

خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) به‌عنوان شاخص زیستی در مواجهه با هیدروکربن‌های

آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در سواحل شمالی دریای مکران

چکیده

وجود ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در بوم‌سازگان‌های دریایی با توجه به اثرات سرطان‌زایی و ایجاد جهش‌های ژنتیکی و کشندگی در موجودات، از اهمیت مطالعاتی بالایی برخوردارند. بدین جهت، میزان تجمع ترکیبات مختلف هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت هپاتو پانکراس خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) در ۱۰ ایستگاه و در طول سواحل شمال دریای مکران و در سال ۱۳۹۶ مورد مطالعه قرار گرفت. تعیین مقادیر ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای توسط دستگاه HPLC صورت پذیرفت. میزان غلظت کل ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت هپاتوپانکراس بین ۱۹/۱۱-۶۲/۲۲ نانوگرم بر گرم وزن خشک به دست آمد. بالاترین مقدار آلودگی به این ترکیبات در ایستگاه خلیج چابهار و کمترین آن در ایستگاه پسابندر مشاهده شد و آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری میان کل ایستگاه‌ها نشان داد ($P < 0.05$). نتایج این مطالعه نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده از هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از استاندارد بین‌المللی NOAA برای موجودات دریایی پایین‌تر است. حضور ترکیبات با تعداد حلقه‌های کم بیانگر غالب بودن آلاینده‌هایی با منشأ پتروژنیک است. نتایج این مطالعه بیانگر و تأییدکننده استفاده از خرچنگ منزوی (*C. signatus*) به‌عنوان شاخص زیستی عوامل آلاینده به‌ویژه ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در سواحل است.

واژگان کلیدی: هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، دریای مکران، خرچنگ منزوی، *Clibanarius signatus*

محمود سینایی^{۱*}

مهران لقمانی^۲

مهدی بلوکی^۳

۱. گروه شیلات، واحد چابهار، دانشگاه آزاد اسلامی، چابهار، ایران
۲. گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی، چابهار، ایران
۳. معاونت دریایی سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات:

oceanography.sina@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۷۰۲۰۶۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی

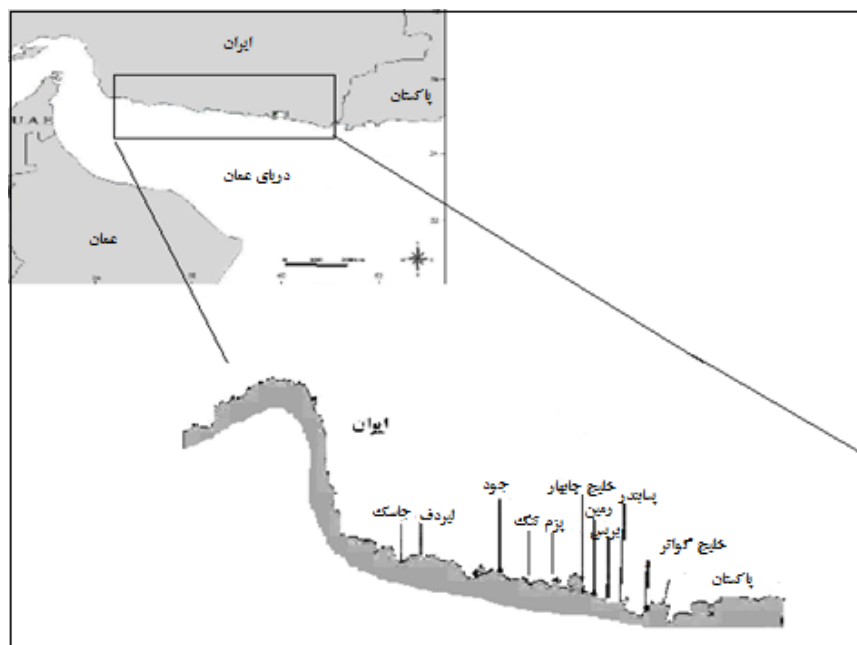
مقدمه

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای یکی از سمی‌ترین ترکیبات آلی محسوب شده که دارای رفتار بسیار پیچیده‌ای در طبیعت هستند (Abdel-Rahman et al., 2002). به دلیل خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی، این ترکیبات به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم و خطرناک در لیست سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) قرار گرفته‌اند (Chimezie et al., 2005). سالانه در حدود ۴۳۰۰۰ تن از این ترکیبات وارد اتمسفر و در حدود ۲۳۰۰۰۰ تن به اشکال مختلف وارد محیط‌های آبی می‌گردند (CCME, 2010). آلاینده‌های آلی نظیر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای به میزان قابل‌توجهی توسط آبزیان جذب می‌شوند (Tolosa et al., 2005). به دلیل خاصیت چربی‌دوستی، این ترکیبات به میزان بیشتری در بدن موجودات آبی نسبت به ستون آب یافت می‌شوند (Zuloaga et al., 2009) اما بخش عمده‌ای از هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در اکوسیستم‌های آبی با جذب توسط ذرات معلق موجود در آب، رسوب کرده و بر جوامع کف زی اثر

