

## The source and origin of petroleum hydrocarbons in the sediment and four groups of macrozoobenthos communities in north of Persian Gulf

Keivan Ejlali Khanghah\*

Corresponding Author, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran. E-mail: [k\\_ejlali@yahoo.com](mailto:k_ejlali@yahoo.com)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 03.07.2022

Revised: 03.14.2023

Accepted: 04.08.2022

#### Keywords:

Hydrocarbon,  
Macrozoobenthos,  
Persian Gulf,  
Petroleum

### ABSTRACT

This study was conducted in order to compare the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and to compare them in four groups of macrobenthic communities, including gastropods, bivalves, crustaceans, and polychaetes in the north of Persian Gulf. Sampling was carried out at 9 stations using a van veen grab along the coastline of Bandar Abbas in March 2018 and August 2019. The average concentration of total PAHs in two sampling periods, regardless of time distribution by station, showed that the refinery has the highest concentration of these compounds, followed by Posht-e-Shahr and Soro. The highest average concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in gastropods belonged to the 3-ring compound Acenaphthene with an average (ppb) of 1117 and the lowest value belonged to the 6-ring compound Benzopyrylene with an average (ppb) of 2. In bivalves, the highest average concentration of the 3-ring compound Acenaphthene with an average (ppb) of 1261 and the lowest value of the 6-ring compound Benzopyrylene with an average (ppb) of 32 was obtained. The highest average concentration belonging to the 4-ring compound Fluranthene with an average (ppb) of 1551 and the lowest value belonging to the 6-ring compound Benzopyrylene with an average (ppb) of 0 were obtained in crustacean tissue. Studies showed that sediments absorb 5-ring compounds, molluscs absorb 3-ring compounds, crabs absorb 4-ring compounds, and reptiles absorb 5-ring compounds more easily.

Cite this article: Ejlali Khanghah, Keivan. 2024. The source and origin of petroleum hydrocarbons in the sediment and four groups of macrozoobenthos communities in north of Persian Gulf. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (4), 143-157.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2023.21161.1759

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

## تعیین منبع و منشأ هیدروکربن‌های نفتی در رسوب و چهار گروه از ماکروژئوبنتوزها در شمال خلیج فارس

کیوان اجلالی خانقاه\*

نویسنده مسئول، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. رایانامه: [k\\_ejlali@yahoo.com](mailto:k_ejlali@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	این مطالعه به منظور مقایسه حضور ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در رسوبات و مقایسه آن‌ها در چهار گروه از اجتماعات ماکروژئوبنتوز شامل، شکم‌پایان، دوکفه‌ای‌ها، سخت‌پوستان و پرتاران در شمال خلیج فارس صورت پذیرفت. نمونه‌برداری در ۹ ایستگاه با استفاده از یک دستگاه گرب ون وین در امتداد خط ساحلی بندرعباس در اسفند ۹۸ و مرداد ۹۹ انجام شد. میانگین غلظت کل PAHها در دو دوره نمونه‌برداری بدون در نظر گرفتن پراکنش زمانی به تفکیک ایستگاه نشان داد پالایشگاه دارای بیشترین تجمع این ترکیبات است و پس از آن پشت شهر و سورو در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. بیشترین میانگین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در شکم‌پایان متعلق به ترکیب ۳ حلقه‌ای Acenaphthene با میانگین (ppb) ۱۱۱۷ و کمترین مقدار متعلق به ترکیب ۶ حلقه‌ای Benzopyrylene با میانگین (ppb) ۲ به دست آمد. در دوکفه‌ای بیشترین میانگین غلظت متعلق به ترکیب ۳ حلقه‌ای Acenaphthene با میانگین (ppb) ۱۲۶۱ و کمترین مقدار متعلق به ترکیب ۶ حلقه‌ای Benzopyrylene با میانگین (ppb) ۳۲ به دست آمد. بیشترین میانگین غلظت متعلق به ترکیب ۴ حلقه‌ای Fluranthene با میانگین (ppb) ۱۵۵۱ و کمترین مقدار متعلق به ترکیب ۶ حلقه‌ای Benzopyrylene با میانگین (ppb) ۰، در بافت سخت‌پوستان به دست آمد. مطالعات نشان داد که رسوبات ترکیبات ۵ حلقه‌ای، نرم‌تنان ترکیبات ۳ حلقه‌ای، خرچنگ‌ها ترکیبات ۴ حلقه‌ای و پرتاران ترکیبات ۵ حلقه‌ای را آسان‌تر جذب می‌نمایند.

استناد: اجلالی خانقاه، کیوان (۱۴۰۲). تعیین منبع و منشأ هیدروکربن‌های نفتی در رسوب و چهار گروه از ماکروژئوبنتوزها در شمال خلیج فارس. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۲ (۴)، ۱۵۷-۱۴۳.

DOI: 10.22069/japu.2023.21161.1759



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

ساختار اکوسیستم‌ها به شدت تحت تأثیر عوامل استرس‌زای محیطی متعددی هستند که توسط مکانیسم‌های تجمعی و تعاملی عمل می‌کنند و هنوز تا حد زیادی ناشناخته هستند (۱، ۲). شدت اثرات مداخله انسان و تعداد عوامل استرس‌زا در دهه‌های اخیر در نتیجه افزایش تقاضا برای منابع طبیعی و افزایش جمعیت شهری به‌ویژه در امتداد محیط‌های ساحلی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (۳). عوامل استرس‌زا معمولاً با معرفی انواع مختلف آلاینده‌ها، از دست دادن زیستگاه‌ها، بهره‌برداری بیش‌ازحد از گونه‌ها، معرفی موجودات مهاجم و تغییرات آب و هوایی مرتبط هستند (۴). سواحل مجاور بندرها به‌ویژه اکوسیستم‌های آسیب‌پذیری برای دریافت دبی قاره‌ای و شهری از حوضه‌های زهکشی گسترده، رسوبات نگه‌دارنده، مواد مغذی، ترکیبات آلی، فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها هستند. خدمات اکولوژیکی ارائه‌شده توسط اکوسیستم‌های دریایی از نگهداری آلاینده‌ها، تولید غذا و مناطق تفریحی تا تولید هویت فرهنگی مردم را شامل می‌شود.

