

تعیین منشأ هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در منطقه ساحلی بوشهر با استفاده از مطالعه نسبت ترکیبات

مذکور در دوکفه‌ای *Barbatia helblingii*

- ❖ **علیرضا صفاهییه:** استادیار گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران
- ❖ **معصومه محمودی*:** استادیار گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران و مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دورود، دورود، ایران
- ❖ **کمال غانمی:** استادیار گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران
- ❖ **یدالله نیک‌پور:** استادیار گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران
- ❖ **امیر مهدویانی:** کارشناس ارشد اداره محیط زیست بوشهر، ایران

چکیده

هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) از آلاینده‌های پایدار اکوسیستم دریا به شمار می‌روند که از منابع مختلفی منشأ می‌گیرند و مخاطرات زیادی برای آبزیان و انسان دارند. با بررسی نسبت غلظت ترکیبات PAHs در دوکفه‌ای‌ها می‌توان به منشأ ورود آنها به دریا پی برد و اطلاعات حاصل می‌تواند در مدیریت شیلاتی و زیست محیطی به کار گرفته شود. به علت کثرت صنایع و حمل و نقل نفت در آب‌های ساحلی بوشهر به نظر می‌رسد غلظت‌های بالایی از این ترکیبات در منطقه مذکور وجود داشته باشد. این مطالعه به منظور اطلاع از غلظت و منشأ PAHs در دوکفه‌ای *Barbatia helblingii* در سواحل بوشهر انجام گرفت. نمونه‌برداری از صدف از ۵ ایستگاه مختلف در طول ساحل بوشهر انجام شد. از هر ایستگاه ۳۰ نمونه صدف هم‌اندازه (میانگین ۳۵ میلی‌متر) برداشته شد. پس از هضم بافت نرم با متانول، ترکیبات PAHs با حلال هگزان استخراج سپس به کمک دستگاه HPLC اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد غلظت tPAHs در صدف مورد مطالعه ۶۳۴/۷-۱۲۹/۵ نانوگرم بر گرم وزن خشک بوده است. غلظت tPAHs در صدف‌های مربوط به ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). صدف‌های منطقه رافائل بیشترین غلظت tPAHs و صدف‌های مربوط به منطقه آب‌شیرین‌کن کمترین غلظت ترکیبات مذکور را داشتند. نسبت ترکیبات PAHs در صدف گوبای آن بود که این ترکیبات هم از سوختن نفت (منشأ پیرولیتیک) و هم از ورود مستقیم آن به دریا (منشأ پتروژنیک) ناشی می‌شوند. به نظر می‌رسد ایستگاه آب‌شیرین‌کن به علت غلظت کمتر و دسترسی زیستی پایین آلاینده‌ها محل مناسبی برای توسعه فعالیت‌های آبی‌پروری باشد. میانگین غلظت tPAHs در صدف *B. helblingii* ۴۲۱/۶ نانوگرم بر گرم بوده است که در مقایسه با سایر دوکفه‌ای‌های مطالعه‌شده در سایر نقاط دنیا غلظت درخور توجهی بوده است و نشان‌دهنده دسترسی زیستی نسبتاً بالای این ترکیبات برای آبزیان منطقه است. با توجه به تأثیرات سوء PAHs در سلامتی انسان مطالعه این ترکیبات در ماهیان شیلاتی نیز ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: آلودگی PAHs، دوکفه‌ای *B. helblingii*، ساحل بوشهر، مدیریت شیلاتی.

۱. مقدمه

منابع تولید و ورود PAHs به محیط زیست گوناگون است. به طور خلاصه دو منبع عمده این ترکیبات شامل نفت و احتراق است. نشت مستقیم نفت: از طریق آب توازن کشتی‌ها، خروجی پالایشگاه‌ها، فاضلاب شهری، حوادث نفتکش‌ها، و یا نشت طبیعی نفت که به منابع پتروژنیک^۱ معروف‌اند و احتراق: اعم از احتراق طبیعی مانند آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع یا مربوط به فعالیت‌های انسان مانند احتراق نفت سفید، دیزل، و گازوئیل و در نهایت ته‌نشست اتمسفری این ترکیبات که به‌منزله منابع پایرولیتیک^۲ شناخته شده‌اند (Yunker et al., 2002; Soclo et al., 2000).

ترکیبات PAHs در منابع مختلف غلظت‌ها و نسبت‌های نابرابری دارند؛ برای مثال، نفت خام اغلب از ترکیباتی که از نظر ترمودینامیکی پایدارترند مانند نفتالن، فلورن، فنانترن، و کرایسن تشکیل می‌شود، در حالی که فلورانتن و پایرن معمولاً در PAHs پایرولیتیک فراوان‌اند. چنانچه نسبت غلظت فلورانتن به پایرن بیشتر از ۱ باشد منشأ این ترکیبات پایرولیتیک است. این در حالی است که در منابع پتروژنیک PAHs این نسبت کمتر از ۱ است.

در منابع پایرولیتیک نسبت فنانترن به آنتراسن زیاد است، در حالی که در منابع پتروژنیک این نسبت کم است (Gaspere et al., 2008; Wu et al., 2003). ماهیان و سایر مهره‌داران سیستم متابولیزی نسبتاً پیشرفته‌ای دارند که آنان را قادر می‌کند تا ترکیبات PAHs را متابولیز کنند. بنابراین این ترکیبات در بدن آنان پایداری چندانی ندارند (Restrepo et al., 2008).