می‌گذارند (Valavanidis *et al.*, 2008). بالا رفتن میزان این عناصر به دلایل گوناگون از حد استاندارد، باعث به مخاطره افتادن حیات آبریان می‌شوند، زیرا سبب برهم خوردن تعادل بوم‌سازگان و نابودی تدریجی اکوسیستم‌های آبی می‌گردند (Canli and Atli, 2003). خرچنگ‌های منزوی متعلق به شاخه سخت‌پوستان و از خانواده Paguroidea می‌باشند که تاکنون حدود ۱۱۰۰ گونه از آن‌ها شناسایی شده است. این گروه از آبریان برای حفاظت از بافت نرم سطح شکمی خود نیازمند استفاده از صدف‌های خالی شکم پایان هستند (Bilock and MacLaughlin *et al.*, 2010; Dunbar, 2009). خرچنگ‌های منزوی از اجزاء مهم ساختار جوامع (Macrozoobentic) در مناطق جزرومدی و زیر جزرومدی در سراسر جهان محسوب می‌شوند (Turra *et al.*, 2002; Biagi *et al.*, 2006) و در هرم غذایی در نزدیکی سطوح اولیه زنجیره غذایی قرار می‌گیرند (Squires *et al.*, 2001). با توجه به ساکن بودن و یا حرکات بسیار آرام، مقاومت بالا در برابر تغییرات محیطی، توانایی تجمع زیستی عوامل آلاینده و پراکنش مناسب خرچنگ منزوی می‌تواند گزینه مناسبی به عنوان شاخص زیستی آلودگی محیط‌های آبی در نظر گرفته شود (Curtis *et al.*, 2003). خرچنگ‌های منزوی با تغییر و یا اصلاح عملکرد متابولیک خود نسبت به ورود ترکیبات آلاینده واکنش نشان می‌دهند. به دلیل اینکه بافت هیپاتوپانکراس تمایل به تجمع این ترکیبات آلاینده دارد (Marcovecchio and Moreno, 1993) به عنوان بافت هدف جهت بررسی میزان آلودگی این گونه خرچنگ منزوی به PAHs انتخاب گردید، همچنین در کنار شریان خون، این بافت محل اصلی دریافت خون از سایر دستگاه‌ها محسوب می‌گردد. این وضعیت باعث می‌گردد این بافت به عنوان نخستین بافت جهت متابولیسم کردن مواد و همچنین دریافت مواد سمی محسوب گردد. این بافت توانایی تجزیه مواد سمی را نیز دارا هست. با این حال افزایش سطوح سمی منجر به بروز آسیب در این بافت می‌گردد. بنابراین این بافت به عنوان یکی از مهم‌ترین ترجمان‌های سمیت زدایی بدن و ارگان هدف انواع مختلف آلاینده‌های خارجی محسوب می‌گردد (Curtis *et al.*, 2003).

دریای مکران (عمان) یکی از اکوسیستم‌های آبی مهم با ذخایر غنی گیاهی و جانوری، به عنوان یکی از منابع ارزشمند محیط‌زیست با بیشترین تنوع زیستی مطرح هست (شکیبا آزاد و همکاران، ۱۳۸۶). شرایط ویژه اقتصادی حاکم بر منطقه و برنامه‌های توسعه‌ای در سواحل شمالی آن سبب افزایش تراکم جمعیت انسانی در نزدیکی سواحل، توسعه سریع صنایع مختلف خصوصاً صنایع آبریز پروری، ایجاد لنگرگاه‌ها و بندرها و به دنبال آن افزایش فعالیت‌های کشتیرانی گردیده است. در واقع، بار آلودگی ناشی از منابع فوق‌الذکر و تغییر محتمل ساختار تنوع زیستی منطقه از جمله تبعات منفی این فعالیت‌ها بشمار می‌رود؛ بنابراین ضروری است تا با ارتقاء ارکان مدیریت زیست‌محیطی منطقه در جهت حفظ این اکوسیستم آبی گام‌های مدیریتی کلیدی شکل داد تا روند و آهنگ توسعه همگام با ظرفیت‌ها و قابلیت‌های محیطی و اکولوژیکی تحقق یابد. از سوی دیگر، در سواحل شمالی دریای عمان که سواحل استان هرمزگان و سیستان و بلوچستان را پوشش می‌دهد، عمدتاً فعالیت‌های تحقیقاتی صورت گرفته در مورد عوامل آلاینده منحصراً در محدوده استان هرمزگان بوده و مطالعات انجام‌شده در بخش شرقی دریای عمان در محدوده استان سیستان و بلوچستان صرفاً در منطقه خلیج چابهار تمرکز یافته است. از معدود مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است می‌توان به بررسی غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در آب و رسوبات خلیج چابهار توسط Agah و همکاران در سال ۲۰۱۶ اشاره نمود. با این حال تحقیقات جامعی در این زمینه و در سواحل شمالی دریای عمان صورت نگرفته است. از این رو این تحقیق باهدف بررسی میزان آلودگی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در خرچنگ منزوی (*C. signatus*) به عنوان شاخص زیستی در سواحل شمالی دریای مکران و مقایسه آن با استانداردهای جهانی صورت گرفته است.

