در فصول مختلف

مسعود حاتمی‌منش (PhD)[1*]، آرش حق‌شناس (MSc)[2]، محسن میرزائی (PhD)[3**]،
عیسی سلگی (PhD)[1]، بهزاد محمدی بردکشکی (MSc)[4]

[1] گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
[2] مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی، پژوهشکده میگوی کشور، ایران
[3] گروه علوم محیطی، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
[4] سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری، شهرداری شیراز، شیراز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۹/۲۱ - پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۲۱)

چکیده

زمینه: یکی از اکوسیستم‌های ساحلی که به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی و شهری قرار دارد، منطقه ویژه اقتصادی پارس در استان بوشهر است؛ بنابراین در این مطالعه به پایش وضعیت سلامت سواحل بین جزر و مدی این اکوسیستم در فصول مختلف با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب، شاخص تریکس و غلظت فلزات سنگین (سرب، مس، روی و آهن) پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی شاخص‌های مورد نظر ۱۶ ایستگاه در طول سواحل منطقه انتخاب و در هر ایستگاه ۳ نمونه برداشت شد. سپس پارامترهای مورد نیاز هر شاخص به کمک روش استاندارد اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: بررسی تغییرات شاخص کیفیت آب در فصول مختلف نشان داد، کمترین مقدار این شاخص در فصل زمستان به میزان ۲۷/۸۹ (وضعیت بد) و بعد از آن به ترتیب تابستان پاییز و بهار به میزان (۳۰/۶۳، ۳۱/۴۲ و ۳۱/۷۷) در وضعیت نسبتاً بد قرار دارند. نتایج شاخص تریکس نشان داد، وضعیت کلی کیفیت آب سواحل در طبقه الیگوتروف قرار دارند و در بین فصول مختلف بیشترین و کمترین میزان این شاخص به ترتیب به میزان ۳/۵۳ و ۱/۹۳ در فصل زمستان و پاییز بدست آمد. همچنین توالی میانگین غلظت کلی فلزات سنگین در نمونه‌های آب به‌ترتیب به‌صورت Zn>Fe>Cu>Pb اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس یافته‌های موجود می‌توان بیان کرد غلظت بالای فلزات سنگین و کیفیت پایین آب سواحل در فصل زمستان ناشی از آب شویی آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های صنعتی، شهری و کشاورزی و انتقال آلاینده‌ها به‌وسیله جریانات سطحی به سواحل منطقه است.

واژگان کلیدی: شاخص تریکس (TRIX)، شاخص کیفیت آب، فلزات سنگین، منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی، پایش خط ساحلی

** پژوهشکده انگور و کشمش، گروه علوم محیطی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

Email: mohsenmirzayi27@yahoo.com
*** ORCID: 0000-0002-6518-1848**
****ORCID: 0000-0002-8924-7143**

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

مقدمه

در اختیار داشتن منابع آب سالم پیش‌نیازی اساسی در حفظ محیط‌زیست، رشد و توسعه هر پدیده زیستی و انسانی است (۱). اما متأسفانه در چند دهه اخیر به دنبال توسعه فعالیت‌های صنعتی، رشد شهرها، افزایش بی‌رویه جمعیت، استفاده از کودها و سموم شیمیایی و غیره باعث افزایش شدت آلودگی منابع آبی شده است (۲). از انواع آلودگی آب‌ها می‌توان به مواردی همچون؛ آلودگی به مواد مغذی، آلودگی رادیواکتیو، آلودگی‌های نفتی و آلودگی به فلزات سنگین که تأثیر زیادی بر تندرستی و زندگی گیاهان و جانوران آبزی دارند اشاره نمود (۳). در این میان امروزه ورود آلاینده‌ها، به‌ویژه فلزات سمی به اکوسیستم‌های آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی در سراسر جهان تبدیل شده است (۶-۴).

یکی از این اکوسیستم‌هایی که به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های بشری به‌خصوص فعالیت‌های صنعتی و شهری همچون استخراج، تخلیه و تصفیه مواد نفتی، حمل و نقل دریایی ورود پساب‌ها و رواناب‌های شهری قرار دارد، سواحل جنوبی ایران مانند منطقه ویژه اقتصادی – انرژی پارس در استان بوشهر است؛ که با هدف بهره‌برداری از ذخایر گاز و نفتِ میدان مشترک پارس جنوبی احداث و در حال توسعه است. به‌طوری‌که ورود بیش از حد این عوامل تهدید کننده (آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی)، موجب بروز اختلال در عملکرد اکوسیستم شده و سبب پدید آمدن مشکلات برای بخش زنده این اکوسیستم شده است (۷ و ۸). به همین جهت بررسی غلظت فلزات و تعیین کیفیت فیزیکی و شیمیایی آن، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است؛ بنابراین لزوم در اختیار داشتن یک استراتژی و برنامه مدون برای حفظ منابع آب و کنترل آلودگی‌های آن، مسئله مهم در مدیریت این گونه اکوسیستم‌ها است. لذا کنترل و پایش آب‌های سطحی جهت مصارف مختلف، امری لازم و ضروری است تا آب با کیفیت مناسب جهت مصارف مختلف در دسترس قرار گیرد (۹).

یکی از روش‌های بسیار ساده و فاقد پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کرده و به عنوان یک ابزار پیشرفته قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوط استفاده شود، بهره‌گیری از مزیت شاخص کیفی آب است. شاخص‌های کیفی آب روش‌هایی هستند که با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات خام، علاوه بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول زمان بررسی کرد و مناطقی را که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید می‌باشند، مشخص نمایند (۱۰). شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQISC)[1]، یکی از شاخص‌های تعیین کیفیت آب است که با هدف تدوین کیفیت منابع آب در ایجاد گردیده است، به‌گونه‌ای که شاخص‌های تدوین شده بتوانند چشم‌انداز و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در ایران ارائه کند. چراکه علاوه بر تعیین کیفیت آب برای استفاده‌های مختلف، میزان مطلوبیت آب برای سایر موجودات زنده را ارزیابی می نماید (۱۱ و ۱۲). به همین جهت مطالعات زیادی در خصوص بررسی کیفی آب سواحل و رودخانه‌ها در ایران و جهان انجام‌شده است، که می‌توان به مطالعات صادقی و

[1] *Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters ,IRWQISC.*

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

همکاران و حمزه‌پور و همکاران؛ اشاره نمود (۱ و ۱۰). علاوه بر شاخص‌های بازتاب دهنده وضعیت فیزیکی و شیمیایی آب، گروه دیگری از شاخص‌های محیطی وجود دارند، که نقش مهمی در پایش و اندازه‌گیری وضعیت اکوسیستم‌های آبی همچون ماکروبنتوزها و شاخص‌های ترکیبی مانند شاخص TRIX، AMBA، EBI،B -IBI[2] و غیره ایفا می‌کنند (۱۲ و ۱۳). شایان ذکر است، محققان اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب را به مانند برداشت عکس و شاخص‌های زیستی را مشابه تهیه یک قیلم ویدیویی از یک اکوسیستم می‌دانند (۱۴)، همچنین تنها راه عملی و به‌صرفه اقتصادی برای تعیین سلامت اکولوژیک منابع آبی و ارزیابی اثرات فعالیت‌های انسانی که موجب افت کیفیت آب‌ها می‌شوند را پایش بیولوژیکی می‌دانند (۱۵). در این میان یکی از شاخص‌های زیستی که با توجه به اندازه‌گیری هم‌زمان پارامترهای شیمیایی و زیستی نقش مهمی در بررسی وضعیت کیفیت منابع آبی بخصوص در نواحی ساحلی دارند، شاخص TRIX است. شاخص TRIX یکی از شاخص زیستی مهم جهت محاسبه وضعیت تروفیک اکوسیستم‌های آبی با استفاده از چهار پارامتر، فسفات کل، نیتروژن کل، کلروفیل آ و کمبود اکسیژن از حالت اکسیژن اشباع است؛ که با توجه به سادگی و کارایی بالا، شاخصی مناسب جهت ارزیابی وضعیت تروفیک اکوسیستم‌های ساحلی است. این شاخص اولین بار توسط تروفیک ولین‌ویدر (Vollenweider) و مکاران، در سواحل دریای آدریاتیک استفاده شد، پس از آن محققان و سازمان‌های مختلف همچون EPA جهت بررسی وضعیت تروفیکی از این شاخص بهره بردند (۱۸-۱۵)؛ بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده در بالا و اهمیت اکوسیستم آبی سواحل جزر و مدی منطقه ویژه انرژی پارس، مطالعه حاضر به بررسی وضعیت کیفی آب سواحل این منطقه با استفاده از شاخص‌های WQI و TRIX همراه با تعیین غلظت فلزات سنگین مس، روی، سرب و آهن در آب این سواحل پرداخته است.

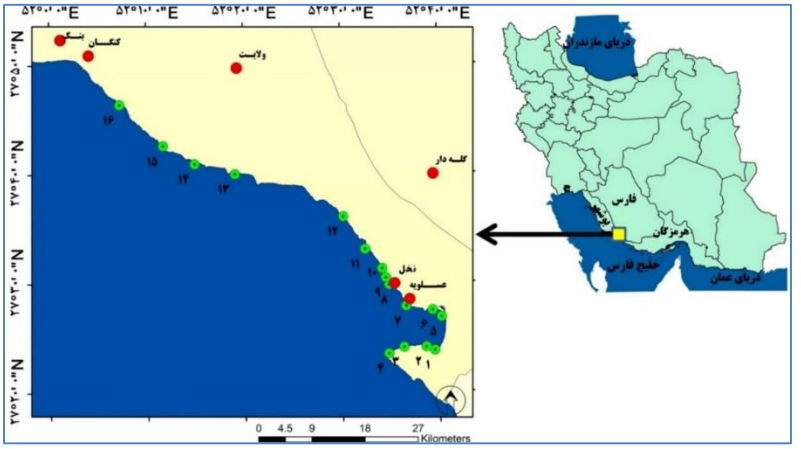
مواد و روش‌ها

- محدوده مورد مطالعه

پژوهش حاضر یک مطالعه موردی و به صورت میدانی- آزمایشگاهی است، که به سنجش غلظت فلزات سنگین و ارزیابی کیفیت آب سواحل بین جزر و مدی در طی فصول مختلف با استفاده از شاخص‌های WQI، TRIX می‌پردازد. منطقه مورد مطالعه شامل محدوده «منطقه ویژه اقتصادی- انرژی پارس» در جنوبِ شرق استان بوشهر، در سواحل خلیج‌فارس است. این منطقه در محدوده‌ی جغرافیایی طول شرقی ″۰۶ ′۵۲ تا ″۳۴ ′۵۲ و عرض شمالی ″۲۳ ′۲۷ تا ″۴۶ ′۲۷، از جنوب شرقی استان بوشهر (دماغه نایبند) تا جنوب غرب بندر کنگان (برکه چوپان)، را پوشش می‌دهد. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد.

