

مطالعه الگوی تغلیظ زیستی (BCF) و تجمع زیستی (BAF) ترکیبات

آروماتیک در صدف تابوت موجدار

معصومه محمودی^{۱*}، علیرضا صفاهیه^۲

۱- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی دورود

۲- عضو هیئت علمی گروه زیست دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

(تاریخ دریافت ۹۳/۰۳/۰۷ - تاریخ پذیرش ۹۵/۰۳/۱۲)

چکیده

فاکتورهای تجمع زیستی (BAF)، تغلیظ زیستی (BCF) و بزرگنمایی زیستی (Biomagnification) به منظور ارزیابی خطر اکولوژیکی آلاینده ها مورد مطالعه قرار می گیرند. از آنجا که دوکفه ای ها پایشگرهای زیستی خوبی هستند این موجودات می توانند گزینه های مناسبی نیز برای مطالعه تجمع زیستی و تغلیظ زیستی آلاینده ها در سواحل باشند. سواحل خلیج فارس به خصوص استان بوشهر به دلیل حمل و نقل دریایی، ورود فاضلاب شهری و صنعتی، سکوها و پایانه های نفتی همواره در معرض آلاینده هایی مانند ترکیبات PAHs است. ترکیبات PAHs اثرات مضر بسیاری بر موجودات دارند. مطالعه حاضر به منظور بررسی الگوی جذب، تجمع و تغلیظ این ترکیبات در صدف تابوت موجدار در سواحل بوشهر انجام شد. بدین منظور نمونه برداری از صدف مذکور، رسوبات و آب دریا در پنج ایستگاه مختلف در سواحل بوشهر انجام شد. پس از هضم و استخراج PAHs نمونه ها توسط حلال های آلی، مقادیر PAHs آنها توسط دستگاه HPLC(KANUER) اندازه گیری شدند. بطور کلی میانگین غلظت PAHs در آب ۱۷/۱۴ میکروگرم بر لیتر و رسوب و صدف به ترتیب ۲۸۶۶/۵۲، ۴۱۲/۷۰ نانوگرم بر گرم (وزن خشک) بود. متوسط میزان تغلیظ زیستی این آلاینده ها ۲۶/۳۱ و میزان تجمع زیستی ۰/۱۴ بود. نتایج نشان داد غلظت ترکیبات ۳ حلقه ای در آب و صدف و ترکیبات ۵ و ۶ حلقه ای در رسوب بیش تر بوده است. فاکتور تجمع زیستی (BAF) ترکیبات ۳ حلقه ای در صدف مورد مطالعه بیش تر از ترکیبات ۴ حلقه ای بوده است. در حالی که فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) ترکیبات ۴ حلقه ای بیش از ترکیبات ۳ حلقه ای بوده است. همبستگی معنی داری بین $\log_{10} K_{ow}$ و BAF ترکیبات PAHs در صدف تابوت موجدار مشاهده شد ($P < 0.05$). به نظر میرسد شرایط محیطی، منابع PAHs و مسیر جذب ترکیبات مذکور از عوامل تأثیر گذار بر مقادیر BAF و BCF باشند.

کلید واژگان: تغلیظ زیستی، تجمع زیستی، جذب، صدف تابوت موجدار

۱. مقدمه

دهند که منجر به ایجاد عوارض منفی آلاینده در موجودات سطوح مختلف تغذیه می‌گردد (Zeeman, 1995).

گروهی از آلاینده ها که گسترش وسیعی نیز در محیط‌های دریایی دارند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) می‌باشند. این ترکیبات باعث ایجاد اثرات بیولوژیکی مخرب متعددی در گونه های مختلف جانداران می‌شوند، اثر بر روی بقاء، رشد و متابولیسم و تشکیل تومور (Eisler, 1987) و اختلال غدد درون ریز ماهی ها (Fossi & Marsili, 2003) از عوارض سوء ترکیبات مذکور می‌باشد.

سواحل خلیج فارس به خصوص استان بوشهر به دلیل حمل و نقل دریایی، ورود فاضلاب شهری و صنعتی، سکوها و پایانه های نفتی همواره در معرض آلاینده ها بویژه آلاینده های نفتی و هیدروکربوری است. موارد ذکر شده از عوامل عمده ورود هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) به محیط های دریایی می‌باشند (Albers, 2003).

