

سنجش غلظت فلزات سنگین و ارزیابی درجه آلودگی رسوبات خور هاله و خلیج نایبند و تأثیر آن بر اجتماعات روزنه داران کف زی

چکیده

مطالعه حاضر پراکنش مکانی جمعیت روزنه داران کف زی را در خلیج نایبند و خور هاله، استان بوشهر واقع در شمال غرب خلیج فارس، در طول یک دوره نمونه برداری از فروردین ماه ۱۳۹۰ لغایت فروردین ماه ۱۳۹۱ نشان می‌دهد و همچنین ارتباط بین پراکنش مکانی و تراکم جمعیت روزنه داران کف زی با غلظت چهار فلز سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و نیکل و همچنین وضعیت دانه‌بندی رسوبات بررسی گردید. نتایج نشان داد که فراوان‌ترین گونه‌های روزنه دار در منطقه مورد مطالعه به ترتیب عبارت‌اند از *Ammonia* اول با بیشترین فراوانی متعلق به خانواده *Rotaliidae* هستند. ترکیب جمعیتی روزنه داران کف زی در شش ایستگاه مورد بررسی تا حد قابل ملاحظه‌ای شبیه به هم بوده به گونه‌ای که اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) در پراکنش گونه‌ها در شش ایستگاه مشاهده نشد. آنالیز *BIOENV* با ضریب همبستگی -0.32 نشان داد که پراکنش روزنه داران کف زی تحت تأثیر غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه قرار ندارد و غلظت این عناصر بسیار پایین‌تر از حدود مجاز استانداردهای بین‌المللی *ISQG* و *NOAA* می‌باشد؛ به گونه‌ای که درجه آلودگی منطقه مورد مطالعه به صورت غیر آلوده گزارش گردید.

واژگان کلیدی: روزنه داران، پراکنش مکانی، فلزات سنگین، درجه آلودگی، فاکتور آلودگی.

نرگس مورکی^{۱*}

بابک مقدسی^۲

حامد منوچهری^۳

رضا چنگیزی^۴

۱. گروه شیلات، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. گروه بیولوژی دریا، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
- ۳، ۴. گروه شیلات، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران

*مسئول مکاتبات

Nargess_Mooraki@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۰

این مقاله برگرفته از..... است.

مقدمه

ارزیابی رسوبات دریایی به منظور پالایش محیط از نقطه نظر وضعیت سلامت، شاخص مناسب و قابل اطمینانی محسوب می‌شود. ارزیابی رسوبات از دو جنبه شامل اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و آلاینده‌های احتمالی وارده شده به اکوسیستم و همچنین بررسی ساختار اجتماعات کف زیان در قالب گروه‌های متفاوت زیستی قابل بررسی است؛ که البته در گام نهایی برقراری ارتباط و بررسی تأثیر فاکتورهای محیطی بر جوامع زنده در پایش، کنترل، مدیریت و توسعه پایدار اکوسیستم‌های حائز اهمیت است (Dehghan *et al.*, 2008; Pekey *et al.*, 2004; Macfarlane and Booth, 2001).

فلزات سنگین نظیر جیوه، نیکل، مس، روی، سرب، کادمیوم به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در آلودگی اکوسیستم‌های آبی به خصوص اکوسیستم‌های دریایی، سواحل و خورها به شمار می‌آیند. این عناصر به دلیل پایداری، سمیت و قابلیت تجمع آن‌ها در زنجیره‌های غذایی سبب ایجاد مشکلات زیستی می‌گردند (Kishe *et al.*, 2003). از اثرات شاخص ورود این نوع آلاینده‌ها به محیط تأثیر آن‌ها بر ساختار جوامع کف زی، حذف گونه‌های حساس، ازدیاد گونه‌های فرصت طلب و در نهایت تغییر در ساختار جمعیتی آن‌ها از نقطه نظر زمانی و مکانی می‌شود، می‌باشد. از جمله جوامع بستر زی متأثر از عوامل آلاینده ورودی می‌توان به ارگانیزم‌های یوکاریوت، تک سلولی موسوم به روزنه داران اشاره نمود. گونه‌های روزنه دار کف زی شاخص ارزشمند *Palaeoenvironment* و همچنین سودمند در ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌ها محسوب می‌شوند.



چراکه این گروه متأثر از شرایط محیطی شامل دما، شوری، دانه‌بندی و وضعیت رسوبات بستر، عمق، میزان اکسیژن محلول، کربنات کلسیم و انواع آلاینده‌های ورودی آلی و معدنی نظیر فلزات سنگین هستند (Murray 1991; Van der zwaan *et al.*, 1999; Alve 1990, 1991; Sharifi *et al.*, 1991; Yanko *et al.*, 1994, 1998; Samir 2000; Pascual *et al.*, 2002; Mikac, 2007). خلیج نایبند در ۳۲۰ کیلومتری جنوب شرق بندر بوشهر، در طول خط ساحلی استان بوشهر واقع شده است. این منطقه با داشتن طیف وسیعی از اکوسیستم‌ها شامل خور، سواحل شنی، پهنه‌های گلی جزرومدی، جنگل‌های حرا به‌عنوان بخشی از پارک ملی نایبند، اکوسیستم بارزشی را پدید می‌آورد. از سوی دیگر استقرار صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در خط ساحلی این ناحیه و همچنین فعالیت بخش صید و صیادی شیلات و همچنین رفت‌وآمد و پهلوگیری کشتی‌ها و لنج‌ها سبب گشته تا طیف وسیعی از انواع آلاینده‌ها به این ناحیه وارد شود. هدف از انجام تحقیق حاضر اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین، محاسبه Background Enrichment Indices برای تعیین درجه سلامت خلیج نایبند و همچنین بررسی تأثیر غلظت فلزات اندازه‌گیری شده بر ساختار جمعیت و پراکنش مکانی روزنه داران کف زی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

عملیات نمونه‌برداری در خلیج نایبند و خور هاله از سواحل استان بوشهر واقع در شمال غرب خلیج فارس به مدت یک سال (فروردین ماه ۱۳۹۰ تا فروردین ماه ۱۳۹۱) انجام گرفت. برای انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ابتدا یک گشت مقدماتی در منطقه انجام شد و به دنبال آن نمونه‌برداری مقدماتی صورت گرفت. در این نمونه‌برداری درصد سیلت - رس موجود در رسوبات به‌عنوان فاکتور تشابه بین ایستگاه‌ها اندازه‌گیری شدند (نکوئیان، ۱۳۷۶؛ منوچهری، ۱۳۸۷) و همچنین تعداد تکرارهای موردنیاز برای نمونه‌برداری از روزنه داران کف زی

در این مطالعه مقدماتی با توجه به فرمول
$$\text{میانگین تعداد موجودات در هر نمونه برداری} > \frac{0.1}{\text{انحراف از معیار}} \text{Andrew and Mapstone, 1987}$$

تعیین گردید. در مطالعه مقدماتی با توجه به هدف کلی بررسی تغییرات پراکنش مکانی جوامع روزنه داران کف زی و همچنین کیفیت رسوبات شش ایستگاه در محدوده مورد بررسی با توجه به فاکتورهای، ۱- پوشش دادن تمام محدوده مورد مطالعه ۲- مدت زمانی که در طول فرایند جزر و مد ایستگاه‌ها در زیر آب باقی می‌مانند. ۳- عمق ۴- سهولت دسترسی، موقعیت و ملاحظات امنیتی انتخاب شدند. در زمان نمونه‌برداری نیز موقعیت دقیق ایستگاه‌ها با استفاده از GPS مشخص گردید (شکل ۱).

