

بررسی میزان هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) در رسوبات تنگه‌ی هرمز - خلیج فارس

شیرین رحمان‌پور^{۱*}، حسین غفوریان^۲، سیدمهری هشترودی^۳، محمد ربانی^۴،

علی مهدی‌نیا^۵، کاظم درویش بسطامی^۶، علی عظیمی^۷

۱- کارشناس پژوهشی گروه علوم زیستی مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: rahmanpoor@inio.ac.ir

۲- استادیار گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: ghaforian25@yahoo.com

۳- هیئت علمی، گروه علوم زیستی، مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: hashtroudi79@yahoo.com

۴- استادیار گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: mhd_rabani@yahoo.com

۵- استادیار گروه علوم زیستی مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی ایران، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: mehdinia@inio.ac.ir

۶- کارشناس پژوهشی مرکز اقیانوس‌شناسی دریای خزر، ایران، استان مازندران، نوشهر، پست الکترونیکی: darvish_60@yahoo.com

۷- کارشناس پژوهشی گروه علوم زیستی مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: a.azimi@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۵

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۲۹

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۱، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که از منابع مختلفی تولید می‌گردند و در آب و خصوصاً در رسوبات بسیار پایدار بوده و تجزیه‌ی آنان به‌کندی صورت می‌گیرد. تعداد ۱۶ ترکیب این آلاینده‌ها از سوی آژانس بین‌المللی حفاظت محیط زیست (EPA) جزء ترکیبات خطرناک سرطان‌زا معرفی شده‌اند. در این مطالعه میزان این ۱۶ ترکیب هیدروکربن آروماتیک حلقوی (PAHs) در رسوبات تنگه‌ی هرمز در خلیج فارس اندازه‌گیری شد. بدین منظور تعداد ۱۱ ایستگاه در مناطق مختلف آب‌های ایرانی تنگه هرمز انتخاب گردید و نمونه‌برداری از رسوبات سطحی با استفاده از گرب و ون وین صورت گرفت. اندازه‌گیری این ترکیبات با استفاده از دستگاه HPLC (کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا) مجهز به دتکتور فلورسانس و UV انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که غلظت کل PAH ها در رسوبات ایستگاه‌های مختلف تنگه هرمز از ۷۲/۱۷ تا ۱۹۱/۷۰ نانوگرم بر گرم وزن خشک رسوب متغیر بود. بیشترین غلظت فردی ترکیبات PAH مربوط به فلورانتن با غلظت ۱۹/۷۲ نانوگرم بر گرم بود و دی بنزو a, h آنتراسن و فلورن و indeno(1,2,3-cd)pyren در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها مشاهده نشد. ماده آلی کل بین ۸/۲۵ - ۲/۷۵ درصد متغیر بود. مقایسه غلظت PAH ها در رسوبات تنگه هرمز با سایر نقاط دنیا نشان داد که رسوبات این منطقه دارای آلودگی کم تا متوسط است. نتایج حاصل از تعیین منبع آلودگی ترکیبات PAH نشان داد که رسوبات منطقه تنگه هرمز، دارای منشأ پائرولیتیک (منبع فسیلی) هستند.

۱. مقدمه

مواد آلاینده تولید شده توسط جوامع شهری و صنایع به‌طور مداوم در حال افزایش در محیط است. آلاینده‌های مختلفی از قبیل تری بوتیل قلع^۱، ترکیبات نیتروآروماتیک^۲، فتالات استرها^۳، رادیونوکلوئیدها^۴، آفت‌کش‌های آلی کلردار، فلزات سنگین (کادمیوم، جیوه، نیکل، سرب و غیره) و هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی طی دهه‌های اخیر تولید و در محیط زیست آزاد شده‌اند. از اوایل دهه‌ی شصت، انسان به‌طور کلی از اثرات سوء و دراز مدت این مواد شیمیایی و خطرات بالقوه این مواد برای بوم‌سامانه‌های آبی و زمینی آگاه شده است. به‌دلیل تخلیه‌ی مستقیم، فرایندهای آب‌شناختی (هیدرولوژیکی) و یا اتمسفری، مقصد نهایی بسیاری از این آلاینده‌ها محیط‌های آبی است (Binelli and Provini, 2003; Holsbeek et al., 1999; Sarkar, 1994; Sarkar and Everaarts, 1998; Sarkar et al., 1997). به‌همین دلیل، به‌منظور بررسی اثر چنین آلاینده‌هایی روی کیفیت محیط زیست، ارزیابی سریع از اثرات سوء این آلودگی‌ها بر روی محیط زیست ضروری است.

