

تعیین منشأ و ارزیابی سمیت ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) در رسوبات سطحی بخش جنوبی دریای خزر: مطالعه مروری سیستماتیک

مسعود حاتمی‌منش^۱، ثمر مرتضوی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست دانشگاه ملایر و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۲- *مسئول مکاتبات، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان،

*ایمیل نویسنده مسول: Mortazavi.s@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۵

چکیده

ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) به دلیل تجزیه پذیری کم، قدرت تجمع‌زیستی، سمیت بالا برای موجودات زنده به‌عنوان آلاینده‌های خطرناک و اولویت‌دار محیط‌زیست محسوب می‌شوند. با توجه به وجود منابع آن‌ها در سواحل دریای خزر هدف مطالعه حاضر، تعیین منشأ و ارزیابی سمیت اکولوژیکی غلظت ترکیبات PAHs در رسوبات ساحلی بخش جنوبی دریایی با استفاده از روش متا آنالیز می‌باشد. بدین منظور میزان غلظت ترکیبات PAHs در رسوبات سطحی سواحل مورد مطالعه از مقالات منتشر شده طی ۱۰ سال اخیر در مجلات معتبر علمی داخلی و خارجی بدست آمد. در نهایت میانگین غلظت، منشأ غالب و میزان سمیت اکولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. متوسط غلظت ترکیبات PAHs در رسوبات سطحی ۷۶۳/۷۶ نانوگرم بر گرم وزن خشک به دست آمد. همچنین نتایج بررسی تعیین منشأ غالب ترکیبات PHAs با استفاده از نسبت‌های تشخیصی نشان داد هر دو منشأ پتروژنیک و سوختی در ورود این ترکیبات به رسوبات ساحلی بسته به موقعیت ایستگاه و منابع آلاینده‌گی آن نقش دارند. علاوه بر این ارزیابی میزان سمیت ترکیبات PAHs با استفاده از استانداردهای کیفیت رسوب EPA، SQGs، NOAA، نشان داد، غلظت ترکیبات PAH در رسوبات ساحلی تأثیر کمی بر روی موجودات زنده دارند. در نهایت بنظر می‌رسد وضعیت آلودگی ترکیبات PAHs در منطقه در حد متوسط می‌باشد.

کلمات کلیدی

"ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs)", "رسوبات سطحی", "سمیت بیولوژیکی", "دریای خزر"

Source Identification and Toxicity assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in Surface Sediments of the Southern Caspian Sea: A Systematic Review Study

Masoud Hatami-manesh¹, Samar Mortazavi^{2*}

1 Ph.D student of environmental pollution, Malayer University and Young Researchers and Elite Club, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran

2- Department of environmental science, Faculty of Natural Resources and environments, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran.

*Email Address: mortazavi.s@gmail.com

Abstract

Polycyclic aromatic Compounds (PAHs) are one of the most dangerous and priorities environmental pollutants due to their low biodegradability, bioaccumulation ability, high toxicity to organisms. Therefore, the aim of this study was to determine the source identification and evaluation of the ecological toxicity of PAHs in coastal surface sediments in the southern part of the Caspian Sea using meta-analysis method. For this purpose, the concentrations of PAHs in surface sediments of the studied coasts were obtained from articles published in the past 10 years in the internal and foreign scientific journals. Finally, in the present study, mean concentration, dominant origin and ecological toxicity were investigated. The average concentration of PAHs in surface sediments was 763.76 g.dwt⁻¹. Also the results of the determination of the dominant source of PHAs using diagnostic ratios showed that both petrogenic and fuel sources are involved in the introduction of these compounds into coastal sediments depending on station location and sources of pollution. In addition, the evaluation of the toxicity of PAHs using NOAA, SQGs, and EPA sediment quality standards showed that the concentrations of PAH in coastal sediments have little effect on living organisms. Generally based on the results it can be concluded that the level of contamination of PAHs in the region is moderate

Keywords

"polycyclic aromatic hydrocarbons", "Surface sediments", "Biological toxicity", "Caspian sea",

۱- مقدمه

امروزه اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه نواحی ساحلی به علت تمرکز فعالیت‌های انسانی اعم از گردشگری، حمل و نقل، صنعتی، توسعه شهرنشینی، ورود فاضلاب انسانی و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاص این نواحی، به‌عنوان یکی از محیط‌های با ریسک اکولوژیکی بالا به‌شمار می‌آیند (Hoseynkhezri et al., 2018). از سویی دیگر در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی و رشد صنعت و اقتصاد، میزان تولید ورود آلاینده‌ها به‌ویژه آلاینده‌های آلی پایدار همچون ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) در این محیط‌ها به‌شدت افزایش یافته است (Nemati et al., 2014). هیدروکربن‌های حلقوی چند هسته‌ای گروهی از ترکیبات هیدروکربن هستند که شامل حلقه‌های آروماتیکی چند هسته‌ای^۲ (PACs) آرن‌ها و پلی‌آرن‌ها هستند؛ که حاوی ۲ تا ۸ حلقه آروماتیکی و غیر آروماتیکی هستند (Zander, 1983). در واقع ترکیبات PAHs، گروهی از آلاینده‌های محیط‌زیستی هستند که به دلایل مختلف نظیر منشأ طبیعی و انسانی و همچنین کاربرد و استفاده‌های گوناگون، در تمام عرصه‌های محیط‌زیست پراکنده شده‌اند (Wang et al., 2006; Araghi et al., 2014). و به دلیل خواصی همچون سمیت، پایداری بالا، قابلیت تجمع زیستی، سرطان‌زایی، جهش‌زایی (Chizhova et al., 2013; Araghi et al., 2014). به‌شدت سلامت موجودات زنده بخصوص ایمنی و بهداشت جامعه انسانی را مورد تهدید قرار داده‌اند (Mari et al., 2010). هیدروکربن‌ها ترکیباتی واکنش‌پذیر با مواد آلی هستند که به دلیل خاصیت آب‌گریزی بالا و حلالیت کم در آب به‌محض ورود به محیط آبی، جذب مواد آلی در رسوب می‌شوند (Khoshbavar-Rostami, 2012). و موجب ایجاد سمیت برای موجودات آبی بخصوص کف زیان می‌گردند (Zadeh, 2010). از جهت دیگر این ترکیبات به دلیل خاصیت چربی‌دوست بودن تمایل زیادی تجمع‌پذیری زیستی در موجودات زنده و در نتیجه ایجاد سمیت دارند (Mohammadi & Ebrahimi, 2017). ترکیبات PAHs، پس از ورود به اکوسیستم‌های آبی با توجه به میزان ضریب اکتانول به آب خود (ترکیبات PAH با ضریب اکتانول به آب کم، مانند نفتالین، دارای حلالیت زیاد و ترکیبات با ضریب اکتانول به آب بالا، مانند بنزو آپایرن خاصیت آب‌گریزی دارند) می‌تواند در آب حل و به‌طور مستقیم برای موجودات سمیت ایجاد کند یا جذب ذرات معلق آب گردیده و در نهایت در کف دریا رسوب کنند (Harris et al., 2011). سپس توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی موجود در کف دریا دوباره به ستون آب رهاسازی شوند یا طی فرآیند تغذیه موجودات زنده به‌ویژه کفزیان وارد بدن موجودات زنده و در نتیجه زنجیره غذایی گردند؛ بنابراین رسوبات دریایی به‌عنوان یک مخزن برای آلاینده‌های مختلف به‌ویژه ترکیبات PAHs در نظر گرفته می‌شوند (Azimi et al., 2015; Baniemam et al., 2017). به همین جهت انجام تحقیقات گسترده در خصوص توزیع آلاینده‌های آلی نظیر ترکیبات PAHs در رسوبات ساحلی، تعیین منشأ و ارزیابی ریسک اکولوژیکی