پایداری کالاها و خدمات آن‌ها به فرآیندهای اکولوژیکی بسیار پیچیده و تنوع زیستگاه‌ها در هر اکوسیستم بستگی دارد و تنها به دلیل خدمات حمایتی و تنظیم‌کننده‌ای که زیربنای آن‌هاست امکان‌پذیر است (۵). شناسایی اثرات تجمعی و تعاملی برای ارزیابی سطح استرس این اکوسیستم‌ها و طراحی استراتژی‌های مدیریت یکپارچه‌تر و منطقی‌تر در موقعیت‌های واقعی اساسی است. کیفیت محیط‌زیست دریایی را می‌توان از طریق یک سری معیارهای تک‌متغیره با ماهیت‌های مختلف، مانند گونه‌های شاخص، معیارهای تنوع و سطوح آلاینده تخمین زد (۶، ۷، ۸). با این حال، توانایی تشخیص اثرات اقدامات تک‌متغیره به‌تنهایی، امکان تفسیر محدود در زیستگاه‌های مختلف را فراهم می‌کند. این بدان معنی است که مقادیر مشابهی از

تنوع را می‌توان برای گونه‌های مختلف در دو زیستگاه به‌دست آورد (۹). درشت بی‌مهرگان اعماق دریا عناصر کلیدی در چرخه مواد مغذی و تولید ثانویه هستند، به‌عنوان منابع کربنی که از سطوح تغذیه‌ای بالاتر در بسیاری از اکوسیستم‌ها پشتیبانی می‌کنند. آن‌ها بر روی فرآیندهای جریان مواد مغذی بین رسوبات و ستون آب از طریق بیوتوربایسون، با پاسخ‌های ثابت به تغییرات محیطی، به‌ویژه به عوامل استرس‌زای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر رسوب عمل می‌کنند.

به این دلایل، ارگانسیم‌های اعماق دریا اغلب به‌عنوان شاخص‌های سلامت محیطی استفاده می‌شوند (۱۰). با فرض نقش اساسی در تصمیم‌گیری که استراتژی‌های حفاظت را در موقعیت‌های تأثیر واقعی هدایت می‌کند (۱۱). با این حال، تأثیر عوامل استرس‌زای ترکیبی متعدد با درجات مختلف تأثیر بر روی جامعه اعماق دریا می‌تواند غیرخطی باشد (۱۲) و پاسخ‌های گونه‌ها متنوع و به‌وضوح قابل پیش‌بینی نیستند (۲). تعیین منابع هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای از دو دیدگاه قابل‌بررسی است. اول تعیین خواستگاه PAHها و دوم شامل مشخص نمودن سهم منابع آلاینده در توزیع آلاینده‌ها است. هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در طبیعت حاصل سه منبع می‌باشند: سوخت‌های فسیلی (petrogenic PAH)، سوختن مواد آلی (pyrogenic PAH) و انتقال پیش‌سازهای مواد آلی طبیعی در محیط از راه فرایندهای (دیاژنیک) نسبتاً سریع شیمیایی یا زیستی (biogenic PAH)، (۱۳). نفت خام منبع اصلی PAHهای حاصل از سوخت‌های فسیلی است. PAHهای حاصل از سوخت‌های فسیلی دارای وزن مولکولی پایین هستند و دارای ۲ یا سه حلقه بنزنی هستند. PAHهای با وزن مولکولی بالاتر دارای غلظت‌های پایین‌تری در اجتماعات PAH حاصل از سوخت‌های فسیلی هستند (معمولاً کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم).

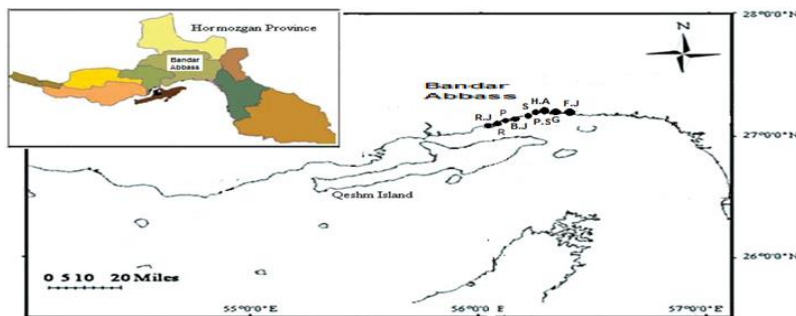
استراتژی مناسبی برای کنترل و جلوگیری از خطرات آلودگی‌های ناشی از این آلاینده‌ها تعیین نمود؛ بنابراین تعیین منبع و خواستگاه ترکیبات PAH به‌عنوان اهداف این پژوهش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به همین منظور پژوهش اخیر که بخشی از بررسی مربوط به ارزیابی خطر اکولوژیک آلودگی‌های نفتی و فلزات سنگین بر جوامع بنتیک در شمال خلیج فارس است که در معرض آلودگی‌های متفاوت قرار دارند، صورت پذیرفت. مبنای انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این تحقیق که از اسکله شیلات شروع و تا اسکله شهید رجایی ادامه داشته مجاور بودن با انواع آلودگی نفتی و غیرنفتی در نوار ساحلی منطقه مورد مطالعه است.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور مقایسه و بررسی حضور ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در رسوبات و بافت چهار گروه از آبزیان شامل شکم پایان، دوکفه‌ای‌ها، سخت‌پوستان و پرتاران نمونه‌برداری از رسوبات ۹ منطقه شامل اسکله شیلات، خورگورسوزان، هتل امین، پشت شهر، سورو، اسکله باهنر (۵ کیلومتری غرب شهر بندرعباس)، نیروگاه (۸/۵ کیلومتری غرب بندرعباس)، پالایشگاه (۱۰ کیلومتری غرب بندرعباس) و اسکله رجایی (در ۱۶ کیلومتری غرب بندرعباس) (شکل ۱ و جدول ۱).