نفت و دیگر سوخت‌های فسیلی، منبع اصلی ورود هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک (PAHs) به طبیعت محسوب می‌شوند. بین ۰/۲ تا ۷ درصد وزن نفت خام را هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک تشکیل می‌دهند که جزو آلاینده‌های آلی پایدار (POPs^۵) محسوب می‌شوند. این مواد از آزاد شدن در هوا یا آب، جذب ذرات معلق در این محیط‌ها می‌شوند و ممکن است به‌دلیل عمر طولانی، در رسوبات دریایی مناطق مستعد به غلظت‌های بالا برسند. به‌طور کلی، تعیین صحیح و دقیق غلظت آلاینده‌های زیست‌محیطی در محیط‌های آبی و موجودات زنده در ارزیابی آلودگی‌ها در محیط‌های مختلف بسیار اساسی است. PAH ها که شامل صدها ترکیب می‌شوند از منابع متفاوتی نظیر سوخت ناقص سوخت‌های فسیلی، ورود نفت به

صورت طبیعی و یا در مراحل استخراج به آب و سرانجام رسوب و طی بعضی فرآیندهای طبیعی باکتری‌ها و جلبک‌ها (با مقادیر کم) تولید می‌شوند. این ترکیبات از آلاینده‌های مهم محیط زیست محسوب می‌شوند که حتی در مقادیر کم بسیار سمی هستند (Wang et al., 2007; Winiarczyk et al., 2007) و اندازه‌گیری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مقدار PAH ها در سامانه‌های آبی به‌دلیل حالیت پایین آن‌ها در آب و $\log K_{ow}$ بالا (۳/۴ - ۷/۶)، رابطه‌ی قابل توجهی با رسوبات و موجودات زنده دارد. هیدروژن متصل به کربن می‌تواند با یک گروه آلکیلی یا یک گروه دیگر جایگزین شود. PAH های جایگزین شده با گروه آلکیلی را هومولوگهای آلکیلی مولکول والد (مولکول‌هایی که گروه آلکیلی به آن اضافه نشده است) می‌نامند.

به‌دلیل تأمین بیش از ۵۰٪ نفت دنیا از خلیج فارس و تنگه‌ی هرمز، اندازه‌گیری ترکیبات هیدروکربن‌های نفتی این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طور متوسط هر شش دقیقه یک بار، یک کشتی از تنگه‌ی هرمز عبور می‌کند و تقریباً ۶۰ درصد حمل و نقل دریایی مربوط به صادرات نفت از این منطقه انجام می‌شود. با وجود این که تنگه‌ی هرمز و منطقه‌ی دریای عمان دارای اهمیت تجارتي بالایی هستند، بررسی‌ها و تحقیقات اقیانوس شناسی در آن ناچیز است. بنابراین جهت مطالعات زیست‌محیطی، ضرورت انجام مطالعات و تحقیقات فیزیکی و شیمیایی در این منطقه کاملاً محسوس است. هدف از این تحقیق بررسی میزان ترکیبات PAH در رسوبات این منطقه، تعیین منشأ آلودگی و مقایسه این مقدار با سایر نقاط آلوده در ایران و جهان است.

۲. مواد و روش‌ها

برای بررسی میزان PAH در رسوبات منطقه تعداد ۱۱ ایستگاه انتخاب شد (شکل ۱، جدول ۱). نمونه‌برداری توسط نمونه‌بردار رسوب Van Veen انجام شد و حدوداً ۴ سانتی متر از سطح رسوبات در داخل ظروف آلومینیومی ریخته و شماره‌گذاری شد. مشخصات جغرافیایی محل نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS ثبت شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری و فریز نمودن، به‌صورت کامل توسط دستگاه فریز درایر خشک شدند.