آن‌ها به‌منظور شناسایی تهدیدات و خطرات ناشی از آن‌ها برای جوامع زیستی و زندگی انسان‌ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Han et al., 2017). اگرچه ترکیبات PAHs دارای دو منشأ طبیعی و انسانی می‌باشند، اما عمده‌ترین راه ورود آن‌ها به محیط‌زیست از منابع انسانی است. منابع انسانی ورود PAHs به محیط شامل منشأ پتروژنیک (نفتی) و پایروژنیک (سوختی) است (Mohammadi & Ebrahimi, 2017). که می‌توانند از مسیرهای مختلفی اعم از رسوبات اتمسفری، نشت و ریزش‌های نفتی، حمل و نقل دریایی و ... وارد محیط‌زیست دریایی شوند. در این میان مناطق و سواحل بین جز و مدی به عنوان یک محیطی ترکیبی از خشکی و دریایی میزان زیادی از ترکیبات PAHs را دریافت می‌کنند. که این مساله خود موجب افزایش آلودگی و در نتیجه افزایش ریسک اکولوژیکی این ترکیبات می‌گردد (Sharma et al., 1994). و در نتیجه موجب ایجاد صدمات به موجودات مختلف و در نتیجه زنجیره غذایی انسان‌ها می‌گردد (Boonyatumanond et al., 2006). در این میان یکی از اکوسیستم‌های مهم جهان که به دلیل شرایط و موقعیت خاص اکولوژیکی، جغرافیایی و اقتصادی به‌شدت تحت تأثیر آلاینده‌های محیط‌زیستی مختلف نظیر ترکیبات PAHs و آکنان‌های نرمال قرار دارد، سواحل دریای خزر بخصوص بخش جنوبی آن در کشور ایران است، چراکه مطابق شواهد موجود منابع مختلف، اعم از طبیعی و انسانی؛ نظیر استخراج و استحصال نفت خام و مشتقات آن، فعالیت‌های کشتیرانی، حمل‌ونقل ترکیبات نفتی، پالایش مواد نفتی و دیگر فعالیت‌های بندری نظیر تفریح و تفرج، ورود فاضلاب شهری و صنعتی نقش به‌سزایی در افزایش آلودگی نفتی و ریزش ترکیبات آن به این نواحی را دارا می‌باشند (Nasrollahzadeh et al., 2012; Davoodi et al., 2017; Li et al., 2016). به‌طوری‌که این مسائل بررسی این بوم سامانه‌ی با ارزش را در ارتباط با آلاینده‌های محیطی از جمله آلودگی‌های نفتی و به‌خصوص ترکیبات خطرناک PAHs بیش از پیش نمایان می‌کند (Shirneshan et al., 2016; Akhbarizadeh et al., 2017). براین اساس با توجه به اهمیت محیط‌زیستی این منطقه بررسی وضعیت آلودگی، منشأیابی، ارزیابی سمیت و این ترکیبات در رسوبات سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه مقادیر بدست آمده با استانداردهای داخلی و خارجی همچون کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، راهنمایی کیفیت رسوب (SQGs)، استانداردهای رسوب EPA و استاندارد رسوب یا خاکهای ایران از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به همین جهت در مطالعه حاضر به بررسی غلظت، تعیین منشأ و ارزیابی سمیت اکولوژیکی ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) در رسوبات سطحی سواحل بین جز و مدی بخش جنوبی دریای خزر با استفاده از روش متآنالیز می‌پردازد.

۲- روش انجام تحقیق

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش سواحل جنوبی دریای خزر در کشور ایران می‌باشد. میزان ترکیبات PAHs در رسوبات سواحل مورد مطالعه از مقالات منتشر شده طی ۱۰ سال اخیر در مجلات معتبر علمی بدست آمد. بدین منظور میانگین نتایج سنجش این ترکیبات از مطالعاتی که در

¹ Polycyclic aromatic hydrocarbons² Polynuclear Aromatic Compounds

اکولوژیکی آنها در رسوبات ساحلی مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱؛ مطالعات صورت گرفته به همراه مکان نمونه برداری و تعداد ایستگاه-های آنها را نشان می‌دهد.

طی سالهای اخیر بر روی آنها در سواحل جنوبی دریای خزر صورت گرفته و در مجلات معتبر داخلی و خارجی منتشر شده بود جمع‌آوری شد. و در نهایت در مطالعه حاضر تعیین منشا و ارزیابی سمیت

جدول ۱- محل نمونه برداری و دستگاه مورد استفاده برای آنالیز ترکیبات PAHs در مطالعات مورد استفاده

تعداد ایستگاه	شماره ایستگاه	مکان یا ایستگاه نمونه‌برداری	محقق
۳۲	۱	حوزه جنوبی خزر (آستارا، بندر انزلی، سفیدرود، تنکابن، نوشهر، بابل، سراسر، امیرآباد و ترکمن)	نصراله زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۱)
۱۴	۲	سواحل استان گیلان (آستارا، رضوانشهر، انزلی، کپاشهر و سنگاچین)	نعمتی و همکاران (۱۳۹۵)
۱۱	۳	سواحل گیلان (آستارا، لوندویل، چوبر، گیسوم، رضوانشهر، پاسداران،)	محمدی گلنگش و همکاران (۱۳۹۶)
۹	۴	سواحل شهرستان انزلی- استان گیلان	عظیمی و همکاران (۱۳۹۴)
۴	۵	سواحل مازندران- زمستان (نوشهر- فریدون کنار- امیرآباد، ساری)	Khoshbavar-Rostami و همکاران (۲۰۱۲)
۱۲	۶	نوشهر- فریدون کنار- امیرآباد، ترکمن	Baniemam و همکاران (۲۰۱۷)- زمستان
۱۲	۷	نوشهر- فریدون کنار- امیرآباد- ترکمن	Baniemam و همکاران (۲۰۱۷)- تابستان
۶	۸	سواحل استان گیلان- سنگاچین و هشت پر	Shirnesan و همکاران (۲۰۱۷)
۱۵	۹	سواحل گرگان	Araghi و همکاران (۲۰۱۴)
۵۰	۱۰	سواحل مازندران (نوشهر، بابل، سراسر، امیرآباد- بهشهر، ساری)	Mohammadi Zadeh و همکاران (۲۰۱۰)