نرمتنان و دو کفه ای ها فاقد سیستم کار آمدی (MFO^۴) جهت متابولیسم آلاینده ها هستند از جمله توانایی پایین آنها در متابولیسم PAHs نسبت به ماهی‌ها و دیگر آبزیان می‌باشد (Varanasi et al., 1989). دو کفه ای ها به علاوه به دلیل تحرک اندک و تغذیه فیلتری در مطالعات تجمع زیستی آلودگی PAHs در سواحل استفاده وسیعی دارند (Hass & Murphy, 2003).

صدف تابوت موجدار (*Barbatiahelblingii*)

تجمع آلاینده های محیط زیستی در جانداران هر اکوسیستم به وسیله محاسبه نسبت‌های مختلف آنها در محیط و بدن موجودات زنده بررسی می‌شود. فاکتور تغلیظ زیستی یکی از این نسبت‌ها می‌باشد که جذب مستقیم (غیر از تغذیه) ترکیبات شیمیایی توسط موجود زنده از طریق آب پیرامون موجود زنده را نشان می‌دهد و به آن BCF^۱ گفته می‌شود. مقدار آن از نسبت غلظت آلاینده در بدن موجود زنده به غلظت آلاینده در آب پیرامون موجود زنده به دست می‌آید. فاکتور تجمع زیستی BAF^۲ جذب ترکیبات یا آلاینده ها در موجود زنده از طریق تغذیه از غذا یا آب پیرامون می‌باشد. در مطالعه آلاینده ها در موجودات دریایی به آن BSAF^۳ نیز گفته می‌شود و مقدار آن از نسبت غلظت آلاینده در موجود زنده به غلظت آن در رسوبات محاسبه می‌گردد. بزرگنمایی زیستی *Biomagnifications* افزایش غلظت آلاینده ها را در طول زنجیره غذایی نشان می‌دهد و تفاوت آن با دو مورد دیگر در این است که BCF و BAF تغلیظ و تجمع آلاینده ها فقط در یک موجود است (Barron, 2003). از فاکتورهای ذکر شده می‌توان جهت ارزیابی تهدید اکولوژیکی آلاینده ها استفاده نمود. بدین ترتیب که آلاینده هایی که دارای BCF و BAF بالایی هستند می‌توانند *Biomagnifications* داشته و ضمن انتقال در زنجیره غذایی غلظت‌های بالایی را نیز از خود بروز

1-Bio concentration factor

2-Bio accumulation factor

3-Biota sediment accumulation factor

4-Mixed Function Oxidize

شده توسط حلال متانول (۲۰۰ میلی لیتر) و به روش سوکسله و استخراج آن توسط حلال هگزان با استفاده از قیف جداکننده انجام شد. استخراج PAHs رسوبات نیز توسط سیستم سوکسله و حلال های هگزان و دی کلرومتان به نسبت های (۵۰:۵۰) انجام شد (MOOPAM, 1999; EPA, 1996).

محتوای PAHs نمونه های آب دریا نیز توسط ۲۰ میلی لیتر حلال هگزان به روش Liquid- Liquid extraction توسط قیف جدا کننده انجام شد (Tsapakiset et al., 2003).

از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا HPLC مجهز به آشکارساز UV و ستون ویژه آنالیز ترکیبات PAHs (فاز معکوس) به منظور آنالیز و سنجش ترکیبات مذکور استفاده شد. از محلول استاندارد PAH Mix با شماره (47940-U) و محلول استاندارد دکاکلروبایفنیل (48318) جهت کالیبراسیون دستگاه استفاده شد.

پس از اندازه گیری ترکیبات PAHs مجموع غلظت ترکیبات ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵+۶ حلقه ای در آب، رسوب و صدف محاسبه شد. جهت محاسبه فاکتور تجمع زیستی BAF از فرمول شماره ۱ (Bervoetset al., 2005) استفاده شد.

فرمول شماره ۱:

$$BAF = \frac{\text{غلظت PAHs در صدف}}{\text{غلظت PAHs در رسوب}}$$

فاکتور تغلیظ زیستی BCF توسط فرمول شماره ۲ (Chiou, 2002) محاسبه شد.