طی فرایند تجزیه و دفع این مواد در مهره‌داران و انسان معمولاً ترکیبات حد واسطی تولید می‌شوند که به‌مراتب از ترکیبات اولیه خطرناک‌ترند. این ترکیبات ممکن است هم برای آبزیان و هم برای انسان سرطان‌زا باشند (Manoli et al., 2000). به همین علت سنجش آنان در آبزیانی نظیر ماهیان نمی‌تواند معیار واضحی از میزان خطر به‌وجودآمده برای آبزیان و انسان باشد. در عوض دوکفه‌ای‌ها علاوه بر کم‌حرکی فاقد سیستم کارآمد برای متابولیزم و دفع PAHs هستند (Akcha et al., 2000). علاوه بر آنکه سنجش این آلاینده‌ها در آنان معیار مناسبی از دسترسی زیستی سایر آبزیان از جمله آبزیان شیلاتی است، بررسی نسبت غلظت ترکیبات PAHs می‌تواند به منشأیابی آنان کمک کند که اطلاعات حاصل از آن می‌تواند در مدیریت شیلاتی و البته زیست‌محیطی بهره‌برداری شود. به همین علت مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Cortazar et al., 2008; Mille et al., 2007; Soclo et al., 2000; Baumard et al., 1998a).

با توجه به وجود منابع متعدد تولید و ورود PAHs در آب‌های ساحلی استان بوشهر، منطقه مذکور مستعد آلودگی به ترکیبات PAHs است. از آنجا که برخی از ترکیبات PAHs تأثیرات سوئی در آبزیان و انسان دارند (Lopez-Abente et al., 2001; Reynaud and Deschaux, 2006)، از طرفی آب‌های بوشهر یکی از مناطق مهم صید آبزیان خوراکی در خلیج فارس است، آگاهی از غلظت و منشأ PAHs در منطقه مذکور امری ضروری است.

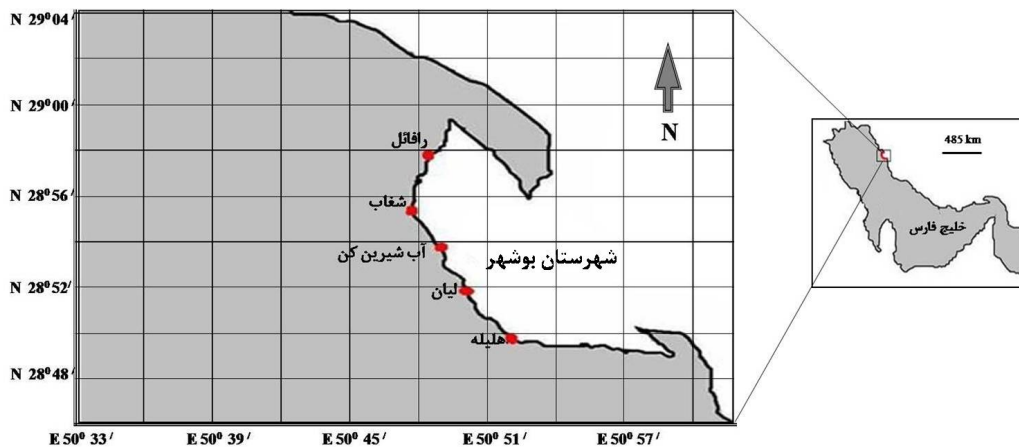
دوکفه‌ای *Barbatia helblingii* دارای پراکنش نسبتاً خوبی در سواحل بوشهر است و به بستر

1. Petrogenic
2. Pyrolytic

۲. مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از ۵ ایستگاه در طول ساحل بوشهر در مرداد ۱۳۸۷ انجام شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از هر ایستگاه ۳۰ نمونه صدف هم‌اندازه (با میانگین طولی ۳۵ میلی‌متر) برداشت شد. پس از جداسازی دوکفه‌ای‌ها با قلم و چکش از بستر صخره‌ای، نمونه‌ها درون فویل آلومینیوم قرار داده شدند و با یخدان محتوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند.

چسبیده است و از آنجا که گونه مناسبی برای پایش زیستی این ترکیبات در منطقه ساحلی بوشهر پیشنهاد شده است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۰)، اندازه‌گیری غلظت و نسبت ترکیبات PAHs در این موجود اطلاعات مفیدی درباره دسترسی زیستی و منشأ آلاینده‌های مذکور در منطقه مورد مطالعه در اختیار ما قرار می‌دهد. تحقیق حاضر به منظور مطالعه غلظت ترکیبات PAHs و منشأ این ترکیبات در سواحل بوشهر انجام شد.