۳- نتایج

در جدول ۲، میانگین غلظت ترکیبات PAHs اندازه‌گیری شده (برحسب نانوگرم بر گرم وزن خشک رسوب) در نواحی سواحل مختلف سواحل جنوبی دریای خزر به طور مفصل نمایش داده شد. شایان ذکر است متوسط غلظت PAHs در رسوبات سطحی سواحل جنوبی دریای خزر ۷۶۳/۶۷ نانوگرم بر گرم به دست آمد. همچنین یافته‌های بررسی تغییرات ترکیبات PAHs در ایستگاه‌های مختلف سواحل بین جزو مدی مورد مطالعه نشان داد در بین ۱۶ ترکیب اندازه‌گیری شده بیشترین غلظت مربوط به کرایزن (CHR)، بنزو آپایرن (BaP) فنانترین (Phe) و نفتالین (NA) به ترتیب به میزان ۱۰۵۰/۶۶، ۵۸۰، ۴۳۹/۱ و ۳۶۷/۱۳ نانوگرم بر گرم بوده است (جدول، ۲). همچنین یافته‌های بررسی نسبت بین ترکیبات هیدروکربن‌های با وزن مولکولی پایین نسبت به ترکیبات با وزن مولکولی بالا نشان داد که در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۶، ۷ و ۱۰ میزان این نسبت (LMW/HMW) به مراتب بیشتر از یک بوده و برای سایر ایستگاه‌ها کمتر از یک بوده است. ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) از آلاینده‌های سمی و خطرناک هستند که از طریق فرآیندهای طبیعی و منابع انسانی وارد محیط می‌شوند، اما منابع اصلی آن‌ها در محیط زیست، منابع انسانی پتروژنیک (نفتی) و یا پیروژنیک (سوختی) است (Harris et al., 2011) و جذب این آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی و در نتیجه ورود آن‌ها به زنجیره غذایی موجودات زنده به دلیل پتانسیل سرطان‌زایی و جهش‌زایی آن‌ها سبب ایجاد آسیب‌های فراوانی به حیات موجودات زنده می‌گردد. به‌طور کلی یافته‌های بررسی تغییرات ترکیبات PAHs در سواحل بین جزو مدی سواحل جنوبی دریای خزر نشان داد، میزان و روند تغییرات غلظت ترکیبات PAHs در طول خط ساحلی در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. همچنین متوسط غلظت کل ترکیبات حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) در رسوبات منطقه برابر

ارزیابی میزان سمیت آلاینده‌ها

اصولاً جهت تعیین رابطه بین میزان غلظت ترکیبات PAHs در رسوبات و اثرات سمی یا ناسازگار آن‌ها بر روی موجودات زنده می‌توان از استانداردهای مختلفی نظیر راهنمای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA³) و راهنمایی کیفیت رسوب (SQGs⁴) استفاده نمود (جدول ۲). در استاندارد NOAA دو خطر برای ارزیابی آلاینده‌های آلی و معدنی نظیر ترکیبات PAHs در رسوبات بیان شده است که به‌صورت ERL (Effect Range Low)، حدی که کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیکی درخطرند و ERM (Effect Range Medium)، حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیکی درخطرند ارائه شده است. استاندارد کیفیت رسوب (SQGs) با دو شاخص Probable (PEC) و (Threshold effect concentration) که به ترتیب نشان‌دهنده آستانه تأثیر غلظت، غلظت تأثیر می‌باشند، نشان داده می‌شوند. در استاندارد کیفیت رسوب کانادا دو سطح (Lowest Effect Level) LEL مشخص‌کننده سطحی از آلودگی است که برای عمده جانوران کف زی قابل تحمل بوده و اثر خاصی در جوامع بیولوژیک مشاهده نمی‌شود و SEL (Sever Effect Level) نشان‌دهنده آلودگی شدید است که سلامت موجودات بنتیک را به خطر می‌اندازد و اگر آلودگی از این حد بالاتر باشد باید آزمایش‌ها دقیق سمیت رسوب تعیین گردد (Ramzi et al., 2017). هنگامی که میزان غلظت ترکیبات پایین‌تر از ERL، TEL و TEC تأثیرات ناسازگار بر روی موجودات زنده مشاهده نمی‌شود. در مقابل مقادیر ERM، PEL و PEC نشان‌دهنده غلظت بالای ترکیبات بوده و احتمال تأثیرات ناسازگار بر روی موجودات زنده متحمل است.

³ National Oceanic and Atmospheric Administration

⁴ Sediment Quality Guidelines

جدول ۲- میانگین غلظت ترکیبات PAHs اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف (نانوگرم بر گرم وزن خشک)

میانگین	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۷۸/۰۰	-	۰/۱	۳۰/۳۰	۱۳۹/۰۱	۳۶/۹۹	۸/۴۱	۴/۵۵	۳۶۷/۱۳	۳۷/۵	ND	NaP
۲۰/۹۴	-	۰/۱	ND	۵۰/۱۴	ND	۱/۹۰	ND	۹۷۴۷	۴/۶۰	ND	Acl
۲۸/۹۹	-	۰/۱	۲۵/۶۶	۲۱/۴۳	۹/۷۷	۱/۸۴	۱/۷۸	۳۸/۲۲	۱/۱۰	۱۶۱	Ace
۵۱/۷۷	۱۴۷/۷۵	۰/۰۷۶	ND	۱۲۲/۳۴	۱۷/۲۳	۱/۸۹	۳/۲۵	۴۴/۳۲	۶/۲۰	۱۲۳	Flo
۸۴/۴۰	-	۰/۱۴۰	۲۳/۴۴	۴۳۹/۱۰	۷۱/۷۴	۱۱/۳۳	۱/۹۰	۸۷/۳۵	۴۰/۴۰	ND	Phe
۲۱/۵۰	-	۰/۱	۱۰۹/۱۴	۳۶/۲۰	۱۲/۶۸	۲/۱۵	۱/۹۱	۶/۶۰	۱/۷۰	۲۳	ANT
۷۶/۵۰	-	۰/۰۸۳	۱۸۵/۷۲	۱۰۴/۶۰	۲۵/۹۱	۳/۷۵	۲/۴۷	۵۲/۲۰	۱۳/۸۰	۳۰۰	Flu
۶۹/۰۲	۱۴۷/۵	۰/۱۶۷	۵۵/۹۱	۱۸۸/۱۹	۷۷/۹۵	۵/۴۴	۳/۲۲	۸۶/۹۸	۳۴/۸۰	۹۰	PY
۵۶/۶۲	۹۱	۰/۱	۱۶/۹۳	۱۳/۴۱	۵۱/۳۰	۲/۸۱	ND	۱۱/۴۵	۲/۶۰	۳۲۰	BaA
۷۱/۹۱	۱۵۵	۰/۰۹۱۷	۳۰/۰۵	۱۳۷/۰۶	۴۲/۲۸	۳/۲۳	۱/۷۳	۵۰/۶۲	۴/۱۰	۲۹۵	CHR
۱۸۴/۵۵	-	۰/۲۵۶	ND	۲۸/۴۷	۳/۲۳	۶/۱۴	ND	۱۹/۱۸	ND	۱۰۵۰	BbFA
۲۲/۹۷	۸۲/۷۵	-	ND	۱۷/۰۹	۳/۶۰	۷/۳۰	ND	۴/۱۲	ND	ND	BkFA
۹۱/۰۵	۱۴۰/۷۵	۰/۱۶۶	۳۰/۸۶	۴۵/۷۳	۷/۷۰	۳/۸۲	ND	۸/۵۵	۱/۹۰	۵۸۰	BaP
۳۸/۲۱	-	۰/۱۱۲	ND	۲۷/۰۰	ND	۱/۰۰	ND	۰/۶۵	۰/۵	۲۰۰	DBahA
۱۷/۰۲	-	۱۱۲	ND	۸/۷۷	ND	۰۰۷	ND	۲/۳۷	۲/۸۰	۸۱	IP
۴۱/۵۱	۱۷۲/۲۵	۰/۰۸۷	۱۸/۹۰	۹۷/۱۲	۲۰/۶۳	۶/۵۷	ND	۱۲/۳۲	۴/۲۰	ND	BghiP
۷۶۳/۶۷	۹۳۷	۱/۸۰	۵۲۶/۸۹	۱۴۷۵/۶	۳۸۱	۷۴/۵۲	۲۰/۸۱	۸۳۹/۹۲	۱۵۶/۲۰	۳۲۲۳	Σ PAH
-	۱/۱۲	۰/۷۸	۰/۸۳	۲/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۷	۱/۰۸	۳/۹۶	۱/۸۸	۰/۲۸	LMW/HMW