نمونه‌برداری دو ساعت پس از وقوع مد در عمق ۱۵ متری انجام می‌گرفت، در هر بار نمونه‌برداری، نمونه‌های رسوب به‌منظور بررسی جوامع روزنه داران از هر ایستگاه با سه تکرار برداشت شد؛ همچنین دو نمونه رسوب نیز برای بررسی دانه‌بندی رسوب و میزان چهارعنصر جیوه، سرب، کادمیوم و نیکل با استفاده از نمونه‌بردار اکمن (Eckman grab با سطح ۰/۱۲۵ مترمربع به‌طور فصلی تهیه گردید. برای تعیین دانه‌بندی ذرات رسوبی به روش (Folk, 1968) با خشک کردن نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت و سپس با الک کردن نمونه خشک‌شده درصد اندازه ذرات رسوب مشخص گردید. بخش دوم نمونه رسوب برای تعیین غلظت چهارعنصر فلزی نام‌برده مورد استفاده قرار گرفت. این بخش از نمونه با استفاده از یک قاشق پلاستیکی از لایه سطحی رسوب و بخشی که کمترین تماس را با بدنه نمونه‌بردار داشته، جدا گردیده و درون ظرف پلاستیکی ریخته و در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در دمای ۴- درجه سانتی گراد نگهداری شد. برای انجام آنالیز بخش سیلت - رس نمونه رسوب پس از خشک شدن در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد توسط الک با چشمه ۵۰ میکرون جدا شده و برای آنالیز نمونه‌ها، در ظروف تفلونی به یک گرم نمونه رسوب یک میلی‌لیتر مخلوط HCl: HNO₃ به نسبت (۳:۱) و ۶ میلی‌لیتر HF افزوده و سپس به مدت دو ساعت و نیم بر روی هیتر در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده (Loring and Rantala, 1992). نمونه‌ها به‌طور مجزا با استفاده از

آنالیز جیوه و اسپکتروفتومتر جذب اتمی برای دیگر عناصر موردسنجش قرار گرفتند. برای رسم منحنی کالیبراسیون از استانداردهای شرکت مرک استفاده شد. در نهایت غلظت عناصر سنگین بر مبنای وزن خشک رسوب میلی گرم بر کیلوگرم (ppm, mg/kg) گزارش گردید. برای بررسی روزه داران با وارد کردن لوله پلاستیکی تا عمق ۵ سانتیمتری سطح سالمی از رسوب تهیه شده به وسیله گراب (تا حجم ۲۵ سانتیمتر مکعب رسوب)، برداشت شد و به ظروف پلاستیکی دربار منتقل گردید. سپس به نمونه‌های تهیه شده محلول رز بنگال با غلظت یک میلی گرم در لیتر اضافه و با محلول فرمالین ۴ درصد تثبیت شد. در نهایت نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و توسط الک با چشمه ۶۳ میکرون در زیر جریان ملایم شیر آب شسته و برای خشک شدن به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷ ساعت منتقل گردیدند. پس از این مدت نمونه‌ها را خارج کرده و در بشر ریخته و با افزودن تتراکلریدکربن (در زیر هود) به آرامی هم زده تا نمونه‌های صدف دار آن در سطح و ستون تتراکلریدکربن شناور شوند. سپس با سرریز کردن محلول در کاغذ صافی نمونه‌های موردنظر جدا شده و پس از تبخیر تتراکلریدکربن (در زیر هود) نمونه میوبنتوز صدف دار در پلیت شیشه‌ای تخلیه شد. روزه داران موجود در نمونه خشک درون پلیت شیشه‌ای، در زیر استریو میکروسکوپ مشاهده و با استفاده از کلیدهای شناسایی (Loeblich and Tappan, 1964; Cushman, 1969; Loeblich and Tappan, 1988). از نقطه نظر سیستماتیک بررسی و جداسازی گردیدند.

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌ها از نرم‌افزارهای کامپیوتری Primer V.6 (Plymoth Marine Laboratories, SPSS 13, (Clarke and Warwick, 2001) استفاده گردید. میانگین فراوانی روزه داران، به شکل ریشه چهارم ترانسفورم شد تا اثر گونه‌هایی با فراوانی زیاد را کاهش دهد. این فرضیه که الگوی پراکنش گونه‌ها از نقطه نظر تعداد تحت تأثیر غلظت فلزات سنگین قرار دارد، با اندازه‌گیری تشابه نسبی Bray – Curtis جوامع در منطقه مورد مطالعه بررسی شد و نتایج با استفاده از نمودار (non-Metric Multidimensional Scaling) nMDS نمایش داده شد. غلظت فلزات سنگین ترانسفورم شده به صورت $\log(X+1)$ با محاسبه درجه عدم تشابه Euclidean-distance در بین ایستگاه‌های مختلف بررسی شد. این هدف که کدام فلز سنگین و تا چه اندازه اثرگذار بر ترکیب جوامع روزه داران و الگوی پراکنش آن‌ها است، با استفاده از تحلیل آماری BIOENV بر مبنای ارتباط Spearman rank Weighted بین ماتریس تشابه دو سری از داده‌ها بررسی شد. بررسی وجود تفاوت‌های معنی‌دار در غلظت فلزات سنگین و دانه‌بندی رسوبات در بین ایستگاه‌ها مختلف با استفاده از آزمون غیر پارامتریک Kruskal-wallis و بر اساس توزیع نرمال داده‌ها انجام شد. بررسی میزان آلودگی رسوبات خلیج نایبند و خور هاله از نقطه نظر غلظت عناصر جیوه، کادمیوم سرب و نیکل، ابتدا از طریق مقایسه داده‌های به دست آمده طی اندازه‌گیری با استانداردهای جهانی Sediment Quality Guide lines و سپس مقایسه داده‌ها با مقادیر مرجع فلزات مختلف در منطقه (Background value) و در نهایت با تعیین شاخص آلودگی (contamination factor) و درجه آلودگی (Contamination degree) انجام شد.