نمونه‌برداری از ده ایستگاه واقع در سواحل شمالی دریای مکران در طی پاییز ۱۳۹۶ انجام گردید (شکل ۱، جدول ۱). نمونه‌برداری از خرچنگ منزوی (*C. signatus*) به چند روش (با استفاده از تور پرتابی، تور ساچوک، صید مستقیم به‌وسیله دست) و با حداقل آسیب و استرس به خرچنگ صورت گرفت. از هر ایستگاه تعداد ۳۰ عدد خرچنگ صید و تحت شرایط فریز شده به آزمایشگاه انتقال یافتند. بافت هیپاتوپانکراس خرچنگ جهت سنجش میزان هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای جداسازی و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید. بافت هیپاتوپانکراس خرچنگ جهت هضم در محلول KOH اتانولیک ۱ مولار و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت در درون سیستم رفلکس قرار داده شد. نمونه‌های هضم شده، وارد قیف جداکننده شده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر سیکلوهگزان اضافه گردید. پس از جدا کردن فاز هگزانیک از فاز قطبی، مجدداً فاز قطبی دو بار دیگر توسط سیکلو هگزان شستشو و از ستون حاوی پودر سولفات سدیم انیدروس عبور داده شدند. حجم نمونه‌ها توسط دستگاه تبخیرکن چرخان (مدل Buchi B-490) به ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه‌ها سپس از ستونی حاوی پودر عبور داده‌شده و سپس ستون در این مرحله توسط ۳ میلی‌لیتر سیکلو هگزان شستشو داده شد. حجم نمونه‌ها مجدداً توسط دستگاه تبخیرکن چرخان کاهش و به حدود ۱ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه‌ها در مجاورت هوا خشک و ۱ میلی‌لیتر استونی‌تریل به آن‌ها اضافه گردید. نمونه‌ها در این مرحله آماده تزریق به دستگاه HPLC گردیدند (Perugini et al., 2007).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

جهت آنالیز میزان غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت خرچنگ از دستگاه HPLC مدل Hewlett-Packard 1100 استفاده گردید. تزریق نمونه‌های بافتی خرچنگ از دتکتور فلورسانس استفاده گردید. فاز ساکن استفاده‌شده در دستگاه، ستون فازمعکوس C18 با طول ۲۵ سانتی‌متر ساخت شرکت SepServ بود. فاز متحرک از نوع گرادیانی با ۴۰ درصد آب و ۶۰ درصد استونیتریل شروع شده و در مدت ۴۰ دقیقه به ۱۰۰ درصد استونیتریل تغییر می‌یافت. شدت جریان فاز متحرک ۰/۷ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. میزان حد تشخیص دستگاه برای نمونه‌های بافتی ۰/۴-۰/۱۸ نانوگرم بر گرم وزن خشک بود. برای تنظیم دستگاه و تعیین غلظت ترکیبات موردنظر از محلول استاندارد (kit

610-N-Supelco 4-7351) استفاده گردید. جهت آزمون کنترل کیفی در بین هر ده نمونه آزمایشی، یک نمونه محلول استاندارد (بلانک) توسط دستگاه آنالیز گردید.

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل شمالی دریای عمان در پاییز ۱۳۹۶.

موقعیت		ایستگاه نمونه‌برداری
عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
25° 08'23 N	61° 27'32 E	خلیج گوآتر
N25°42'93.4	E ۶۱°۲۳' ۴۸.۳	پساندر
N25°65'62.4	E ۶۱°12' 57.1	بریس
N25°15'51.47	E ۶۰°۴۳' ۳۸.۳	رمین
N 25°26 '31	E ۶۰°۳۰'۱۴	خلیج چابهار
N۲۵°۱۹' ۵۸"	E ۶۰° ۴۴' ۱۵	پزم
N 25°23'55.5	E 59°51'47.1	تنگ
N 25°27'56	E 59°29'10.4	جود
N 25°41'39	E 57°57'13.4	لیردف
N 25°38'36	E 57°46'57.4	جاسک

تجزیه و تحلیل آماری داده با نرم‌افزار SPSS (ویرایش نوزدهم) انجام پذیرفت. از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) جهت تعیین وجود و یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها استفاده شد. جهت تعیین دقیق وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار میان ایستگاه‌ها از پس‌آزمون Tukey استفاده شد. اختلاف بین میانگین داده در سطح معنای ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین وجود ارتباط خطی و میزان آن بین مقادیر تجمع زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و میزان حالیت آن‌ها در آب از آزمون رگرسیون خطی و همبستگی پیرسون استفاده شد و معادله رگرسیونی آن به دست آمد.