¹ TBT

² Nitro aromatics

³ Phthalate esters

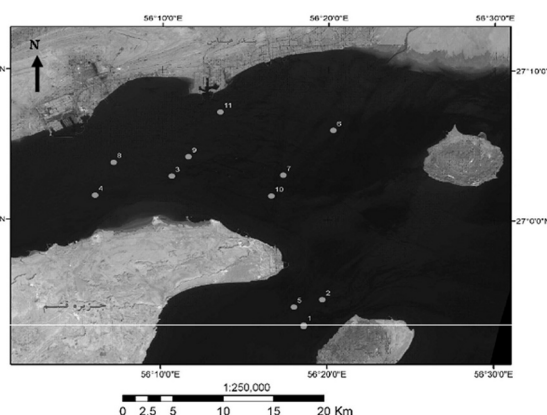
⁴ Radionuclides

⁵ Persistent Organic Pollutants

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در تنگه‌ی هرمز

Station No.	Date Yyy/mm/dd	Time(local)		Position		Sampling Depth (m)
		Arrival	Depart	Lat.	Long	
1	1388/05/28	08:20	10:09	26° 51.827' N	056° 18.656' E	37
2	1388/05/28	10:40	12:29	26° 54.458' N	056° 20.081' E	45
3	1388/05/28	14:23	16:55	27° 02.791' N	056° 10.813' E	23
4	1388/05/28	17:20	18:57	27° 01.360' N	056° 06.450' E	21
5	1388/05/29	11:55	14:04	26° 54.268' N	056° 18.248' E	59
6	1388/05/29	15:55	16:59	27° 05.950' N	056° 20.974' E	12
7	1388/05/29	17:35	18:45	27° 03.496' N	056° 17.976' E	16
8	1388/05/30	09:25	10:25	27° 03.766' N	056° 07.375' E	14
9	1388/05/30	11:23	11:42	27° 04.121' N	056° 11.790' E	20
10	1388/05/30	12:42	13:13	27° 00.996' N	056° 16.626' E	25
11	1388/05/30	14:07	15:33	27° 07.087' N	056° 13.691' E	16

شستشو داده شد. سپس نمونه‌ی محلول در حلال دی کلرومتان به روی سطح سیلیکاژل منتقل گردید و شستشو با ۲۵ ml پنتان ادامه یافت و خروجی ستون دور ریخته شد. در مرحله بعد ستون توسط ۲۵ میلی لیتر مخلوط دی کلرومتان - پنتان ۶۰:۴۰ با سرعت ۲ml در دقیقه شستشو داده شد و این قسمت از نمونه جمع‌آوری شده و حجم حلال با دستگاه تبخیر در خلاء کاهش داده شد. سرانجام حلال در تحت جریان ملایم نیتروژن با حلال استونیتریل جایگزین و حجم نهایی محلول دقیقاً به ۱ میلی لیتر رسانده شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه در تنگه‌ی هرمز

۳-۲. آنالیز ترکیبات PAH

نمونه‌های خارج شده از ستون کروماتوگرافی پس از تغلیظ و تغییر حلال (حلال مناسب برای تزریق به دستگاه)، آماده آنالیز توسط دستگاه بودند. در ابتدا با تزریق هر یک از ۱۶ ترکیب PAH به‌طور جداگانه، زمان بازداری هر یک از آنها تعیین شد و منحنی واسنجی (کالیبراسیون) نیز با استفاده از غلظت‌های مختلف محلول (۵۰، ۷۰، ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۵۰ و ۲۰۰) مخلوط PAHها رسم گردید. نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده و نیز نمونه‌های CRM در شرایط کاملاً مشابهی به دستگاه تزریق شدند. شکل ۲ کروماتوگرام‌های مربوط به ترکیب استاندارد و ترکیب CRM و نمونه ایستگاه ۸ را نشان می‌دهد.

۴-۲. آزمون آماری

تفسیر آماری داده‌ها در محیط SPSS V. 17 انجام شد و نمودارهای مربوط نیز با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد. به‌منظور پردازش آماری، ابتدا داده‌های مربوط به هر نمونه‌برداری

۱-۲. استخراج ترکیبات PAH

استخراج نمونه‌ها طبق روش استاندارد و توسط دستگاه حمام آبی اولتراسونیک صورت گرفت (EPA methods 3540C, 3550B) (1996). نمونه توسط دی کلرومتان به مدت یک ساعت در دمای ۳۰°C توسط دستگاه اولتراسونیک مورد استخراج قرار گرفت. در ادامه، پس از قرار دادن ارلن حاوی نمونه به مدت ۲۴ ساعت در حمام ۳۰°C، مجدداً نمونه به مدت یک ساعت در داخل حمام اولتراسوند قرار داده شد و مشابه شرایط قبل استخراج ادامه یافت و سرانجام محلول توسط پشم شیشه صاف شد.

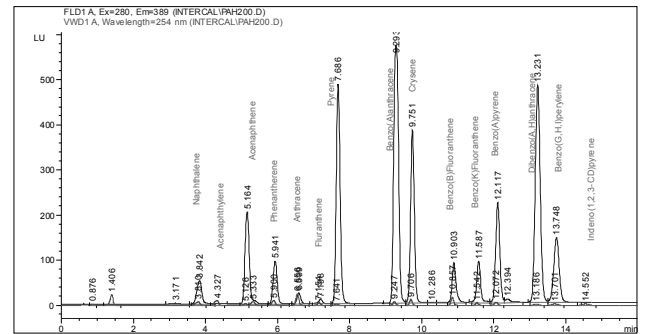
۲-۲. تمیز نمودن نمونه (EPA method 3630 C, 1996)

برای تمیز نمودن نمونه از روش ستون سیلیکاژل استفاده شد. پس از پر نمودن ستون توسط دوغابی از ۱۰ گرم سیلیکاژل بی‌آب در دی کلرومتان، ستون توسط ۴۰ میلی لیتر حلال پنتان