غلظت این ترکیبات کمتر از ۱۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم باشد یعنی آلودگی پایین، اگر بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ باشند متوسط، ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ آلودگی بالا و اگر بیشتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم باشند خیلی بالا می‌باشند (Tolosa et al., 2004; Abedi et al., 2015). بر اساس این طبقه‌بندی رسوبات سواحل محدوده مطالعاتی از نظر آلودگی ترکیبات PAHs دارای سطح آلودگی متوسط است. این موضوع می‌تواند در رابطه با حلالیت کم، ویژگی آب‌گریز بودن، تجزیه‌پذیری کم ترکیبات PAH که سبب می‌شوند این ترکیبات به سرعت جذب رسوبات و ذرات معلق گردند (Yamei et al., 2009). Akhbarizadeh و همکاران (۲۰۱۶) میزان آلودگی ترکیبات PAH در جزیره خارک را متوسط برآورد کردند، حداقل و حداکثر به ترتیب برابر ۲/۹۵ - ۲۵۳/۳۰ میکروگرم بر کیلوگرم محاسبه گردید. از طرف دیگر میزان آلودگی رسوبات نسبت به مطالعات صورت گرفته در نواحی مختلف در حد متوسط است (جدول ۳).

۶۷۶۳ نانوگرم بر گرم وزن خشک رسوب بوده است؛ که در مقایسه با غلظت این ترکیبات در مطالعات مشابه صورت گرفته در سواحل مختلف؛ از جمله مطالعه‌ی Hong و همکاران (۲۰۱۶) به میزان ۵۰/۵ در فصل خشک؛ Akhbarizadeh و همکاران (۲۰۱۶) ۷۱/۸۷ بیشتر بوده است. در حالی که این میزان از مقادیر کل هیدروکربن‌های حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) اندازه‌گیری شده در رسوبات سواحل استان بوشهر توسط Safahieh و همکاران (۲۰۱۱)، ۲۷۶۱/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم؛ Hong و همکاران (۲۰۱۶) در فصل تر به میزان ۹۱۸ کمتر بوده است (جدول، ۶). همچنین تفاوت غلظت مجموع ترکیبات PAHs در طول سواحل مختلف منطقه می‌تواند ناشی از تمرکز متفاوت فعالیت‌های صنعتی یعنی صنایع پتروشیمی، تردد بیشتر قایق‌ها، لنج و شناورهای موجود در محل و همچنین ورود بیشتر فاضلاب‌های شهری و صنعتی نواحی ساحلی مورد مطالعه باشد. از طرف دیگر نتایج طبقه‌بندی سطح آلودگی ترکیبات PAHs نشان می‌دهد، در صورتی که

جدول ۳- مقایسه میانگین و محدوده تغییرات غلظت ترکیبات در سواحل جنوبی دریای خزر با مطالعات در سایر نقاط جهان

نام سواحل	محدوده	میانگین	وضعیت آلودگی	منبع
مطالعه حاضر	۱/۸۰ - ۳۲۲۳	۷۶۳/۶۷	متوسط	مطالعه حاضر
منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی - خلیج فارس	۲۰۰/۰۵ - ۳۷۰/۸۸	۲۹۲/۷۲ ± ۵۴/۴۴	متوسط	(Hoseynkhezri et al., 2018)
Yangtze - چین	۸۴/۶ - ۶۲۰	۲۵۹	متوسط	(Tolosa et al., 2005)
Bay of Biscay فرانسه	۰/۷ - ۱۴۰		متوسط	(Hong et al., 2016)
منطقه ویژه اقتصادی - پارس شمالی (بوشهر)	۳۰/۲ - ۸۶/۵		کم	(Abedi et al., 2015)
Ovia-Nigeria	۵/۲۵ - ۵۷۳/۳۳	۳۴۷/۵۴	کم تا متوسط	(Tongo et al., 2017)
خلیج Liaodong چین	۱۴۴/۵ - ۲۹۱/۷		متوسط	(Hu et al., 2011)
تنگه هرمز - خلیج فارس	۷۲ - ۱۷ - ۲۷۷/۷۷		کم تا متوسط	(Rahmanpoor et al., 2014)

ارزیابی میزان سمیت آلاینده ها

به استاندارد TEL و TEC بیشتر بوده است. (جدول ۴). همچنین نتایج حاصل بررسی غلظت این ترکیبات با استانداردهای آلاینده‌های خاکهای ایران (استاندارد سازمان محیط زیست)، نشان داد که مقادیر بدست آمده به مراتب بیشتر از این دو استاندارد می‌باشد (جدول ۴). به طور کلی هدف از تعیین استانداردهای کیفیت رسوب، حفاظت از محیط‌های آبی و تعیین سطح سلامت اکوسیستم از نظر میزان غلظت آلاینده‌ها از جمله ترکیبات PAHs است (Hu et al., 2011). هنگامی که میزان غلظت ترکیبات پایین‌تر از ERL، TEL و TEC تأثیرات ناسازگار بر روی موجودات زنده مشاهده نمی‌شود. در مقابل مقادیر PEL، ERM و PEC نشان‌دهنده غلظت بالای ترکیبات بوده و احتمال تأثیرات ناسازگار بر روی موجودات زنده متحمل است. به طوری کلی نتایج نشان داد، غلظت برخی از ترکیبات نسبت به استاندارد ERL، TEL، TEC، ESL و آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی و استاندارد ملی خاک ایران به مراتب بیشتر می‌باشد، که با توجه به افزایش فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل دریایی پتانسیل بالقوه آسیب به موجودات دریایی را دارند. این نتایج با یافته‌های Hong و همکاران (۲۰۱۶)، عابدی و همکاران (۲۰۱۵) نیز مطابقت دارد.

مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۳، مقایسه میانگین کل غلظت ترکیبات PAH در رسوبات با استانداردهای مختلف کیفیت رسوب نظیر کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، راهنمایی کیفیت رسوب (SQGs)، استانداردهای رسوب EPA (ERL، SEL)، آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی (به منظور ارزیابی اثرات سمی یا ناسازگار آن‌ها بر روی موجودات زنده، نشان داد مقادیر اندازه‌گیری شده برای ترکیبات اندازه‌گیری شده، بسته به نوع ترکیب ممکن است از استانداردهای مذکور بیشتر یا کمتر باشد. توضیح اینکه در بین ترکیبات اندازه‌گیری شده میانگین کل آس-نفتالین (Acl) (۷۸/۰۰)، نسبت به میزان استاندارد خاک ایران (۳/۸) و آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی بیشتر، و غلظت Acl، نسبت به آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی؛ غلظت Ace نسبت به استاندارد ERL، ERM، TEL، TEC، ESL و آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی؛ Flo نسبت به استاندارد ERL، TEL و آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی؛ CHR، BaA، Flu، Phe، BkFA، BbFA و PAHs در رسوبات دریایی، BaP نسبت به استاندارد TEL و آستانه سمیت ترکیبات PAHs در رسوبات دریایی؛ DBahA نسبت