نفت پالایش شده نیز دارای همان مقدار از PAH است که نفت خام قبل از پالایش دارد (۱۳، ۱۴). منبع اصلی PAHها با دو یا سه حلقه بنزنی در محیط سوختن مواد آلی است (۱۳).

مواد آلی در زمان سوختن به مواد آلی کوچک‌تر و نهایتاً به آب و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. در صورتی که سوختن مواد آلی به‌طور ناقص صورت گیرد یا ماده حاصل از سوختن به‌سرعت سرد شود مواد آلی کوچک ممکن است متراکم شده و تشکیل ترکیبات جدیدی شامل PAH تا را بدهد. هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای که بر اثر سوختن مواد آلی ایجاد می‌شوند PAHهای Pyrogenic گفته می‌شوند و اغلب در فاز بخار و ذرات معلق دود حاصل از وسایط نقلیه به فراوانی یافت می‌شوند. PAHهای دو و سه‌حلقه‌ای در فاز بخار و چهارتا شش‌حلقه‌ای در فاز ذرات معلق حاصل از آگروز وسایط نقلیه بیش‌ترین مقدار را دارند (۱۳). ترکیبات پیروژنیک پیچیده‌تر ترکیبات پتروژنیک هستند و به‌وسیله ترکیبات ۴ و ۵ و ۶ حلقه‌ای غالب هستند (۱۵). PAH پیروژنیک اغلب پایدارتر و دور از دسترس زیستی و دارای سمیت کم‌تر نسبت به PAHهای پتروژنیک هستند (۱۶). بیش‌تر رسوبات دارای مخلوطی از PAHها می‌باشند که از منابع متعدد پیروژن و یا پتروژن به‌طور هم‌زمان مشتق می‌شوند. اغلب نیاز است که منابع PAHها را به‌منظور اتخاذ



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری. F.J. اسکله شیلات. G. خور گور سوزان. P.S. پشت شهر. H.A. هتل امین. S. سورو. B.J. اسکله باهنر. P. نیروگاه. R. پالایشگاه. R.J. اسکله رجایی.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	مخفف	توضیح
اسکله شیلات	۲۷° ۱۰' ۵۴"	۵۶° ۱۷' ۳۲"	F.J.	Domestic Input
خور گورسوزان	۲۷° ۱۰' ۵۴"	۵۶° ۱۷' ۳۰"	G.E.	Domestic Input
هتل امین	۲۷° ۱۰' ۳۶"	۵۶° ۱۶' ۲۸"	A.H.	Domestic Input
پشت شهر	۲۷° ۱۰' ۲۷"	۵۶° ۱۶' ۰۲"	P.S.	Domestic Input
سورو	۲۷° ۰۹' ۳۹"	۵۶° ۱۴' ۰۶"	S.	Domestic Input
اسکله باهنر	۲۷° ۰۹' ۰۵"	۵۶° ۱۲' ۰۲"	B.J.	Economical Jetty
نیروگاه	۲۷° ۰۸' ۳۹"	۵۶° ۰۶' ۵۵"	P.	Industrial Discharge
پالایشگاه	۲۷° ۰۷' ۲۵"	۵۶° ۰۶' ۳۵"	R.	Industrial Discharge
اسکله رجایی	۲۷° ۰۶' ۰۰"	۵۶° ۰۴' ۰۰"	R.J.	Economical Jetty

جهت اندازه‌گیری آلودگی‌ها از میانگین داده‌های نمونه‌برداری شده در اسفند ۹۸ و مرداد ۹۹ فارغ از مقایسه زمانی استفاده شد. نمونه‌های رسوب به کمک نمونه‌بردار Van Veen از رسوبات سطحی ایستگاه‌های تعیین‌شده جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. بعد از انتقال به آزمایشگاه نمونه‌ها کدگذاری شده و درون دستگاه فریز درایر (مدل ZIRBUS) با دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت قرار گرفتند پس از انقضای زمان فوق و اطمینان از خشک شدن کامل رسوبات، نمونه‌ها از دستگاه خارج و با یک هاون چینی آزمایشگاهی پودر گردیدند سپس مقدار ۰/۵ گرم از رسوب نمونه خشک‌شده را به‌وسیله ترازوی سارتوریوس (sartorius) با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن نموده و جهت هضم اسیدی به دستگاه مایکروویو (مدل MILESTONE) انتقال داده شدند بعد از هضم اسیدی، نمونه‌بردار خارج و با آب خالص به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. برای اندازه‌گیری PAHها در بافت آیزیان حدود ۵ گرم از بافت آیزیان را پس از فریز درایر در بمب‌های تفلونی ریخته و سپس ۲۰ میلی‌لیتر از حلال n- هگزان و ۲۰ میلی‌لیتر

استن به همراه ۷۰ میکرو لیتر محلول استاندارد داخلی شامل acenaphthylene-d, pyren-d, pyrelyn-d و phenanthrene-d و acenaphthene-d اضافه نموده و سرپوش بمب‌های تفلونی (ویال‌ها) را کاملاً محکم و در دستگاه ماکروویو قرار داده و دمای آن را ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه به ۹۰ درجه رسانده و سپس اجازه داده شد تا به مدت ۲۰ دقیقه در این دما باقی‌مانده تا عمل هضم کاملاً صورت گیرد (۱۷). برای چربی‌زدایی از محلول ۷ درصد پتاس جهت صابونی کردن چربی‌ها استفاده نموده دوباره به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در مایکروویو قرار می‌دهیم و سپس محتویات داخل ویال‌ها را پس از سرد شدن با در نظر گرفتن شماره ایستگاه صاف می‌نماییم. بعد از این مرحله محلول صاف‌شده را به قیف‌های جداکننده انتقال داده و در دو مرحله دو فاز آبی و آلی را از هم جدا شدند. در مرحله اول با اضافه نمودن ۲۰ میلی‌لیتر n- هگزان و در مرحله دوم ۱۰ میلی‌لیتر n- هگزان دو فاز آلی و آبی که به ترتیب در بخش‌های بالایی و پایینی قیف قرار می‌گیرند جدا شده و فاز آلی را پس از جداسازی در دستگاه