Hakanson (۱۹۸۰) این شاخص را به منظور بیان وضعیت آلودگی سیستم‌های آبی به مواد آلاینده مختلف معرفی نمود:

$$C_f^i = C_{0-1}^i / C_n^i$$

C_f^i = فاکتور آلودگی هر عنصر، C_{0-1}^i = میانگین غلظت عنصر در رسوبات نمونه برداری شده از لایه سطحی و C_n^i = مقدار غلظت عنصر در رسوبات طبیعی و بکر است.

برای هر عنصر جداگانه محاسبه می‌گردد. اگر $C_{0-1}^i \geq C_n^i$ باشد عنصر می‌تواند عامل آلودگی باشد و اگر $C_{0-1}^i < C_n^i$ باشد عنصر موردنظر نمی‌تواند عامل آلودگی باشد.

مقادیر C_f در چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند (Hakanson, 1980):

$C_f < 1$ آلودگی پائین، $1 \leq C_f < 3$ آلودگی متوسط، $3 \leq C_f < 6$ آلودگی قابل ملاحظه است و $C_f > 6$ آلودگی بسیار بالا را نشان می‌دهد.

درجه آلودگی (Cd) مجموع فاکتورهای آلودگی محاسبه شده برای تمامی فلزات مورد بررسی است.

$$C_d = \sum C_f^i = \sum C_{0-1}^i / C_n^i$$

توصیف عددی شاخص Cd برای چهار عنصر آنالیز شده به صورت زیر است:

$Cd < 7$ درجه پائین آلودگی، $7 < C_d < 14$ درجه متوسط آلودگی و $14 < C_d < 28$ درجه قابل ملاحظه آلودگی و بالاتر از ۲۸ درجه شدید

آلودگی را نشان می دهد.



ب



الف

شکل ۱: (الف) موقعیت جغرافیایی خور هاله و خلیج نایبند؛ (ب) موقعیت شش ایستگاه مورد بررسی برای نمونه برداری از روزنه داران کف زی.

نتایج

در تحقیق حاضر تعداد کل ۴۰۵۹۷ نمونه روزنه دار متعلق به دو رده و شش خانواده در طول یک سال نمونه برداری شناسایی شد. ده گونه مورد مطالعه در منطقه مورد بررسی، خور هاله و خلیج نایبند در جدول ۱ ارائه شده است. فراوان ترین گونه های به ترتیب عبارتند از *Ammonia beccarii* (۲۹ درصد از کل نمونه ها)، *Eponides repandus* (۴/۲۵ درصد از کل نمونه ها)، *Quinqueloculina sp* (۲/۲۲ درصد از کل نمونه ها). اختلاف معنی داری بین جمعیت روزنه داران کف زی در بین شش ایستگاه مورد بررسی دیده نشد (جدول ۲). هر چند که ایستگاه های یک، سه و شش عاری از هر نوع نمونه روزنه دار بودند.

میانگین درصد شن، درصد ماسه و درصد سیلت-رس رسوبات بستر در ایستگاه های شش گانه مورد بررسی بر مبنای درصد در جدول ۳ آورده شده است. بافت رسوبی در منطقه مورد بررسی از نقطه نظر وضعیت دانه بندی دارای اختلاف معنی داری بود ($P < 0.05$). به گونه ای که ایستگاه دو دارای سهم بالایی از شن بود در حالی که ایستگاه های یک، سه دارای سهم بالاتری از ماسه و رسوبات در ایستگاه های یک و چهار حاوی سیلت و رس بالاتری بود.

آنالیز خوشه ای بر مبنای Bray curtis similarity شش ایستگاه مورد بررسی با توجه به جمعیت روزنه داران چهار گروه متمایز را مطابق شکل ۲ در سطح تشابه ۸۰ درصد ایجاد نمود؛ خوشه ۱ شامل ترکیب ایستگاه های دو و چهار، خوشه ۲ شامل ترکیب خوشه یک و ایستگاه ۵؛ خوشه ۳ شامل ترکیب خوشه دو و ایستگاه سه؛ خوشه ۴ شامل ترکیب خوشه سه و ایستگاه های یک و شش.

آنالیز خوشه ای بر مبنای Euclidean distance برای شش ایستگاه مورد بررسی با توجه به میانگین غلظت چهار عنصر فلزی اندازه گیری شده، سه گروه متمایز را مطابق شکل ۳ در سطح تفاوت و فاصله ۰/۲ نشان می دهد؛ خوشه ۱ شامل ترکیب ایستگاه های چهار، پنج و شش؛ خوشه ۲ شامل ترکیب ایستگاه های یک و دو؛ خوشه ۳ شامل ایستگاه سه.

میانگین غلظت عناصر فلزی اندازه‌گیری شده در رسوبات برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برای هر ایستگاه در نمودارهای ۴ الی ۷ نمایش ارائه شده است. عنصر نیکل با دامنه (۲/۸۵ - ۰/۴۵)، عنصر جیوه با غلظت کمتر از ۰/۰۰۵، عنصر سرب با غلظت کمتر از ۰/۰۵ و عنصر کادمیوم با غلظت کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رسوبات شش ایستگاه منتخب درخور هاله و خلیج نایبند اندازه‌گیری شد. نتایج آزمون -kruscal wallis بر اساس میانگین غلظت چهار فلز موردبررسی در طول دوره نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری را در بین ایستگاه‌های موردبررسی نشان نداد (جدول ۴).

با گردآوری مقادیر مرجع فلزات سنگین مورد مطالعه در منطقه (Background Value) با استفاده از مطالعات انجام شده در گذشته در خوریات سواحل شمال غرب خلیج فارس و همچنین استفاده از سایر منابع و مراجع با شرایط مشابه در سایر نقاط، فاکتور آلودگی (Contamination factor) محاسبه گردید. طبق نتایج حاصله بیشترین مقادیر فاکتور آلودگی به ترتیب برای فلز جیوه، کادمیوم، نیکل و سرب تعیین شده است. در شکل‌های ۲ الی ۶ مقادیر میانگین چهار فلز موردبررسی با سطوح مختلف استاندارد در ایستگاه‌های موردبررسی مقایسه شده است. سطوح استاندارد شامل حد اثر پایین (Effects Range Low (ERL))، حد اثر متوسط (Effects Range Medium (ERM))، حد احتمال اثر (probable Effect Level (PEL)) و حد مجاز استاندارد رسوب (ISQGs (Threshold Effect Level (TEL)) است. در جدول ۵ ایستگاه‌های مختلف بر اساس فاکتور آلودگی فلزات مورد مطالعه دسته‌بندی شده‌اند. هیچ‌یک از عناصر موردبررسی در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها عامل آلودگی نمی‌باشند. بر اساس درجه آلودگی خور هاله و خلیج نایبند از درجه پایین آلودگی برخوردار است (جدول ۶).