فرمول شماره ۲:

$$BCF = \frac{\text{غلظت PAHs در صدف}}{\text{غلظت PAHs در رسوب}}$$

از ردهی دوکفه ای و صافی خوار است. گونه مذکور روی زیستگاه های با بستر سخت نظیر صخره های مرجانی سازگاری یافته اند (Ruppert et al., 2004) و دارای ارزش اقتصادی و خوراکی است. در خلیج فارس در بسترهای صخره ای و شنی در بخش پایین ناحیه جزر و مدی زیست می کند، بنابراین مدت زیادی در تماس با آب می باشد هم چنین صدف مذکور پراکنش قابل توجهی در سواحل خلیج فارس و بوشهر دارد. با توجه به ویژگی های صدف تابوت موجدار و از طرفی آلودگی سواحل بوشهر به PAHs گونه مذکور می تواند گزینه مناسبی جهت مطالعه PAHs در منطقه بوشهر باشد. مطالعه حاضر به منظور بررسی الگوی تجمعی این ترکیبات در صدف مذکور انجام شد.

۲. مواد و روش ها

نمونه برداری از صدف (هم اندازه)، رسوبات (سطحی) و آب دریا (نیم متری زیر سطح آب) در مرداد ماه ۱۳۸۷ از ۵ ایستگاه در طول ساحل بوشهر انجام شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری را نشان می دهد.

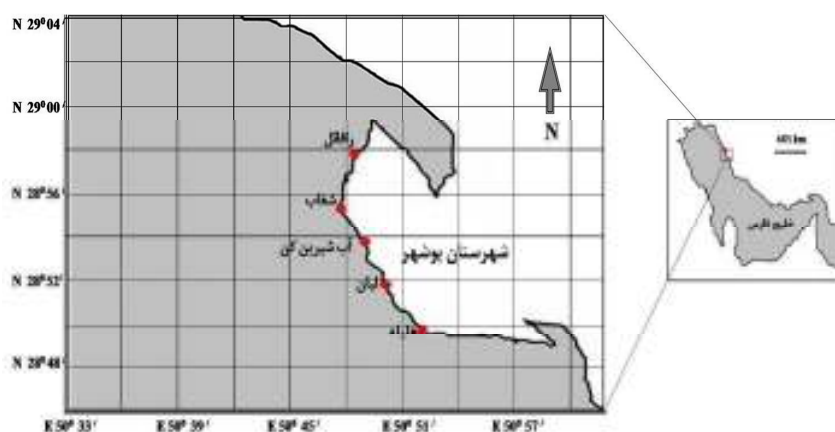
پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، پوسته صدف ها را جدا نموده و بافت نرم صدف ها هموژنایز و سپس توسط دستگاه خشک کن انجمادی خشک شدند. پس از جداسازی مواد زائد از نمونه های رسوب، این نمونه ها نیز توسط دستگاه خشک کن انجمادی خشک شدند (Cortazaret et al., 2008).

هضم PAHs از بافت از ۵ گرم بافت خشک

به PAHs در صدف در هر ایستگاه از آزمون همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی استفاده شد. از مقدار ضرایب همبستگی و شیب خط مربوطه جهت تعیین نحوه دستیابی صدف مورد مطالعه به ترکیبات PAHs استفاده شد.

غلظت PAHs در آب دریا

ضریب تفکیک اکتانول/آب (K_{ow}) برای تخمین پتانسیل شیمیایی یک ماده شیمیایی آلی برای حرکت از آب به چربی به کار می‌رود و با افزایش غلظت در موجودات آبی همبستگی دارد. جهت تعیین ضریب همبستگی میان $\log k_{ow}$ و BAF مربوط



شکل ۱- ایستگاه های نمونه برداری صدف تابوت موجدار، رسوبات و آب دریا در ساحل بوشهر

می‌دهد. با توجه به جدول غلظت ترکیبات ۳ حلقه ای در آب و همچنین صدف مورد مطالعه بیش‌تر از ترکیبات ۴ حلقه ای و غلظت ترکیبات ۴ حلقه ای بیش‌تر از ترکیبات ۵+۶ حلقه ای بود. به جز ایستگاه هلیله که در صدف های این ایستگاه غلظت ترکیبات ۴ حلقه ای بیش از ترکیبات ۳ حلقه ای بود. در رسوبات برخلاف آب و صدف به طور کلی غلظت ترکیبات ۵ و ۶ حلقه ای بیش‌تر بود. استثنائی که در این مورد وجود داشت ایستگاه آب شیرین کن و هلیله بود که غلظت ترکیبات ۴ حلقه ای در رسوبات آنها بیش‌تر از سایر ترکیبات بود.