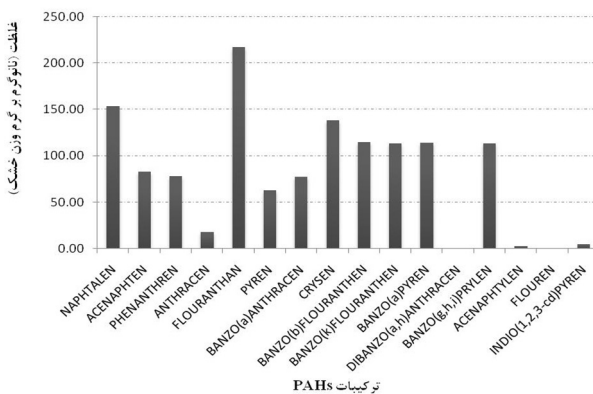
۳. نتایج

نتایج حاصل از آنالیز ترکیبات PAH در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین غلظت فردی هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک مربوط به فلورانتن با ۵۸/۸ نانو گرم بر گرم در ایستگاه شماره ۸ به دست آمد. ترکیبات دی بنزو a, h آنتراسن و فلورن در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها مشاهده نشد. همچنین اسنفتیلن، تنها در ایستگاه ۱ و ایندیو (1, 2, 3 cd) پابین تنها در ایستگاه شماره ۸ مشاهده نشد. در غلظت میانگین فردی هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز فلورانتن با غلظت میانگین ۱۹/۷۲ نانوگرم بر گرم بیشترین مقدار را داشت (شکل ۳). در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های شماره ۸ و ۳ و ۹ به ترتیب دارای بیشترین غلظت مجموع هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک و ایستگاه‌های ۱۰، ۱۱ و ۷ کمترین مجموع هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای را داشتند (شکل ۴).

از نظر پراکندگی نرمال تست شدند، چنانچه پراکنش داده‌ها نرمال نبود از لگاریتم بر مبنای ۱۰ جهت نرمال کردن آنها استفاده شد. برای مقایسه غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در رسوب ایستگاه‌های مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد. چنانچه تفاوت بین ایستگاه‌ها معنی‌دار بود از پس آزمون توکی برای تعیین مقادیر مختلف استفاده شد.

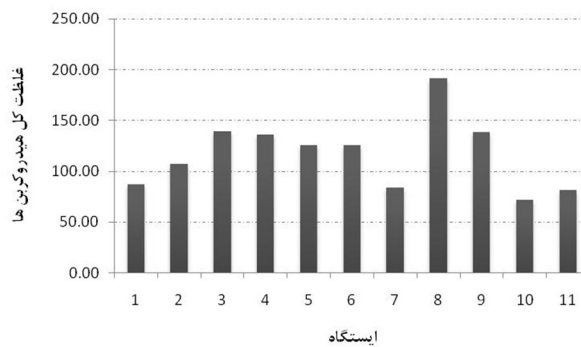


(الف)



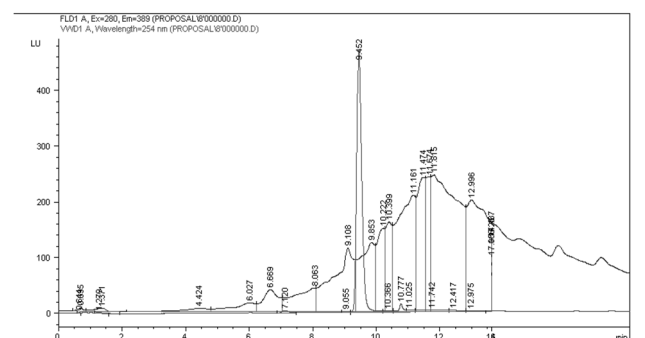
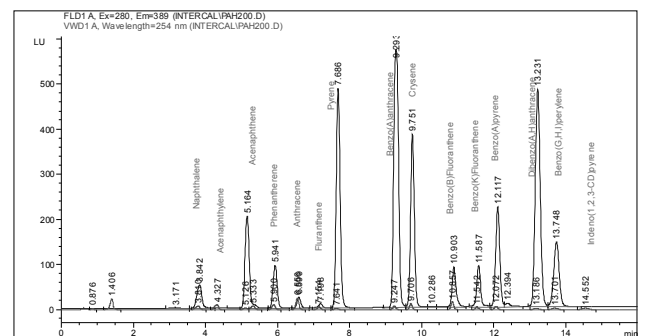
(ب)

شکل ۳- غلظت ترکیبات ۱۶ گانه PAH در مجموع ایستگاه‌های مورد مطالعه تنگه‌ی هرمز



(ج)