شکل ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری از صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهر

شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم ۲ مولار به مخلوط اضافه شد و سوکسله به مدت ۲ ساعت دیگر ادامه داده شد. نمونه وارد قیف جداکننده شد ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۹۰ میلی‌لیتر هگزان نرمال به آن اضافه شد و به شدت تکان داده شد. سپس قیف روی پایه قرار داده شد تا دو فاز آلی و آبی کاملاً از هم جدا شدند. پس از جداسازی فاز آلی، عمل استخراج با دو قسمت ۵۰ میلی‌لیتری هگزان نرمال مجدداً روی فاز آبی انجام شد. فاز آلی جمع‌آوری شده از سه مرحله استخراج جمع‌آوری شد و با دستگاه

در آزمایشگاه بافت نرم هر دوکفه‌ای از صدف جداسازی شد. بافت‌های نرم هر ۶ صدف با هم مخلوط شدند و پس از خشک‌شدن با دستگاه خشک‌کن انجمادی به منظور استخراج و آنالیز PAHs استفاده شدند. برای هر یک از ایستگاه‌ها سه نمونه بافت نرم به روش فوق آماده شد (سه تکرار). حدود ۵ گرم از بافت خشک‌شده درون دستگاه سوکسله قرار داده شد و ۲۰۰ میلی‌لیتر متانول و ۱ میلی‌لیتر محلول دکاکلروباپنیل (۱۶ میکروگرم بر لیتر) به آن افزوده شد و به مدت ۱۶ ساعت سوکسله

همسان^۴ (دارای فرمول مولکولی یکسان) استفاده شد. بدین منظور ارتباط بین نسبت فناترن به آنتراسن، فلورانتن به پایرن، بنزو (a) آنتراسن به کرایسن، فناترن به فناترن+آنتراسن، فلورانتن به فلورانتن+پایرن، بنزو (a) آنتراسن به بنزو (a) آنتراسن+کرایسن، و نهایتاً نسبت ترکیبات سبک PAHs به ترکیبات سنگین PAHs بررسی شد. این مقادیر با معیار مقایسه شد و از نظر دو منشأ پایرولیتیک و پتروژنیک بررسی شد.

۳. نتایج

نتایج نشان داد غلظت tPAHs در ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشته است ($P < 0.05$). بالاترین غلظت tPAHs در صدف‌های جمع‌آوری‌شده از رافائل و کمترین غلظت ترکیبات فوق‌الذکر در صدف‌های آب‌شیرین‌کن سنجیده شد. غلظت ترکیبات مورد نیاز به منظور مطالعه منشأ همچنین، غلظت tPAHs در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. شکل‌های ۲ تا ۸ نسبت غلظت ترکیبات منتخب PAHs را در دو کفه‌ای *B. helblingii* در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

شکل ۲ نسبت غلظت Phe به Ant را نشان می‌دهد، نسبت مذکور به جز ایستگاه هلیله در سایر ایستگاه‌ها کمتر از ۱۰ بوده است.

شکل ۳ نسبت غلظت Flu به Pyr را نشان می‌دهد با توجه به شکل نسبت یادشده در صدف‌های جمع‌آوری‌شده از تمامی ایستگاه‌ها کمتر از ۱ است. نسبت BaA به Chry در ایستگاه لیان و هلیله کمتر از ۱ و در سایر ایستگاه‌ها بیشتر از ۱ بوده است (شکل ۴).

تبخیرکننده چرخان تغلیظ شد. پس از عبور نمونه از ستون پاک‌کننده حاوی پودر سیلیکا، پودر آلومینای آب‌زده، و سدیم سولفات مجدداً با دستگاه تبخیرکننده چرخان به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. نمونه درون ویال‌های مدرج قرار گرفت و پس از تبخیر کامل حلال، در یک میلی‌لیتر استونیتریل حل و به دستگاه HPLC^۱ تزریق شد (MOOPAM, 1999; US EPA, 1996).

برای آنالیز ترکیبات PAHs از روش شویش گرادپانی استفاده شد. بدین ترتیب که از دو فاز متحرک آب (۶۰ درصد) و استونیتریل (۴۰ درصد) با سرعت ۲ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. فاز متحرک در مدت ۲۰/۵ دقیقه به ۱۰۰ درصد استونیتریل تبدیل شد و تا زمان ۲۷/۵ دقیقه ادامه یافت و پس از این زمان تا زمان ۳۰ دقیقه مجدداً به شرایط اولیه (آب ۴۰ درصد و استونیتریل ۶۰ درصد) برگشت. کالیبراسیون دستگاه با محلول استاندارد PAH (Calibration Mix) با شماره کاتالوگ 47940-U محصول شرکت SUPELCO و محلول Decachlorobiphenyl با شماره کاتالوگ 48318 محصول شرکت SUPELCO به‌منزله جانشین PAHs انجام شد.

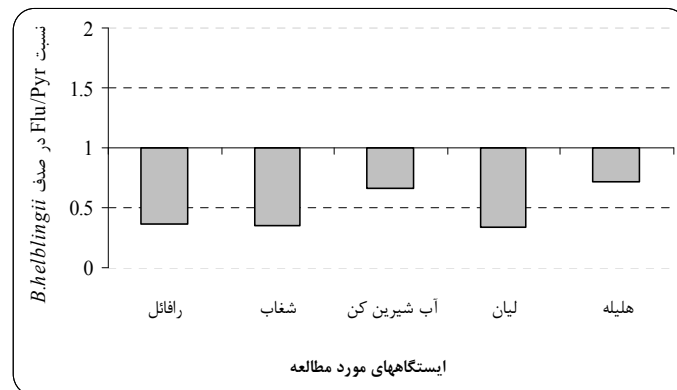
تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS 14 انجام شد. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از تست شپیرو ویلک^۲ استفاده شد. مقایسه غلظت PAHs در بافت نرم دوکفه‌ای در ایستگاه‌های مختلف با آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه^۳ انجام شد. به منظور تعیین منشأ PAHs در بافت نرم صدف از نسبت ترکیبات