جدول ۱: رده‌بندی روزنه داران کف زی شناسایی شده به روش مورفولوژیک و مولکولی در خور هاله و خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱).

Class	Order	Suborder	Superfamily	Family	Genus	Species	
Rotalidia	Rotaliida	Rotaliina	Rotaliacea	Rotaliidae	<i>Ammonia</i>	<i>Ammonia beccarii</i> (Linne, 1758)	
					<i>Eponides</i>	<i>Eponides repandus</i> (Fichtel and Moll, 1798)	
					<i>Nummutilidae</i>	<i>Operculinella</i>	<i>Operculinella cumingii</i>
					<i>Elphidiidae</i>	<i>Elphidium</i>	<i>Elphidium</i> sp.
					Buliminacea	Buliminidae	<i>Bulimina</i>
Miliolidia	Miliolida	Miliolina	Soritacea	Peneroplidae	<i>Peneroplis</i>	<i>Peneroplis pertusus</i> (Forskal, 1775)	
						<i>Peneroplis planatus</i>	
						<i>Quinqueloculina</i>	<i>Quinqueloculina</i> spI
							<i>Quinqueloculina</i> spII
							<i>Quinqueloculina</i> spIII
		<i>Triloculina</i>	<i>Triloculina oblonga</i> (Montagu, 1803)				
		Spiroloculinidae	<i>Spiroloculina</i>	<i>Spiroloculina</i> sp.			

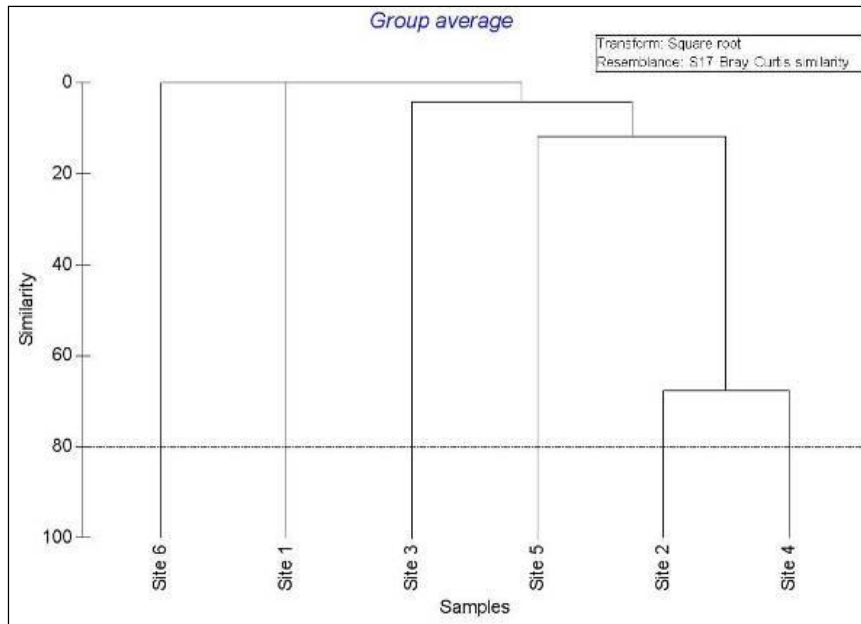
جدول ۲: بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین شش ایستگاه موردبررسی در خور هاله و خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱).

مقایسه بین ایستگاه‌ها	Pairwise R
S 1 vs. S 2	-/۰.۲۹
S 1 vs. S 3	۱
S 1 vs. S 4	-/۰.۴۲۹
S 1 vs. S 5	-/۰.۲۹
S 2 vs. S 3	-/۰.۲۹
S 2 vs. S 4	-/۰.۵۱۴
S 2 vs. S 5	-/۰.۲۹
S 2 vs. S 6	-/۰.۲۹
S 3 vs. S 4	-/۰.۴۲۹
S 3 vs. S 5	-/۰.۲۹
S 3 vs. S 6	۱
S 4 vs. S 5	-/۰.۲۹
S 4 vs. S 6	-/۰.۴۲۹
S 5 vs. S 6	-/۰.۲۹

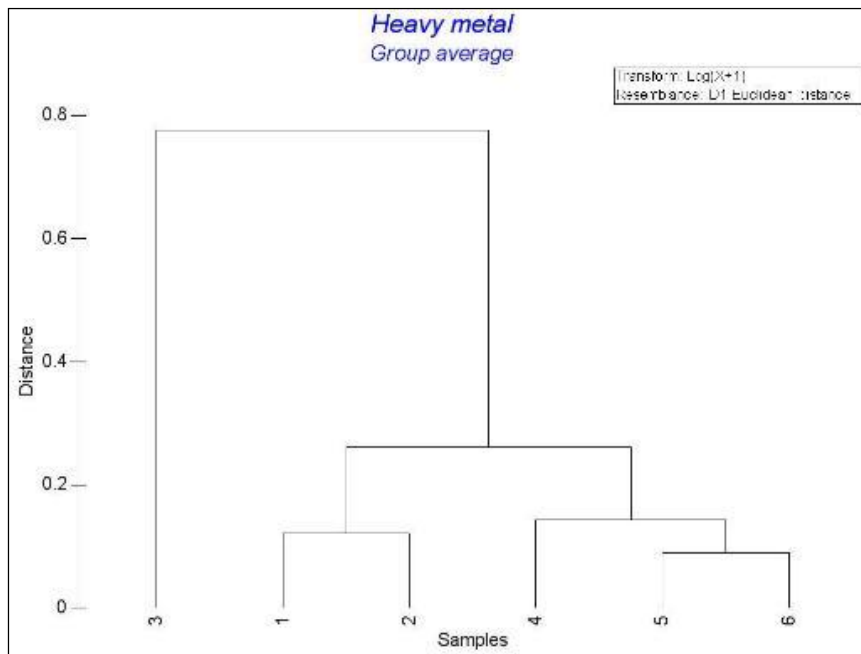
*سطح معنی‌داری (Global R=0.479, P= 0.001 P<0.001): S ایستگاه

جدول ۳: تحلیل توصیفی پراکنش دانه‌بندی در شش ایستگاه موردبررسی در خور هاله - خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱).