۳. نتایج

تعداد ۱۵ ترکیب PAHs شامل آسنفتیلن، آسنفتن، فلورن، فنانترن، آنتراسن (ترکیبات ۳ حلقه ای) - فلورانتن، پیرن، بنزو (a) آنتراسن و کرایسن (ترکیبات ۴ حلقه ای) - بنزو (b) فلورانتن، بنزو (k) فلورانتن، بنزو (a) پیرن، دی بنزو (a,h) آنتراسن، بنزو (g,h,i) پرین و ایندینوپیرن (ترکیبات ۵ و ۶ حلقه ای) آنالیز و اندازه گیری شدند.

جدول ۱ غلظت مجموع ترکیبات ۳، ۴، ۵+۶ حلقه ای و tPAHs (مجموع PAH) را در آب، رسوب و بافت نرم صدف در ایستگاه های مورد مطالعه نشان

مطالعه الگوی تغلیظ زیستی (BCF) و تجمع زیستی (BAF)...

جدول ۱- غلظت ترکیبات PAHs در آب، رسوب و صدف در ایستگاه های مورد مطالعه

نام ایستگاه	زمینه مورد مطالعه	ترکیبات PAHs		
		حلقه ۳	حلقه ۴	حلقه ۵+۶
رافائل	آب	۲۵/۰۹	۵/۹۴	ND
	رسوب	۱۱۲۳/۰	۱۶۲۴/۴	۲۰۴۲/۰
	صدف	۳۵۲/۲	۲۴۳/۸	۳۸/۷
شغاب	آب	۱۲/۵	۸/۴	ND
	رسوب	۵۰۴/۰	۸۸۵/۰	۱۶۸۹/۴
	صدف	۲۲۴/۶	۲۲۳/۵	۲۸/۶
آب شیرین کن	آب	۳/۶	۰/۴	ND
	رسوب	۲۶۲/۶	۳۴۳/۸	۲۳۸/۵
	صدف	۶۸/۲	۴۴/۰	۱۷/۳
لیان	آب	۱۳/۱	۲/۸	۱/۵
	رسوب	۱۱۲۵/۹	۸۳۹/۰	۱۰۲۳/۲
	صدف	۲۴۸/۰	۱۳۶/۵	۶۸/۰
هلپله	آب	۸/۳	۳/۶	۰/۴
	رسوب	۶۱۳/۹	۱۲۹۸/۵	۵۱۸/۳
	صدف	۱۵۳/۴	۲۱۶/۶	ND
میانگین	آب	۱۲/۵۲	۴/۲۲	۰/۳۸
	رسوب	۵۲۴/۲۸	۹۹۸/۱۴	۱۱۰۲/۲۸
	صدف	۲۰۹/۲۸	۱۷۲/۸۸	۳۰/۵۲

بیشتر ۵+۶ حلقه ای بود. مقادیر BCF ۴ حلقه ای به ترتیب از بیشترین به کمترین در ایستگاه های آب شیرین کن، هلپله، لیان، رافائل و شغاب بود. همچنین بیشترین مقادیر BCF کل (محاسبه شده برای tPAHs) به ترتیب در ایستگاه های آب شیرین کن، هلپله، لیان، شغاب و رافائل مشاهده شد.

همبستگی مستقیم و معنی داری میان غلظت ترکیبات PAHs در صدف و فاکتور تجمع زیستی آنها مشاهده شد ($P < 0.05$, $R = 0.74$). حال آنکه چنین ارتباطی در مورد فاکتور تغلیظ زیستی BCF مشاهده نشد.