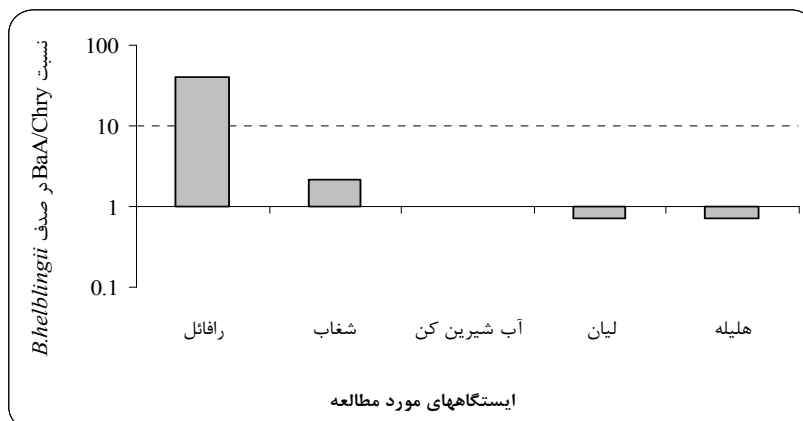
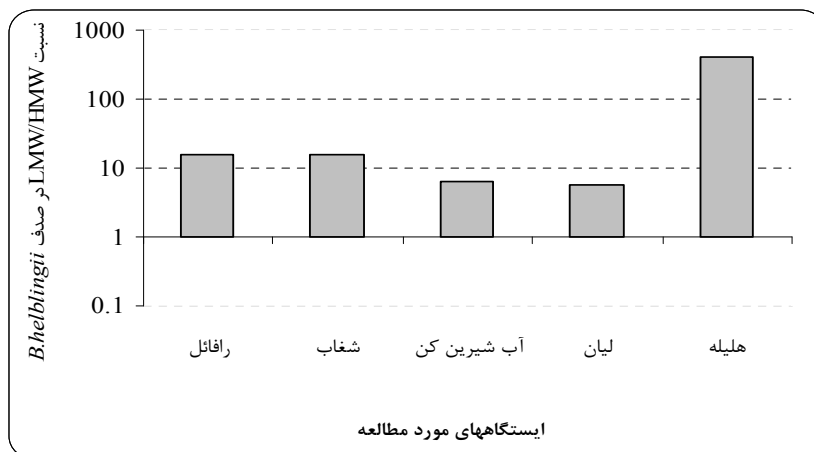
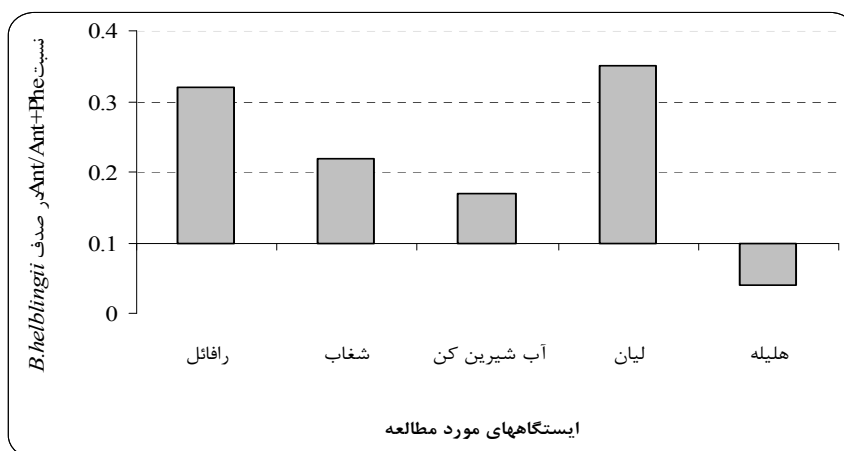
1. High Performance Liquid Chromatograph
2. Shapiro-Wilk
3. ANOVA

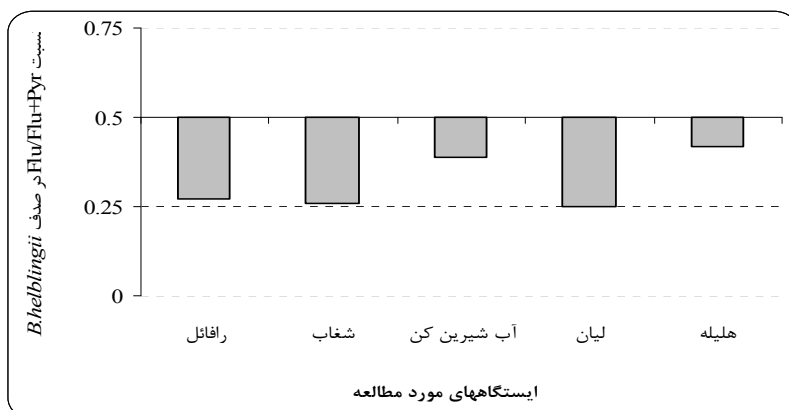
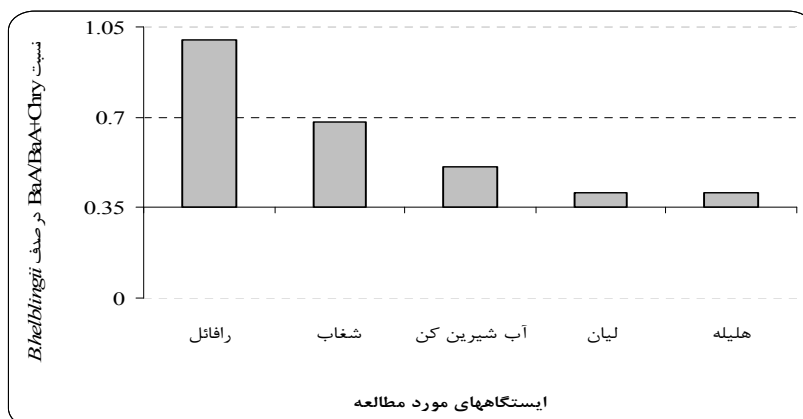
جدول ۱. غلظت ترکیبات PAHs در صدف *B. helblingii* در ساحل بوشهر