شکل ۴- غلظت مجموع ترکیبات PAH در ایستگاه‌های مختلف رسوبات تنگه‌ی هرمز



شکل ۲- کروماتوگرام‌های HPLC مربوط به دکتورهای UV و FLD (الف) مخلوط استاندارد ۱۶ تایی PAH (ب) نمونه CRM (IAEA-417) (ج) کروماتوگرام نمونه ایستگاه ۸

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز ترکیبات PAH در رسوبات تنگه‌ی هرمز

PAHs	ایستگاه های مورد مطالعه											میانگین	بیشترین	کمترین
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
<i>naphthalen</i>	11.86	14.74	13.95	16.56	11.9	12.81	12.66	21.83	13.21	11.95	12.22	13.97	21.83	11.86
<i>acenaphthen</i>	Nd	Nd	16.46	16.54	16.49	16.45	Nd	Nd	16.59	Nd	Nd	16.50	16.59	16.45
<i>phenanthren</i>	8.17	Nd	8.42	8.24	8.18	8.21	8.45	11.67	8.38	Nd	8.22	8.66	11.67	8.17
<i>anthracen</i>	Nd	Nd	Nd	5.43	Nd	Nd	Nd	6.57	6.61	Nd	Nd	6.20	6.61	5.43
<i>fluranthene</i>	18.32	17.46	25.53	15.78	16.45	29.51	Nd	58.61	13.34	10.52	11.45	19.72	58.61	10.52
<i>pyrene</i>	3.53	4.16	3.19	3.75	4.41	3.6	9.87	8.15	12.93	4.54	4.98	5.73	12.93	3.19
<i>banzo(a)anthracen</i>	7.56	7.52	7.42	7.78	7.5	7.45	7.38	Nd	8.02	8.85	7.73	7.72	8.85	7.38
<i>crysen</i>	Nd	4.74	14.77	14.73	14.73	14.73	Nd	19.78	15.16	14.74	14.81	14.24	19.78	4.74
<i>banzo(b)flurenthan</i>	12.67	12.17	14.1	12.79	11.51	11.33	11.85	16.71	11.48	Nd	Nd	12.73	16.71	11.33
<i>benzo(k)flouranthen</i>	Nd	12.63	11.97	11.57	11.64	11.77	11.66	18.86	11.75	11.53	Nd	12.59	18.86	11.53
<i>banzo(a)pyren</i>	12.32	13.77	13.35	12.77	12.44	Nd	12.22	12.32	12.26	Nd	12.27	12.63	13.77	12.22
<i>dibenzo(a,h)anthracen</i>	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
<i>banzo(g,h,i)perylene</i>	10.41	10.4	9.91	9.91	10.05	10.21	10.03	12.29	10.07	10.04	10.09	10.31	12.29	9.91
<i>acenaphthylene</i>	2.31	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.21	2.31	Nd
<i>Flouren</i>	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
<i>indino(1,2,3-cd)pyren</i>	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

۴. بحث و نتیجه‌گیری

ترکیبات به ترتیب بین ۲۰۴/۸ - ۹۷/۲، ۲۰۰۰۰ - ۸۰ و ۱۴۰۰ - ۹/۱ نانو گرم بر گرم به دست آمد.

جدول ۳- مقایسه مقادیر PAHs در رسوبات تنگه‌ی هرمز با سایر نقاط دنیا (نانوگرم بر گرم وزن خشک رسوب)

Sites	Range	Reference
Persian Gulf	72.17 -277.77	This study
Northern Persian Gulf	24-1374	Eghtesadi et al., 2002
Laizhou Bay, China	97.2-204.8	Hu et al., 2009a
San Diego Bay, USA	80-20,000	Anderson et al., 1996
Masan Bay, Korea	9.1-1400	Kim GB et al., 1999
Liaodong Bay, China	144.5-291.7	Ningjing et al., 2010
Persian Gulf	400-790	Badawy et al., 1993
Daya Bay, China	42.5-158.2	Yan et al., 2009
Coastal of Boushehr, Persian Gulf	41.7 - 227.5	Mirza et al., 2012

بر اساس تقسیم‌بندی Baumard و همکاران در سال ۱۹۹۸، رسوبات بر مبنای غلظت PAH ها به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که بر این اساس، غلظت ۱۰۰ - ۰ نانو گرم بر گرم دارای آلودگی کم، ۱۰۰۰ - ۱۰۰ نانو گرم بر گرم دارای آلودگی متوسط، ۵۰۰۰ - ۱۰۰۰۰ نانو گرم بر گرم دارای آلودگی زیاد و بیشتر از ۵۰۰۰ نانو گرم بر گرم دارای آلودگی خیلی زیاد است. بنابراین بر اساس همین طبقه‌بندی، ایستگاه‌های ۱، ۷، ۱۰ و ۱۱ دارای آلودگی کم و بقیه ایستگاه‌ها دارای آلودگی متوسط هستند (شکل ۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که