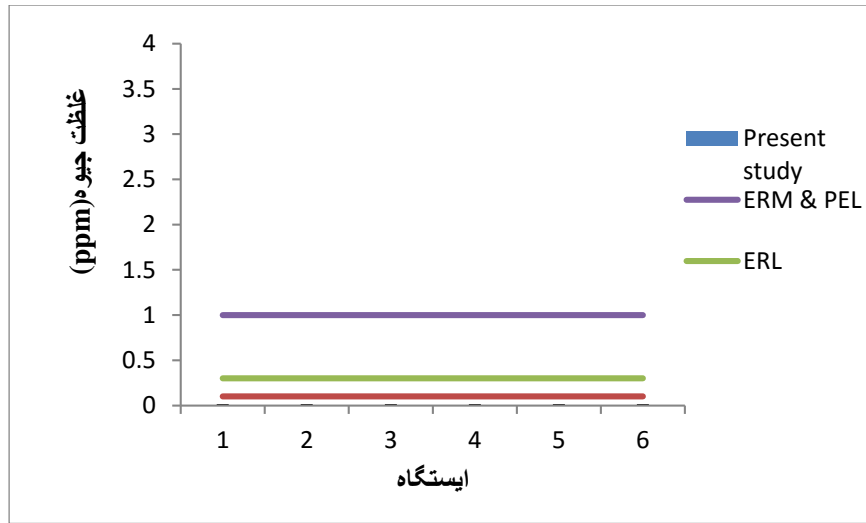
ایستگاه	درصد شن میانگین (±انحراف معیار)	درصد ماسه میانگین (±انحراف معیار)	درصد سیلت/رس میانگین (±انحراف معیار)
۱	-/۰.۳۲±۰.۰۷	۸۵/۲۷±۰/۴۳	۱۴/۴±۰/۱۳
۲	۴۲/۴۷±۰/۴۷	۵۷/۱۹±۱/۲۵	-/۰.۳۳±۰/۰.۹
۳	۱/۶۹±۰/۴۷	۹۶/۳۴±۰/۷۱	۱/۹۶±۰/۰.۲
۴	-/۰.۶۴±۰/۰.۱	۸۹/۰.۵±۰/۹۴	۱۰/۳۲±۱/۲
۵	۲۵/۰±۰/۴	۷۴/۳۸±۰/۹۱	-/۰.۶۱±۰/۰.۳
۶	-/۰.۶۹±۰/۱۱	۹۸/۵۲±۰/۶۴	-/۰.۷۸±۰/۰.۹



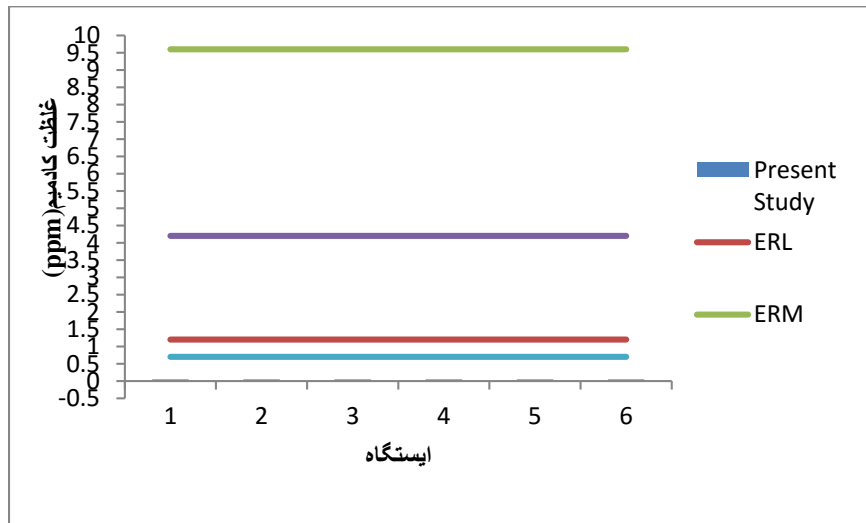
شکل ۲: نمودار آنالیز خوشه‌ای شش ایستگاه مورد بررسی در خور هاله-خلیج نایبند از نقطه نظر جمعیت روزنه‌داران (۱۳۹۰-۱۳۹۱).



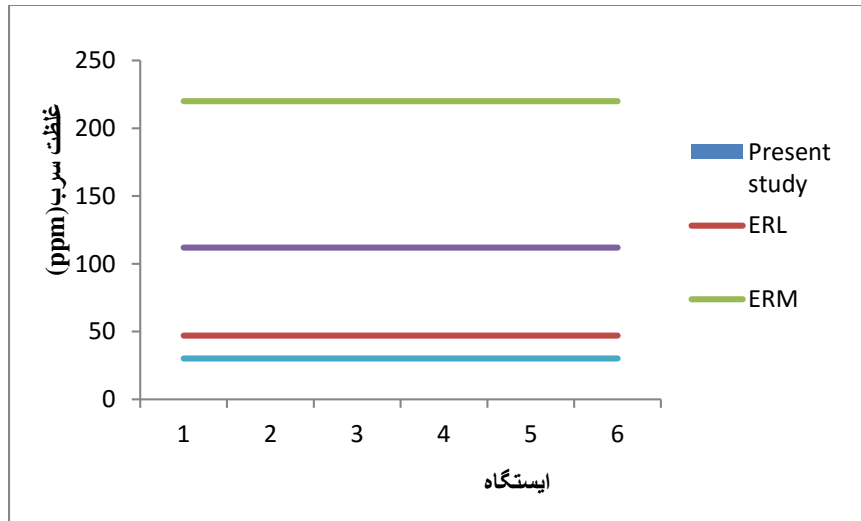
شکل ۳: نمودار آنالیز خوشه‌ای شش ایستگاه مورد بررسی در خور هاله -خلیج نایبند از نقطه نظر غلظت چهار عنصر فلزی در رسوبات (۱۳۹۰-۱۳۹۱).



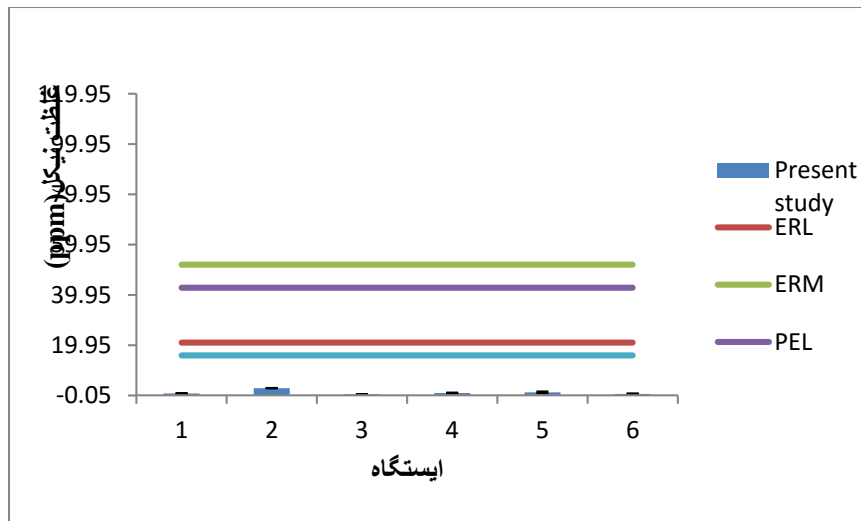
شکل ۴: مقایسه مقادیر میانگین (\pm S.E) عنصر جیوه در شش ایستگاه مورد بررسی در رسوبات خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱) با استانداردهای جهانی.