ایستگاه‌های مورد مطالعه					نام اختصاری	نام ترکیب
هللیه	لیان	آب شیرین کن	شغاب	رافائل		
۱۰۸/۳	۱۰۹/۵	۹/۰	۹۴/۰	۱۱۶/۸	Phe	فنانترن
۵/۰	۵۹/۵	۱/۹	۲۷/۷	۵۵/۵	Ant	آنتراسن
۷۱/۸	۳۳/۱	۱۱/۴	۳۸/۴	۵۵/۸	Flu	فلورانتن
۹۹/۱	۹۵/۵	۱۷/۲	۱۰۸/۱	۱۴۸/۷	Pyr	پایرن
۳۷/۴	۳/۳	۷/۹	۵۳/۰	۳۹/۳	BaA	بنزو (a) آنتراسن
۵۳/۳	۴/۶	۷/۵	۲۴/۰	ND	Chry	کرایسن
۴۱۵/۰	۳۸۴/۵	۱۱۲/۳	۴۴۸/۱	۵۹۶/۰	LMW	ترکیبات سبک
ND	۶۸/۰	۱۷/۳	۲۸/۶	۳۸/۷	HMW	ترکیبات سنگین
۴۱۴/۹	۴۵۲/۵	۱۲۹/۵	۴۷۶/۶	۶۳۴/۷	tPAHs	کل PAHs

ND: پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه.

شکل ۲. نسبت Phe/Ant در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهرشکل ۳. نسبت Flu/Pyr در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهر

شکل ۴. نسبت BaA/Chry در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهرشکل ۵. نسبت LMW/HMW در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهرشکل ۶. نسبت Ant/Ant+Phe در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهر

شکل ۷. نسبت Flu/Flu+Pyr در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهرشکل ۸. نسبت BaA/BaA+Chry در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهر

مذکور در تمامی ایستگاه‌ها بیش از ۱ بوده است. نسبت Ant به Ant+Phe در ایستگاه هلیله کمتر از ۰/۱ و در بقیه ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۱ بوده است (شکل ۶).

در شکل ۷ نسبت Flu به Flu+Pyr آمده است که این نسبت در صدف‌های همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از ۰/۵ بوده است. نسبت BaA به BaA+Chry نیز در صدف مورد مطالعه در همه ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۳۵ بوده است (شکل ۸).

نسبت LMW^۱ به HMW^۲ در شکل ۵ آمده است، LMW مجموع ترکیبات دو تا چهار حلقه‌ای شامل نفتالن، آسنتفن، آسنتیلن، فلورن، فنانترن، آنتراسن، فلورانتن، پیرن، بنزو (a) آنتراسن و کرایسن است. HMW مجموع ترکیبات ۵ و ۶ حلقه‌ای شامل بنزو (b) فلورانتن، بنزو (k) فلورانتن، بنزو (a) پیرن، دی بنزو (ah) آنتراسن، بنزو (ghi) پرین و ایندینوپیرن است. با توجه به شکل نسبت ترکیبات

1. Low molecular weight
2. High molecular weight

۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج، میانگین غلظت tPAHs در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهر ۴۲۱/۶ نانوگرم بر گرم بوده است. در مطالعات پیشین گزارش شده است که غلظت tPAHs در دوکفه‌ای *Solen roseomaculatus* در استان بوشهر ۳۵۴/۶۶ نانوگرم بر گرم (Arazm, 2010) و در صدف *Saccostrea cucullata* در سواحل استان بوشهر ۱۹۰/۳۳ نانوگرم بر گرم (Mirza et al., 2011) بوده است. همچنین، غلظت این ترکیبات در دوکفه‌ای *Circentia callipyga* در سواحل قطر ۱۰۵ نانوگرم بر گرم و دوکفه‌ای *Saccostrea cucullata* در سواحل عمان ۶۶ نانوگرم بر گرم بوده است (Tolosa et al., 2005)، در صدف *Crassostrea Virginia* در خلیج موبیل، آلباما ۳۱۲ نانوگرم بر گرم (Peachey, 2003)، در دوکفه‌ای *Mytilus galloprovincialis* در دریای مدیترانه سواحل اسپانیا و فرانسه ۹۸/۸ نانوگرم بر گرم (Bumard et al., 1998b)، در صدف *Crassostrea.sp* خلیج بیساک ۵۲۴ نانوگرم بر گرم (Cortazar et al., 2008) و در صدف *Ostrea edulis* در لبنان ۱۲۵ نانوگرم بر گرم (وزن تر) (Kelly et al., 2008) بوده است. مقادیر یافته شده در این تحقیق نسبت به موارد ذکر شده تا حدودی زیاد است که بر این اساس صدف‌های مورد مطالعه را می‌توان نسبتاً آلوده برآورد کرد. این یافته مبین آن است که دسترسی زیستی PAHs در منطقه مورد مطالعه نسبتاً بالاست. دوکفه‌ای‌ها علاوه بر آنکه در بسیاری از کشورها خود از آبزیان مهم شیلاتی به شمار می‌روند در زنجیره‌های غذایی دریایی نیز نقش