نتایج

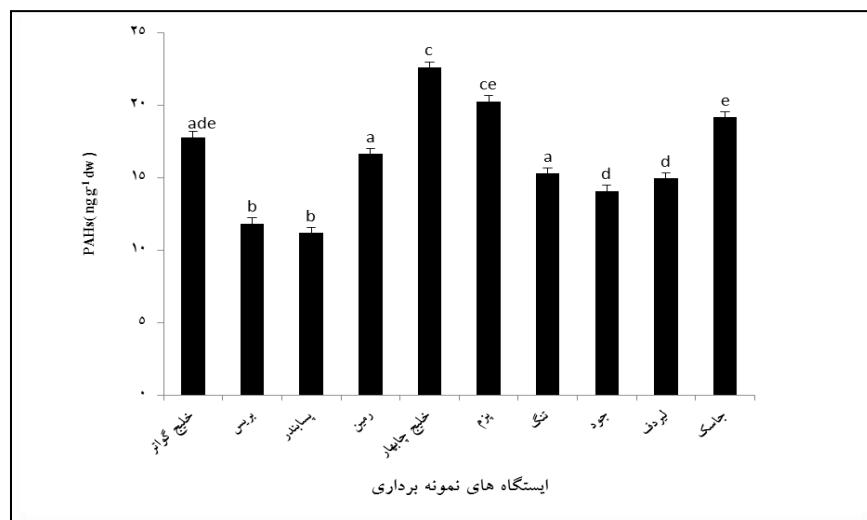
بررسی نمونه‌های خرچنگ منزوی (*C. signatus*) جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های مختلف الگوهای متفاوتی از تجمع زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای را نشان می‌دهد. در جدول ۲ مقادیر ثبت شده از میزان تجمع زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت هپاتوپانکراس خرچنگ در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داده شده است. از بین شانزده ترکیب هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای فقط شش ترکیب (Ch, B(a)A, Py, Fl, Ph, F) در بافت هپاتوپانکراس مشاهده گردید (جدول ۲) که بالاترین میزان غلظت مربوط به ترکیب Py با $۵/۷۶ \pm ۰/۸۳$ نانوگرم بر گرم وزن خشک بوده که در ایستگاه خلیج چابهار ثبت گردید. نتایج مربوط به مجموع ۱۶ تایی ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای ($\Sigma 16\text{PAH}$) به همراه آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA در ایستگاه‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است.

بررسی الگوی پراکنش ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در نمونه‌های زیستی (هپاتوپانکراس) بر اساس تعداد حلقه‌های بنزنی نشان‌دهنده غالبیت ترکیبات چهار حلقه‌ای در بافت خرچنگ در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری است (شکل ۳).

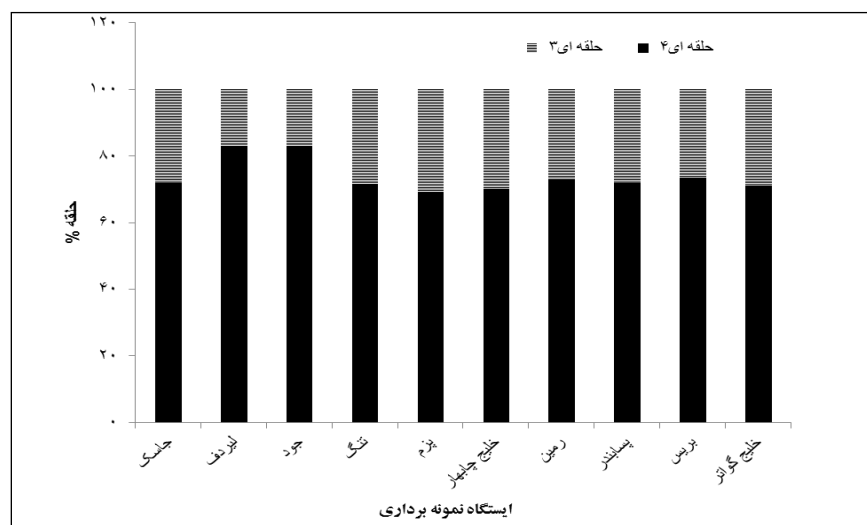
جدول ۲: مقادیر سنجش شده (میانگین \pm انحراف معیار) ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت هیاتوپانکراس (نانوگرم بر گرم وزن خشک) خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) در پاییز ۱۳۹۶.