[2] The Estuarine Biotic Integrity Index

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]



شکل ۱) موقعیت منطقه مطالعاتی در استان بوشهر و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Fig 1) The location of study area and sampling sites in Bushehr province, Iran

- جمع‌آوری نمونه‌ها و سنجش غلظت فلزات و کیفیت آب

جهت سنجش غلظت فلزات سنگین (سرب، مس، روی و آهن) آب سواحل منطقه مورد مطالعه ۱۶ ایستگاه به صورت تصادفی انتخاب و در هر ایستگاه ۳ نمونه برداشت گردید (جدول ۱) ایستگاه و نمونه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که تا حد امکان قادر باشند وضعیت ورود آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و منابع آن‌ها را به دریا نمایش دهند (شکل ۱). برای نمونه‌برداری از آب در هر ایستگاه ابتدا ظرف مخصوص نمونه‌برداری سه بار با آب محل نمونه‌برداری (آب سواحل) شستشو گردید. سپس ۱/۵ لیتر آب از عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح آب توسط دستگاه نمونه‌بردار روتنر برداشته شد و به ازاء هر یک لیتر آب، ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه گردید. سپس نمونه‌ها در کلمن یخ قرار داده شدند و در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه شاهد نیز در کنار سایر نمونه‌ها مانند نمونه‌های مورد بررسی، تهیه شد (۱۹). جهت سنجش فلزات؛ پس از افزودن الکترولیت به نمونه‌های آب و تنظیم pH در محدوده خاص، توسط دستگاه پلاروگراف، به‌وسیله روش‌های ولت‌متری عریان سازی آندی و کاتدی و روش ولت‌متری آندی جذبِ سطحی آنالیز شدند.

جدول ۱) نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه شده

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی/درجه اعشار	عرض جغرافیایی/درجه اعشار	عمق (متر)
۱	هاله	۵۲ ۳۸/۵۵	۲۷ ۲۴/۳۹۰	۴
۲	دهانه خور بساتین	۵۲ ۳۹/۲۹۰	۲۷ ۲۴/۱۱۰	۳
۳	نای‌بند	۵۲ ۳۶/۱۶۰	۲۷ ۲۴/۳۴۰	۱/۳
۴	شاهد (فانوس دریایی)	۵۲ ۳۴/۵۸۱	۲۷ ۲۴/۲۸۷	۲
۵	خوربیدخون ۱	۵۲ ۳۹/۴۷۰	۲۷ ۲۷/۱۵۰	۴
۶	خوربیدخون ۲	۵۲ ۴۰/۴۷۰	۲۷ ۲۷/۵۳۰	۳
۷	نخل‌تقی	۵۲ ۳۴/۲۸۵	۲۷ ۲۹/۵۷۱	۲/۵
۸	روبروی آب‌شیرین‌کن هیوندایی	۵۲ ۳۴/۴۷۰	۲۷ ۳۰/۴۸۰	۸
۹	روبروی خروجی فازهای ۱ تا ۳	۵۲ ۳۴/۱۴۰	۲۷ ۳۰/۵۷۴	۱۲
۱۰	روبروی خروجی فازهای ۴ و ۵	۵۲ ۳۹/۹۲۴	۲۷ ۳۱/۸۷۲	۱۸
۱۱	روبروی خروجی آب‌شیرین کن پتروشیمی	۵۲ ۳۲/۲۱۳	۲۷ ۳۳/۴۲۶	۱۱
۱۲	شیرینو	۵۲ ۲۹/۵۱۳	۲۷ ۳۶/۵۳۴	۴
۱۳	سیراف	۵۲ ۱۹/۷۹۷	۲۷ ۳۹/۹۰۹	۲
۱۴	فاز ۱۳ (اختر)	۵۲ ۱۵/۱۳۷	۲۷ ۴۰/۹۰۶	۱۰
۱۵	فاز ۱۴	۵۲ ۱۰/۳۵۳	۲۷ ۴۰/۰۶۹	۱۲
۱۶	برکه چوپان	۵۲ ۰۶/۷۴۰	۲۷ ۴۶/۳۶۴	۳/۵

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

همچنین جهت محاسبه شاخص کیفی آب (WQI) و شاخص تریکس (TRIX) کلیه فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد نیاز برای محاسبه آن‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه، اندازه‌گیری و ثبت شدند. پارامترهای pH، دما، هدایت الکتریکی، کدورت و اکسیژن محلول به‌وسیله دستگاه‌های پرتابل ساخت کارخانه HACH آمریکا، در محل نمونه‌برداری مستقیماً اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری شاخص‌های فوق، ابتدا دستگاه اندازه‌گیری پارامترهای محیطی آب توسط محلول‌های استاندارد و طبق روش کار اعلام شده توسط سازنده، کالیبره گردید، سپس پارامترهای مذکور توسط دستگاه قرائت شدند. جهت سنجش پارامترهای نیتریت، نیترات، فسفرکل، اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و کلروفیل a پس از جمع‌آوری و انتقال نمونه‌های آب به آزمایشگاه، با استفاده از روش استاندارد متد، اندازه‌گیری شدند (۱۹). سنجش نیتریت از روش سولفانیل و نفتیل آمین، به کمک دستگاه طیف سنج در طول موج ۵۴۰ نانومتر؛ نیترات از روش احیاء کادمیوم و سولفانیل آمید، به کمک دستگاه اسپکتروفتومتری مدل ۶۴۰۰ JENWAY ساخت انگلستان در طول موج ۵۴۰ نانومتر؛ آمونیوم از روش رنگ‌سنجی ایندوفنل؛ فسفرکل از روش هضم با پرسولفات اسید؛ اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) به روش اکسیژن باقیمانده پس از ۵ روز به وسیله دستگاه اکسیژن‌سنج؛ اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) روش هضم با معرف اکسید کننده قوی دی‌کرومات پتاسیم و سپس رنگ‌سنجی؛ کلروفیل آ از روش آلگرین و آلگرین (Ahlgren و Ahlgren) اندازه‌گیری شدند (۱۹). درنهایت با توجه به میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده، شاخص کیفی آب (WQI) محاسبه شد. در واقع جهت محاسبه این شاخص، از روش منحنی‌های استاندارد شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$) استفاده شد. شایان ذکر است، پارامترهای مورد استفاده در محاسبه شاخص کیفی آب (WQI) طبق روش استاندارد اندازه‌گیری شدند و پس از آن با توجه به منحنی‌های استاندارد هرکدام از این پارامترها و همچنین وزن آن‌ها در شاخص $IRWQI_{SC}$ میزان WQI محاسبه شد. جدول ۲، مقادیر و پارامترها $IRWQI_{SC}$ و توصیف شاخص‌های کیفی مورد استفاده را نشان می‌دهد (۱). به‌منظور تعیین میزان مواد آلی آب دریا، نمونه‌های آب بوسیله بطری روتنر برداشت شد. سپس نمونه‌ها به بطری‌های شیشه‌ای تیره‌رنگ منتقل و تا زمان آنالیز در فریزر نگهداری شدند. نمونه‌ها به‌وسیله اسیدکلریدریک تا pH کمتر از ۲ اسیدی شده و در نهایت با دستگاه پلاروگراف، میزان کربن آلی کل آن‌ها به روش ولت‌متری آندی جذبِ سطحی آنالیز شد.

جدول ۲) وزن پارامترهای مورد استفاده در محاسبه شاخص ($IRWQI_{SC}$)، مقادیر و طبقه‌بندی کیفیت آب بر مبنای آن (۱)

فاکتور	DO*	pH	COD	BOD	نیترات	کدورت	کل فسفات	EC	دما	آمونیوم
وزن پارامتر در شاخص ($IRWQI_{SC}$)	۰/۱۷	۰/۰۵۱	۰/۰۹۳	۰/۱۱۷	۰/۱۰۸	۰/۰۶۲	۰/۰۸۷	۰/۰۹۶	۰/۱	۰/۰۹
شاخص	**محدوده شاخص**						**توصیف**			
شاخص ($IRWQI_{SC}$)	کمتر از ۱۵						خیلی بد			
	۱۵-۲۹/۹						بد			
	۳۰-۴۴/۹						نسبتاً بد			
	۴۵-۵۵						متوسط			
	۵۵/۱-۷۰						نسبتاً خوب			
	۷۰/۱ -۸۵						خوب			
	بیشتر از ۸۵						بسیار خوب			

*دما برحسب درجه سانتی‌گراد، pH: واحد استاندارد، COD، BOD، نیترات، شوری، آمونیوم، کل کربن آلی برحسب میلی‌گرم بر لیتر، DO بدرصد اشباع؛ EC (میکروزیمیس بر سانتی‌متر)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

-شاخص محیط‌زیستی TRIX

شاخص TRIX یکی از شاخص‌های مهم و رایج مورد استفاده برای ارزیابی وضعیت تروفیکی آب‌ها بخصوص در سواحل است (۱۸). پارامترهای این شاخص عبارتند از؛ میزان کروفیل آ (میلی‌گرم بر متر مکعب)، درصد کمبود اکسیژن از اکسیژن اشباع و پارامترهای کلی تغذیه‌ای شامل نیتروژن و فسفر کل (میلی‌گرم بر متر مکعب)، که بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$TRIX = \frac{K}{n} \times \sum \frac{(M_i - L_i)}{(U_i - L_i)} \quad (۱$$

در رابطه بالا؛ Mi مقدار اندازه‌گیری شده از پارامتر موردنظر، Ui مقدار پیشینه، Li مقدار کمینه پارامتر و n تعداد پارامترها است. مقادیر TRIX بین ۰ و K است. در این شاخص جهت نرمال‌سازی توزیع داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده می‌گردد و شکل معادله اصلی شاخص به‌صورت زیر است (رابطه ۲).