شکل ۵: مقایسه مقادیر میانگین (\pm S.E) عنصر کادمیوم در شش ایستگاه مورد بررسی در رسوبات خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱) با استانداردهای جهانی.



شکل ۶: مقایسه مقادیر میانگین (\pm S.E) عنصر سرب در شش ایستگاه مورد بررسی در رسوبات خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱) با استانداردهای جهانی.



شکل ۷: مقایسه مقادیر میانگین (\pm S.E) عنصر نیکل در شش ایستگاه مورد بررسی در رسوبات خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱) با استانداردهای جهانی.

جدول ۴: بررسی وجود اختلاف معنی دار از نقطه نظر غلظت چهار عنصر جیوه، کادمیوم، سرب و نیکل در شش ایستگاه مورد بررسی واقع در خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱).

عنصر مورد بررسی	df	P
Hg ^a	۵	۰/۳۳
Cd ^a	۵	۰/۱۸
Pb ^a	۵	۰/۳۳
Ni ^a	۵	۰/۶۲

P < ۰/۰۵ وجود اختلاف معنی داری

جدول ۵: توصیف سطح خطر فلزات مورد ارزیابی در ایستگاه‌های شش گانه بر اساس فاکتور C_f و درجه آلودگی Ca در خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱)

ایستگاه	Hg	Cd	Pb	Ni	درجه آلودگی
S1	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	متوسط غیر آلوده
S2	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	متوسط غیر آلوده
S3	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	قابل ملاحظه غیر آلوده
S4	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	قابل ملاحظه غیر آلوده
S5	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	قابل ملاحظه غیر آلوده
S6	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	قابل ملاحظه غیر آلوده

جدول ۶: محاسبه فاکتور آلودگی برای چهار عنصر جیوه، کادمیوم، سرب و نیکل و درجه آلودگی برای خور هاله-خلیج نایبند (۱۳۹۰-۱۳۹۱).

عناصر مورد مطالعه و فاکتور آلودگی محاسبه شده			
Hg	Cd	Pb	Ni
C _f = ۰/۱	C _f = ۰/۰۴۵	C _f = ۰/۰۰۲	C _f = ۰/۰۱۵
سطح خطر			
C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱	C _f < ۱
غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده	غیر آلوده
درجه آلودگی (Cd)			
C _d = ۰/۰۰۲			

$$C_d < 7$$

درجه پایین آلودگی

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، چنین استنباط می شود که شرایط رسوب شناختی خور هاله و خلیج نایبند از نقطه نظر آلودگی با عناصر فلزی سنگین نیکل، سرب، کادمیوم و جیوه برای روزنه داران مناسب است. هرچند که تفسیر ارتباط میان هر یک از عوامل محیطی بررسی شده در این تحقیق به طور جداگانه با فراوانی روزنه داران آن مشکل به نظر می رسد ولی ظاهراً مجموعه تأثیرات تمامی عوامل مذکور، با توجه موقعیت مکانی ایستگاه های نمونه برداری، در تعیین الگوی پراکنش روزنه داران هر منطقه مؤثر است. بیشترین تفاوت ها میان ویژگی های محیط رسوبی در ایستگاه های نمونه برداری، مربوط به نتایج حاصل از بخش رسوب شناسایی و همچنین موقعیت توپوگرافیک ایستگاه های مورد بررسی است. ایستگاه های دو و سه به دلیل همجواری با جنگل های حرا و ایستگاه پنج به دلیل وجود موج شکن از تأثیر جریانات جزرومدی و همچنین امواج در مقایسه با سه ایستگاه دیگر از حفاظت بیشتری برخوردار بوده و همین امر فرصت لازم را به روزنه داران برای ساکن شدن در بستر خواهد داد این در حالی است که شانس سکون در ایستگاه های یک، چهار و شش به دلیل نبود حفاظ خاص تحت تأثیر امواج سطحی و عمقی کمتر است. به طور کلی کمتر بودن تعداد روزنه داران شناسایی شده در مطالعه حاضر تا حدی نیز به عمق نمونه برداری مربوط است به گونه ای که عمق نمونه برداری در تحقیق حاضر ۲۰ متر است در حالی که در سایر تحقیقات اعماق نمونه برداری بسیار بیشتر است؛ اما از نقطه نظر مقادیر فلزات سنگین اندازه گیری شده که هدف اصلی تحقیق حاضر است، غلظت جیوه، کادمیوم، نیکل و سرب پایین تر از حد قابل قبول برای مناطق غیر آلوده ارائه شده توسط NOAA و ISQG می باشد (Long et al., 1995; Buchman, 1999; CCME, 1999). فاکتور آلودگی (C_f) برای چهار عنصر مورد بررسی محاسبه گردید و مشخص شد که هیچ یک از چهار فلز جیوه، کادمیوم، نیکل و سرب سبب آلودگی منطقه مورد بررسی نشده است. این نتایج توسط داده های حاصل از محاسبه درجه آلودگی (C_d) نیز تأیید می شود. به طوری که اثر تجمعی چهار فلز مورد سنجش نیز سبب آلودگی منطقه نشده است.

درجه آلودگی محاسبه شده برای خور هاله و خلیج نایبند بسیار پایین تر از مقادیر محاسبه شده برای اکوسیستم های مشابه در تحقیقات پیشین است. Dehghan و همکاران (۲۰۰۸) درجه آلودگی را برای خورهای ماهشهر-استان خوزستان محاسبه نمودند، نتایج نشان داد که خور غنام با درجه آلودگی ۱۶/۲۲، خور دورق با درجه آلودگی ۱۵/۳۵، خور غزاله با درجه آلودگی ۱۰/۴۲، خور احمدی با درجه آلودگی ۱۲/۰۹، خور پاتیل با درجه آلودگی ۱۰/۱۴، خور درویش با درجه آلودگی ۱۱/۰۵، خور زنگی با درجه آلودگی ۱۱/۴۱ و خور بی حد با درجه آلودگی ۸/۷۴ شرایط اکولوژیک بسیار نامناسب تری در مقایسه با شرایط منطقه در مطالعه حاضر دارد. همچنین Mooraki و همکاران (۲۰۰۹) به محاسبه فاکتور آلودگی برای خور جعفری از سرشاخه های خور موسی پرداختند و نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص حاکی از آن بود که این خور نیز با درجه ۱۶/۷ شرایط مشابه ای با خورهای ماهشهر داشته و به مراتب آلوده تر از خور هاله و خلیج نایبند می باشد. نتایج حاصل از آنالیز BIOENV نیز موید این نکته است که فلزات سنگین اندازه گیری شده با ضریب منفی تأثیری قابل توجهی بر پراکنش و تراکم روزنه داران در منطقه خور هاله و خلیج نایبند در شرایط کنونی ندارند. لازم است عنوان شود که منطقه مورد مطالعه طی تحقیقی که در سال ۱۳۸۵ توسط ربانی و همکاران انجام پذیرفت نیز منطقه ای عاری از آلودگی از نقطه نظر وجود عناصر فلزی سنگین نیکل، سرب، کادمیوم و جیوه اعلام شد؛ اما تحقیق صورت گرفته قبل از راه اندازی بخش قابل توجهی از مجتمع های پتروشیمی صورت گرفته بود. با توجه به شرایط موجود می توان اذعان داشت که فعالیت مجتمع ها تأثیر قابل توجهی بر تغییر غلظت این عناصر نداشته است. همچنین در مقایسه داده های حاصل از انجام تحقیق حاضر با مطالعات انجام شده در سال ۱۳۷۴ توسط ورزشانی و صدیقی و در سال ۱۳۷۹ توسط کرباسی مشخص گردید که غلظت کادمیوم و جیوه نیز در خلیج نایبند دستخوش تغییر قابل توجهی پس از گذشت حدود بیست سال و شروع به کار طیف وسیعی از صنایع نفت، گاز و پتروشیمی افزایش قابل توجه کشتی ها و شناورهای کوچک تر، نداشته