مهمی را در تغذیه سایر آبزیان از جمله ماهی‌ها ایفا می‌کنند (Shumway et al., 2003). بنابراین، آلودگی منطقه علاوه بر آنکه ممکن است ماهی‌ها و آبزیان خوراکی را مستقیماً تحت تأثیر قرار دهد، از طریق دوکفه‌ای‌ها نیز ممکن است وارد زنجیره غذایی دریایی شود که نهایتاً ممکن است انسان را نیز متأثر کند. با این توضیح آلودگی سایر آبزیان شیلاتی ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز غیر محتمل نیست که توصیه می‌شود در تحقیقات مورد توجه قرار گیرند.

بیشترین غلظت tPAHs در رافائل و کمترین غلظت ترکیبات مذکور در آب شیرین کن بوده است. ایستگاه رافائل علاوه بر هم‌جواری با اسکله‌های ماهی‌گیری و حمل و نقل دریایی محل تخلیه حجم زیادی از فاضلاب شهری است؛ در حالی که، ایستگاه آب شیرین کن از اسکله‌ها دور است و فاضلاب مشخصی به این مکان وارد نمی‌شود.

از آنجا که مقادیر tPAHs در منطقه مورد مطالعه نسبتاً زیاد بوده است، منشأ ورود این ترکیبات به منطقه بررسی شده است. با توجه به نتایج نسبت فنانترن به آنتراسن در تمامی ایستگاه‌ها کمتر از ۱۰ و در هلیله بیشتر از ۱۰ بوده است. در نسبت‌های کمتر از ۱۰ این ترکیبات منشأ پیرولیتیک و در نسبت‌های بیشتر از ۱۰ منشأ پتروژنیک شناخته می‌شود (Wu et al., 2008; Gaspard et al., 2003). مطالعه غلظت فلورانتن به پیرن نشان داد که تمامی ایستگاه‌ها منشأ پتروژنیک دارند. در جدول ۲ ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر منشأ PAHs با توجه به نسبت ترکیبات منتخب PAHs در صدف *B. helblingii* تقسیم‌بندی شده‌اند. با توجه به این جدول ایستگاه‌های رافائل، شغاب، آب شیرین کن، و لیان آلودگی PAHs را از هر

PAHs در منطقه مورد مطالعه با سایر نقاط دنیا مقایسه شده است. با توجه به جدول، شرایط سواحل بوشهر از نظر منشأ دریافت PAHs مشابه دریای مدیترانه است.

با توجه به جدول ۲ آلودگی PAHs وارد شده به ایستگاه هلیله فقط از منابع پتروژنیک است. گرچه این ایستگاه از شهر دور است و تحت تأثیر فاضلاب و یا آلودگی‌های واردشونده از طریق روان آب نیست، به هر حال از آلودگی‌های دریایی خلیج فارس و بوشهر (نفت) مصون نمانده است.

دو منبع پایرولیتیک و پتروژنیک دریافت می‌کنند. با این تفاوت که سهم منابع پتروژنیک در آلودگی این ایستگاه‌ها بیش از منابع پایرولیتیک است. ایستگاه‌های مذکور تحت تأثیر حمل و نقل دریایی و فعالیت‌های وابسته به نفت که در خلیج فارس انجام می‌شود قرار دارند که باعث دریافت PAHs از منابع پتروژنیک می‌شوند. از آنجا که این سواحل هم‌جوار با شهر و فعالیت‌های وابسته به آن قرار دارند، تا حدودی نیز تحت تأثیر PAHs پایرولیتیک ناشی از احتراق سوخت قرار می‌گیرند که پس از ته‌نشست با روان آب و فاضلاب وارد دریا می‌شوند. در جدول ۳ منشأ

جدول ۲. تقسیم‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر منشأ PAHs بر اساس نسبت ترکیبات مختلف PAHs

نسبت‌های مولکولی	معیار تعیین منشأ		تقسیم‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به معیار	
	پتروژنیک	پایرولیتیک	پتروژنیک	پایرولیتیک
۱Phe/Ant	۱۰ <	۱۰ >	۵	۱،۲،۳،۴
۲Flu/Pyr	۱ >	۱ <	* ۱،۲،۳،۴،۵	
۳BaA/Chry	۱ >	۱ <	۴و۵	۱،۲،۳
۴LMW/HMW	۱ <	۱ >	۱،۲،۳،۴،۵	
۵Ant/Ant+Phe	۰/۱ >	۰/۱ <	۵	۱،۲،۳،۴
۵Flu/Flu+Pyr	۰/۵ >	۰/۵ <	۱،۲،۳،۴،۵	
۶BaA/BaA+Chry	۰/۳۵ <	۰/۲ >	۱،۲،۳،۴،۵	

* شماره ایستگاه‌ها: ۱: ایستگاه رافائل، ۲: ایستگاه شغاب، ۳: ایستگاه آب‌شیرین‌کن، ۴: ایستگاه لیان و ۵: ایستگاه هلیله.