سرد قرار داده شد. از سوی دیگر دوغابی از ۳ گرم پودر روی و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر درست نموده و به آرامی دوغاب را به محلول سولفات مس اضافه شد. سپس مخلوط را به آرامی تکان داده تا تمام سولفات مس آبی‌رنگ ناپدید شده و تا تشکیل بلورهای فولیکولی صبر نموده و سپس از مخلوط جدا شدند. پس‌ازاین مرحله نمونه‌ها به دستگاه روتاری جهت کاهش حجم انتقال داده شدند. قبل از عبور دادن از ستون نمونه‌ها جهت سنجش TPHs توسط دستگاه مورد استفاده قرار گرفتند و سپس مطابق آنچه در مورد بافت توضیح داده شد عمل شد (۱۷). برای تعیین منبع آلودگی نفتی از نسبت دو ایزومر Phluranthene/ و Phenanthrene/Anthracene Pyrene استفاده شد. در این روش برای ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای پیروژنیک نسبت دو ایزومر اول کم‌تر از ۵ و برای ترکیبات پتروژنیک این نسبت بیش‌تر از ۵ است. هم‌چنین برای ترکیبات پیروژنیک نسبت دو ایزومر فلورانتن به پیرن نزدیک به ۱ یا بیش‌تر و برای ترکیبات پتروژنیک کوچک‌تر از ۱ است (۱۸). جهت برآورد میانگین و انحراف معیار از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۱۹ استفاده شد.

### نتایج و بحث

جدول ۲ میانگین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای را به تفکیک در رسوب و گروه‌های بتوز چهارگانه نشان می‌دهد. مطابق این جدول بیش‌ترین میانگین غلظت در رسوب متعلق به ترکیب ۵ حلقه‌ای Benzo(a)pyren با میانگین (ppb) ۲۱۹/۱۱ و کم‌ترین مقدار متعلق به ترکیب سه‌حلقه‌ای Acenaphthene با میانگین (ppb) ۸۳/۲۵، بیش‌ترین میانگین غلظت در شکم پایان متعلق به ترکیب ۳ حلقه‌ای Acenaphthene با میانگین (ppb) ۱۱۱۷ و کم‌ترین مقدار متعلق به ترکیب ۶ حلقه‌ای

روتاری به حجم ۱۵-۱۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. در این مرحله نمونه‌ها جهت سنجش TPHs آماده می‌باشند. پس از سنجش این ترکیبات نمونه‌ها را جهت جداسازی PAH از ترکیبات آلیفاتیک از ستونی که از پایین به بالا شامل پشم‌شیشه، ۱۰ میلی‌لیتر سیلیکاژل و ۱۰ میلی‌لیتر آلومینا و در انتها ۱ گرم سولفات سدیم (این ماده مانع از به هم خوردن ستون در هنگام عبور حلال می‌شود) است عبور داده و برای جدا کردن ترکیبات زنجیره‌ای اشباع‌شده (آلیفاتیک) ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر n- هگزان عبور و بعد ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط n- هگزان و دی کلرو متان به نسبت ۹۰ به ۱۰ جهت جدا نمودن هیدروکربن‌های با بیش از ۳ حلقه و پس‌از آن ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط n- هگزان و دی کلرو متان به نسبت مساوی جهت جدا کردن هیدروکربن‌های حلقوی کوچک استفاده شد. قبل از سنجش نمونه‌های PAH دوباره به وسیله دستگاه روتاری آن‌ها جهت قرائت به وسیله دستگاه GC-MS تا حجم حداکثر ۵ میلی‌لیتر تغلیظ نموده و در نهایت با قرار دادن نمونه‌ها در مجاورت گاز نیتروژن مقدار آن را به ۱/۵ میلی‌لیتر رسانده و سپس به وسیله دستگاه GC-MS غلظت این ترکیبات سنجیده شدند. مرحله اول آماده‌سازی رسوب نیز همانند بافت شامل توزین (۱۰ گرم) رسوب، اضافه نمودن ۴۰ میلی‌لیتر مخلوط n- هگزان و دی کلرو متان (به‌جای استن) به نسبت مساوی و نیز استاندارد داخلی و انتقال آن به دستگاه میکروویو است برای رسوب دمای دستگاه در دو مرحله تنظیم شد. در مرحله اول به مدت ۱۰ دقیقه تا رسیدن به دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد و پس‌از آن به مدت ۲۰ دقیقه باقی ماندن در این دما. در هر دوی این مراحل فشار دستگاه روی ۱۲۰۰ درجه تنظیم شد. در یک ظرف ۲۵۰ میلی‌لیتری ۱۰ گرم سولفات مس ۵ آب در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب و ۴ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال حل نموده و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب

تعیین منبع و منشأ هیدروکربن‌های نفتی در رسوب ... / کیوان اجلاالی خانقاه

کم‌ترین مقدار متعلق به ترکیب ۶ حلقه‌ای Benzopyrylene با مقدار صفر و در پرتاران بیش‌ترین میانگین غلظت متعلق به ترکیب ۴ حلقه‌ای Acenaphthylene با میانگین (ppb) ۱۱۵۶ و کم‌ترین مقدار متعلق به دو ترکیب ۶ حلقه‌ای با میانگین (ppb) ۲ و ۰ به‌دست آمد.

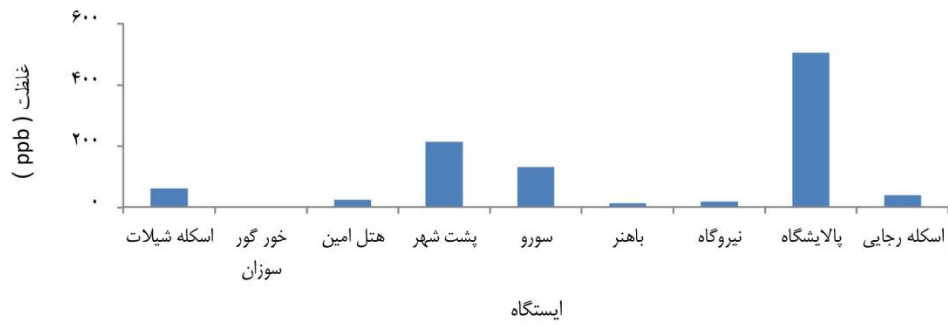
Benzopyrylene با میانگین (ppb) ۲ بیش‌ترین میانگین غلظت در دوکفه‌ای‌ها متعلق به ترکیب ۳ حلقه‌ای Acenaphthene با میانگین (ppb) ۱۲۶۱ و کم‌ترین مقدار متعلق به ترکیب ۶ حلقه‌ای Benzopyrylene با میانگین (ppb) ۳۲، بیش‌ترین میانگین غلظت در سخت‌پوستان متعلق به ترکیب ۴ حلقه‌ای Fluranthene با میانگین (ppb) ۱۵۵۱ و

جدول ۲- مقادیر میانگین (ppb) غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در رسوب و چهار گروه ماکروبتوز.