نتایج محاسبه فاکتور تجمع زیستی BAF و تغلیظ زیستی BCF در صدف تابوت موجدار در ایستگاه های مورد مطالعه در سواحل بوشهر در جدول ۲ آمده است. با توجه به جدول مقادیر BCF بیشتر از BAF بود. BAF محاسبه شده برای ترکیبات ۳ حلقه ای بیشتر از ترکیبات ۴ حلقه ای و BAF ترکیبات ۴ حلقه ای بیشتر از ۵+۶ حلقه ای بود. BAF ترکیبات ۵+۶ حلقه ای ناچیز بود. BCF محاسبه شده برای ترکیبات ۴ حلقه ای بیشتر از ترکیبات ۳ حلقه ای و BCF ترکیبات ۳ حلقه ای

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۷۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

جدول ۲- مقادیر BCF و BAF ترکیبات PAHs در صدف تابوت موجودار در ایستگاه های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	فاکتورمورد مطالعه	ترکیبات PAHs		
		حلقه ۳	حلقه ۴	حلقه ۵+۶
رافائل	BCF	۱۴/۰۳	۴۱/۰۴	-
	BAF	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۱۲
شغاب	BCF	۱۷/۹۶	۲۶/۶	-
	BAF	۰/۴۴	۰/۲۵	۰/۱۵
آب شیرین کن	BCF	۱۸/۹۴	۱۱۰	-
	BAF	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۱۴
لیان	BCF	۱۸/۹۳	۴۸/۷۵	-
	BAF	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۵
هلپله	BCF	۱۸/۴۰	۶۰/۱۶	-
	BAF	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۵

توجه به جدول بیشترین همبستگی مربوط به ایستگاه شغاب و رافائل بود. همبستگی بین فاکتور تجمع زیستی PAHs و $\log k_{ow}$ در دو ایستگاه آب شیرین کن و لیان معنی دار نبود. با توجه به جدول ضریب همبستگی و شیب خط در ایستگاه رافائل و شغاب زیاد و در ایستگاه آب شیرین کن و لیان کم شده و در ایستگاه هلپله مجدداً زیاد شد.

نتایج نشان داد همبستگی معکوس و معنی داری میان تجمع زیستی PAHs در صدف $\log k_{ow}$ و *B. helblingii* وجود دارد ($P < 0.05$). مقادیر همبستگی مذکور در ایستگاه های مختلف متفاوت بود. نتایج مربوط به معادله رگرسیون و همبستگی میان تجمع زیستی PAHs و $\log k_{ow}$ در هر ایستگاه در جدول ۳ آمده است. با

جدول ۳- پارامترهای ضریب همبستگی، شیب خط و سطح اری بین BAFs و $\log k_{ow}$ مربوط به PAHs در صدف تابوت موجودار به تفکیک ایستگاه های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	ضریب رگرسیون (R^2)	شیب خط	عرض از مبدأ	معنی داری
رافائل	۰/۶۴	-۰/۱۳	۰/۸۹	$P < ۰/۰۱$
شغاب	۰/۸۷	-۰/۱۹	۱/۳۱	$P < ۰/۰۱$
آب شیرین کن	۰/۲۲	-۰/۰۴	۰/۴۰	$P > ۰/۰۵$
لیان	۰/۲۰	-۰/۰۵	۰/۴۶	$P > ۰/۰۵$
هلپله	۰/۴۹	-۰/۱۸	۱/۲۶	$P < ۰/۰۱$

۴. بحث و نتیجه گیری

بطور کلی میزان تغلیظ زیستی PAHs در صدف مورد مطالعه ۲۶/۳۱ و میزان تجمع زیستی آن ۰/۱۴ بود. همان گونه که ملاحظه می شود تغلیظ از تجمع بیش تر بود. دو فاکتور تغلیظ یا تجمع علاوه بر نشان دادن غلظت آلاینده در بدن موجود زنده نسبت به محیط می تواند بیانگر دسترسی زیستی آن باشد (Karcher, 1988). دسترسی زیستی صدف مورد مطالعه به PAHs از آب دریا در سواحل بوشهر قابل توجه بود. که به نظر می رسد به رفتار تغذیه ای صدف مورد مطالعه (صافی خواری) مربوط باشد. غلظت آلاینده PAHs در صدف مورد مطالعه نسبت به رسوبات منطقه بسیار کم تر بود، دسترسی زیستی صدف تابوت موجدار به PAHs رسوبات بسیار کم بوده است. PAHs ته نشین شده به رسوبات با توجه به زیستگاه و رفتار تغذیه ای صدف قابلیت دسترسی ناچیزی دارند. گذشته از این که بخش زیادی از PAHs رسوبات سنگین با تعداد حلقه بالا هستند که نسبت به سایر PAH ها غلظت بسیار کمی در صدف مورد نظر دارند. Baumard و همکاران (1998) میزان تجمع زیستی (BAF) را در خرچنگ *Polybiushenslowi* ۰/۱۵، در مایسید ۰/۸ و در *Euphausiids* ۱/۲ گزارش دادند. علت تفاوت در BAF در موجودات ذکر شده را میزان ارتباط با رسوبات دانسته اند که دو گونه اخیر ارتباط زیادی با رسوبات داشته اند. میزان BAF به دست آمده در صدف تابوت موجدار به مقدار گزارش شده در خرچنگ *Polybiushenslowi* در تحقیق مذکور