- ۱: Tam et al, 2001; Wu et al, 2003; Gaspare *et al*, 2008
 ۲: Webster et al, 2002; Gaspare et al, 2008; Wu *et al*, 2003
 ۳: Dickhut et al, 2000; Priccardo et al, 2001; Baumard *et al*, 1999
 ۴: Baumarrd et al, 1999; Gaspare et al, 2008; Fang *et al*, 2009
 ۵: Mille et al, 2007; Cortazar *et al*, 2008
 ۶: Cortazar et al, 2008; Yunker et al, 2002; Mille *et al*, 2007

جدول ۳. مقایسه منشأ PAHs در سواحل بوشهر با منشأ PAHs در سایر نقاط جهان

منطقه مورد مطالعه	منشأ PAHs در رسوبات	منبع
ساحل رافائل	پتروژنیک - پایرولیتیک	مطالعه حاضر
ساحل شغاب	پتروژنیک - پایرولیتیک	مطالعه حاضر
ساحل آب شیرین کن	پتروژنیک - پایرولیتیک	مطالعه حاضر
ساحل لیان	پتروژنیک - پایرولیتیک	مطالعه حاضر
ساحل هلیله	پتروژنیک	مطالعه حاضر
شمال دریای ایرلند	پایرولیتیک	Guinan et al., 2001
غرب دریای مدیترانه	پتروژنیک - پایرولیتیک	Baumard et al., 1998a
خلیج Meiliang از چین	پایرولیتیک	Qiao et al., 2003
مصب رودخانه Pearl در چین	پایرولیتیک	Liu et al., 2005
استان بوشهر	پتروژنیک - پایرولیتیک	Mirza et al., 2011

سلامتی انسان و آبزیان، مطالعات پایش زیستی و اندازه‌گیری غلظت PAHs در سایر آبزیان، به‌خصوص گونه‌های خوراکی در آب‌های بوشهر، ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که بخش زیادی از PAHs در ساحل بوشهر از منابع پتروژنیک منشأ می‌گیرد ضروری است کنترل بیشتری بر تخلیه و بارگیری نفت، خطوط انتقال نفت و گاز، و حمل و نقل دریایی انجام گیرد. با توجه به اینکه به نظر می‌رسد بخشی از PAHs پایرولیتیک موجود در سواحل بوشهر از فعالیت‌های شهری وارد محیط دریا می‌شود، رعایت قوانین محیط زیست شهری مانند کنترل خروجی فاضلاب و دودکش صنایع، فاضلاب شهری، یا حتی سیاست‌های راهبردی در بخش حمل و نقل شهری نیز تا حدودی در کاهش ورود PAHs به محیط زیست ساحلی بوشهر مؤثر است.

یکی از اهداف شیلات در کشورهای هم‌جوار دریا، توسعه صنعت آبی‌پروری در آب‌های ساحلی است. تعیین محل مناسب به منظور احداث مزارع پرورشی، مراکز تکثیر، و استحصال آب دریا اولین قدم این کار محسوب می‌شود. ایستگاه‌ها یا مناطقی که هیدروکربن‌های با منشأ پایرولیتیک بیشتری دریافت می‌کنند بیشتر تحت تأثیر آلودگی انسان‌ساخت قرار دارند. علاوه بر آن، ترکیبات پایرولیتیک درشت مولکول‌اند و سرطان‌زایی بیشتری دارند. گرچه منشأ همه هیدروکربن‌های نفتی در هلیله از نوع پتروژنیک است، اما ایستگاه آب شیرین کن به علت غلظت کمتر و دسترسی زیستی پایین آلاینده‌ها محل مناسبی برای توسعه فعالیت‌های آبی‌پروری است.

با توجه به غلظت نسبتاً بالای PAHs در منطقه مورد مطالعه و از طرفی تأثیرات سوء PAHs در

References

- [1]. Akcha, F., Izuel, C., Venier, P., Budzinski, H., Burgeot, T., Narbonne, J., 2000. Enzymatic biomarker measurement and study of DNA adduct formation in benzo. *Aquatic Toxicology* 49, 269–287.
- [2]. Arazm, 2010, Investigation on polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and Razor clam (*Solen roseomaculatus*) from Bushehr coast as indication of oil pollution, M.Sc thesis, Khorramshahr University of marine science and Technology, 78pp.
- [3]. Baumard, P., Budzinski, H., Michon, Q., Garrigues, P., Burgeot T., Bellocq, J., 1998a. Origin and bioavailability of PAHs in the Mediterranean sea from mussel and sediment records. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47, 77-90.
- [4]. Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J.C., Burgeot, T., Bellocq, J., 1998b. Concentration of PAH in various marine organisms in relation to those in sediments to trophic level. *Marine Pollution Bulletin* 36, 951-960.
- [5]. Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Narbonne, J. F., Burgeot, T., Michel, X., Bellocq, J., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) burden of mussels (*mytilus* SP.) in different marine environments in relation with sediment PAH contamination and bioavailability. *Marine Environmental Research* 47, 415-439.
- [6]. Cortazar, E., Bartolomé, L., Arrasate, S., Usobiaga, A., Raposo, J.C., Zuloaga, O., Etxebarria, N., 2008. Distribution and bioaccumulation of PAHs in the UNESCO protected natural reserve of Urdaibai, Bay of Biscay. *Chemosphere* 72, 1467–1474.
- [7]. Dickhut, R.M., Canuel, E.A., Gustafson, K.E., Liu, K., Arzayus, K.M., Walker, S.E., Edgecombe, G., Gaylor, M.O., MacDonald, E.H., 2000. Automatic sources of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons associated with particulate matter in the Chesapeake Bay region. *Environmental Science and Technology* 34, 4635–4640.
- [8]. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1996. Method 3540C, Soxhlet Extraction. 8pp.
- [9]. Fang, J. K. H., Au, D. W.T., Wu, R. S. S., Zheng, G. J., Chan, A. K. Y., Lam, P. K. S., Shin, P. K. S., 2009. Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in green-lipped mussel *perna viridis* from Victoria Harbour, Hong Kong and possible human health risk. *Marine Pollution Bulletin* 58, 601-634.
- [10]. Gaspare, L., Machiva, J. F., Mdachi, S. J. M., Streck, G., Brack, W., 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination of surface sediments and oysters from the inter-tidal areas of Dar es Salaam, Tanzania. *Environmental Pollution* 20, 1-11.
- [11]. Guinan, J., Charlesworth, M., Service, M., Oliver, T. 2001. Sources and geochemical constraints of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments and mussels of two northern Irish Sea-loughs. *Marine Pollution Bulletin* 42(11): 1073-1081.
- [12]. Kelly, C., Santillo, D., Johnston, P., Fayad, Ghalia., L. Baker, K., J. Law, R., 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in oysters from coastal waters of the Lebanon 10 months after the Jiyeh oil spill in 2006. *Marine Pollution Bulletin* 56, 1215–1233.