$$TRIX = \frac{K}{n} \times \sum \frac{(LogM_i - LogL_i)}{(LogU_i - LogL_i)} \quad (۲$$

برای دریای آدریاتیک مقدار تقریبی دامنه همه پارامترها (Log Ui- LogLi) ۳، مقدار K برابر ۱۰ و تعداد پارامترها نیز ۴ است؛ که با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه (۳) خواهیم داشت:

در نهایت، شاخص به‌صورت زیر پیشنهاد شده است این شاخص به‌صورت عددی از ۰ تا ۸ مقیاس‌گذاری شده و محدوده وسیعی از شرایط تروفیکی از اولیگوتروف تا یوتروف را پوشش می‌دهد (جدول ۳).

$$TRIX = \frac{10}{4} \times \frac{Log(chla \times aD\%O \times N \times P) - Log(chlaChla_{min} \times aD\%O_{min} \times N_{min} \times P_{min})}{3} \quad (۳$$

$$Log(chaChla_{min} \times aD\%O_{min} \times N_{min} \times P_{min} = -1.5 \quad (۴$$

رابطه (۴).

$$TRIX = \frac{Log(chla \times aD\%O \times N \times P) - (-1.5)}{1.2} \quad (۵$$

جدول ۳) طبقه‌بندی وضعیت تروفیکی آب‌ها با استفاده از شاخص TRIX ولین‌ویدر (Vollenweider) و همکاران، ۱۹۹۸ (۱۶)

میزان شاخص TRIX	نوع سیستم	وضعیت تروفیکی
۲-۴	الیگوتروف	خوب
۴-۵	مزو تروف	متوسط
۵-۶	متوسط (مزو-یوتروف)	فقیر
۶-۸	یوتروف	بد

- تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۱ مورد استفاده قرار گرفت. جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها از Shapiro—Wilk در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. به منظور مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین آب در فصول مختلف سال از آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر[3] استفاده گردید. در این آزمون در صورت وجود اختلاف معنادار، برای جداکردن

[3] Repeated Measurements ANOVA

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

تفاوت بین فصول مختلف سال از آزمون تعقیبی بونفرونی (Bonferroni) استفاده شد. همچنین جهت محاسبه شاخص‌های کیفی آب (TRIX و WQI) از معادلات و نمودارهای مربوط به آنها استفاده شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft office ۲۰۱۰ بهره گرفته شد.

یافته‌ها

- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

نتایج حاصل از بررسی میانگین غلظت سالانه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه شامل دما، DO، pH، COD، BOD، نیترات، شوری، آمونیوم، کل کربن آلی و EC در جدول ۴ نمایش داده شد.

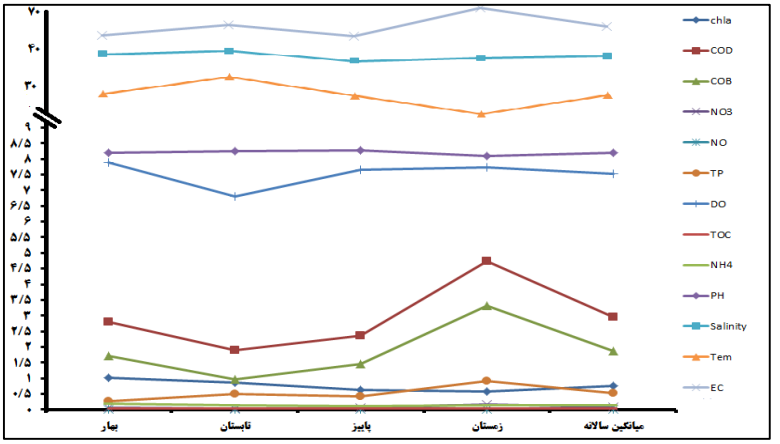
جدول ۴) میانگین کلی غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل بین جزو مدی منطقه پارس جنوبی

ایستگاه	دما*	DO	pH	COD	BOD	نیترات	شوری	کل فسفات	EC	آمونیوم	TOC
۱	۲۷/۲۳	۷/۶	۸/۲۶	۲/۷۸	۲/۰۴	۰/۱۱	۳۹/۴۵	۰/۵۵	۶۱/۵۵	۰/۱۳	۰/۰۲۸
۲	۲۶/۸۸	۷/۶	۸/۲۴	۲/۸۷	۱/۷۸	۰/۰۴	۳۸/۷۵	۰/۸۸	۶۵/۷	۰/۲	۰/۰۳۵
۳	۲۶/۷	۶/۴	۸/۲	۲/۹۳	۱/۶	۰/۰۵	۳۸/۲۵	۰/۴۲	۵۹/۳	۰/۱۳	۰/۰۳۳
۴	۲۶/۶	۶/۸۵	۸/۲	۲/۷	۱/۶	۰/۰۲۳	۳۸/۵	۰/۳۸	۵۸/۷۵	۰/۱۸	۰/۰۳
۵	۲۷/۷۵	۷/۳۶	۸/۱۸	۲/۹۴	۱/۸۴	۰/۰۶۸	۴۰	۰/۶۹	۵۷/۱	۰/۱۲	۰/۰۴۴
۶	۲۷/۱	۷/۴۵	۸/۲	۳/۹۴	۱/۸۵	۰/۱۳	۴۰/۵	۰/۳۵	۶۱/۵	۰/۱۳	۰/۰۴۳
۷	۲۷/۴۳	۶/۵۴	۸/۲	۲/۷	۱/۶۱	۰/۱۲	۳۹/۲۵	۰/۴۲	۵۹/۴۵	۰/۱۵	۰/۰۴۴
۸	۲۷/۹	۷/۶	۸/۲۴	۲/۹۸	۱/۹	۰/۰۶۵	۳۹/۷۵	۰/۷۵	۶۲/۲	۰/۱۵	۰/۰۴۸
۹	۲۷/۴	۷/۷	۸/۲۳	۳/۱۵	۱/۴۷	۰/۰۶۶	۳۹/۵	۰/۵۸	۶۴/۸۵	۰/۱۶	۰/۰۵۴
۱۰	۲۸/۲۸	۷/۸	۸/۱۹	۳/۱۳	۱/۷۴	۰/۲۲۱	۳۸	۰/۴۶	۰۶/۳	۰/۱۷	۰/۰۵۸
۱۱	۲۸/۷۳	۷/۹۳	۸/۱۸	۲/۵۴	۱/۴۶	۰/۰۲۴	۳۹/۳۵	۰/۴۶	۶۲/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۵۲
۱۲	۲۷/۶۵	۷/۴	۸	۲/۴۹	۱/۴	۰/۱۱۳	۳۹/۷۵	۰/۵۵	۶۲	۰/۱۳	۰/۰۵
۱۳	۲۷/۴۳	۷/۸۶	۸/۲۳	۲/۵	۱/۴۲	۰/۰۴۷	۳۸/۳۵	۰/۵۴	۶۳/۷	۰/۱۴	۰/۰۴۸
۱۴	۲۷/۷	۸/۳	۸/۱	۲/۵۷	۱/۴۸	۰/۱	۳۹/۷۵	۰/۳۶	۶۲/۸۵	۰/۱۳	۰/۰۲
۱۵	۲۷/۷۳	۷/۸	۸/۲۳	۲/۴۵	۱/۳۶	۰/۱۰۹	۳۹/۷۵	۰/۶	۶۲/۵	۰/۱۵	۰/۰۴
۱۶	۲۷/۶	۸	۸/۲۶	۲/۹۵	۱/۸۸	۰/۰۲۳	۳۹/۵	۰/۴۵	۶۱/۳۲	۰/۱۹	۰/۰۳۵

*دما برحسب درجه سانتی‌گراد، pH: واحد استاندارد، COD، BOD، نیترات، شوری، آمونیوم، کل کربن آلی برحسب میلی‌گرم بر لیتر، DO بدرصد اشباع؛ EC (میکروزیمیس بر سانتی‌متر)

مطابق شکل ۲، بیشترین میانگین COD، BOD، نیترات، نیتریت، فسفر کل، EC و کل کربن آلی در فصل زمستان پایش شد و بیشترین مقادیر میانگین آمونیاک و pH در فصل پاییز و از سویی دیگر بیشترین میانگین دما و شوری در فصل تابستان رصد شد. همچنین بیشترین مقادیر میانگین پارامترهای کلروفیل آ و اکسیژن محلول در فصل بهار به دست آمد (شکل ۲).

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]



شکل ۲) مقایسه روند میانگین کلی غلظت فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب در فصول مختلف، دما (درجه سانتی‌گراد)، pH (واحد استاندارد)، COD، BOD، نیترات، شوری، آمونیوم، کل کربن آلی (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)؛ DO (درصد اشباع)؛ EC (میکروزیمیس بر سانتی‌متر)

Fig 2) Comparison of the mean concentration trend of physical and chemical factors of water in different seasons, temperature (° C), pH (standard unit), COD, BOD, nitrate, salinity, ammonium, total organic carbon (mg / l), DO (saturation percentage)); EC (microsymicum per cm)

- شاخص $IRWQI_{SC}$

در جدول ۵، نتایج بررسی شاخص $IRWQI_{SC}$ با توجه به میانگین سالانه پارامترهای ورودی به آن، در ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش داده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در بین ایستگاه‌های انتخابی میانگین شاخص $IRWQI_{SC}$ فقط در سه ایستگاه ۲، ۹ و ۱۰ در محدوده کیفی بد قرار دارد؛ اما سایر ایستگاه‌ها در محدوده نسبتاً بد قرار دارند. بیشترین میزان میانگین سالانه شاخص WQI (۳۱/۸) مربوط به ایستگاه شماره ۱۳ و کمترین میزان میانگین شاخص (۲۹/۵۴، کیفیت بد) مربوط به ایستگاه شماره ۱۰ بوده است. مطابق جدول ۵، بر اساس محاسبه میزان شاخص WQI تمامی ایستگاه‌ها در محدوده کیفی بد و نسبتاً بد قرار دارند. یافته‌های بررسی روند تغییرات شاخص WQI در فصول مختلف نشان داد، فصل زمستان دارای کمترین میزان مقدار WQI به میزان ۲۷/۸۹ (وضعیت بد) و بعد از آن به ترتیب تابستان، پاییز و بهار به میزان (۳۰/۶۳، ۳۱/۴۲ و ۳۱/۷۷) در وضعیت نسبتاً بد قرار دارند.