جدول ۴- مقایسه غلظت ترکیبات PAHs در رسوبات سطحی با استانداردهای کیفیت رسوب (NOAA و SQGs، EPA) و استاندارد آلاینده‌های خاک حفاظت محیط زیست ایران (Hoseynkhezri et al., 2018; Kucuksezgin et al., 2012; Human Environment Department of Iran, 2013)

میانگین کل	EPA			استاندارد خاک ایران	PEC	TEC	PEL	TEL	ERM	ERL	ترکیبات
	Toxicity threshold	ERL	ESL **								
۷۸/۰۰	۱۳	۱۶۰	۱۷۶	۱/۳	۵۶۱	۱۷۶	۳۹۱	۳۴/۵۷	۲۱۰۰	۱۶۰	NaP
۲۰/۹۴	۳	۴۴	۵/۸۷	-	-	-	۱۲۸	۵/۸۷	۶۴۰	۴۴	Acl
۲۸/۹۹	۴	۱۶	۶/۷۱	۳/۶	۸۸/۹	۶/۷۱	۸۸/۹	۶/۷۱	۵۰۰	۱۶	Ace
۵۱/۷۷	۱۷	۱۹	۷۷/۴	۲/۲	۵۳۶	۷۷/۴	۱۴۴	۲۱/۲	۵۴۰	۱۹	Flo
۸۴/۴۰	۲۹	۲۴۰	۲۰۴	۷/۸	۱۱۷۰	۲۰۴	۵۴۴	۸۶/۷	۱۵۰۰	۲۴۰	Phe
۲۱/۵۰	۲۱	۸۵/۳	۵۷/۲	۲/۲	۸۴۵	۵۷/۲	۲۵۴	۴۶۹	۱۱۰۰	۸۵/۳	ANT
۷۶/۵۰	۶۹	۶۰۰	۴۲۳	۲/۲	۲۲۳۰	۴۲۳	۱۴۹۴	۱۱۲/۸۲	۵۱۰۰	۶۰۰	Flu
۶۹/۰۲	۹۰	۶۶۵	۱۹۵	۱/۲	۱۵۲۰	۱۹۵	۱۳۹۸	۱۵۳	۲۵۰۰	۶۶۵	PY
۵۶/۶۲	۲۱	۲۶۱	۱۰۸	۱	۱۰۵۰	۱۰۸	۶۹۳	۷۴/۸	۱۶۰۰	۲۶۱	BaA
۷۱/۹۱	۳۱	۳۸۴	۱۶۶	۱	۱۲۹۰	۱۶۶	۸۴۶	۱۰۸	۲۸۰۰	۳۸۴	CHR
۱۸۴/۵۵	۳۳	۳۲۰	-	۱	-	-	-	-	۱۸۸۰	۳۲۰	BbFA
۲۲/۹۷	۲۹	۲۸۰	۲۴۰	۱	۱۳۲۰۰	۲۴۰	-	-	۱۶۲۰	۲۸۰	BkFA
۹۱/۰۵	۳۳	۴۳۰	۱۵۰	۰/۲	۱۴۵۰	۱۵۰	۷۶۳	۸۸/۸	۱۶۰۰	۴۳۰	BaP
۳۸/۲۱	-	۶۳/۴	۳۳	۲/۲	۱۳۵	۳۳	۱۳۷	۶/۲۲	۲۶۰	۶۳/۴	DBahA
۱۷/۰۲	-	-	۲۰۰	۱/۵	۳۲۰۰	۲۰۰	-	-	-	-	IP
۴۱/۵۱	-	۴۳۰	۱۷۰	۱	۳۲۰۰	۱۷۰	-	-	۱۶۰۰	۴۳۰	BghiP
۷۶۳/۶۷	۴۹۳	۴۰۲۲	-	-	۲۲۸۰۰	۱۶۱۰	-	-	۲۵۴۳۰	۳۹۱۲/۲	∑ PAH

Maximum Permissible Concentrations*
Ecological Screening Levels**

(Phenanthrene/Anthracene)، فنلانتین به آنتراسن، (Fluoranthene)/FL+Pyrene) فلئورانتین به فلئورانتین به‌اضافه پایرن؛ Benzo(a)anthracene/Chrysene (بنزو (ا) آنتراسن به کرایزن)؛ Flu /Pyr (فلورانتین به پایرن) و An /An+Phe

تعیین منشأ غالب ترکیبات

جهت تعیین منشأ غالب ترکیبات PAHs در رسوبات ساحلی منطقه از شاخص‌های ترکیبی مختلفی نظیر LMW/HMW (ترکیبات با وزن مولکولی کم به ترکیبات با وزن مولکولی زیاد)،

استفاده شد که نتایج حاصل از نسبت‌های تشخیصی مورد استفاده به- منظور تعیین منشأ ترکیبات PAHs در نمونه‌های رسوب مورد بررسی در مطالعه حاضر، در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- نسبت‌های تشخیصی در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی

LMW/HMW	An/(An+Ph)	BaA/BaA+Chr	Flu/(Flu+Pyr)	Flu/Pyr	Chr/BaA	Phe/An	مکان
کم	۰/۱>	۰/۳۵>	۰/۵>	۱>	۱<	۱۰<	منشأ سوختی
زیاد	۰/۱<	۰/۲<	۰/۴<	۱<	۱>	۱۰>	منشأ پتروژنیک
۰/۲۸	-	۰/۵۲	۰/۷۷	۳/۳۳	۰/۹۲	-	۱
۱/۸۸	۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۴۰	۱/۵۸	۲۳/۷۶	۲
۳/۹۶	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۳۸	۰/۶	۴/۴۲	۱۳/۲۲	۳
۱/۰۸	۰/۵	-	۰/۴۳	۰/۷۷	-	۱	۴
۰/۹۷	۰/۱۶	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۶۹	۱/۱۵	۵/۲۲	۵
۱/۰۲	۰/۱۵	۰/۵۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۸۲	۵/۶۶	۶
۲/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۵۶	۱۰/۲۲	۱۲/۱۳	۷
۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۷۷	۳/۳۲	۱/۷۸	۰/۲۱	۸
۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۵	۰/۹۲	۱/۴۳	۹
۱/۱۲	-	۰/۳۷	-	-	۱/۷۰	-	۱۰

علت وجود فعالیتهای گسترده اکتشاف و استخراج نفت در این کشور و جریان پادساعت گرد آب خزر از سمت آذربایجان به ایران، متأثر شدن سواحل کشورمان از فعالیتهای توسعه این کشور دور از ذهن نمی‌باشد. همچنین سایر ایستگاه‌ها یا مکان‌ها نظیر سواحل امیرآباد تحت تاثیر ریزش‌های نفتی به دلیل وجود فعالیت‌های گسترده صنعتی و حمل و نقل دریایی، رواناب شهری و احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع اصلی آلودگی قرار دارند (Mohammadi & Ebrahimi, 2017). امروزه وسایل نقلیه موتوری به‌عنوان یک منبع بالقوه ترکیبات سرطان‌زایی PAHs ترکیبات با وزن مولکولی بالا مانند BaA, BaP و BbKf به‌ویژه در مناطق شهری هستند که از طریق رواناب‌ها، رسوب ذرات معلق هوا، خروج از آگروهای وسایل نقلیه موتوری و ریزش‌های نفتی وارد محیط‌های ساحلی و دریایی می‌شوند (Neşer et al., 2012). به‌طور کلی امروزه تخمین زده می‌شود که حدود ۳۶ درصد ترکیبات PAHs اکوسیستم‌های دریایی ناشی از رواناب شهری ورود فاضلاب‌های شهری است؛ که ۷۱ درصد آن‌ها شامل ترکیبات PAH با وزن مولکولی بالا هستند (Hoseynkhezri et al., 2018). مطابق شواهد موجود برخی از PAHs در محیط‌های طبیعی از ترمودینامیکی و سیر تکاملی دارای ثبات قابل قبولی هستند. به همین جهت استفاده از نسبت غلظت ایزومرها، روش مناسبی برای تعیین منشأ غالب PAHs موجود در رسوبات است (Yunker et al., 2002). بررسی نسبت‌های ترکیبی نشان داد، Phe/An برای ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۷ به ترتیب بالاتر از ۱۰ می‌باشد. که نشان‌دهنده این واقعیت است که ترکیبات PAHs در این ایستگاه‌ها دارای منشأ پتروژنیک و برای سایر ایستگاه‌ها منشأ غالب پتروژنیک (سوختی) است. درواقع این موضوع احتمالاً نشان‌دهنده ریزش ترکیبات نفتی ناشی از ورود پساب صنایع و فاضلاب شهری و همچنین تردد شدید قایق‌ها، لنج‌ها، شناورهای و در نتیجه تخلیه پساب آن‌ها به این محل باشد (Hoseynkhezri et al., 2018; Araghi et al., 2014). نسبت دیگری که جهت تعیین منشأ