ترکیب	تاکسون	شکم‌پا	دوکفه‌ای	سخت‌پوست	پرتار	رسوب
Na	۱۲۷/۹	۹۰/۸	۵۷/۲	۱۰۷/۵	۵۳/۶	
Acpy	۱۱۱۵	۱۲۶۱/۸	۶۶۲/۴	۱۱۵۶/۴	۳۲	
Acp	۲۵۰/۴	۶۰/۸	۵۰/۱	۱۶۵/۲	۲۵/۸	
FL	۹۴	۶۲/۶	۹۱/۵	۷۶/۲	۵۲/۹	
PHEN	۱۳۰	۸۹/۸	۲۷۸/۵	۸۴/۷	۷۶/۷	
An	۱۴۶/۸	۱۲۵/۴	۱۹۱/۱	۹۴/۶	۸۴/۴	
FLUR	۵۳/۲	۱۱۰/۹	۱۵۵۱/۸	۷۶/۶	۲۷/۱	
Py	۱۳۲/۹	۳۶/۶	۱۲۸۶/۲	۳۵/۸	۶۲/۶	
CHRY	۸	۱۰۸/۹	۵۵۲/۷	۶۷۱/۶	۱۲۵/۱	
BaA	۷۲/۸	۶۶/۱	۶۵۲/۹	۵۵۱/۲	۱۵۹/۴	
BbF	۳/۱	۹۰/۹	۸۱۹/۹	۶۵۱/۹	۲۰۰/۸	
BkF	۵/۳	۳۰/۲	۷۶۳/۲	۷۵۵/۶	۱۹۹/۶	
BaP	۱۲/۱	۵۲/۵	۴۲۴/۶	۷۲۹/۹	۲۱۹/۱	
dBAn	۵۴/۵	۵۱/۳	۷۸/۸	۴۵/۳	۲۰۰/۴	
IcdP	۶/۶	۶۲/۷	۷۱/۵	۲/۶	۱۴۹/۴	
Bpe	۲	۴۲/۱	۰	۰	۱۳۴/۴	

بیش‌ترین تجمع این ترکیبات است. پس‌از آن پشت شهر و سورو در جایگاه‌های بعدی قرار دارند.

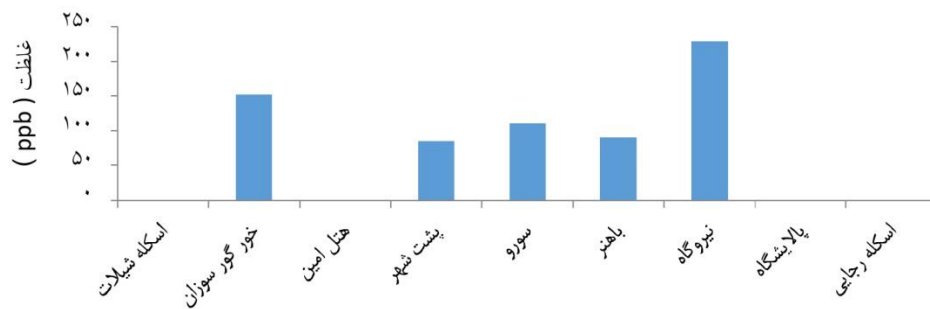
میانگین غلظت کل PAHها در رسوب به تفکیک ایستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است که مطابق این اشکال پالایشگاه با میانگین (ppb) ۵۰۵ دارای



شکل ۲- میانگین غلظت کل PAHها در رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره بررسی.

میانگین غلظت بودند (اسکله شیلات، هتل امین، پالایشگاه و اسکله رجایی فاقد نمونه‌های شکم پا بودند).

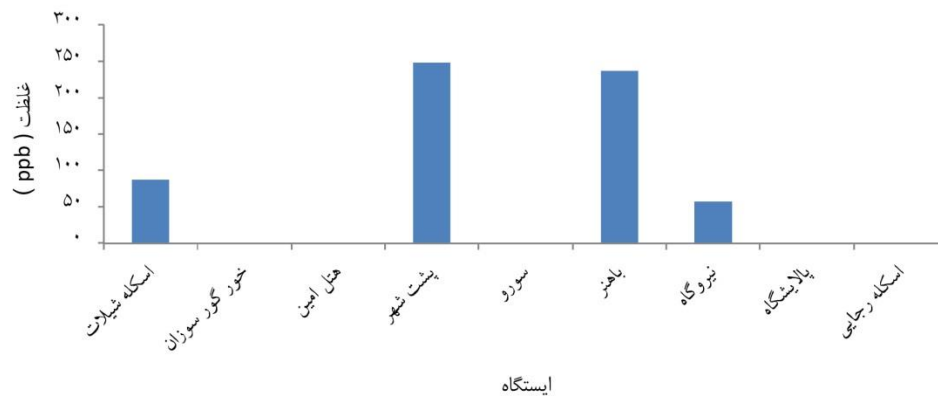
شکل ۳ میانگین غلظت کل PAHها را به تفکیک ایستگاه در شکم‌پایان نشان داده می‌دهد. مطابق این اشکال نیروگاه و خور گورسوزان دارای بیش‌ترین



شکل ۳- میانگین غلظت کل PAHها در شکم‌پایان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره بررسی.

میانگین غلظت بودند (اسکله شیلات، پشت شهر، نیروگاه و اسکله باهنر واجد نمونه‌های دوکفه‌ای بودند).