جدول ۵) میزان شاخص $IRWQI_{SC}$ برای پارامترهای مختلف در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل بین جزو مدی منطقه پارس جنوبی

ایستگاه	DO*	pH	COD	BOD	نیترات	کدورت	کل فسفات	EC	آمونیوم	$IRWQI_{SC}$	توصیف
۱	۶۹	۸۹	۹۷	۸۵	۹۴	۳۶	۵۶	۴۶	۸۴	۳۱/۵۰	نسبتا بد
۲	۶۹	۸۹	۹۷	۸۸	۹۵	۳۴	۲۲	۴۰	۸۰	۲۹/۵۰	بد
۳	۵۲	۸۶	۹۵	۸۹	۹۵	۴۵	۴۱	۴۷	۸۴	۳۰/۳۸	نسبتاً بد
۴	۵۶	۸۸	۹۷	۹۰	۹۵	۳۷	۴۶	۴۷	۸۲	۳۰/۶۱	نسبتاً بد
۵	۶۷	۸۷	۹۸	۸۹	۹۵	۴۵	۳۱	۴۶	۸۴	۳۰/۴۴	نسبتا بد
۶	۶۸	۸۹	۹۸	۸۹	۹۴	۲۸	۴۳	۴۴	۸۴	۳۰/۳۳	نسبتاً بد
۷	۵۳	۸۸	۹۷	۹۰	۹۴	۳۹	۴۱	۵۷	۸۳	۳۰/۸۱	نسبتاً بد
۸	۶۸	۸۹	۹۵	۹۰	۹۵	۲۹	۴۱	۵۳	۸۳	۳۰/۵۷	نسبتا بد
۹	۶۹	۸۹	۹۳	۹۰	۹۵	۵۱	۲۳	۴۱	۸۴	۲۹/۵۸	بد
۱۰	۷۰	۸۸	۹۳	۸۷	۹۳	۴۷	۳۹	۴۱	۸۲	۲۹/۵۴	بد
۱۱	۷۱	۸۷	۹۷	۹۱	۹۵	۴۸	۴۰	۴۳	۸۲	۳۱/۲۱	نسبتا بد
۱۲	۶۶	۸۶	۹۸	۹۱	۹۴	۴۳	۴۵	۴۴	۸۴	۳۱/۲	نسبتا بد
۱۳	۷۰	۸۸	۹۸	۹۱	۹۵	۵۳	۴۶	۴۳	۸۳	۳۱/۸۲	نسبتا بد
۱۴	۷۶	۸۶	۹۸	۹۰	۹۴	۲۸	۴۴	۴۴	۸۴	۳۰/۷	نسبتا بد
۱۵	۷۰	۸۹	۹۷	۹۳	۹۵	۴۰	۳۲	۴۴	۸۳	۳۰/۴۳	نسبتاً بد
۱۶	۷۵	۸۸	۹۷	۸۸	۹۵	۴۹	۴۳	۴۵	۸۱	۳۱/۶۱	نسبتاً بد

*pH: واحد استاندارد، COD، BOD، نیترات، شوری، آمونیوم، کل کربن آلی برحسب میلی‌گرم بر لیتر،DO بدرصد اشباع؛ EC (میکروزیمیس بر سانتی‌متر)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

جدول ۶) نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات شاخص WQI در فصول مختلف سال در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل بین جزو مدی منطقه پارس جنوبی

فاکتور	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
DO*	۷۳	۵۶	۷۱	۷۳
pH	۸۸	۸۹	۸۹	۸۷
COD	۹۸	۹۹	۹۸	۹۴
BOD	۸۹	۹۵	۹۰	۷۳
نیترات	۹۵	۹۵	۹۵	۹۴
کدورت	۴۳	۵۲	۴۹	۳۱
کل فسفات	۵۱	۳۵	۳۸	۲۱
EC	۴۵	۴۳	۴۵	۳۸
آمونیوم	۸۱	۸۷	۸۶	۸۶
$IRWQI_{SC}$	۳۱/۷۷	۳۰/۶۳	۳۱/۴۲	۲۷/۸۹
توصیف	نسبتا بد	نسبتا بد	نسبتا بد	بد

*pH: واحد استاندارد، COD، BOD، نیترات، شوری، آمونیوم، کل کربن آلی برحسب میلی‌گرم بر لیتر،DO بدرصد اشباع؛ EC (میکروزیمیس بر سانتی‌متر)

- غلظت فلزات سنگین

نتایج بررسی محدوده تغییرات غلظت فلزات آهن، مس، روی و سرب در نمونه‌های آب ساحل منطقه مورد مطالعه (منطقه اقتصادی- ویژه پارس جنوبی) نشان داد که حداکثر و حداقل غلظت سرب به میزان (۸/۲±۱/۶۴) و (۵/۴۴±۲/۰۳) میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در ایستگاه‌های شماره ۱۱ و ۱، روی (۱۰/۲۹±۱/۲۳ و ۷/۶۷±۲/۵۱) میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه‌های ۱۰ و ۱؛ مس (۶/۷۵±۳/۳۳ و ۵/۵۵±۱/۹۳) میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه‌های شماره ۹ و ۱، و برای آهن به میزان (۹/۴۲±۱/۵۴ و ۶/۷۰±۶/۴) میلی‌گرم بر لیتر ایستگاه‌های شماره ۹ و ۴ بوده است (جدول ۷). توالی غلظت کلی فلزات سنگین در نمونه‌های آب سواحل استان بوشهر به ترتیب به‌صورت (Zn>Fe>Cu>Pb) به دست آمد. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میانگین غلظت کلی فلزات مورد بررسی مربوط به فلز روی و سرب به ترتیب میزان (۱۰/۲۹±۱/۲۳) و (۵/۶۵±۲/۰۳) میلی‌گرم بر لیتر بوده است (جدول ۷).

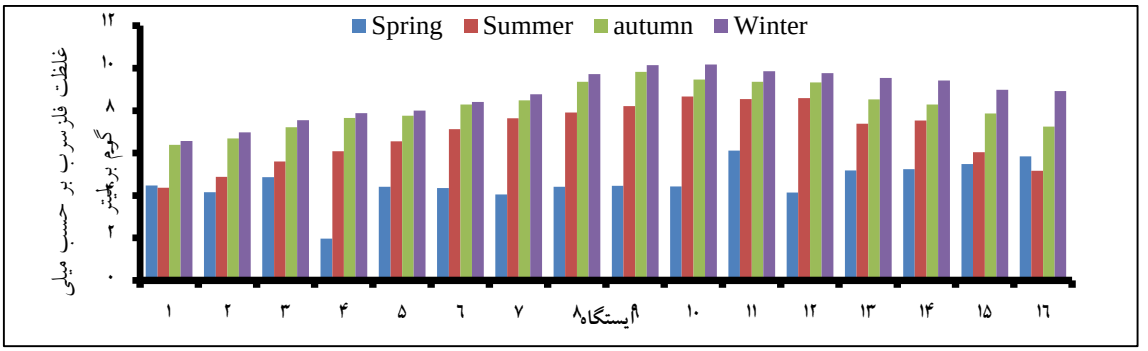
[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

جدول ۷) میانگین کلی غلظت فلزات مورد بررسی در ایستگاه‌های مختلف (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

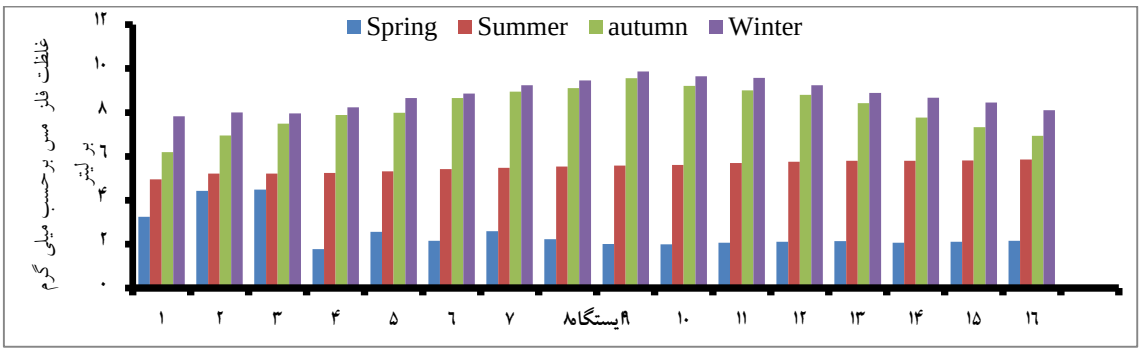
ایستگاه	غلظت فلزات سنگین			
	Fe	Cu	Zn	Pb
۱	۷/۱±۱/۱۲	۵/۵۵±۱/۹۳	۷/۸±۱/۲۲	۵/۴۴±۲/۰۳
۲	۷/۳۵±۱/۹	۶/۱۵±۱/۶۱	۷/۷۶±۱/۶۱	۵/۶۸±۰/۷۲
۳	۷/۴۹±۱/۶۱	۶/۳±۱/۶۹	۸/۲۳±۱/۲۳	۶/۳±۱/۶
۴	۶/۷۰±۱/۴	۵/۷۷±۲/۹	۷/۶۷±۲/۵۱	۵/۹۱±۲/۲۵
۵	۷/۲۳±۰/۵	۶/۱۳±۲/۷	۹/۰۶±۲/۴	۶/۶۸۳±۱/۴۴
۶	۷/۵۶±۱/۱۸	۶/۲۷±۳/۱۶	۸/۷۸±۲/۴۵	۷/۰۴±۱/۵
۷	۸/۰۷±۱/۳۶	۶/۵۶±۳/۱۴	۸/۷۳±۳/۰۴	۷/۲۳±۰/۲۱
۸	۸/۸۳±۰/۹۷	۶/۵۸±۲/۴۶	۹/۶۰±۲/۲۶	۷/۸۴±۱/۸۷
۹	۹/۴۲±۱/۵۴	۶/۷۵±۳/۳۳	۱۰/۰۶±۳/۳۳	۸/۱۶±۲/۰۴
۱۰	۸/۸۷±۱/۴۴	۶/۶۱±۵۷	۱۰/۲۹±۱/۲۳	۸/۱۸±۱/۳۳
۱۱	۸/۶۲±۰/۷۳	۶/۵۸±۳/۴۶	۹/۵۶±۲/۸۸	۸/۴۶±۱/۶۴
۱۲	۸/۶۳±۰/۶۸	۶/۴۷±۳/۳	۹/۷±۲/۹۸	۷/۹۶±۲/۶
۱۳	۸/۹۷۱±۱/۰۷	۶/۳۱±۳/۱	۹/۵۶±۳/۱۳	۷/۶۶±۲/۳۱
۱۴	۸/۱±۱/۰۴	۶/۰۷±۲/۹	۹/۵±۳/۱۵	۷/۶۲±۲/۱
۱۵	۸/۲۱±۱/۲	۵/۹۲±۲/۷۶	۹/۴۴±۳/۰۶	۷/۱±۱/۱۳
۱۶	۷/۷۱±۱/۴۱	۵/۷۵±۲/۵۶	۹/۴۲±۲/۹۶	۶/۷۸±۰/۴۵
میانگین کلی	۸/۰۳±۱/۵۲	۶/۲۴±۲/۰۷	۹/۰۷±۲/۵۷	۷/۱۲±۲/۲۳