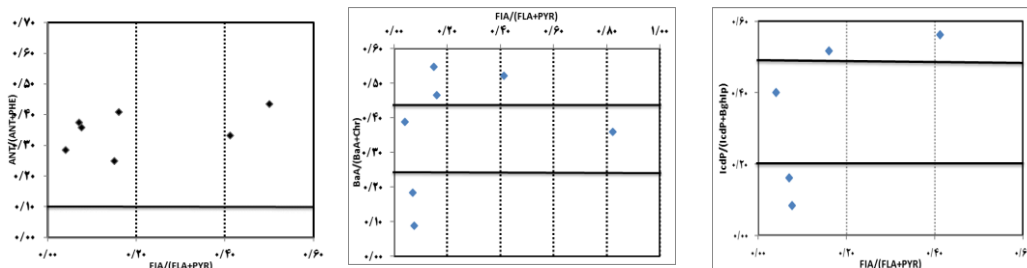
اگرچه ترکیبات PAHs دارای دو منشأ طبیعی و انسانی می‌باشند، اما عمده‌ترین راه ورود آن‌ها به محیط‌زیست از منابع انسانی است. منابع انسانی ورود PAHs به محیط شامل منشأ پتروژنیک (نفتی) و پتروژنیک (سوختی) است (Herris et al., 2011). منابع پتروژنیک شامل نفت خام و فرآورده‌های نفتی نظیر، بنزین، سوخت دیزلی، روغن موتور و آسفالت می‌شود که از طریق ریزش‌های نفتی و عملیات معمولی تانکرها مثل تخلیه آب توازن به‌صورت مستقیم وارد محیط‌های دریایی می‌شوند؛ اما منابع پتروژنیک از سوختن ناقص مواد آلی مثل زغال، نفت و چوب به وجود می‌آیند و از طریق فرآیندهایی مثل بهره‌برداری‌های صنعتی، نیروگاه‌های برق، زباله سوزها، وسایل نقلیه و آتش‌سوزی جنگل‌ها ابتدا به‌صورت گاز یا دوده به اتمسفر وارد می‌شوند و سرانجام از طریق ریزش‌های مستقیم اتمسفری و رواناب‌های سطحی به محیط‌های دریایی راه می‌یابند (Nasrollahzadeh et al., 2012). اصولاً به‌منظور شناسایی و تعیین منشأ احتمالی ترکیبات PAHs از نسبت‌های ترکیبی استفاده می‌شود. به‌طوری‌که ترکیبات با وزن مولکولی کم با منشأ پتروژنیک و ترکیبات با وزن مولکولی بالا با منشأ سوختی مرتبط هستند. منابع پتروژنیک همچون نفت خام و محصولات نفتی تصفیه‌شده سبک مملو از ترکیبات PAHs با وزن مولکولی کم هستند و نسبت LMW/HMW بالاتر از ۱ دارند (Giuliani et al., 2008)، بنابراین اگر نسبت ترکیبات با وزن مولکولی کم به ترکیبات با وزن مولکولی بالا بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده منشأ پتروژنیک ترکیبات خواهد بود. بررسی نسبت بین ترکیبات هیدروکربن‌های با وزن مولکولی پایین و ترکیبات با وزن مولکولی بالا نشان داد که در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ میزان این نسبت (LMW/HMW) به‌مراتب بیشتر از یک بوده و برای سایر ایستگاه‌ها کمتر از یک بوده است. این مطلب نشان‌دهنده پتروژنیک بودن منشأ ترکیبات نفتی در این ایستگاه‌ها است، اصولاً ایستگاه‌ها ۲، ۳ و ۴ به دلیل واقع شدن در سواحل استان گیلان و نزدیک بودن نسبت به کشور آذربایجان و در نتیجه به

مذکور در ایستگاه‌های ۲، ۳، ۶، ۷ و ۹ کمتر از ۰/۴ است که نشان‌دهنده منشأ نفتی در این مکان(سواحل است)؛ اما در ایستگاه‌های ۱ و ۸ بیشتر از ۰/۴ می باشد که نشان از منشأ از سوزاندن، زغال سنگ گیاهان علفی و چوبی این ترکیبات دارد. مطابق شواهد موجود چنانچه نسبت $BaA/(BaA+Chr)$ کمتر از ۰/۲ باشد منشأ ترکیبات نفتی، ۰/۳۵ $BaA/(BaA+Chr)$ منشأ دهنده ترکیب مخلوط پتروژنیک و سوختی؛ چنانچه نسبت $BaA/(BaA+Chr)$ کمتر از ۰/۳۵ باشد، منشأ ترکیبات سوختن ناقص مواد است.(Yunker et al., 2002). در پژوهش حاضر دامنه $BaA/(BaA+Chr)$ بین ۰/۵۵-۰/۱۸ بوده که نشان از تاثیر منابع مختلف در آلودگی سواحل به این ترکیبات به علت گستردگی طول سواحل منزقه می باشد (جدول ۶ و شکل، ۱). تخلیه انواع فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، استقرار صنایع در اطراف سواحل، فعالیت‌های بندری و کشتیرانی، فعالیت‌های استخراج، اکتشاف و پالایش نفت خام در مناطق فراساحلی و تردد قایق‌های صیادی و گردشگری را می‌توان به‌عنوان منابع عمده ورود این گروه از آلاینده‌ها به رسوبات منطقه نسبت داد. بسیاری از فعالیت‌های صنعتی و منطقه‌ای، مانند سوختن جنگل‌ها، از طریق تجزیه شیمیایی بر اثر حرارت به‌عنوان تولیدات ضمنی و سنتز شیمیایی به‌صورت ذرات هوایی تولید PAH وارد محیط می‌شوند سوختن سوخت‌های فسیلی یکی از منابع مهم PAH های پیرروژنیک(سوختی) در محیط است. ذرات ریز حاصل از سوختن بنزین و ماشین‌های دیزلی شامل ۱۱ تا ۲۳۲۲ میکروگرم بر گرم ترکیبات ۴ تا ۱ حلقه‌ای می‌باشند (Zander, 1983). تقریباً تمام PAH های حاصل از وسایط نقلیه می‌توانند در یک مسیر ۵۰ متری رسوب نمایند؛ که بیشتر PAH رسوب یافته راهی آب دریا می‌شوند و در نهایت جذب رسوبات گردند (Sharma et al., 1994).