PAHs	گواتر	بریس	پسابندر	رمین	خلیج چابهار	خلیج پزم	تنگ	جود	لیردف	جاسک
N	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
AC	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ACE	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	۱/۴۳±۰/۳۱ ^a	nd	nd	۱/۱۴±۰/۳۳ ^a	۲/۳۷±۰/۵۵ ^b	۲/۰۱±۰/۵۱ ^{ab}	۱/۰۵±۰/۳۱ ^c	۱/۰۱±۰/۲۸ ^c	۱/۰۳±۰/۳۰ ^c	۱/۸۱±۰/۴۱ ^{abc}
Ph	۲/۵۸±۰/۶۰ ^{ad}	۱/۰۴±۰/۳۰ ^b	۱/۰۳±۰/۳۰ ^b	۲/۴۷±۰/۶۱ ^{ad}	۳/۴۵±۰/۶۷ ^c	۳/۰۰±۰/۶۰ ^{ac}	۲/۱۶±۰/۵۷ ^d	۲/۰۰±۰/۵۱ ^d	۲/۰۱±۰/۵۰ ^d	۲/۷۶±۰/۶۰ ^{ad}
A	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fl	۱/۰±۰/۲۰ ^a	۰/۹۹±۰/۱۷ ^a	۰/۹۰±۰/۱۷ ^a	۱/۱±۰/۲۰ ^a	۱/۱۲±۰/۴۳ ^a	۱/۰۲±۰/۴۰ ^a	۰/۹۵±۰/۱۹ ^a	۰/۹۰±۰/۱۸ ^a	۰/۹۴±۰/۲۰ ^a	۱/۰۰±۰/۳۰ ^a
Py	۴/۵۶±۰/۷۰ ^{ade}	۲/۹۰±۰/۷۶ ^b	۲/۸۹±۰/۷۰ ^b	۴/۳۷±۰/۶۸ ^{ade}	۵/۷۶±۰/۸۳ ^c	۵/۰۶±۰/۶۳ ^{ac}	۴/۰۳±۰/۶۱ ^{de}	۳/۶۸±۰/۶۱ ^e	۴/۰۰±۰/۶۰ ^{de}	۴/۸۷±۰/۶۰ ^{ade}
B(a)A	۳/۵۸±۰/۴۱ ^{abd}	۳/۰۰±۰/۳۸ ^{ac}	۳/۱۰±۰/۳۴ ^a	۳/۲۴±۰/۴۱ ^{ad}	۴/۳۴±۰/۶۲ ^{bd}	۴/۰۰±۰/۵۸ ^{bd}	۳/۰۵±۰/۴۵ ^a	۲/۶۶±۰/۳۸ ^c	۳/۰۰±۰/۳۹ ^{ac}	۳/۸۴±۰/۵۱ ^d
Ch	۴/۶۴±۱/۰۰ ^{acd}	۳/۹۰±۰/۹۰ ^{abd}	۳/۲۷±۰/۹۰ ^b	۴/۳۲±۱/۰۰ ^{ad}	۵/۵۶±۱/۱۱ ^c	۵/۰۶±۱/۱۰ ^c	۴/۰۳±۱/۰۰ ^d	۳/۵۳±۰/۹۶ ^b	۳/۹۸±۰/۹۵ ^{abd}	۴/۸۹±۱/۰۰ ^{ac}
B(b)Fl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
B(k)Fl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
B(a)Py	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IPy	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
DB(ah)A	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
B(ghi)Pe	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Σ PAH	۱۷/۸۰±۱/۰۰ ^{ade}	۱۱/۸۳±۰/۹۰ ^b	۱۱/۱۹±۰/۸۱ ^b	۱۶/۶۵±۱/۰۰ ^a	۲۲/۶۲±۱/۰۰ ^c	۲۰/۲۷±۱/۰۰ ^{ce}	۱۵/۲۹±۱/۰۰ ^a	۱۴/۰۸±۰/۹۰ ^d	۱۴/۹۶±۰/۹۴ ^d	۱۹/۱۸±۱/۰۰ ^c

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در هر ردیف است ($P > 0.05$); (P) non detected; (nd) (نانوگرم بر گرم وزن خشک $< 0.01 \mu\text{g/g}$)



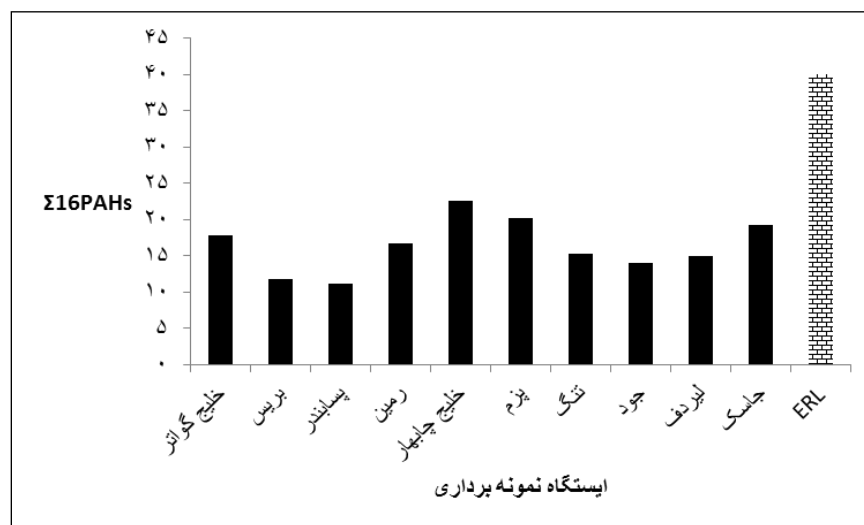
شکل ۲: مجموع ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌های در بافت خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری (پاییز ۱۳۹۶).



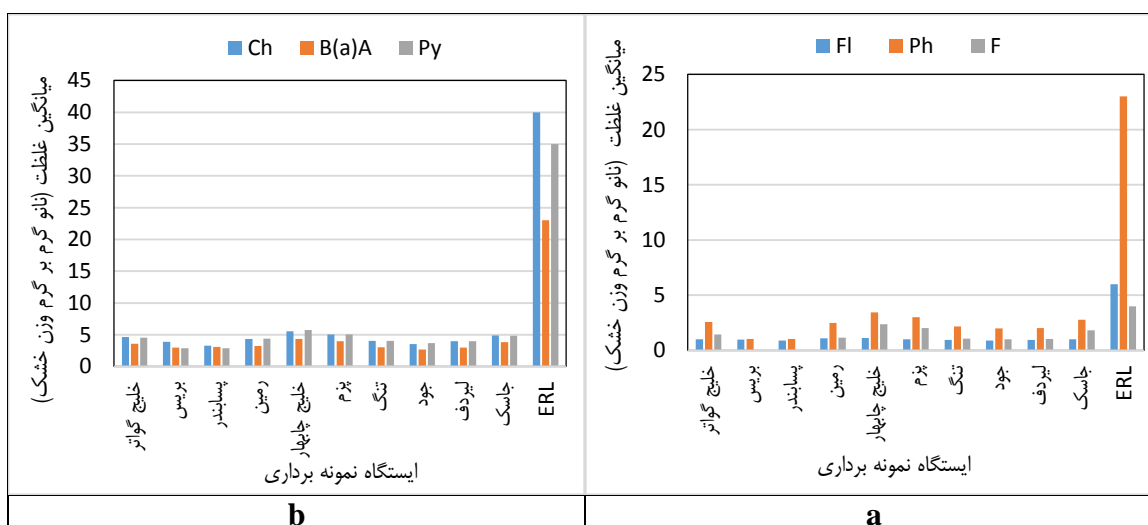
شکل ۳: الگوی پراکنش ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در در بافت خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) در ایستگاه‌های مختلف (پاییز ۱۳۹۶).