حدود دو سوم از ذخایر نفت دنیا در خلیج فارس قرار دارد که برای انتقال نفت، ترکیبات صنایع وابسته به نفت (پتروشیمی) و سایر صنایع به سایر نقاط دنیا باید از تنگه‌ی هرمز عبور کنند. بنابراین تنگه‌ی هرمز تنگه‌ای راهبردی در کل جهان محسوب می‌شود و محل عبور شناورهای زیادی است. نتایج حاصل از آنالیز ترکیبات PAH در ایستگاه‌های مختلف در تنگه‌ی هرمز در جدول ۲، شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین میزان ترکیبات فردی مربوط به فلورانتن و نفتالن و کمترین آن مربوط به ترکیبات دی بنزو a, h آنتراسن و فلورن است که در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها مشاهده نشدند. به‌طور کلی غلظت مجموع ترکیبات PAH در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۱۹۱/۷۰ - ۷۲/۱۷ نانوگرم بر گرم در ایستگاه‌های مورد مطالعه در رسوبات تنگه‌ی هرمز بود. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط اقتصادی و همکاران در سال ۲۰۰۲ در رسوبات شمالی خلیج فارس میزان PAHs بین ۱۳۷۴-۲۴ نانوگرم بر گرم بود. همچنین در مطالعات صورت گرفته در چین (Hu et al., 2009a)، آمریکا (Anderson et al., 1996) و کره (Kim GB et al., 1999)، میزان این

با وزن مولکولی زیاد است. همچنین از نسبت‌های فناترن به آنتراسن (Phen/Ant) و فلورانتن به پایرن (Flt/Pyr) استفاده می‌شود (Mille et al, 1982). در این تحقیق از نسبت فلورانتن به پایرن استفاده شده است. اگر این نسبت بیشتر از ۱ باشد، منبع آلودگی از نوع پایرولیتیک و اگر کمتر از ۱ باشد، منبع آلودگی از نوع پتروژنیک است. در تحقیق حاضر مقدار این نسبت در تمامی ایستگاه‌ها بیشتر از یک بود که نشان دهنده‌ی این واقعیت است که ترکیبات PAH در رسوبات تنگه‌ی هرمز با منشأ پایرولیتیک هستند (جدول ۴) که این احتمالاً نشان دهنده‌ی آن است که احتراق حاصل از موتور نفتکش‌ها و شناورهای که از این منطقه عبور و مرور می‌کنند باعث آلودگی با منشأ سوخت‌های فسیلی در این منطقه شده است.

منطقه تنگه‌ی هرمز دارای آلودگی کم تا متوسط از نظر ترکیبات PAH است.

به‌طور عمده فعالیت‌های انسانی باعث دو منبع اصلی پتروژنیک و پایرولیتیک ترکیبات پلی آروماتیک حلقوی در محیط زیست می‌شوند. منابع پتروژنیک به آن دسته از ترکیباتی گفته می‌شود که از نفت خام منشأ می‌گیرند و پایرولیتیک به آن دسته از ترکیباتی گفته می‌شود که از احتراق سوخت‌های فسیلی به‌وجود می‌آیند. منابع پتروژنیک معمولاً PAH های با وزن مولکولی کم با ۲ تا ۳ حلقه بنزنی هستند، در حالی که منابع پایرولیتیک، ترکیبات دارای وزن مولکولی بالا با ۴ تا ۶ حلقه بنزنی را شامل هستند. برای به‌دست آوردن منبع آلودگی از نسبت‌های مختلفی استفاده می‌شود. از جمله این نسبت‌های مولکولی، نسبت بین ترکیبات با وزن مولکولی کم به ترکیبات

جدول ۴- نسبت فلورانتن به پایرن (Flt/Pyr) در رسوبات ایستگاه‌های مختلف تنگه‌ی هرمز

ایستگاه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
Flt/Pyr	۵/۱۸	۲/۲۹	۲/۳۱	۱/۰۳	۷/۱۹	-	۸/۱۹	۳/۷۳	۴۲/۵۰	۸/۰۰	۴/۱۹

ندارند و مقادیر بین این دو نشان دهنده تأثیرات مضر در حد متوسط است (Long et al., 1995).

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی مقادیر به‌دست آمده غلظت هیدروکربن‌های پلی آروماتیک حلقوی در رسوبات تنگه‌ی هرمز کمتر از حد ERL بوده در نتیجه در حال حاضر به‌نظر می‌رسد که غلظت ترکیبات PAH در این منطقه تأثیر سویی بر روی موجودات زنده ندارند (جدول ۵).