ترکیبات PAHs کاربرد دارد، شاخص Chr/BaA است، چنانچه این نسبت کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده منشأ پیرروژنیک (سوختی) و در صورتی که این نسبت بیشتر از یک باشد، منشأ غالب ترکیبات پتروژنیک (نفتی) خواهد بود. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت منشأ غالب ترکیبات PAHs در ایستگاه‌های (۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۰) بیشتر از یک است که این مطلب نشان‌دهنده منشأ نفتی ترکیبات PAHs در این ایستگاه‌ها است. بعلاوه برای سایر ایستگاه‌ها این نسبت کمتر از یک بوده است. همچنین $An/(An+Ph)$ برای ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۷ کمتر از ۰/۱ بود که نشان از منشأ پتروژنیک ترکیبات در این ایستگاه‌ها است. به‌طور کلی در مطالعات بسیاری مشخص شده که منشأ پتروژنیک ترکیبات PAH در نتیجه ورود نفت خام، نفت تصفیه‌شده و فرآورده‌های نفتی احتراق نیافته از طریق ریزش مستقیم نفت، تردد نفت‌کش‌ها و رواناب‌های شهری است (Hoseynkhezri et al., 2018). که با توجه به وجود صنایع پتروشیمی، و فاضلاب‌های شهری اطراف ایستگاه‌های موردنظر و همچنین تردد وسایل نقلیه فراوان اعم از قایق‌ها، لنج‌ها و... در این محدوده می‌توان منشأ پتروژنیک ترکیبات PAH را به آن‌ها نسبت داد. Yunker و همکاران (۲۰۰۲)، بیان داشتند در صورتی که نسبت $Flu/(Flu+Pyr)$ کمتر از ۰/۴ باشد، نشان‌دهنده منشأ نفتی؛ $Flu/(Flu+Pyr) < 0.5$ نشان‌دهنده منشأ ناشی احتراق سوخت‌های فسیلی مایع، نفت خام و فرآوری نشده است؛ $Flu/(Flu+Pyr) > 0.5$ نشان از منشأ از سوزاندن، زغال سنگ گیاهان علفی و چوبی است. در پژوهش حاضر دامنه $Flu/(Flu+Pyr)$ بین ۰/۷۷-۰/۲۵ بوده که نشان از تاثیر هر سه نوع منشأ می‌باشد. به عنوان نمونه میزان نسبت

جدول ۶- مقادیر به‌دست‌آمده برای نسبت‌های بکار رفته در تعیین منشأ احتمالی PAHs در رسوبات سطحی

نسبت تشخیصی ترکیبات PAHs	منشأ
$AN/(AN + PHE) < 0.1$	نفتی
$AN/(AN + PHE) \geq 0.1$	سوختن مواد نفتی
$FA/(FA + PY) < 0.4$	نفتی
$0.4 \leq FA/(FA + PY) < 0.5$	سوختن نفت
$FA/(FA + PY) \geq 0.5$	سوختن زغال سنگ و گیاهان چوبی و علفی
$BaA/(BaA + CHR) < 0.2$	نفتی
$0.2 \leq BaA/(BaA + CHR) < 0.35$	شامل دو منبع نفتی و سوختی
$BaA/(BaA + CHR) \geq 0.35$	سوختی
$IP/(IP + BghiP) < 0.2$	نفت
$0.2 \leq IP/(IP + BghiP) < 0.5$	سوختن نفت
$IP/(IP + BghiP) \geq 0.5$	سوختن زغال سنگ گیاهان چوبی و علفی



شکل ۱- نمودار نسبت‌های تشخیصی ترکیبات PAHs به منظور تعیین منشأ آن‌ها در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه (Baniemam et al., 2017)

۴- نتیجه گیری

غلظت مطالعات مشابه در منطقه و سایر نقاط جهان است؛ و از این جهت رسوبات منطقه دارای آلودگی متوسطی بودند. همچنین نتایج بررسی تعیین منشأ غالب ترکیبات PHAs با استفاده از نسبت‌های تشخیصی حاکی از آن بود که بسته به نوع و موقعیت قرارگیری ایستگاه و ورود آلاینده‌های مختلف به سواحل هر دو منشأ پتروژنیک و بایروژنیک در منطقه موجود است. علاوه بر این ارزیابی میزان سمیت ترکیبات PHAs با استفاده با استانداردهای کیفیت رسوب (NOAA, SQGs, EPA) نشان داد، با توجه مقادیر به دست آمده، غلظت ترکیبات PAH در این منطقه تأثیر سویی نسبتاً پایینی بر روی موجودات زنده دارند؛ اما گسترش روزافزون فعالیت‌های گوناگون شهری، صنعتی، تفریحی، شهرنشینی بویژه فعالیت‌های مرتبط با صنایع پتروشیمی پایش مداوم آلاینده‌های نفتی بخصوص ترکیبات PAH را می‌طلبد.

امروزه آلودگی ناشی از آلاینده‌های آلی به‌ویژه ترکیبات PAHs در اکوسیستم‌های آبی و سواحل به دلیل خواصی همچون سمیت، پتانسیل سرطان‌زایی و جهش‌زای زیاد، پایداری نسبتاً طولانی، تجمع پذیری بالا در سطوح مختلف زنجیره غذایی یکی از بزرگ‌ترین مشکلات و نگرانی‌های در سراسر جهان می‌باشند. به همین جهت پایش، بررسی غلظت آن‌ها به منظور شناسایی وضعیت محیط‌زیست منطقه، خطرات و در نتیجه جلوگیری از ورود آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین جهت در مطالعه حاضر به بررسی توزیع، تعیین منشأ و ارزیابی پتانسیل سمیت ترکیبات PAHs در سواحل جنوب پدربای خزر آن پرداخته شد. به طوری که یافته‌ها نشان داد متوسط غلظت کل هیدروکربن‌های حلقوی چند هسته‌ای (PAHs) در رسوبات ساحلی منطقه برابر ۷۶۳/۶۷ نانوگرم بر گرم وزن خشک رسوب بوده است که در محدوده