نزدیک می باشد و به نظر می رسد این مقدار پایین باشد اما از آنجا که BCF با مقدار ۲۶/۳۱ نشان دهنده غلظت ۲۶ برابری PAHs در صدف نسبت به آب می باشد به نظر می رسد که در مجموع دسترسی گونه مورد مطالعه به PAHs در سواحل بوشهر بالا باشد (Baumard *et al.*, 1998b).

با توجه به نتایج غلظت ترکیبات ۳ حلقه ای در صدف بیش تر از ترکیبات ۴ حلقه ای و غلظت این ترکیبات نیز از ترکیبات ۵+۶ حلقه ای بیش تر بود. صدف تابوت موجدار معلق خوار است و بیش تر ترکیباتی را که در آب معلق هستند جذب می کند و چون ترکیبات سبک (۳ و ۴ حلقه ای) بیش تر از ترکیبات سنگین تر (۵ و ۶ حلقه ای) در آب حضور دارند بیش تر در دسترس صدف مورد مطالعه قرار می گیرند (Mahmoudiet *et al.*, 2011). علاوه بر این که ترکیبات سنگین تمایل بیش تری به ته نشین و خروج از ستون آب دارند (*et al.*, 1998a) (Baumard).

مقادیر BCF بیش تر از BAF بود. از آنجا که همبستگی معنی داری میان غلظت PAHs و BAF وجود داشت که در مورد BCF مشاهده نشد، به نظر می رسد صدف مورد مطالعه بیش تر در معرض PAHs معلق در آب باشد تا PAHs محلول در آب و علت مقادیر بالای BCF نسبت به BAF بیش تر به دلیل عدم پایداری PAHs در آب و در نتیجه کاهش عدد مخرج کسر باشد، دلیل بیش تر بودن BCF_{4ring} نسبت به BCF_{3ring} نیز می تواند همین مسئله باشد. حال آن که رسوبات محل نهایی PAHs هستند و مقادیر بالای این ترکیبات در رسوبات باعث کاهش

مقادیر BAF در محاسبات می‌گردد.

با توجه به همبستگی میان BAF و غلظت PAHs در صدف به نظر می‌رسد منشأ PAHs در صدف و رسوب یکی باشد. بدین معنی که صدف PAHs معلق در آب را فیلتر می‌کند که بخشی از این PAHs معلق نیز در رسوبات ته‌نشست می‌شود. مقادیر BCF بستگی به خواص ماده آلاینده و نوع موجود در معرض قرار گرفته دارد، با این حال مشاهده شد که در شرایط مساوی از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی ترکیبات PAHs و نوع موجود زنده، BCF در ایستگاه‌های آب‌شیرین‌کن و هلیله بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها است. تفاوتی که این دو مکان نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند منابع آلودگی کم‌تر و پاکیزه‌تر بودن این دو ایستگاه می‌باشد. به نظر می‌رسد کم‌تر بودن سایر آلاینده‌ها در این دو مکان گزینه‌هایی مانند تأثیر سایر آلاینده‌ها بر PAHs و یا کم بودن مواد معلق در آب در بالاتر بودن BCF در این دو مکان دخیل باشند، از آنجا که مواد معلق با کمک به ته‌نشست PAHs ترکیبات مذکور را از ستون آب خارج می‌سازد. در نتیجه در شرایط ذکر شده در دو ایستگاه نام‌برده ترکیبات مذکور زمان بیشتری در آب باقی مانده و در دسترس صدف قرار گرفته‌اند. گذشته از اینکه مقادیر پایین‌تر PAHs در مخرج کسر (PAHs در آب دریا در ایستگاه‌های مذکور) باعث بیش‌تر شدن BCF در محاسبات شده است.