با توجه به این‌که منطقه‌ی تنگه‌ی هرمز منطقه‌ای با اهمیت فراوان است، به‌طوری که تنها راه ارتباطی خلیج فارس با وجود بیش از ۵۰ درصد منابع نفت جهان، با آب‌های آزاد دنیا است، لذا این تنگه محل تردد نفت‌کش‌ها و شناورهای عظیمی است. از این رو انتظار آلودگی بالایی نسبت به ترکیبات PAH در منطقه می‌رود. اما این مطالعه نشان داد که رسوبات منطقه دارای آلودگی کم تا متوسطی بودند. این نتیجه را می‌توان به جریان‌های آبی تنگه‌ی هرمز که موجب جابجایی آب و حمل ترکیبات آلاینده به نقاط دیگر می‌گردد نسبت داد. از این رو مطالعاتی بر تأثیر جریان‌های آبی در تنگه‌ی هرمز بر میزان آلودگی منطقه و مقصد آلاینده‌ها پیشنهاد می‌گردد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت PAHs در ایستگاه‌های مورد مطالعه تنگه‌ی هرمز با استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) مقایسه شده است. مقایسه با استانداردها یکی از اولین اقداماتی است که برای تخمین وجود و یا عدم وجود آلودگی در منطقه مورد مطالعه، صورت می‌گیرد. هدف از تعیین استانداردهای کیفیت رسوب، حفاظت از محیط‌های آبی و تعیین سطح سلامت بوم سامانه از نظر میزان غلظت آلاینده‌ها از جمله ترکیبات PAHs است. در استاندارد کیفیت رسوب NOAA دو معیار برای آلودگی در رسوبات بیان شده است که به‌صورت ERL^۱ (حدی که کمتر از ۱۰ درصد جوامع زیستی در خطرند) و ERM^۲ (حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع زیستی در خطرند)، ارائه شده است. مقادیر بزرگتر از ERM نشان دهنده این است که این مقادیر می‌تواند موجب ایجاد اثرات سمی بر موجودات آبی شود، در حالی که مقادیر پایین‌تر از ERL نشان دهنده این است که مقادیر به‌دست آمده تأثیر سویی بر حیات موجودات آبی

^۱ Effects Range-Low (ERL)

^۲ Effects Range-Medidan (ERM)

جدول ۵ - مقایسه ترکیبات PAHs در رسوبات تنگه‌ی هرمز با مقادیر استانداردهای جهانی آن

ترکیبات PAH	ERL	ERM	ایستگاهها										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
فتالن	160	2100	11.86	14.74	13.95	16.56	11.9	12.81	12.66	21.83	13.21	11.95	12.22
آنتراسن	85	1100	Nd	Nd	Nd	5.43	Nd	Nd	Nd	6.57	6.61	Nd	Nd
استفتن	16	500	Nd	Nd	16.46	16.54	16.49	16.45	Nd	Nd	16.59	Nd	Nd
بنزو آلفا آنتراسن	261	1600	7.56	7.52	7.42	7.78	7.5	7.45	7.38	Nd	8.02	8.85	7.73
فلورن	19	540	Nd	Nd	nd	Nd	Nd	Nd	nd	Nd	Nd	Nd	nd
استفتیلن	44	640	2.31	Nd	nd	Nd	Nd	Nd	nd	Nd	Nd	nd	nd
فتانترن	24	1500	8.17	Nd	8.42	8.24	8.18	8.21	8.45	11.67	8.38	nd	8.22
کرایسن	384	2800	Nd	14.74	14.77	14.73	14.73	14.73	nd	19.78	15.16	14.74	14.81
بنزو آلفا پیرن	430	1600	12.32	13.77	13.35	12.77	12.44	Nd	12.22	12.32	12.26	nd	12.27
بنزو b فلورانتن	-	-	12.67	12.17	14.1	12.79	11.51	11.33	11.85	16.71	11.48	Nd	Nd
بنزو k فلورانتن	-	-	Nd	12.63	11.97	11.57	11.64	11.77	11.66	18.86	11.75	11.53	Nd
فلورانتن	600	5100	18.32	17.46	25.53	157.7	16.45	29.51	nd	58.61	13.34	10.52	11.45
پیرن	665	2600	3.53	4.16	3.19	3.75	4.41	3.6	9.87	8.15	12.93	4.54	4.98
دی بنزو a,h آنتراسن	63	260	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
بنزو g,h,i پیرن	85	330	10.41	10.4	9.91	9.91	10.05	10.21	10.03	12.29	10.07	10.04	10.09
ایندیو(1,2,3cd) پیرن	240	950	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	Nd	Nd
مجموع PAHs	4022	44792	107.93	97.59	139.07	277.77	125.3	126.07	84.12	186.79	139.8	72.17	81.77