شکل ۴ میانگین غلظت کل PAHها را به تفکیک ایستگاه در دوکفه‌ای‌ها نشان می‌دهد. مطابق این اشکال پشت شهر و اسکله باهنر دارای بیش‌ترین

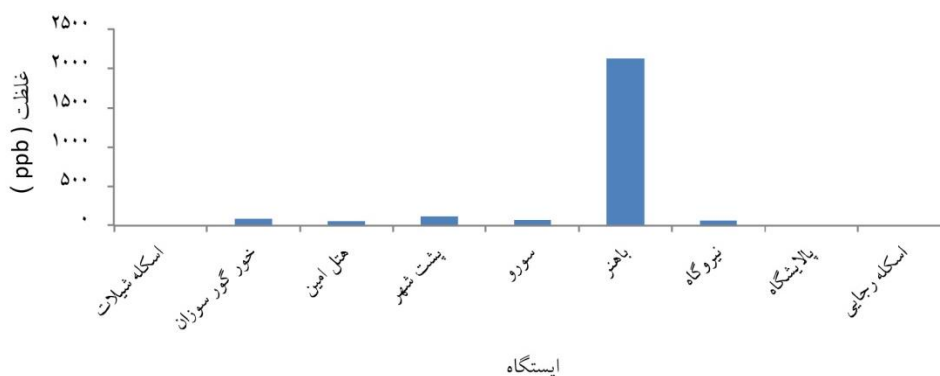


شکل ۴- میانگین غلظت کل PAHها در دوکفه‌ای‌ها به تفکیک ایستگاه در طول دوره بررسی.



PAHها است (اسکله شیلات، پالایشگاه و اسکله رجایی فاقد نمونه‌های خرچنگ بودند).

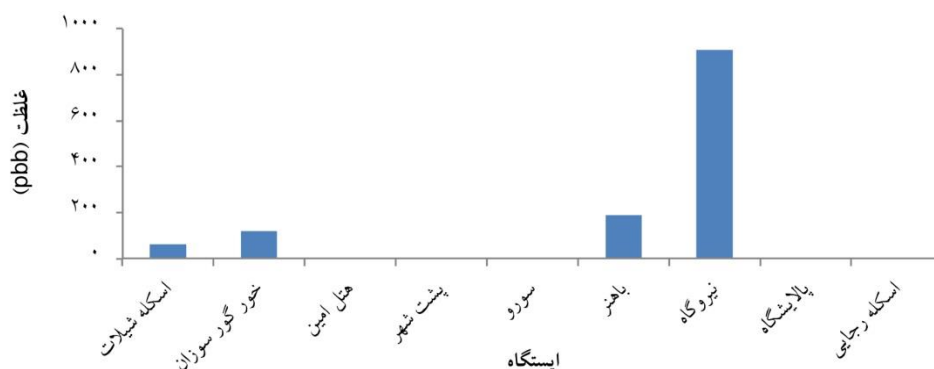
شکل ۵ میانگین غلظت کل PAHها را به تفکیک ایستگاه در خرچنگ‌ها نشان می‌دهد. مطابق این اشکال اسکله باهنر دارای بیشترین میانگین غلظت



شکل ۵- میانگین غلظت کل PAHها در خرچنگ ها در حاله تفکیک ایستگاه در طول دوره بررسی.

(اسکله شیلات، خور گور سوزان، اسکله باهنر و نیروگاه واجد نمونه‌های پرتار بودند).

شکل ۶ میانگین غلظت کل PAHها را به تفکیک ایستگاه در پرتاران نشان می‌دهد. مطابق این شکل نیروگاه دارای بیشترین میانگین غلظت PAHها است



شکل ۶- میانگین غلظت کل PAHها در پرتاران تفکیک ایستگاه در طول دوره بررسی.

که جذب ذرات شده و یا به بخش آبریز (Nonaqueous Phase Liquid)، محلول متصل شده‌اند دارای قابلیت دسترسی زیستی و سمیت بیش تری هستند (۱۶). مواد شیمیایی غیرقطبی مانند PAHها دارای حلالیت خیلی پایین در آب بوده و تمایل زیادی برای جذب توسط رسوبات و ذرات آلی

شکل ۷ نشان می‌دهد که رسوبات ترکیبات ۵ حلقه‌ای، نرم‌تنان ترکیبات ۳ حلقه‌ای، خرچنگ‌ها ترکیبات ۴ حلقه‌ای و پرتاران ترکیبات ۵ حلقه‌ای را آسان‌تر جذب می‌نمایند. هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در حالت محلول و در آب محیط و یا آب موجود در خلل و فرج رسوبات از هیدروکربن‌هایی

و تغلیظ زیستی به‌وسیله موجودات زنده را دارند (۱۳). بیش‌تر ترکیبات PAH پیروژن وارده به محیط آبی با وزن ملکولی بالا جذب بخش ذره‌ای و PAH‌های پتروژن با وزن مولکولی کم جذب بخش بخار خروجی وسائط نقلیه می‌شوند که این گروه از ترکیبات از طریق بارش باران به محیط آبی وارد می‌شوند. هر دوی این ترکیبات جذب فاز آلی ذرات معلق در آب‌شده و به همراه این ذرات در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (۱۳). ترکیبات پیروژن و پتروژن می‌توانند با بخش کلوییدی و ذرات آلی رسوبات و یا با بخش آبگریز (فاز چربی) یا با پوششی از چربی با رسوب تشکیل ترکیبات پیچیده‌ای را ایجاد می‌نمایند. نتیجه بررسی‌های انجام شده نشان داد که بیش‌ترین مقدار هیدروکربن‌های حلقوی آروماتیک مربوط به رسوب در پالایشگاه و متعلق به ترکیب Benzo(a)pyrene مربوط به شکم‌پایان در نیروگاه یعنی محاورت پالایشگاه متعلق به ترکیب