در صورتی که BCF آلاینده‌ای در موجودات بیش‌تر از ۵۰۰ باشد، آلاینده مذکور دارای قابلیت بزرگنمایی زیستی (Biomagnifications)

می‌باشد (Zeeman, 1995) از آنجا که در مطالعه حاضر مقادیر BCF کم‌تر از مقدار مذکور می‌باشد، ترکیبات PAHs دارای بزرگنمایی زیستی نیستند. مطالعات گذشته نشان داده است میان تجمع زیستی PAHs در نرم‌تنان و $\log k_{ow}$ مربوط به هریک از آن‌ها رابطه معکوس و معنی‌داری وجود دارد (Means et al., 1980; Karickhoff et al., 1979; Bruggeman et al., 1982; Leo et al., 1971)

فاکتور تجمع زیستی PAHs در صدف تابوت موجدار با $\log k_{ow}$ مربوط به این ترکیبات، رابطه معکوس و معنی‌داری نشان داد. نتایج مشابهی در صدف *Crassostrea sp.* (Cortazaret et al., 2008) و همچنین صدف *Mytilus galloprovincialis* (Baumardet et al., 1998a) گزارش شده است. از آنجا که ترکیبات دارای وزن مولکولی و تعداد حلقه بیش‌تر، $\log k_{ow}$ بالاتری دارند (Karcher, 1988) بدین ترتیب که با افزایش $\log k_{ow}$ تجمع زیستی PAHs در بافت نرم صدف کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد حلقه در PAHs، تجمع زیستی این ترکیبات در صدف تابوت موجدار کاهش می‌یابد و علی‌رغم غلظت‌های بالای ترکیبات پنج و شش حلقه‌ای در رسوبات، تراکم این ترکیبات در بافت نرم صدف زیاد نمی‌باشد.

همبستگی بین فاکتور تجمع زیستی PAHs در صدف و $\log k_{ow}$ ، در هر ایستگاه ضرایب همبستگی و شیب خط متفاوتی داشت. از این ضرایب جهت تعیین نحوه دستیابی زیستی PAHs در صدف می‌توان استفاده نمود. بدین ترتیب که در (R^2)

آنجایی که صدف تابوت موجدار معلق خوار است و تمام PAHs جذب شده در ایستگاه های مذکور از مسیر PAHs چسبیده به مواد معلق جذب می شود نتیجتاً BCF و هم چنین BAF بیش تری نسبت به صدف های سایر ایستگاه ها دارند.

نتیجه این که در صدف مورد مطالعه غلظت و هم چنین تجمع زیستی ترکیبات سبک تر بیش تر از ترکیبات سنگین تر PAHs است. اما شرایط محیطی، منابع PAHs و مسیر جذب ترکیبات مذکور مقادیر تجمع زیستی و تغلیظ زیستی را تا حدودی تحت تأثیر قرار می دهند. با این وجود می توان عوارض ناشی از ترکیبات سبک PAHs را در صدف مورد مطالعه انتظار داشت. خوشبختانه از آنجا که غلظت ترکیبات مذکور در طول زنجیره غذایی دچار بزرگنمایی زیستی (Biomagnifications) نمی شود چنین عوارضی در سطوح بالاتر زنجیره غذایی دریا انتظار نمی رود.

References

Albers P. H. 2003. Petroleum and individual polycyclic aromatic hydrocarbons In: Hoffman, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Cairns, J. (Eds). Handbook Of Ecotoxicology, pp. 342-360.

Barron, M.G. 2003. Bioaccumulation and bioconcentration in aquatic Organisms In: Hoffman, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Cairns, J. (Eds). Handbook of Ecotoxicology, 887-892.

Baumard, P., Buzinski, H., Michon, Q., Garrigues, P., Burgeot and 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.

بالاتر از ۰/۵، دستیابی به ترکیبات PAHs در صدف از سه جزء محلول در آب، نفت و چسبیده به مواد معلق می باشد، در صورتی که ضریب همبستگی کم تر از ۰/۵ و بیش تر از ۰/۳ باشد دستیابی صدف به PAHs محلول در آب و چسبیده به مواد معلق است. در مقادیر کم تر از ۰/۳ PAHs فقط از مسیر چسبیده به مواد معلق جذب صدف خواهد شد (Cortazar et al., 2008). ضریب همبستگی مربوطه در ایستگاه هلیله ۰/۴۹ بود، دستیابی صدف مورد مطالعه به PAHs در ایستگاه مذکور از جزء محلول در آب و چسبیده به مواد معلق بوده است. در حالی که با توجه به ضرایب همبستگی پایین و شیب خط کم در دو ایستگاه آب شیرین کن و لیان به نظر می رسد دستیابی PAHs در صدف های این دو ایستگاه غالباً از PAHs چسبیده به ذرات معلق صورت گیرد. به نظر می رسد یکی از علل بالاتر بودن BCF در این ایستگاه ها نسبت به سایر ایستگاه ها نیز تفاوت در مسیر جذب PAHs در صدف های این ایستگاه ها باشد و از