از نسبت‌های فلورانتین/پایرن، کرایسن/بنزو ای آنتراسن جهت تعیین منبع آلاینده هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در منطقه نمونه‌برداری استفاده گردید. نتایج مربوط به نسبت فلورانتین/پایرن در نمونه‌های هیاتو پانکراس کمتر از یک و برای نسبت کرایسن/بنزو ای آنتراسن بیشتر از یک را نشان می‌دهد. اعداد کمتر از یک در نسبت‌های فوق‌الذکر (فلورانتین/پایرن، کرایسن/بنزو ای آنتراسن) بیانگر منشأ پتروژنیک و اعداد بیشتر از یک بیانگر منشأ پیرولیتیک است.

استاندارد مشخصی جهت سخت‌پوستان و به‌ویژه گونه‌های مختلف خرچنگ تاکنون ارائه نگردیده است. باین‌حال میزان ERL که درواقع حداقل غلظتی که می‌تواند سبب بروز آسیب به بدن موجودات گردد در موجودات دریایی توسط NOAA تعیین گردیده است (Long et al., 1995). میزان غلظت ترکیبات مختلف یافت شده با استاندارد فوق‌الذکر در شکل های ۴ و ۵ مقایسه گردیده است.



شکل ۴: مقایسه میزان مجموع ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای با میزان ERL در بافت خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) (پاییز ۱۳۹۶).



شکل ۵: (a) مقایسه غلظت ترکیبات فلورن (F) و فنانترن (Ph) و فلورانتن (Fl) با میزان ERL و (b) مقایسه غلظت ترکیبات پایرن (Py)، بنزوای آنتراسن (B(a)A) و کرایسن (Ch) با میزان ERL در بافت خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) (پاییز ۱۳۹۶).

در جدول ۳ رابطه بین حلالیت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در آب با میزان تجمع زیستی آن‌ها در بافت هپاتوپانکراس خرچنگ منزوی نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده وجود رابطه مثبت قوی بین میزان حلالیت در آب و تجمع زیستی ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت هپاتوپانکراس است، با این حال ارتباط معنی‌دار به‌جز در ایستگاه پسابندر یافت نگردید.

جدول ۳: ضریب تعیین پیرسون و رابطه میان میزان حلالیت و میزان تجمع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در

بافت خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) (پاییز ۱۳۹۶).

ایستگاه	میزان همبستگی
خلیج گواتر	$R = 0.484 (P > 0.01)$
بریس	$R = 0.574 (P > 0.01)$
پسابندر	$R = 0.624 (P < 0.01)$
رمین	$R = 0.478 (P > 0.01)$
خلیج چابهار	$R = 0.393 (P > 0.01)$
پزم	$R = 0.437 (p > 0.01)$
تنگ	$R = 0.492 (p > 0.01)$
جود	$R = 0.453 (p > 0.01)$
لیردف	$R = 0.497 (p > 0.01)$
جاسک	$R = 0.457 (p > 0.01)$

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق تغییرات مقادیر غلظت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در نمونه‌های زیستی (بافت هپاتوپانکراس) بررسی گردید. در نمونه‌های بافت هپاتوپانکراس بررسی الگوی پراکنش ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای بیانگر حضور میزان بالای ترکیبات با وزن مولکولی کم (ترکیباتی با ساختار سه و چهار حلقه‌ای) است. حضور ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای با وزن مولکولی کم در نمونه‌های بافت هپاتوپانکراس خرچنگ، می‌تواند در نتیجه انتقال متابولیک ترکیبات با وزن مولکولی بالا در این بافت باشد (Meador *et al.*, 1995). به‌طور کلی آبریان می‌توانند در حدود ۹۹ درصد از ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای را در خلال روزهای اول جذب به متابولیک تبدیل کنند، علاوه بر این نیمه‌عمر زیستی ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای کم است (Meador *et al.*, 1995). این عوامل می‌تواند در تغییر الگوی پراکنش و همچنین میزان این ترکیبات در بافت‌های مختلف آبریان تأثیرگذار باشد (Curtis *et al.*, 2003; Perugini *et al.*, 2007). نتایج مربوط به روند الگوی پراکنش این ترکیبات در بافت هپاتوپانکراس خرچنگ منزوی (*C. signatus*) همچنین نشان می‌دهد که منشأ عمده و اصلی آلودگی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در این منطقه آلودگی نفتی است. روند مشابهی در رابطه با الگوی پراکنش این ترکیبات، در نتایج حاصل از بررسی توسط Agah و همکاران در سال ۲۰۱۶ در خلیج چابهار گزارش گردید. غلظت مجموع ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای ($\Sigma 16\text{PAH}$) در بافت هپاتوپانکراس خرچنگ (*C. signatus*) بین ۱۱/۸۱ نانوگرم بر گرم وزن خشک (ایستگاه پسابندر) تا ۲۲/۶۲ نانوگرم بر گرم وزن خشک (ایستگاه خلیج چابهار) به دست آمد. آبریانی که در نزدیکی مناطق صنعتی زندگی می‌کنند می‌توانند دارای آلودگی بیشتری باشند. Yan و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد نمودند که ترکیبات هیدروکربن‌های