است. این در حالی است که تحقیق صورت گرفته بر رسوبات منطقه لیف-بوسیف، واقع در غرب کانال خور موسی، با استفاده از شاخص تجمع زمینی مولر نشان می‌دهد که عامل اصلی تأثیرگذار بر رسوبات منطقه از نقطه نظر وجود عناصر فلزی سنگین، دو عنصر سرب و جیوه می‌باشد و عناصر اندازه‌گیری شده نیکل، روی، مس، کبالت و کادمیوم غلظتی پایین‌تر از Background Value دارند و سبب آلودگی منطقه نشده‌اند؛ علت بالا بودن غلظت دو عنصر جیوه و سرب وجود صنایع پتروشیمی به خصوص واحد کلرآکالی، بافت رسوبی با غالبیت محتوی سیلت/رس دانسته شده است (سبز علیزاده و دهقان مدیسه، ۱۳۸۹؛ سبز علیزاده و خلفه نیلساز، ۱۳۷۷). البته لازم به ذکر است که پایین بودن غلظت چهار عنصر مورد بررسی با توجه به استقرار صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در منطقه مورد مطالعه چندان قابل اطمینان نبوده و احتمالاً نتایج به دست آمده تا حدی تحت تأثیر طبیعت پویای اکوسیستم مورد بررسی و چرخش آب و اختلالات فصلی در تجمع و تمرکز این عنصر در محیط می‌باشد؛ که البته تأثیر فاکتورهای محیطی نامبرده توسط Algan و همکاران (۱۹۹۹) نیز بر تجمع فلزات سنگین در محیط بررسی و تأیید گردیده است؛ بنابراین می‌توان گفت که به دلیل جریانات جزرومدی و اختلاط آب، نرخ بالای رسوب‌گذاری و همچنین معلق شدن مجدد رسوبات سطحی، میزان غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییر و تحول می‌باشد.

به‌طور کلی ارزیابی دقیق و جامع از درجه آلودگی فلزات در اکوسیستم‌های خور و رسوبات دریایی فرآیند مشکلی می‌باشد (Rubio et al., 2000). در مطالعه حاضر مقادیر عنصر جیوه، کادمیوم، نیکل و سرب از مقادیر ارائه شده در قالب Background Value کمتر می‌باشد و همچنین درجه آلودگی محاسبه شده برای این منطقه در مقایسه با خوریات ماهشهر کمتر می‌باشد. همان‌طور که مشخص است اکثر خورهای ماهشهر در مقایسه با منطقه مورد بررسی آلوده می‌باشد (Dehghan et al., 2008; Mooraki et al., 2009). که البته این وضعیت می‌تواند به دلیل همگن بودن رسوبات (سبز علیزاده و دهقان مدیسه، ۱۳۸۹)، سهم سیلت/رس بیشتر رسوبات (Mooraki et al., 2008; Dehghan et al., 2009) در خوریات ماهشهر و شدت جریانات کمتر آب و امواج (Niyati and Maraghei, 2002) در خط ساحلی ماهشهر باشد؛ بنابراین مقادیر اندازه‌گیری شده بر ساختار جمعیتی روزنه داران به‌عنوان شاخص‌های زیست‌محیطی تأثیر نداشته است. به‌طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که علی‌رغم صنعتی بودن منطقه مورد مطالعه، خور هاله و خلیج نایبند، غلظت چهار عنصر فلزی نیکل، کادمیوم، سرب و جیوه در منطقه کمتر از حدود مجاز تعیین شده توسط استانداردهای بین‌المللی می‌باشد و تأثیری بر ساختار جمعیت و پراکنش مکانی روزنه داران نداشته است. پایین بودن سطح چهار عنصر فلزی مورد بررسی می‌تواند مرتبط با دانه‌بندی رسوبات بستر، جریانات سطحی و عمقی موجود در منطقه باشد که علی‌رغم فعالیت‌های صنعتی و دخالت‌های انسانی حجم عناصر رسوب یافته در مقایسه با مناطق مشابه نظیر خوریات ماهشهر و بوسیف به‌طور قابل توجهی با محاسبه و مقایسه درجه آلودگی پایین‌تر است. البته این بدان معنی نیست که پروژه‌های پایش و مطالعاتی متوقف گردد، بلکه آزمون‌های بیولوژیک و آنالیز اکولوژیک ساختار جمعیت جانوران کف زی و استفاده از شاخص‌های آلودگی نوین برای توسعه پایدار و حفاظت از اکوسیستم ارزشمند موجود باید صورت گیرد و همگام با فرآیند توسعه تولید از اولویت خاص برخوردار باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله، مراتب تقدیر و تشکر خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال که هزینه انجام تحقیق حاضر را متقبل شده است و همچنین از ناظر محترم طرح سرکار خانم دکتر اشجع اردلان اعلام می‌نماید.

منابع

ربانی، م.، ا. جعفرآبادی آشتیانی، ا. و شریف، ع. م.، ۱۳۸۶. اندازه‌گیری فلزات سنگین سرب، نیکل و جیوه در آب و رسوب در خلیج فارس منطقه عملیاتی عسلویه. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۵ ص.