Baumards, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J.C., Burgeot, T., Bellocq, J. و 1998b. Concentration of PAH in various marine organisms in relation to those in sediments to trophic level. Marine Pollution Bulletin 36, 951-960.

Bervoets, L., Voets, J., Covaci, A., Chu, S., Qadah, D., Smolders, R., Schepens, P., Blust, R., 2005. Use of transplanted zebra mussels (Dreissena polymorpha) to assess the bioavailability of micro contaminants in Flemish surface waters. Environmental Science and Technology 39, 1492-1505.

Bruggeman, W.A., Van der Steen, J., Hutzing, O., 1982. Reversed-phase thin-layer chromatography of polynuclear aromatic

- hydrocarbons and chlorinated biphenyls Relationship with hydrophobicity as measured by aqueous solubility and octanol-water partition coefficient. *Chromatography* 238, 335-346.
- Chiou, C.T., 2002, Bio concentration of organic contaminants, in *Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental Systems*: Hoboken, NJ, John Wiley and Sons, Inc., p. 257.
- 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.
- Eisler, R. 1987. Polycyclic aromatic hydrocarbon hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish and Wild life Service. *Biological Reports* 85, 1-11.
- Fossi, C., Marsili, L., 2003. Effects of endocrine disruptors in aquatic mammals. *Pure and Applied Chemistry*. 75, 2235-2247.
- EPA, US environmental protection agency. 1996. Method 3540C, Soxhlet Extraction. 8pp.
- Hass, G., Murphy, L., 2003. Massachusetts Monitoring Program, Massachusetts Water Resources Authority, permit number MA0103284, 1-5.
- Karcher, W. 1988. Spectral atlas of polycyclic aromatic compounds, Vol. 2. kluwer, dordrecht, the netherlands. In: Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J.C., Burgeot, T., Bellocq, J., 1998. Concentration of PAH in various marine organisms in relation to those in sediments to throphic level. *Marin Pollution Bulletin* 36, 951-960.
- Karickhoff, S.W., Brown, D.S., Scott, T.A., 1979. Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments. *Water Research* 13, 241-248.
- Leo, A., Hansch, C., Elkins, D., 1971. Partition coefficients and their uses. *Chemical Reviews* 71, 525-616.
- Mahmoudi, M., Safahieh, A.R., Nikpour, Y., Ghanemi, K., 2011. Evaluation of ark clam (*Barbatiahelblingii*) as biomonitor agent for PAHs contamination in coastal area of Bushehr. *Journal of Environmental Science* Vol. 37, No. 58. 141-148. In Persian.
- Means, J.C., Wood, S.G., Hassett, J.J., Banwart, W.L., 1980. Sorption of polynuclear aromatic hydrocarbons by sediments and soils. *Environmental Science and Technology* 14, 1524-1528.
- MOOPAM, 1999. Standard methods for chemical analysis of petroleum hydrocarbons, regional organization for the protection of marine environment. third addition. kuwait.
- Ruppert, E.E., Fox, R., Barnes, R.D., 2004. *Invertebrate Zoology*. Chapter 12. pp. 367-402.
- Tsapakis, M., Stephanou, E.G., Karakassis, I., 2003. Evaluation of atmospheric transport as a nonpoint source of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments of the eastern Mediterranean. *Marine Chemistry* 80, 283-298.
- Varanasi, U., Stein, J.E., Nishimoto, M., 1989. Biotransformation and disposition of PAH in Fish. In: Varanasi, U. (Ed.), *Metabolism of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, pp. 93-15.
- Zeeman M .1995. Ecotoxicity testing and estimation methods developed under Sect. 5 of the Toxic Substances Control Act (TSCA). In: Rand G (ed) *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment*, Taylor&Francis, Washington, D.C, pp. 703-715.