آروماتیک چند حلقه‌ای با وزن مولکولی مشابه دینامیک انتقال متفاوتی را در شرایط محیطی مختلف از خود نشان می‌دهند. این بدین معنی است که فاکتورهای زیادی در دسترس بودن زیستی این ترکیبات برای خرچنگ در ایستگاه‌های مختلف تأثیرگذار هستند که می‌توان به تغییر در کیفیت غذا در کنار افزایش مصرف اکسیژن اشاره نمود (Lemke and Kennedy, 1997; Abdel-Rahman *et al.*, 2002).

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که میزان غلظت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از میزان ERL برای موجودات دریایی بسیار کمتر است که این مسئله بیانگر آلودگی پایین این ترکیبات در خرچنگ منزوی به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی در سواحل مکران است. نتایج بیانگر وجود ارتباط مثبت ولی غیر معنی‌دار (به‌جز ایستگاه پسابندر) بین میزان حلالیت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در آب و میزان تجمع زیستی آن‌ها در بافت هیپاتوپانکراس خرچنگ منزوی است. نتایج نشان می‌دهد که میزان حلالیت این ترکیبات در آب به‌عنوان یک فاکتور مهم در ورود و جذب به بدن خرچنگ منزوی (*C. signatus*) ایفا نمی‌نماید و سایر عوامل نظیر میزان پراکنش، متابولیسم این ترکیبات در بدن خرچنگ منزوی و نیز نرخ دفع آن‌ها دارای تأثیرگذاری بیشتری می‌باشند (Curtis *et al.*, 2003). به نظر می‌رسد کف زی بودن این موجودات و ارتباط بالای آن‌ها با رسوبات نقش مهمی در وجود عدم رابطه معنی‌دار ایفا نموده است (Curtis *et al.*, 2003; Tolosa *et al.*, 2005). همچنین غالبیت ترکیبات چهار حلقه‌ای (با حلالیت کمتر در آب) نسبت به ترکیبات سه حلقه‌ای (با حلالیت بیشتر در آب) از دیگر عوامل به دست آمدن این نتایج در بررسی روابط میان آن‌ها می‌تواند باشد.

با پیشرفت دانش ژئوشیمی جهت شناسایی منشأ ورودی ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای با توجه به پروسه‌هایی که توسط آن‌ها ایجاد می‌شوند، شاخص‌های مولکولی بر اساس ویژگی پایداری ترمودینامیکی این ترکیبات توسعه پیدا کرده‌اند (Zulgari *et al.*, 2009; Agah *et al.*, 2016; Valavanidis *et al.*, 2008). با این حال به دلیل پیچیدگی پارامترهایی که در پراکنش ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در محیط زیست نقش دارند، استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌های مولکولی ضروری است. علاوه بر این، بررسی الگوی پراکنش ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای بیانگر حضور ترکیبات با وزن مولکولی کم در نمونه‌های مختلف بافت خرچنگ است، حضور ترکیبات با وزن مولکولی کم دلالت بر آلودگی با منشأ نفتی دارد. نکته قابل‌ذکر حاصل از نتایج استفاده از نسبت‌های مختلف در این بررسی این است پارامترهای زیاد و پیچیده‌ای در پراکنش هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری تأثیرگذار بوده‌اند که این مسئله اهمیت استفاده از مجموعه‌ای از نسبت‌های فوق‌الذکر را در زمان بررسی و تعیین منشأ آلودگی را بیش‌ازپیش نشان می‌دهد.

سواحل شمالی دریای عمان (سواحل مکران) به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های مهم هست که در سالیان اخیر نگاه ویژه‌ای جهت توسعه این سواحل صورت گرفته است. این سواحل علاوه بر نقش استراتژیکی که دارند، واجد تنوع گونه‌ای و زیست بومی فراوانی هستند. گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری در این سواحل یافت می‌شود. همچنین این سواحل واجد زیست‌بوم‌های متنوعی نظیر جنگل‌های حرا، ریف‌های مرجانی، سواحل صخره‌ای می‌باشد. با این حال در سالیان اخیر توسعه صنایع و گسترش شهرنشینی در این سواحل سبب ورود آلاینده‌های مختلف به این سواحل شده است؛ اما این مطالعه نشان داد که در حال حاضر غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در بافت هیپاتوپانکراس خرچنگ منزوی به‌عنوان شاخص زیستی این سواحل از استانداردهای موجود نظیر استاندارد NOAA بالاتر نیست (Long *et al.*, 1995). حضور ترکیبات با وزن مولکولی کم و ساختار حلقه‌ای با تراکم پایین نشان‌دهنده غالبیت آلودگی با منشأ پترئوزنیک و در برخی موارد پیرولیتیک است. نتایج این بررسی نشان‌دهنده ریسک اکولوژیک پایین ناشی از این ترکیبات در مناطق نمونه‌برداری است.