مقایسه تغییرات غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در فصول مختلف سال نشان داد، برای تمام فلزات بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده در فصل زمستان است (شکل ۳). همچنین برای فلز سرب بیشترین میانگین در فصل زمستان به میزان (۱/۱±۸/۷۹) میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد؛ و برای سایر فصول به ترتیب در پاییز، تابستان و بهار به میزان (۱/۰۱±۸/۲۳، ۱/۳۵±۶/۸۹ و ۰/۹۱±۴/۶) میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری گردید (شکل ۳ الف). برای فلز مس بیشترین میانگین فصلی به میزان (۰/۴۶±۸/۷) میلی‌گرم بر لیتر در فصل زمستان و برای سایر فصول به ترتیب در پاییز، تابستان و بهار به میزان (۰/۹۴±۸/۱۴، ۰/۲۶±۵/۵۱ و ۰/۸±۲/۵) به دست آمد (شکل ۳ ب). فلز روی بیشترین میزان در فصل زمستان (۱/۱۱±۱۱/۰۱) و برای سایر فصول به‌ترتیب به‌صورت (۱/۲۱±۱۰/۵۹، ۰/۹۵±۹/۳۱ و ۰/۷۴±۵/۳۸) میلی‌گرم در لیتر در پاییز، تابستان و بهار به‌دست آمد (شکل ۳ ج)؛ در نهایت برای فلز آهن بیشترین میانگین غلظت فصلی به میزان (۱/۵۹±۱۰/۹۹) میلی‌گرم در لیتر در زمستان و برای سایر فصول به ترتیب به میزان (۱/۷۷±۱۰/۳۵، ۰/۴۲±۷/۰۶ و ۱/۱۴±۳/۵۱) در پاییز، زمستان و بهار به دست آمد (شکل ۳ د).

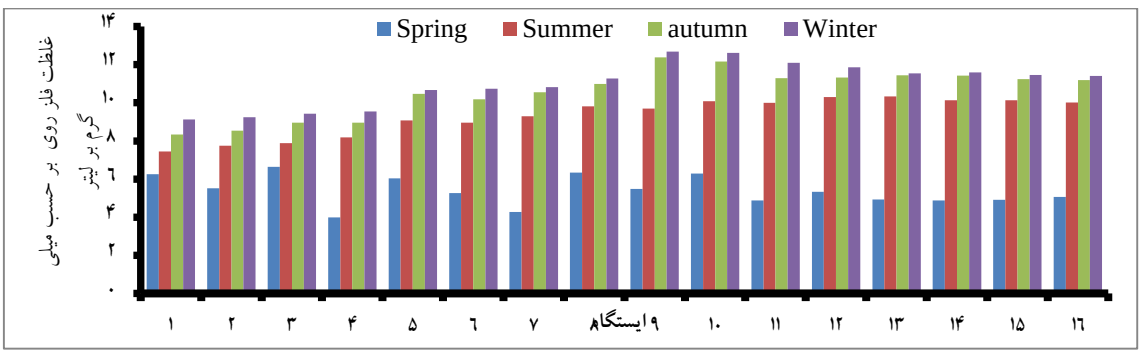
[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]



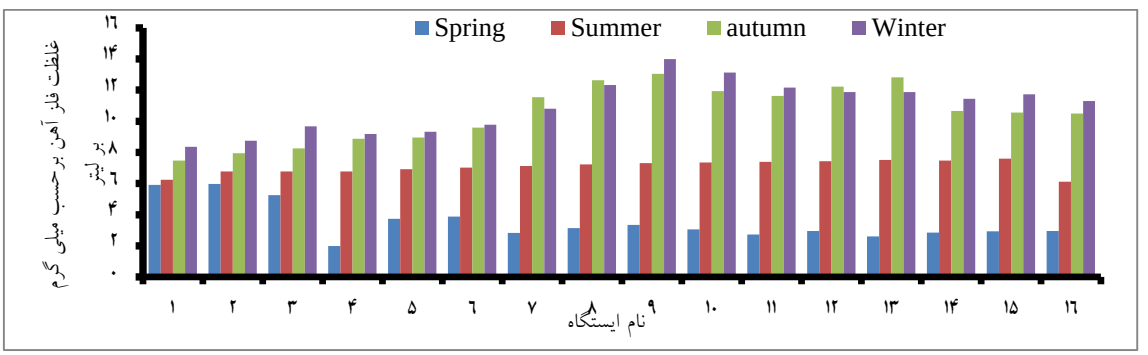
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۳) مقایسه تغییرات فصلی فلزات سرب(a)، مس(b)، روی(c) و آهن (d) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری سواحل استان بوشهر

Fig 3) Comparison of seasonal variations of Pb (a), Cu (b), Zn (c) and Fe (d) in sampling stations of the coasts of Bushehr province

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

مقایسه میانگین کلی غلظت فلزات سنگین در فصول مختلف با استفاده از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد بین غلظت فلزات سرب، مس، روی و آهن در فصول مختلف سال اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸).

جدول ۸) مقایسه میانگین کلی غلظت فلزات سنگین سرب، مس، روی و آهن (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر) منطقه مورد مطالعه در فصول مختلف سال با استفاده از آزمون تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر

نام فلز(متغیر)	فصل	میانگین ± انحراف معیار	Fمقدار	Pمقدار
سرب	بهار	^{bcd}۴/۵۹±۰/۲۳	۹۸/۰۹	<۰/۰۰۱
	تابستان	^{acd}۶/۸۹±۰/۳۵		
	پاییز	^{abd}۸/۲۳±۰/۲۶		
	زمستان	^{ab}۸/۷۹±۰/۲۸		
مس	بهار	^{bcd}۲/۵۱±۰/۲۰	۶۱/۱۵	<۰/۰۰۱
	تابستان	^{acd}۵/۵۱±۰/۰۷		
	پاییز	^{abd}۸/۱۴±۰/۲۴		
	زمستان	^{abc}۸/۷۹±۰/۱۶		
روی	بهار	^{bcd}۵/۳۳±۰/۱۸	۱۳۹/۴۱	<۰/۰۰۱
	تابستان	^{acd}۹/۲۹±۰/۳۷		
	پاییز	^{abd}۱۰/۳۴±۰/۳۶		
	زمستان	^{ab}۱۰/۷۴±۰/۳۷		
آهن	بهار	^{bcd}۳/۵۸±۰/۲۸	۹۴/۱۳	<۰/۰۰۱
	تابستان	^{acd}۶/۹±۰/۱۹		
	پاییز	^{abd}۱۰/۳±۰/۴۹		
	زمستان	^{ab}۱۰/۷۲±۰/۴۷		

a، b، c و d به ترتیب به معنای وجود تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۵ نسبت به بهار، تابستان، پاییز و زمستان

- شاخص TRIX

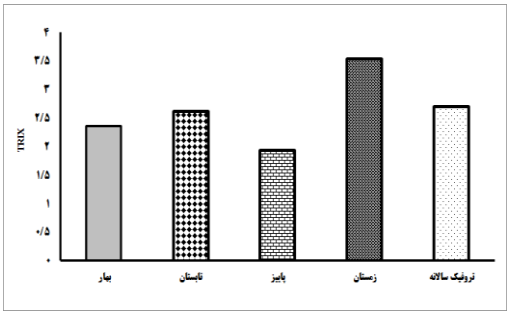
نتایج بررسی وضعیت کیفیت آب سواحل در فصول مختلف با استفاده از شاخص تروفیکی TRIX در جدول ۹، ارائه شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان حداقل شاخص TRIX به ترتیب در ایستگاه شماره ۲ (دهانه خور بساتین)، ۳ (نایبند)، ۱۴ (فاز ۱۳) و ایستگاه ۱۱ (روبروی خروجی آب‌شیرین‌کن پتروشیمی) به‌دست آمده است. از طرفی حداکثر شاخص تروفیکی سالانه TRIX، در فصل‌های بهار در ایستگاه شماره ۱۰ (روبروی خروجی فازهای ۴ و ۵)، تابستان و پاییز در ایستگاه ۷ (نخل تقی) و در نهایت زمستان ایستگاه ۱ (هاله) اندازه‌گیری شده است. همچنین بیشترین TRIX سالانه در ایستگاه شماره ۷ به‌دست آمده است.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

جدول ۹) یافته‌های بررسی وضعیت کیفیت آب سواحل در فصول مختلف با استفاده از شاخص‌های TRIX