منابع

- different Italian and European markets and possible human health risk. *Marine Pollution Bulletin*, 46(7):879-886
- Eghtesadi, P.; Riazi, G.; Taghikhani, M.; Ranaei Siadat, S.O., 2002. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the northern Persian Gulf as indicated by kinetic and thermodynamic criteria. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(5): 704-11.
- EPA methods, SW-846., 1996. method 3540C: SOXHLET EXTRACTION; method 3630C, SILICA GEL CLEANUP, Revision 3; method 3550: ULTRASONIC EXTRACTION, Revision 2.
- Holsbeek Ludo, J.; Claude, R.; Debacker, V.; Ali, IB.; Roose Patrick, N.; Gobert, JPS.; Bouquegneau, JM.; Bossicart, M., 1999. Heavy metals, organochlorines and polycyclic aromatic hydrocarbons in sperm whales stranded in the southern North Sea during the 1994/1995 winter. *Marine Pollution Bulletin*, 38(4):304-313.
- Anderson, JW.; Newton, FC.; Hardin, J.; Tukey, RH.; Richter, KE., 1996. Chemistry and toxicity of sediments from San Diego Bay, including a biomarker (P450 RGS) response. In: Bengtson DA, Henshel DS (eds) *Environmental toxicology and risk assessment. Biomarkers and risk assessment (Vol. 5)*, ASTM STP 1306. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp 53-78.
- Badawy, M.I.; Al-Mujainy, I.S.; Hernandez, M.D., 1993. Petroleum-derived hydrocarbons in water, sediment and biota from the Mina al Fahal coastal waters. *Marine Pollution Bulletin. Bull.* 26, 457-460.
- 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 trophic level. *Marine Pollution Bulletin*. 36: 951-960.
- Binelli, A.; Provini, A., 2003. POPs in edible clams from

- Sarkar, A., 1994. Occurrence and distribution of persistent chlorinated hydrocarbons in the seas around India. In: Majumdar SK.; Miller EW.; Forbes GS.; Schmalz RF.; Assad A Panah (eds) The oceans: physico-chemical dynamics and resources. The Pennsylvania Academy of Science, PA, pp 445–459.
- Sarkar, A.; Nagarajan, R.; Singbal, SYS.; Chhapadkar, S.; Pal, S., 1997. Contamination of organochlorine pesticides in sediments from the Arabian Sea along the west coast of India. Water Research, 31(2):195-200.
- Sarkar, Everaarts., 1998. Riverine input of chlorinated hydrocarbons in the coastal pollution. In: Majumdar SK.; Miller EW.; Brenmen PJ (eds) Ecology of wetlands, river and associated habitats. The Pennsylvania Academy of Science, PA, pp 400–422.
- Wang, Z.; Chen, J., 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Dalian soils: distribution and toxicity assessment. Journal of Environmental Monitoring. 9(2): 199-204.
- Winiarczyk, B.; Namyslowski, G., 2007. "The concentration of the chosen smoke toxicity biomarkers among smokers suffering from larynx cancer". Otolaryngol Pol, 61(1): 39-46.
- Yan, W.; Chi, J.S.; Wang, Z.Y.; Huang, W.X.; Zhang, G., 2009. Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in sediments from Daya Bay, South China. Environmental Pollution
- Hu, N.J.; Shi, XF.; Huang, P.; Liu, J.H., 2009a. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of Laizhou Bay Bohai Sea, China. Environ Earth Sci (revised).
- Kim, GB.; Maruya, KA.; Lee, RF.; Lee, JH.; Koh, CH.; Tanabe, S., 1999. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Kyeonggi Bay, Korea. Marine Pollution Bulletin, 38:7–15.
- Long, E.R.; MacDonald, D.D.; Smith, S.L.; Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19, 18–97.
- Mille, G.; JY Chen, HJM Dou., 1982. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Mediterranean coastal sediment, International Environmental Analytical Chemistry, 11: 295-304.
- Mirza, R.; Mohammadi, M.; Dadolahi Sohrab, A.; Safahieh, A.; Savari, A.; Hajeb, P., 2012. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Seawater, Sediment, and Rock Oyster *Saccostrea cucullata* from the Northern Part of the Persian Gulf (Boushehr Province). Water Air Soil Pollut, 223 (1): 189- 198.
- Ningjing, Hu.; Xuefa, Shi.; Peng Huang., Jian Mao.; Jihua Liu.; Ying Liu.; Deyi Ma., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of Liaodong Bay, Bohai Sea, China. Environmental Science and Pollution Research, 11356-010-0359-2.