Acenaphthene، مربوط به دوکفه‌ای‌ها در پشت‌شهر متعلق به ترکیب Acenaphthene، مربوط به خرچنگ‌ها در اسکله باهنر متعلق به ترکیب Fluranthene و مربوط به پرتاران در نیروگاه متعلق به ترکیب Acenaphthylene. بررسی نوع هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در رسوب و بافت آبزیان وابستگی شدید پرتاران و تا حدی خرچنگ‌ها را به رسوب نشان می‌دهد زیرا در پرتاران مانند آنچه در رسوب مشاهده شد ترکیبات ۵ حلقه‌ای و در خرچنگ‌ها ترکیبات ۴ حلقه‌ای گروه‌های غالب را تشکیل می‌دهند در صورتی که در نرم‌تنان گروه‌های غالب با ترکیبات دو و به‌خصوص، سه حلقه‌ای است و این عدم وابستگی این موجودات را به رسوب از دیدگاه جذب ترکیبات PAH نشان می‌دهد. این موجودات ترکیبات PAH از منابعی به‌جز رسوب دریافت می‌نمایند که ممکن است یکی از راه‌ها فتواکسیداسیون باشد (۱۸).



شکل ۷- مقایسه ترکیبات PAH در رسوبات و بافت برحسب تعداد حلقه‌ها.

برای تعیین خواستگاه PAH تا روش‌های متفاوتی وجود دارد که اختلاف در نسبت PAH‌های مادر به ایزومرهای آلکیل می‌تواند برای تشخیص و تمییز بین PAH‌های نمونه‌برداری‌شده در محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴، ۱۹، ۲۰). این روش در صورتی که داده‌های مربوط به ایزومرهای آلکیل شده PAH‌ها

در دسترس باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و چنانچه فقط غلظت ترکیبات PAH مادر در دسترس باشد (در این پژوهش) در این صورت از نسبت‌های phenanthren به flouranthane و (PH/AN) anthracene و FL/PY pyrene استفاده می‌شود که در واقع نسبت ایزومرها برای تشخیص منبع PAH مورد استفاده قرار

مناطق مورد مطالعه عمدتاً از نوع پیروژن است زیرا نسبت PH/AN در تمام ایستگاه‌ها کم‌تر از ۵ و نسبت FL/PY کم‌تر از ۱ است (۱۵). با حصول این نتایج انتظار می‌رود که ترکیبات PAH موجود در رسوبات در مناطق مورد مطالعه از نوع ۴ تا ۶ حلقه‌ای باشد. با عنایت به شکل ۶ ملاحظه می‌شود که ترکیبات ۵ حلقه‌ای بیش‌ترین غلظت و سپس ترکیبات ۶ و ۴ حلقه‌ای در رتبه‌های بعدی قرار دارند. 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 PAH‌های پیروژنیک در محیط است. ذرات ریز حاصل از سوختن بنزین و ماشین‌های دیزلی شامل ۱۶ تا ۲۳۰۰ میکروگرم بر گرم ترکیبات ۴ تا ۶ حلقه‌ای می‌باشند (۲۲، ۲۳).

می‌گیرد. anthracene و fluoranthene از دیدگاه ترمودینامیکی در مقایسه با ایزومرهای خود یعنی phenanthrene و pyrene پایداری کم‌تری دارند (۲۱). از طرفی AN و FL در طی فرایندهای تولید ترکیبات پیروژن که همراه با افزایش سریع درجه حرارت است تولید می‌شوند ولی در فرایندهای کند تشکیل مواد آلی که منجر به تولید سوخت‌های فسیلی می‌شوند پایدار نمی‌مانند و این خاصیت این ترکیبات منجر به این نظریه شده است که نسبت PH/AN مربوط به PAH‌های پیروژن معمولاً کم‌تر از ۵ و در PAH‌های مربوط به پتروژن بیش‌تر از ۵ است. این نسبت‌ها در مورد FL/PY برابر یا بیش‌تر از ۱ برای PAH‌های مربوط به پیروژن و بزرگ‌تر از ۱ برای PAH‌های مربوط به پتروژن است.

برای تعیین خواستگاه ترکیبات PAH‌ها در این بررسی از روش دوم استفاده شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ آمده است که مطابق آن می‌توان چنین استنباط نمود که خواستگاه ترکیبات PAH در همه

جدول ۳- تعیین منبع و منشأ ترکیبات PAH در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Reference	منشأ آلودگی	FLUR/PY	منشأ آلودگی	PHEN/AN	ایستگاه	منبع آلودگی
(۱۴)	-----	-----	pyrogenic	0.73	شیلات	پساب‌های شهری
-----	-----	-----	-----	-----	خورگورسوزان	
(۱۴)	pyrogenic		pyrogenic	۰/۷۴	هتل امین	پساب‌های شهری
(۱۴)	pyrogenic	۰/۷۴	pyrogenic	۰/۷۲	پشت شهر	سوخت‌های فسیلی
(۱۴)	-----		pyrogenic	۰/۷۷	سورو	پساب‌های شهری
(۱۴)	-----		pyrogenic	۰/۷۵	باهنر	پساب‌های شهری
(۱۴)	-----		pyrogenic	۰/۸	نیروگاه	پساب‌های شهری
(۱۴)	pyrogenic	۱/۶۴	pyrogenic	۱/۰۵	پالایشگاه	قیر
(۱۴)	pyrogenic	۲/۷۳	pyrogenic	۰/۷۷	اسکله رجایی	پساب‌های شهری

مناطق کم عمق ساحلی برداشت شده است وجود ترکیبات PAH حاصل از صنایع آلاینده کانونی که از نوع پیروژنیک است دور از انتظار نیست. با مراجعه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که تقریباً تمامی ترکیبات PAH حاصل ریزش پساب‌های شهری (urban runoff) است زیرا مقادیر نسبت‌های ایزومرها در دامنه مربوط به این منبع آلودگی یعنی بین ۰/۵۶-۱/۴۷ و ۰/۲۳-۱/۰۷ به ترتیب برای نسبت‌های PH/AN و FL/PY است. بدین ترتیب مناطق مورد مطالعه متأثر از یک تک منبع بوده که همان پساب‌های شهری می‌باشند.