منابع

- Abdollahi, S., Raoufi, Z., Faghiri, I., Savari, A., Nikpour, Y., & Mansouri, A. 2013. Contamination levels and spatial distributions of heavy metals and PAHs in surface sediment of Imam Khomeini Port, Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 71(1-2), 336-345.
- Abedi, E. et al. 2015 . Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Intertidal Surface Sediments of North Pars Special Economic Energy Zone, Bushehr. *Journal of Oceanography*, 5 (17) :33-40. (In Persian).
- Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B. and Moeinpour, A., 2016. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons risk assessment in coastal water and sediments of Khark Island, SW Iran. *Marine pollution bulletin*, 108(1-2), pp.33-45.
- Araghi, P.E., Bastami, K.D. and Rahmanpoor, S., 2014. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of Gorgan Bay, Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 89(1-2), pp.494-498.
- Azimi, R., Riyahi Bakhtiari, A., Mortazavi, S. 2015. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments from the Southern Shores of the Caspian Sea, Anzali City: Toxicity Assessment and Source Identification. *Journal of Water and Wastewater(parallel title)*; Ab va Fazilab, 26(4): 41-50. (in persian)
- Baniemam, M., Moradi, A.M., Bakhtiari, A.R., Fatemi, M.R. and Khanghah, K.E., 2017. Seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of the southern Caspian Sea. *Marine pollution bulletin*, 117(1-2), pp.478-485.
- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., Togo, A. and Takada, H., 2006. Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediments in Thailand. *Marine pollution bulletin*, 52(8), pp.942-956.
- Chizhova, T., Hayakawa, K., Tishchenko, P., Nakase, H. and Koudryashova, Y., 2013. Distribution of PAHs in the northwestern part of the Japan Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 86, pp.19-24.
- Davoodi, H., Gharibreza, M., Negarestan, H., Mortazavi, M.S. and Lak, R., 2017. Ecological risk assessment of the Assaluyeh and Bassatin estuaries (northern Persian Gulf) using sediment quality indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 192, pp.17-28.
- Giuliani, S., Sprovieri, M., Frignani, M., Cu, N.H., Mugnai, C., Bellucci, L.G., Albertazzi, S., Romano, S., Feo, M.L., Marsella, E. and Nhon, D.H., 2008. Presence and origin of polycyclic aromatic hydrocarbon in sediments of nine coastal lagoons in central Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 56(8), pp.1504-1512.
- Harris, K.A., Yunker, M.B., Dangerfield, N. and Ross, P.S., 2011. Sediment-associated aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal British Columbia, Canada: Concentrations, composition, and associated risks to protected sea otters. *Environmental Pollution*, 159(10), pp.2665-2674.

- Han, D., Cheng, J., Hu, X., Jiang, Z., Mo, L., Xu, H., Ma, Y., Chen, X. and Wang, H., 2017. Spatial distribution, risk assessment and source identification of heavy metals in sediments of the Yangtze River Estuary, China. *Marine pollution bulletin*, 115(1-2), pp.141-148.
- Hong, W. J., Jia, H., Li, Y. F., Sun, Y., Liu, X., & Wang, L. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and alkylated PAHs in the coastal seawater, surface sediment and oyster from Dalian, Northeast China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 128, 11-20.
- Hoseyn Khezri, P., Hatami Manesh, M., Haghshenas, A., Mirzaei, M., Arbabi, M. and Mohammadi Bardkashki, B., 2018. Source Identification and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments) Case Study: Pars Special Economic Energy Zone. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 28(160), pp.56-75. (Persian)
- Hu, N., Shi, X., Huang, P., Mao, J., Liu, J., Liu, Y., & Ma, D. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of Liaodong Bay, Bohai Sea, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(2), 163-172.
- Human Environment Department of Iran. 2013. Water and Soil Office. *Soil Quality Standards and its Guides*.1-64
- Khoshbavar-Rostami, H. A. 2012. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water, sediment and tissue of five sturgeon species in the southern Caspian Sea coastal regions. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(2), 135-144.
- Kucuksezgin, F., Pazi, I., & Gonul, L. T. 2012. Marine organic pollutants of the Eastern Aegean: Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Candarli Gulf surficial sediments. *Marine pollution bulletin*, 64(11), 2569-2575.
- Li, J., Dong, H., Xu, X., Han, B., Li, X., Zhu, C., Han, C., Liu, S., Yang, D., Xu, Q. and Zhang, D., 2016. Prediction of the bioaccumulation of PAHs in surface sediments of Bohai Sea, China and quantitative assessment of the related toxicity and health risk to humans. *Marine pollution bulletin*, 104(1-2), pp.92-100.
- Mari, M., Harrison, R.M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L. and Pongpiachan, S., 2010. Inferences over the sources and processes affecting polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere derived from measured data. *Science of the total environment*, 408(11), pp.2387-2393.
- Mohammadi Galangash M., Ebrahimi Sirizi Z. 2017. Source Identification and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in Coastal Sediment of Caspian Sea; Guilan Province . *J Mazandaran Univ Med Sci*. 27 (155) :128-140.(In Persian).
- Nemati Varnosfaderany, M., Riyahi Bbakhtiari, A., GU, Z. and Chu, G., 2014. Distribution and Source identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Sediments of the Southwest Caspian Sea Coasts: Gillan Province. *Iranian Journal of Health and Environment*, 7(3), pp.315-326.
- Nasrollahzadeh Saravi, H., Pourgholam, R., Unesipour, H. and Makhloogh, A., 2012. Polyaromatic hydrocarbons (16PAHs) at the sediments and edible tissue of liza saliens and rutilus frisii kutum in Caspian Sea. *Journal of Mazandaran university of medical sciences*, 22(94), pp.79-90.(In Persian).
- Safahieh, A., Mahmoodi, M., Nikpoor, Y. and Ghanemi, K., 2011. PAHs Concentration in Ark clam (*Barbatia helblingii*) From South Persian Gulf, Bushehr, Iran. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(5), p.394.
- Sharma, M., Marsalek, J. and McBean, E., 1994. Migration pathways and remediation of urban runoff for PAH control. *Journal of environmental management*, 41(4), pp.325-336.
- Shirneshan, G., Riyahi Bakhtiyari, A., Meamariani, M.(2017). Integrated Use of n-Alkanes and PAH to Evaluate the Anthropogenic Hydrocarbon Sources and the Toxicity Assessment of Surface Sediments from the Southwestern Coasts of the Caspian Sea. *Journal of Water and Wastewater(parallel title)*; *Ab va Fazilab*, 28(3): 74-86. (In Persian)
- Rahmanpoor, S., Ghafourian, H., Hashtroudi, S.M. and Bastami, K.D., 2014. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of the Hormuz strait, Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*, 78(1-2), pp.224-229.

- Ramzi, A., Rahman, K.H., Gireeshkumar, T.R., Balachandran, K.K., Jacob, C. and Chandramohanakumar, N., 2017. Dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of Cochin estuary, India. *Marine pollution bulletin*, 114(2), pp.1081-1087.
- Tolosa, I., de Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Villeneuve, J.P., Bartocci, J. and Cattini, C., 2004. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 48(1-2), pp.44-60.
- Tolosa, I., De Mora, S.J., Fowler, S.W., Villeneuve, J.P., Bartocci, J. and 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(12), pp.1619-1633
- Tongo, I., Ezemonye, L. and Akpeh, K., 2017. Levels, distribution and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Ovia river, Southern Nigeria. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(1), pp.504-512.
- Neşer, G., Kontas, A., Ünsalan, D., Altay, O., Darılmaz, E., Uluturhan, E., Küçüksezgin, F., Tekoğul, N. and Yercan, F., 2012. Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons pollution at the coast of Aliğa (Turkey) ship recycling zone. *Marine pollution bulletin*, 64(5), pp.1055-1059.
- Wang, X.C., Sun, S., Ma, H.Q. and Liu, Y., 2006. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China. *Marine Pollution Bulletin*, 52(2), pp.129-138.
- Yamei, H., Zheng, M., Zhengtao, L. and Lirong, G.A.O., 2009. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Yellow River Estuary and Yangtze River Estuary, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21(12), pp.1625-1631.
- Yunker, M.B., Backus, S.M., Pannatier, E.G., Jeffries, D.S. and Macdonald, R.W., 2002. Sources and significance of alkane and PAH hydrocarbons in Canadian arctic rivers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(1), pp.1-31.
- Zadeh, C.M., Saify, A. and Shalika, H., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) along the eastern Caspian Sea coast. *Glob. Environ. Res*, 4, pp.59-63.
- Zander, M., 1983. Physical and chemical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. In *Handbook of polycyclic aromatic hydrocarbons (Vol. 1, pp. 1-25)*. Marcel Dekker New York.