سپاسگزاری

نهایت تشکر و قدردانی خود را از مسئولین محترم اداره حفاظت محیط‌زیست شهرستان چابهار و جاسک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چابهار و آقایان مهندس متین، اربابی، سلطان‌پور، برموده، به دلیل همکاری صمیمانه در خلال پروژه ابراز می‌داریم.

منابع

شکیبا آزاد، ع.، جهانی، د. و لک، ر.، ۱۳۸۶. رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی فلات قاره دریای عمان در منطقه گتان (غرب جاسک). بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

Abdel-Rahman, M. S., Skowronski, G. A. and Turkall, R. M., 2002. Assessment of the dermal bioavailability of soil-aged benzo[a]pyrene. *Human and Ecological Risk Assessment*, 8(2): 429-441.

Agah, H., Mehdinia, A., Darvish Bastami, K. and Rahmanpour, S., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in the surface water and sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 117:515-524.

Biagi, R., Meireles, A. L. and Mantelatto, F. L., 2006. Bio-ecological aspects of the hermit crab *Paguristes calliopsis* (Crustacea, Diogenidae) from Anchieta Island, Brazil. *Biological seines*, 78: 3-11.

Bilock, W. L. and Dunbar, S. G., 2009. Influence of motivation on behavior in the hermit crab, *Pagurus samuelis*. *Journal of Marine Biological Association United Kingdom*, 89: 775-779.

Canli, M., Atli, G., 2003. The relationship between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental pollution*, 121: 129-136.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2010. Canadian Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and other Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Environmental and Human Health Effects). Scientific Criteria Document (revised), 216 pp.

Chimezie, A., Ogbechea, A., Palmerb, P. and Cokera, H., 2005. Determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in marine samples of Siokolo Fishing Settlement. *Journal of Chromatography A*, 1073, 323-330.

Curtis, V. E., Shao-Xiong, H. E., Frank, A. P. C. G. and Francis, C. P. L., 2003. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in Dungeness Crab (*Cancer Magister*) Near an Aluminum Smelter in Kitimat Arm British Columbia, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(1): 50-58.

Lemke, M. A. and Kennedy, C. J., 1997. The uptake, distribution and metabolism of benzo(a)pyrene in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the parr-smolt transformation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16:1384-1388.

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*, 19:18-97.

Marcovecchio, T. D. and Moreno, V. J., 1993. Cadmium, Zinc and total mercury levels in the tissues of several fish species La Plata River Estuary, Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 25: 119-130.

McLaughlin, P. A., Komai, T., Lemaitre, R. and Rahayu, D. L., 2010. Annotated checklist of anomuran decapod crustaceans of the world (exclusive of the Kiwaoidea and families Chirostylidae and Galatheidae of the Galatheoidea). Part 1, Lithoidea, Lomisoidea and Paguroidea, *The Raffles Bulletin of Zoology Supplement*, 23: 5-107.

Meador, J. P., Stein, J. E., Reichert, W. L. and Varanasi, U., 1995. Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by marine organisms. *Review of Environmental Contamination*.143:79-165.

Perugini, M., Visciano, P., Giammarino, A., Manera, M. and Nardo, W. D., 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine organisms from the Adriatic Sea, Italy. *Chemosphere*. 66: 1904-1910.

Squires, H. J., Ennis, G. P. and Dawe, G., 2001. On biology of two Sympatric Species of Hermit Crab (Crustacea, Decapoda, Paguridae) at St. Chads, Newfoundland. *NAFO Science Count Studies*, 34: 7- 17.

- Tolosa, I., Stephen, J., De M., Scott, W., Fowler, Jean-Pierre, V., Jean, B. and Chantal C., 2005.** Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 50:1619–1633.
- Turra, A., Branco, J. O. and Souto, F. X., 2002.** Population biology of the hermit crab *Petrochirus Diogenes* (Linnaeus) (Crustacea, Oecapoda) in Southern Brazilian Revta bras. *Zoology*, 19 (4): 1043 -1051.
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T. h., Triantafillaki, S., Dassenakis, M., Androustos, F. and Scoullis, M., 2008.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface seawater and in indigenous mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from coastal areas of the Saronikos Gulf (Greece). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79:733–739.
- Yan, W., Chi, J. S., Wang, Z. Y., Huang, W. X. and Zhang, G., 2009.** Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Daya Bay, South China. *Environmental Pollution*, 30:1–8.
- Zuloaga, O., Prieto, A., Usobiaga, A., Sarkar, S. K., Chatterjee, M., Bhattacharya, B. D., Bhattacharya, A., AlamMd, A. and Satpathy, K. K., 2009.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in intertidal marine bivalves of sunderban mangrove wetland, india: an approach to bioindicator species. *Water air soil pollution*, 201:305–318.

خرچنگ منزوی (*Clibanarius signatus*) به عنوان شاخص زیستی در مواجهه با هیدروکربن های ... / سینایی و همکاران