- [13]. Liu, G. Q., Zhang, G., Li, X. D., Li, J., Peng, X. Z. and Qi, S. H., 2005. Sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment core from the Pearl River estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin* 51, 912-921.
- [14]. Lopez-Abente, G., Sanz-Anquela, J.M., Gonzalez, C.A., 2001. Consumption of wine stored in leather wine bottles and incidence of gastric cancer. *Archives Environmental Health* 56, 559-561.
- [15]. Mahmoudi, m., Safahieh, A.R., Nikpour, Y., Ghanemi, K., 2011. Evaluation of Ark clam (*Barbatia helblingii*) as biomonitor agent for PAHs contamination in coastal area of Bushehr. *Journal of Environmental studies* 58, 141-148.
- [16]. Manoli, E., samara, C., konstantinou, I., Albanis, T., 2000. Pollution survey of polycyclic aromatic hydrocarbons in the bulk precipitation and surface waters of northern Greece. *Chemosphere* 41, 1845- 1855.
- [17]. Mille, G., Asia, L., Guiliano, M., Malleret, L., Doumenq, P., 2007. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin* 54, 566-575.
- [18]. Mirza, R., Mohammadi, M., Dadolahi Sohrab, A., Safahieh, A., Savari, A., Hajeb, P., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater, sediment and rock oyster (*Saccostrea Cucullata*) from the northern part of the Persian Gulf (Bushehr Province). *Water, Air & Soil Pollution* 223, 189-198.
- [19]. MOOPAM, 1999. Standard methods for chemical analysis of petroleum hydrocarbons, Regional organization for the protection of marine environment. Third addition. Kuwait.
- [20]. Peachey, R.B.G., 2003. Tributyltin and polycyclic aromatic hydrocarbon levels in Mobile Bay, Alabama: A review. *Marine Pollution Bulletin* 46, 1365-1371.
- [21]. Piccardo, M. T., Coradeghini, R. and Valerio, F., 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in native and caged mussels. *Marine Pollution Bulletin* 42, 951-956.
- [22]. Qiao, M., Wang, C., Huang, S., Wang, D. and Wang, Z., 2003. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Environment International* 32, 28-33.
- [23]. Restrepo, B.J., Verbel, J.V., Lu, Sh., Ferná'ndez, J.G., Avila, R.B., Hoyos, I.O., Aldous, K.M., Addink, R., Kannan, K., 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in fish bile and sediments from coastal waters of Colombia. *Environmental Pollution* 151, 452-459.
- [24]. Reynaud, S., Deschaux, P., 2006. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the immune system of fish: a review. *Aquatic Toxicology* 77(2): 229-38.
- [25]. Soclo, H.H., Garrigues, P.H., Ewald, M., 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Marine Pollution Bulletin* 40, 387-396.
- [26]. Tam, N. F. Y., Ke, L., Wang, X. H. and Wong, Y. S., 2001. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamp. *Environmental Pollution* 114, 255-263.

- [27]. Tolosa, I., Mora, S.I., Fowler, S.W., Villeneuve, J.P., Bartocci, J., Cattini, 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.
- [28]. Webster, L., McIntosh, A. D., Dalgarno, E. J., Megginson, C., Shepherd, N. J., Moffat, C. F., 2002. The Polycyclic aromatic hydrocarbon composition of mussels (*Mytilus edulis*) from Scottish coastal waters. *Environmental Monitoring* 5, 150-159.
- [29]. Wu, Y., Zhang, J., Zhu, Z., 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Yalujiang Estuary, North China. *Marine Pollution Bulletin* 46, 619-625.
- [30]. Yunker, M.B., Backus, S.M., Pannatier, E.G., Jeffries, D.S., Macdonald, R.W., 2002. Sources and significance of alkane and PAH hydrocarbons in Canadian Arctic rivers. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 55, 1-31.
- [31]. Shumway, S., Davis, CH., Downey, R., Karney, R., Kraeuter, J., Parsons, J., Rheault, R., Wikfors, G., 2003. Shellfish aquaculture in praise of sustainable economies and environments. *World Aquaculture* 34(4):15-17.