- سبز علیزاده، س. و خلفه نیلساز، م.**، ۱۳۷۷. بررسی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوب خورهای مهم استان خوزستان. گزارش نهایی پروژه موسسه تحقیقات و آموزش شیلات ایران، مرکز تحقیقات شیلاتی استان خوزستان. ۴۹ ص.
- سبز علیزاده، س. و دهقان مدیسه، س.**، ۱۳۸۹. تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیفه- بوسیف (سواحل شمال غرب خلیج فارس) بر اساس شاخص تجمع زمینی. مجله علمی شیلات ایران، شماره ۲. ۵۱-۶۰ ص.
- کرباسی، ع.**، ۱۳۷۹. غلظت استاندارد و منشأ $Fe, V, Cd, Co, Cu, Zn, Ni, Mn, Pb$ در رسوبات سطحی خلیج فارس. مجله علوم و تکنولوژی محیطزیست، شماره ۵ و ۶ تابستان و پائیز ۱۳۷۹. ۵۳-۶۶ ص.
- منوچهری، ح.**، ۱۳۸۷. بررسی اثرات اکولوژیک فعالیت‌های صنعتی پتروشیمی ماهشهر بر تراکم و تنوع جوامع ماکروبتنوزهای خور زنگی از انشعابات خور موسی در خلیج فارس، رساله دکتری (Ph.D)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ۲۰۴ ص.
- نیکویان، ع. ر.**، ۱۳۷۶. بررسی تراکم، پراکنش، تنوع و تولید ثانویه بی‌مهرگان کف زی (ماکرو بتنوزها) در خلیج چابهار، رساله دکتری بیولوژی دریا (Ph.D) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۲۱۱ ص.
- ورزقانی، ن. و صدیقی، ا.**، ۱۳۷۴. ژئوشیمی فلزات سنگین کادمیوم، مس، جیوه، سرب و وانادیوم در رسوبات سطحی و زیرسطحی خلیج فارس (گشت پژوهشی فردوس-۱۳۷۴). مجله محیطزیست، شماره ۳۳. صفحات ۲۶-۳۵.

Algan A., Cagatay M., Sarikaya, H., Balkis N. and Sari, E., 1999. Pollution monitoring using marine sediment: A case study on the Istanbul Metropolitan Area. Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 29: 285-291.

Alve, E., 1990. Variation in estuarine foraminiferal with diminishing oxygen conditions in Drammensfjord,

Alve, E., 1991. Benthic foraminifer in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sørfjord, western Norway. Journal of Foraminiferal Research 21, 1-19.

Andrew, N. L. and Mapstone, B. D., 1987. Sampling and the description of spatial pattern in marine ecology. Oceanography and Marine Biology, Annual Review 25: 39-90.

Buchman, M., 1999. NOAA screening quick reference tables. NOAA HAZMAT report 99-1, Seattle, WA, Coastal protection and restoration division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 12p.

Canadian Council of Ministers of the Environmental (CCME), 1999. Canadian quality guidelines publication, 1299: ISBN 1-896997-34-1.

Clarke, K. R. and Warwick, R. M., 2001. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edn. Primer-E, Plymouth.

Cushman, J. A., 1969. Foraminifera their classification and economic use. 1st Edn, Harvard university Press, USA., ISBN: 0674308018, pp.589.

Dehghan, M. S., Savari, A., Parham, H., Marammazy, J. G., Papahn, F. and Sabzalizadeh S., 2008. Heavy metals contaminant evaluation in sediments of Khoure – Musa creeks, northwest of Persian Gulf, Iranian Journal of Fisheries Sciences 7(2s), 137-156.

Folk, R. L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing company, Austin, Texas. 182pp.

Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach, Water Research, 14, 975-1001.

Kishe, M. A. and Mahchiwa, J. F., 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanaza Gulf of lake Victoria, Tanzania, Environment International. 28: 619-625.

Loeblich, A. R. and Tappan, H., 1964. Sarcodina, chiefly the amoebians and foraminiferida: Treatise on invertebrate paleontology, Part C, Protista, 2, Vol.1-2, Geol.Soc. Amer and University of Kansas Press, Newyork, USA.

Loeblich, A. R. and Tappan, H., 1988. Foraminiferal Genera and Their Classification. Van Nostrand Reinhold, New York.

Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L. and Calder, F. D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments, Environmental management, 19(1): 81-97.

Loring, D. H. and Rantala, R. T. T., 1992. Manual for geochemical analysis of marine sediments and suspended particulated matter. *Earth Science Reviews*, 32: 235-283.

Macfarlane, G. R. and Booth, D. J., 2001. Estuarine macrobenthic community structure in the Hawkesbury River Australia: Relationships with sediment physicochemical and anthropogenic parameters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 72:51-78.

Mikac, K. M., Maher, W. A. and Jones, A. R., 2007. Do physicochemical sediment variables and their soft sediment macrofauna differ among microsize coastal lagoons with forested and urbanized catchments? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72: 308-318.

Mooraki, N., Esmaeli Sari, A., Soltani, M. and Valinassab, T., 2009. Spatial distribution and assemblage structure of macrobenthos in a tidal creek in industrial activities. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6 (4): 651-662.

Murray, J. W., 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific and Technical, Essex, England.

Niyyati, M. F. and Maraghei, A., 2002. Raising the water level of Khor-e-Musa estuary using navigational lock, The changing coast Eurocoast/ EUCC, Porto-Portugal, Ed. EUROCOAST- Portugal, ISBN 972-8558-09-0, 459-463.

Pascual, A., Rodríguez-Lázaro, J., Weber, O. and Jouanneau, J. M., 2002. Late Holocene pollution in the Gernika Estuary (southern Bay of Biscay) evidenced by the study of Foraminifera and Ostracoda. *Hydrobiologia* 475/476, 477-491.

Pekey, H., 2006. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*, 52:1197-1208.

Rubio, B., Nombela, M. A. and Vilas, F., 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW) Spain an assessment of metal pollution, *Marine Pollution Bulletin*, 40,11, pp.968-980.

Samir, A. M., 2000. The response of benthic foraminifera and ostracods to various pollution sources. A study from two lagoons in Egypt. *Journal of Foraminiferal Research* 30, 83-98.

SE Norway. In: Hemleben, C., Kaminski, M. A., Kuhnt, W. and Scott, D. B. (Eds.), Paleocology, Biostratigraphy, Paleoceanography and Taxonomy of Agglutinated Foraminifera. Kluwer Academic Publishers, pp. 661-694.

Sharifi, A.R., Croudace, I. W. and Austin, R. L., 1991. Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, U.K. *Journal of Micropaleontology* 10, 109-113.

Van der Zwaan, G. J., Duijnste, I. A. P., den Dulk, M., Ernst, S. R., Jannink, N. T. and Kouwenhoven, T. J., 1999. Benthic foraminifers: proxies or problems? A review of paleoecological concepts. *Earth Science Reviews* 46: 213-236.

Yanko, V., Ahmad, M. and Kaminski, M., 1998. Morphological deformities of benthic foraminiferal tests in response to pollution by heavy metals: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research* 28: 177-200.

Yanko, V., Kronfeld, J. and Flexer, A., 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research* 24: 1-17.