ایستگاه	فصول					
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین سالانه	
					میزان TRIX	وضعیت تروفیک
۱	۲/۰۲	۳/۰۴	۱/۶۷	۷/۱۴	۳/۲	خوب (الیگوتروف)
۲	۱/۲۴	۱/۶۹	۱/۷۱	۶/۲۲	۳/۱	الیگوتروف
۳	۱/۶	۱/۶۸	۲/۰۷	۲/۶۵	۲/۴	الیگوتروف
۴	۱/۶۵	۲/۴۱	۱/۵	۴/۲۷	۲/۶	الیگوتروف
۵	۱/۸	۲/۰۶	۲/۰۴	۳/۷	۲/۴۸	الیگوتروف
۶	۱/۴۳	۱/۸۵	۱/۶۶	۳/۷	۲/۲۲	الیگوتروف
۷	۲/۳۲	۵/۵۷	۲/۷۸	۱/۸	۳/۹۷	الیگوتروف
۸	۲/۴۵	۲/۱۷	۱/۷۹	۳/۲۶	۲/۷۱	الیگوتروف
۹	۲/۲۶	۱/۷۶	۱/۸۸	۴/۸	۲/۴۶	الیگوتروف
۱۰	۲/۶۲	۲/۱	۲/۶۱	۲/۶۸	۲/۸۴	الیگوتروف
۱۱	۲/۲	۱/۸۵	۱/۸۹	۱/۷۲	۲	الیگوتروف
۱۲	۱/۷۷	۲/۴۸	۲/۱۴	۳/۴	۲/۶۵	الیگوتروف
۱۳	۲/۲	۲/۴۲	۱/۷۱	۲/۸۸	۲/۶۲	الیگوتروف
۱۴	۱/۵۸	۳/۱	۱/۳۸	۳/۸۲	۲/۲۸	الیگوتروف
۱۵	۲/۶	۴/۹۴	۱/۷۶	۲/۵۴	۳/۵	الیگوتروف
۱۶	۱/۸۳	۲/۰۹	۲/۲	۲	۲/۱۷	الیگوتروف

مقایسه میانگین میزان شاخص TRIX در فصول مختلف سال نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان شاخص در فصل زمستان و پاییز به میزان ۳/۵۳ و ۱/۹۳ می‌باشد (شکل ۴) همچنین یافته‌های بررسی مقایسه میزان شاخص TRIX با میزان سالانه آن نشان داد که در بین فصول، زمستان دارای مقادیر بیشتر از میزان سالانه هست؛ اما میزان شاخص TRIX در سه فصل دیگر از میانگین سالانه به‌مراتب کمتر بوده است.



شکل۴) مقایسه میانگین فصلی میزان شاخص TRIX با میانگین سالانه سواحل مورد مطالعه

Fig 4) Comparison of the mean seasonal of TRIX index with the annual average of the studied coasts

بحث

همان‌طور که در نتایج تحلیل IRWQI مشاهده شد، روند و میزان شاخص IRWQI در بین ایستگاه‌های مختلف تقریباً نزدیک به هم و یکنواخت بوده و تنها در سه ایستگاه کمتر از ۳۰ است (جدول ۵) که در واقع در طبقه بد (به دلیل قرار گرفتن در محدود ۲۹/۹-۱۵) جای دارند، اما سایر ایستگاه‌ها در طبقه کیفی نسبتاً بد واقع‌شده‌اند (قرار گرفتن در محدود ۴۴/۹-۳۰) که با توجه به میانگین کلی ۳۱/۳۱ (طبقه نسبتاً بد) برای مصارف انسانی مناسب نیست (۱). اصولاً با توجه به تمرکز زیاد صنایع به‌خصوص صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی عسلویه، در نزدیکی ایستگاه‌های ۷، ۹ و ۱۰ و همچنین ورود فاضلاب مناطق شهری و مسکونی به این نواحی می‌توان این احتمال را داد که کیفیت پایین سواحل ناشی از ورود پساب و فعالیت‌های انسانی موجود باشد. تغییرات شاخص IRWQI در فصول

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

مختلف نشان داد بین فصول مختلف کمترین مقادیر آن در فصل زمستان (در وضعیت بد) و برای سایر فصول بر اساس شاخص IRWQI همه در وضعیت نسبتاً بد قرار دارند (شکل ۲). اصولاً شرایط بد سواحل مطالعاتی در فصل زمستان می‌تواند ناشی از افزایش ورود آلاینده‌های آلی و معدنی همچون فسفات و نیترات، نیتریت، ذرات معلق، فلزات سنگین. سموم و ترکیبات نفتی به دلیل افزایش حجم آب ورودی ناشی از بارندگی و در نتیجه ورود آلاینده‌ها از منابع غیر نقطه‌ای (افزایش رواناب‌های شهری و زهاب کشاورزی، رودخانه‌ها و غیره در پی باراندگی) باشد. پوری (puri) و همکاران، نیز در پژوهشی مشابه به بررسی کیفیت آب دریاچه‌های شهر ناگپور با استفاده از شاخص NSFWQI پرداختند، آن‌ها علت تغییر کیفیت آب این دریاچه‌ها را ناشی از فعالیت‌های انسانی، رواناب‌های سطحی حاصل از بارندگی، تخلیه فاضلاب‌ها و رشد و نمو گیاهان آبی معرفی نمودند (۲۰)؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که علت کاهش کیفیت آب در فصل زمستان نسبت به سایر فصول تغییرات حجم آبی ورود و به دنبال آن میزان مواد حمل شده (مواد آلی، ذرات معلق، فسفات و نیترات) به سواحل باشد. در پژوهشی که توسط فتحی و همکاران، صورت گرفت، بیان داشتند که در فصول سرد و بارشی پارامترهای مؤثر بر شاخص WQI همچون سختی، pH، کدورت و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابند که در نتیجه این فرآیند میزان عددی شاخص نیز افزایش می‌یابد (۲۱). همچنین یافته‌های موجود با نتایج راماکریش‌نایه (Ramakrishnaiah) و همکاران، مطابقت دارد (۲۲). بررسی مقایسه روند تغییرات پارامترهای مؤثر در اندازه‌گیری WQI در فصول مختلف سال با مقدار این شاخص (WQI) نشان داد، از بین فاکتورهای مؤثر تنها کلروفیل آ روند عکس با آن (شاخص WQI) را داراست، یعنی بیشترین میزان کلروفیل آ در فصل بهار و کمترین مقدار آن در زمستان مشاهده شد؛ که این علت این موضوع افزایش فعالیت فتوسنتزی در فصول بهار، تابستان و کاهش شدید آن در زمستان است.

به طورکلی توالی غلظت کلی فلزات سنگین در نمونه‌های آب سواحل مختلف استان بوشهر به ترتیب به‌صورت Zn>Fe>Cu>Pb اندازه‌گیری گردید. همچنین مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات در فصول مختلف حاکی از آن بود که برای تمام فلزات بیشترین میانگین غلظت در فصل زمستان به‌دست‌آمده است. بررسی میانگین غلظت فلز آهن در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت آن به ترتیب در ایستگاه‌های شماره ۹ و ۴ (روبروی خروجی فازهای ۱ تا ۳ و فانوس دریایی) مشاهده شد، اصولاً مقادیر بالای آهن می‌تواند به سبب حمل‌ونقل نفت خام و رنگ‌آمیزی شناورها و کشتی‌ها باشد (۲۳)؛ که با توجه به صنعتی بودن محدوده مورد مطالعه (بخصوص منطقه اطراف ایستگاه شماره ۹) و تمرکز فعالیتی‌های صنعتی و حمل و نقل دریایی در این محل می‌توان وجود و مقادیر بالای فلزات به‌خصوص آهن را ناشی از چنین فعالیت‌های دانست.

بیشترین میزان آلودگی فلز مس به مقدار (۶/۷۵±۳/۳۳) در ایستگاه ۹ (روبروی خروجی فازهای ۱ تا ۳) به دست آمد. فلز مس عموماً در ترکیب رنگ مورد استفاده در صنایع وجود دارد که ممکن است آلودگی ایجاد شده، ناشی از عملیات رنگ‌آمیزی در صنایع موجود همچنین رهاسازی این عناصر، از رنگ بدنه کشتی‌ها و شناورها و نیز در پساب‌های شهری و خانگی باشد (۲۴). ایستگاه ۹ در منطقه‌ای قرار دارد که فعالیت‌های صنعتی بالاست و شناورهای زیادی در این منطقه پهلوگیری و رفت‌وآمد می‌کنند. در بدنه شناورها از رنگ‌ها به‌عنوان عامل

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

محافظت‌کننده، استفاده می‌شود. همان‌طوری که ذکر شد، این رنگ‌ها حاوی سرب و مس می‌باشند (۲۵). از طرفی با افزایش تردد کشتی‌ها مصرف سوخت‌های فسیلی نیز افزایش‌یافته، بنابراین از منابع آلاینده و مس در این ایستگاه افزوده می‌شود. علاوه بر این حبیبی و همکاران میزان بالای غلظت مس در سواحل استان بوشهر را ناشی از آلاینده‌های حاصل از این شهر صنعتی ذکر کردند (۲۵). بر اساس استاندارد WHO، حداکثر غلظت مجاز مس در آب‌های طبیعی برابر ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده است (۲۶). اما اگرچه فلز مس در دریا تمایل به چرخه معدنی و در نتیجه ته‌نشینی به‌وسیله ذرات معلق دارد (۲۷). اما در این تحقیق غلظت به‌دست‌آمده به مراتب بیشتر از حد این استاندارد است که این مطلب نشان‌دهنده آلودگی منطقه به این فلز است.

بیشترین آلودگی سرب به میزان (۸/۲±۱/۶۴) در ایستگاه ۱۱ (روبروی خروجی آب‌شیرین‌کن پتروشیمی) به دست آمد، بسیاری از تحقیقات منشأ فلز سرب را درنتیجه سوخت‌های فسیلی، صنایع پتروشیمی و بهره‌برداری از معادن بیان کردند (۲۸). آویلار (Avelar) و همکاران، منبع اصلی فلز سرب در محیط آبی را به دو دلیل، سوخت‌های فسیلی و سرب موجود در جو اتمسفر ارتباط دادند (۲۹). همچنین حبیبی و همکاران، دلایل بالا بودن غلظت سرب در سواحل بوشهر را ناشی از سوخت‌های فسیلی استفاده شده برای قایق‌های موتوری ماهیگیری و تفریحی ذکر کردند (۲۵)؛ بنابراین با توجه به موقعیت ایستگاه ۱۱ و نظر به توسعه منطقه مذکور و فعالیت‌های متعدد صنعتی در نواحی اطراف آن، می‌توان بار آلودگی سرب را ناشی از فعالیت‌های فعلی همچون ورود فاضلاب صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی به‌ویژه ترکیبات نفتی، در کنار ورود تخلیه آب توازن کشتی‌ها و فاضلاب‌های شهری مناطق اطراف باشد که بدون هیچ تصفیه وارد محیط آبی می‌شوند.

برای فلز روی بیشترین غلظت به میزان (۱/۲۳±۱۰/۲۹) میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه ۱۰ (روبروی خروجی فازهای ۴ تا ۵) اندازه‌گیری شد. مطابق شواهد موجود در اطراف ایستگاه نمونه‌برداری مناطق مسکونی قرار دارند و فاضلاب این مناطق به‌صورت تصفیه نشده وارد محیط دریایی می‌شود. این عامل خود می‌تواند باعث افزایش آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات در این ایستگاه‌ها شود. از طرفی آلاینده‌های حاصل از پساب‌های شهری که در نزدیکی این ایستگاه واقع شده، ممکن است باعث بالا بودن روی این منطقه شده باشد. همچنین برخی از محققان مقادیر بالای فلزات سنگین همچون فلز روی را ناشی ورود پساب و فاضلاب‌های شهری و صنعتی در بندرها ذکر کردند (۳۰). به‌طورکلی محدوده ایستگاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ به دلایلی همچون نزدیکی بیشتر صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی با تمرکز بالا، وجود مناطق شهری و مسکونی در اطراف آن از نظر آلودگی به فلزات سنگین در سطح بالاتری قرار دارد. با توجه به فعال بودن برخی از پالایشگاه‌ها و ورود انواع آلاینده‌های شهری شامل فاضلاب‌های خانگی، تجاری می‌توان بیان کرد که غلظت بیشتر عناصر مورد مطالعه در این ایستگاه‌ها ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد. همچنین بر اساس استاندارد (۲۶) حداکثر غلظت مجاز فلزات مس، روی، آهن و سرب در آب‌های طبیعی به ترتیب برابر ۱/۵، ۱/۵، ۵ و ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده است که در تحقیق غلظت به‌دست آمده به مراتب بیشتر از حد استاندارد است. این مطلب نشان دهنده آلودگی این مناطق به فلزات سنگین است. به‌طورکلی در اطراف اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

فعالیت‌های صنعتی همچون فعالیت پتروشیمی و پالایشگاهی، فلزکاری، کارخانه‌های شن و آسفالت و همچنین مناطق مسکونی قرار دارند و فاضلاب این مناطق به‌صورت تصفیه نشده وارد محیط دریایی می‌شود. این عامل خود می‌تواند باعث افزایش آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات در این ایستگاه‌ها شود. از جمله بحرانی‌ترین آن‌ها، ایستگاه (۷ تا ۱۱) می‌باشد. به‌طورکلی یافته‌ها آزمون تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد بین میانگین کلی غلظت فلزات در فصول مختلف سال اختلاف معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد و بیشترین غلظت تمام فلزات در نمونه‌های آب در طول فصول بارندگی (فصل زمستان) بوده است. در این راستا راداکوویچ (Radakovitch) و همکاران، در پژوهشی بیان کردند که در نواحی با بارندگی بیشتر غلظت فلزاتی همچون سرب و مس به‌مراتب بیشتر از نواحی کم بارش است (۳۱). علاوه بر این شواهد نشان می‌دهد در فصل زمستان به دلیل احتمال وقوع پدیده جریان‌های فراچاهنده در منطقه مورد مطالعه (۳۲)، بستر منطقه دچار آشفتگی شده که این عامل می‌تواند سبب افزایش غلظت فلزات در آب و رسوب منطقه گردد.

تعیین سطح تروفیکی یک اکوسیستم آبی به روش‌های یک و چند پارامتری سنجیده می‌شود. در یافته‌های اخیر محققین به روش دوم یعنی روش چند پارامتری روی آورده‌اند زیرا درروش یک پارامتری هر پارامتر سطح تروفیکـی مربوط به خود را تعیین کرده و ممکن است با سطح تروفیکی پارامتر دیگر متفاوت باشد که در انتها جمع‌بندی سطح تروفیکی نهایی مشکل به نظر می‌رسد. بر همین اساس محققان رو به‌سوی شاخص‌های چند پارامتری همچون TRIX آوردند. شاخص TRIX یکی شاخص زیستی مهم است که جهت محاسبه وضعیت تروفیک اکوسیستم‌های آبی همچون سواحل با استفاده از چهار پارامتر، فسفات کل، نیتروژن کل، کلروفیل آ و کمبود اکسیژن از اکسیژن اشباع بکار می‌رود که با توجه به‌سادگی و کارایی بالا شاخص مناسبی جهت ارزیابی وضعیت تروفیک اکوسیستم‌های ساحلی است. همچنین شاخص TRIX به علت استفاده همزمان از پارامترهای بیولوژیکی و شیمیایی (نیتروژن و فسفر به‌عنوان شاخص شیمیایی؛ کلروفیل آ، به‌عنوان زی‌توده فیتوپلانکتون و درصد اشباع اکسیژن به‌عنوان یک شاخص بیوتیک یا اندازه‌گیری تولیدات) کاربرد گسترده‌ای در ارزیابی سطوح تروفیک اکوسیستم‌های آبی دارد (۳۳ و ۳۴). به‌طورکلی یافته‌های بررسی وضعیت تروفیکی سواحل مورد مطالعه با استفاده از شاخص تروفیکی TRIX در فصل‌های مختلف نشان داد سواحل منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی بر اساس میانگین فصلی و سالانه دارای وضعیت الیگوتروف است که با مطالعه زوریاساتین (Zoriasatein) و همکاران، که به بررسی شاخص TRIX در سواحل اروند خلیج‌فارس پرداختند، مطابقت دارد (۱۸). همچنین در مطالعه‌ای توسط حمزه‌پور و همکاران، به بررسی وضعیت تروفیک سواحل دریای خزر (سی‌سنگان) پرداختند، بیان داشتند که وضعیت منطقه از نظر تروفی دارای ماهیت الیگوتروفیک به سمت مزوتروفیک است (۱۰).

در مطالعه حاضر، بررسی روند تغییرات وضعیت تروفیک فصول مختلف سال نشان داد به ترتیب دو فصل زمستان و پاییز دارای بیشتر و کمترین وضعیت تروفیک است، در خصوص علت این موضوع می‌توان بیان کرد که در فصول تابستان و پاییز به دلیل کاهش حجم بارندگی و به‌تبع آن حجم آب‌های ورودی ناشی از رودخانه‌ها و رواناب‌های سطحی که منبع ورود آلاینده‌ها (فسفات. نیترات و ذرات معلق و غیره.) به

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

سواحل هستند کاهش یافته که این پدیده تأثیر مستقیمی بر وضعیت تروفی اکوسیستم ساحلی دارد. همچنین مقایسه یافته‌های به‌دست‌آمده از شاخص TRIX در پژوهش حاضر با مطالعات مشابه صورت گرفته در دیگر نواحی جهان نشان می‌دهد، میزان این شاخص در مطالعه‌ای که توسط زوریاساتین و همکاران، در سواحل خلیج‌فارس صورت گرفت بین ۱/۵۸ تا ۳/۲۳؛ نصراله‌زاده‌ساروی و همکاران، در آب‌های حوزه جنوبی دریای خزر بین ۴/۹۶ تا ۵/۵۸ و همچنین مقدار میانگین سالانه شاخص در سواحل جنوبی دریای خزر از تابستان ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ بین ۴ تا ۶/۳ به‌دست‌آمده است (۱۸، ۳۳ و ۳۴). اصولاً تفاوت در مقادیر شاخص در این مناطق به خصوصیات زیست محیطی هر منطقه و نوع میزان آلودگی تولیدی ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی است. همچنین قابل ذکر است مطابق شواهد موجود سواحل منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر ورود آلاینده‌های ناشی از پساب شهری و صنعتی مختلف همچون صنایع پتروشیمی، غذایی، آبزی‌پروری و غیره قرار دارد که موجب ورود ترکیبات نیتراتِ و فسفات به آب‌های ساحلی می‌شوند (۳۷-۳۵).

نتیجه‌گیری

آلودگی اکوسیستم‌های آبی به آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف نظیر فلزات سنگین یکی از خطرات و تهدیدهای مهم سلامت بشری و زنجیره غذایی این اکوسیستم‌ها است. که می‌تواند از طریق فاکتورها یا شاخص‌های زیستی، فیزیکی و شیمیایی مختلف مورد پایش و ارزیابی قرار گیرند. بر همین اساس در پژوهش حاضر به بررسی وضعیت آلودگی سواحل بین جزر و مدی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جنوبی در فصول مختلف با استفاده از شاخص‌های WQI و TRIX و اندازه‌گیری برخی از عناصر سنگین صورت گرفت. به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های WQI و TRIX می‌توان بیان کرد که کیفیت آب سواحل منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس به ترتیب در وضعیت نسبتاً بد و الیگوتروف قرار دارند و با توجه به پایین بودن نمایه WQI می‌توان این احتمال را دارد که محدوده مورد مطالعه با مسائل آلودگی آب مواجه خواهد شد. همچنین یافته‌های بررسی توالی غلظت کلی فلزات سنگین در نمونه‌های آب سواحل مختلف استان بوشهر به ترتیب به‌صورت (Zn>Fe>Cu>Pb) اندازه‌گیری گردید. مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات در فصول مختلف حاکی از آن بود که برای تمام فلزات بیشترین میانگین غلظت در فصل زمستان به‌دست‌آمده است؛ که از مهم‌ترین دلیل این موضوع می‌توان به تغییرات در میزان آب ورودی به دلیل بارش باراندگی و درنتیجه حمل مواد آلاینده از سطوح مختلف اشاره نمود. همچنین با توجه به نتایج مطالعه حاضر و پتانسیل بالای منطقه در آلودگی سواحل، توصیه می‌گردد برنامه مدیریت پساب‌ها و پایش دوره‌ای آلودگی‌ها در منطقه تداوم داشته باشد.

سپاس و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و همچنین جناب آقای مهندس احمدزاده و مهندس شاهین پورمحمد به خاطر راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان در انجام این پروژه را اعلام می‌دارند.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References:

1.Sadeghi M, Bay A, Bay N, et al. The Survey of Zarin-Gol River Water Quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. J Health Field 2015; 3(3): 27-33. (Persian)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

2.Haghshenas A, Hatami-manesh M, Mirzaei M, et al. Measurement and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Energy Zone. Iran South Med J 2017; 20(5): 448-69. (Persian)
3.He W, Bai Z-L, Liu W-X, et al. Occurrence, Spatial Distribution, Sources, and Risks of Polychlorinated Biphenyls and Heavy Metals in Surface Sediments from a Large Eutrophic Chinese Lake (Lake Chaohu). Environ Sci Pollut Res Int 2016; 23: 10335-48.
4.Muijs B, Jonker MT. Evaluation of Clean-up Agents for Total Petroleum Hydrocarbon Analysis in Biota and Sediments. J Chemother 2009; 1216: 5182-9.
5.Yang X, Duan J, Wang L, et al. Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment in the Wei River in China. Environ Monit Assess 2015; 187(3): 1-1.
6.Venkatramanan S, Ramkumar T, Anithamary I, et al. Speciation of Selected Heavy Metals Geochemistry in Surface Sediments from Tirumalairajan River Estuary, East Coast of India. Environ Monit Assess 2013; 185(8): 6563-78
7.Arfaeinia H, Nabipour I, Ostovar A, et al. Assessment of Sediment Quality Based on Acid-volatile Sulfide and Simultaneously Extracted Metals in Heavily Industrialized Area of Asaluyeh, Persian Gulf: Concentrations, Spatial Distributions, and Sediment Bioavailability/toxicity. Environ Sci Pollut Res Int 2016; 23: 9871-90.
8.Dehghani M, Nabipour I, Dobaradaran S, et al. Cd and Pb Concentrations in the Surface Sediments of the Asaluyeh Bay, Iran. J Community Health Res 2014; 3: 22-30.
9.Gholami Z, Nabavi BS. Influence the Amount of Total Organic Matter (TOM) and Grain Sediment on Dispersal of Macr Obenthic Community in Western Haffar River in Khoramshahr, Environ. Sci Technol 2015; 17(3): 66-97. (Persian)
10.Hamzehpour A, Darvish Bastami K, Bagheri H, et al. Survey of physicochemical properties and nutrients in surface waters of the southern Caspian Sea- Seasangan. J Mar Sci Technol Res 015; 11(1): 41-52. (Persian)
11.Maanan M, Saddik M, Chaibi M, et al. Environmental and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Nador Lagoon, Morocco. Ecol Indic 2015: 31(48): 616-26.
12.Fiori E, Zavatarelli M, Pinardi N, et al. Observed and Simulated Trophic Index (TRIX) Values for the Adriatic Sea Basin. Nat Hazards Earth Syst Sci 2016; 16: 2043-54.
13.Salas F, Teixeira H, Marcos C, et al. Applicability of the Trophic Index TRIX in Two Transitional Ecosystems: the Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). ICES J Mar Sci 2008; 65:1442-8.
14.Pipan T. Biological Assessment of Stream Water Quality-the Example of the Reka River (Slovenia). Acta Carsologica 2000; 29(15): 22-201.
15.Vascetta M, Kauppila P, Furman E. Aggregate Indicators in Coastal Policy Making: Potentials of the Trophic Index TRIX for Sustainable Considerations of Eutrophication. J Sustain Dev 2008; 16: 282-9.
16.Vollenweider R, Giovanardi F, Montanari G, et al. Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters, with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. Environmetrics 1998; 9: 329-57.
17.Primpas I, Karydis M. Scaling the Trophic Index (TRIX) in Oligotrophic Marine Environments. Environ Monit Assess 2011; 178: 257-69.
18.Zoriasatein N, Jalili S, Poor F. Eavaluation of Ecological Quality Status with the Trophic Index (TRIX) Values in Coastal Area of Arvand, Northeastern of Persian Gulf, Iran. World J Fish Mar Sci 2013; 5:257-62.
19.Federation WE, Association APH. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Am J Public Health 2005; 1015: 49-51.
20.Puri P, Yenkie M, Sangal S, et al. Surface Water (Lakes) Quality Assessment in Nagpur City (India) Based on Water Quality Index (WQI). Rasayan Chem 2011; 4: 43-8.
21.Fathi P, Ebrahimi E, Mirghafari N, et al. The Study Spatial and Temporal Changes of Water

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

Quality in Choghakhor Wetland Using Water Quality Index (WQI). J Aqu Eco 2016; 5(3): 41-50.
22.Ramakrishnaiah C, Sadashivaiah C, Ranganna G. Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. E-J Chem 2009; 6: 523-30.
23.Alsagh A, Barmaki M. Determination of Pollution Caused by Heavy Metals Cu, Zn, Ni and Pb in the Persian Gulf Coastal Sediments. J Environ Sci Technol 2013; 15(2): 1-11. (Persian)
24.Zhou F, Guo H, Hao Z. Spatial Distribution of Heavy Metals in Hong Kong's Marine Sediments and their Human Impacts: a GIS-based Chemometric Approach. Marine Poll Bull 2007; 54: 1372-84.
25.Habibi S, Safahieh A, Pash H. Determination of Impurity Levels of Heavy Metal (Cd, Ni, Pb and Cu) Bushehr Coastal Sediments. J Sci Technol 2013; 11(4): 84-95. (Persian)
26.Gorchev HG, Ozolins G. WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO Chron 1984; 38(3): 104-8.
27.Faragallah H, Askar A, Okbah M, et al. Physico-chemical Characteristics of the Open Mediterranean Sea Water far about 60 Km from Damietta Harbor .Egypt J Ecol Nat Environ 2009; 1: 106-19.
28.Saracoglu S, Soylak M, Elci L. Enrichment and Separation of Traces of Cadmium, Chromium, Lead and Manganese Ions in Urine by Using Magnesium Hydroxide Coprecipitation Method. Trace Elem Electrolytes 2001; 18: 129-33.
29.Avelar W, Mantelatto F, Tomazelli A, et al. The Marine Mussel Perna Perna (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) as an Indicator of Contamination by Heavy Metals in the Ubatuba Bay .Water Air Soil Pollut 2000; 118: 65-72.
30.Kilemade M, Hartl MG, Sheehan D, et al. An Assessment of the Pollutant Status of Surficial Sediment in Cork Harbour in the South East of Ireland with Particular Reference to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Mar Poll Bull 2004; 49: 1084-96.
31.Radakovitch O, Roussiez V, Ollivier P, et al. Input of Particulate Heavy Metals from Rivers and Associated Sedimentary Deposits on the Gulf of Lion Continental Shelf. Estuar Coast Shelf Sci 2008; 77: 285-95.
32.Reynolds R. Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. Marine Poll Bull 1993; 27: 35-59.
33.Shahrban M, Shahidi AE. Determination of Water Quality of the Caspian Sea Southern Coasts Based on OECD Method and Trophic Index (TRIX). Environ Sci Technol 2009; 13(3): 193-204. (Persian)
34.Nasrollahzadeh SH, Makhlough A, Vahedi F, et al. Eutrophication Trend of Caspian Sea Water Based on Absolute Trophic Scaled Index (TRIXCS) and Unscaled Index (UNTRIX). Environ Sci 2012; 9: 49-60. (Persian)
35.Mirzayi M, Riyahi Bakhtiyari A, Salman Mahini A, et al. Analysis of the physical and chemical quality of Mazandaran province (Iran) rivers using multivariate statistical methods . J Mazandaran Univ Med Sci. 2014; 23 (108): 41-52. (Persian)
36.Hatami Manesh M, Mirzayi M, Bandegani M, et al. Determination of mercury, lead, arsenic, cadmium and chromium in salt and water of Maharloo Lake, Iran, in different seasons. J Mazandaran Univ Med Sci. 2014; 23 (108): 91-8. (Persian).
37.Hoseyn Khezri P, Hatami Manesh M, Haghshenas A, et al. Mohammadi Bardkashki B. Source Identification and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments (Case Study: Pars Special Economic Energy Zone). J Mazandaran Univ Med Sci. 2018; 27 (160) :56-75. (Persian).

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]

Iran South Med J 2019; 21(6): 439-458

Original Article

Water Quality Evaluation of the Intertidal Zone of Pars Special Economic Energy Zone in Different Seasons by Measuring the Concentration of Heavy Metals and Using WQI and TRIX

M .Hatami manesh (PhD)[1*], A. Haghshenas (MSc)[2], M .Mirzaei (PhD) [3**], E .Solgi (PhD)[1], B .Mohammadi Bardkashki (MSc) [4]

[1] Department of Environment Sciences, School of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

[2] Iranian Fisheries Science, Institute of Shrimp, Bushehr, Iran

[3] Environment Group, Institute of Grapes and Raisins, Malayer University, Malayer, Iran

[4] Landscape & Urban Green Space Organization, Shiraz Municipality, Shiraz, Iran

(Received 12 Dec, 2017 Accepted 12 Nov, 2018)

Abstract

Background: Pars Special Economic Energy Zone (PSEEZ) in Bushehr province, Iran is a coastal ecosystem that is severely influenced by industrial and municipal activities. The present study was therefore conducted to monitor the health status of the intertidal zone of this ecosystem in different seasons using the Water Quality Index (WQI), Trophic Index (TRIX) and the concentration of heavy metals, including lead, copper, zinc and iron.

Materials and Methods: To assess the desired indicators, 16 stations were selected along the region's coast, and three samples were taken from each station. The required parameters of each index were then measured using standard methods.

Results: Investigating the variations in WQI in different seasons found WQI to be the lowest (WQI=27.89) in winter, suggesting a bad status, followed respectively by summer (WQI=30.63), autumn (WQI=31.42) and spring (WQI=31.77), suggesting a relatively bad situation. The values of TRIX showed that the overall water quality of the intertidal zone is classified as oligotrophic. Moreover, the highest TRIX was associated with winter (TRIX=3.53) and the lowest with autumn (TRIX=1.93). The sequence of the overall mean concentrations of heavy metals in the water samples was also measured as Zn> Fe> Cu> Pb.

Conclusion: The obtained findings attribute the high concentration of heavy metals and the low water quality of the coasts in winter to leaching contaminants from industrial, municipal and agricultural activities and the transmission of pollutants by surface currents to the coast of the region.

Keywords: TRIX, WQI, heavy metals, PSEEZ, coastline monitoring

©Iran South Med J.All right sreserved

Cite this article as: Hatami manesh M, Haghshenas A, Mirzaei M, Solgi E, Mohammadi Bardkashki B. Water Quality Evaluation of the Intertidal Zone of Pars Special Economic Energy Zone in Different Seasons by Measuring the Concentration of Heavy Metals and Using WQI and TRIX. Iran South Med J 2019;21(6):439-458

Copyright © 2019 Hatami manesh, et al This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

** *Address for correspondence:* Environment Group, Institute of Grapes and Raisins, Malayer University, Malayer, Iran.
E.mail: mohsenmirzayi27@yahoo.com
*ORCID: 0000-0002-6518-1848
**ORCID: 0000-0002-8924-7143

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-07]