### نتیجه‌گیری کلی

مقایسه میانگین هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی نشان داد که رسوب در پالایشگاه، شکم‌پایان و پرتاران در نیروگاه، دوکفه‌ای‌ها و سخت‌پوستان در پشت‌شهر و سورو دارای بیش‌ترین میانگین غلظت این ترکیبات هستند. به عبارت دیگر رسوبات و جانداران بی‌مهره کفزی در غرب شهر بندرعباس نسبت به شرق بیش‌تر تحت تأثیر این ترکیبات قرار دارند که به احتمال خیلی زیاد به علت وجود منابع آلاینده در بخش غربی شهر است. هم‌چنین نتایج نشان داد که هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای پس از انتشار به صورت پیروژنیک یا پیروژنیک عودتا به صورت رواناب‌های شهری و بخشی به صورت سوخت‌های فسیلی وارد آب دریا و نهایتاً جذب رسوبات می‌شوند. بررسی نوع هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در رسوب و بافت آبزیان وابستگی شدید پرتاران و تا حدی خرچنگ‌ها را به رسوب نشان می‌دهد زیرا در پرتاران مانند آنچه در رسوب مشاهده شد ترکیبات ۵ حلقه‌ای و در خرچنگ‌ها ترکیبات ۴ حلقه‌ای گروه‌های غالب را تشکیل می‌دهند در صورتی که در نرم‌تنان گروه‌های غالب با ترکیبات دو و به خصوص، سه حلقه‌ای است

تقریباً تمام PAH‌های حاصل از وسایط نقلیه می‌توانند در یک مسیر ۵۰ متری رسوب نمایند (۲۴، ۲۵). بیش‌تر PAH‌های رسوب‌یافته از راهی آب دریا می‌شوند (۲۶، ۲۷). صنایعی مانند تهیه زغال‌سنگ، کربن کردن زغال‌سنگ و نفت به منظور تولید بنزین، صنایع تولید مواد سیاه از تقطیر زغال‌سنگ (coal tar)، کربن سیاه، صنایع مربوط به غیر (۲۸، ۲۹، ۳۰)، پالایش نفت از طریق کاتالیزور برای تولید بنزین پالایش‌یافته (۱۴)، تولید آهن و فولاد، ذوب آلومینیوم (۳۱، ۳۲) تولید ذرات معلق در هوا و ضایعات جامد با غلظت‌های بالای PAH، که نهایتاً وارد آب‌های شیرین و شور می‌شوند، می‌نمایند مثلاً ۷ کارخانه ذوب آلومینیوم در نروژ در سال ۹۲ حدود ۱۰ تن ترکیبات متفاوت PAH از نوع پیروژنیک را روانه دریا نموده است (۳۳). ترکیبات پیروژنیک از طریق نشت طبیعی نفت، فرسایش موادی مانند زغال‌سنگ، بافت‌های پوسیده گیاهی که به عنوان کود و سوخت استفاده می‌شوند، رسوب نفت شیل، نشت نفت و زغال به آب، تخلیه آب موازنه کشتی‌ها، پساب‌های حاصل از پالایش نفت، جداسازی نفت از آب در سکوها تولید نفت، موتورهای با سوخت زغال‌سنگ، پساب‌های حاصل از طوفان و بسیاری از منابع غیرکانونی وارد آب‌های شیرین و آب دریا می‌شوند (۱۳).

از مقایسه دو گروه از صنایع ذکر شده در بالا و نتایج این بررسی می‌توان استنتاج نمود که ترکیبات PAH موجود در رسوبات مناطق مورد مطالعه حاصل صنایع کانونی بوده که جزء منابع آلوده‌کننده پیروژن می‌باشند. نظر به این‌که این صنایع در طول خط ساحلی واقع شده‌اند بنابراین آلاینده‌های حاصل از آن‌ها یا به طور مستقیم وارد آب دریا می‌شوند و یا ابتدا به صورت ذرات معلق در هوا و سپس به صورت ذرات ته‌نشین شده از راه جریان‌ات سطحی راه به دریا می‌یابند. به عبارتی دیگر چون نمونه‌های رسوب در

### نقش نویسندگان

همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهمی بودند و همه با تأیید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

و این عدم وابستگی این موجودات را به رسوب از دیدگاه جذب ترکیبات PAH نشان می‌دهد.

### تشکر و قدردانی

از تمامی همکارانی که در انجام این پژوهش، این‌جانب را یاری نموده‌اند اعم از نمونه‌برداری تا نگارش علمی تشکر و قدردانی می‌شود.

### منابع

- 1.Alter, S., Tariq, L., Creed, J. K., & Megafu, E. (2021). Evolutionary responses of marine organisms to urbanized seascapes. *Evolutionary Applications*, 14 (1), 210-232. DOI **0.1111/eva.13048**.
- 2.Crain, C. M., Kroeker, K., & Halpern, B. S. (2008). Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology letters*, 11 (12), 1304-1315. DOI **10.1111/j.1461-0248.2008.01253.x**.
- 3.Halpern, B. S., Selkoe, K. A., Micheli, F., & Kappel, C. V. (2007). Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation biology*, 21 (5), 1301-1315. DOI **10.1111/j.1523-1739.2007.00752.x**.
- 4.Sala, O. E., Stuart Chapin, F. I. I., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *science*, 287(5459), 1770-1774. DOI **10.1126/science.287.5459.1770**.
- 5.Hope, J. A., Paterson, D. M., & Thrush, S. F. (2020). The role of microphytobenthos in soft-sediment ecological networks and their contribution to the delivery of multiple ecosystem services. *Journal of Ecology*, 108 (3), 815-830. DOI **10.1111/1365-2745.13322**.
- 6.Borja, A., Franco, J., Erez, V. P., Environment, M., & Perez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (12), 1100-1114. DOI **10.1016/S0025-326X(00)00061-8**.
- 7.Rosenberg, R., Blomqvist, M., Nilsson, H. C., Cederwall, H., & Dimming, A. (2004). Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine pollution bulletin*, 49 (9-10), 728-739. DOI **10.1016/j.marpolbul.2004.05.013**.
- 8.Labrune, C., Romero-Ramirez, A., Amouroux, J. M., Duchêne, J. C., Desmalades, M., Escoubeyrou, K., ... & Grémare, A. (2012). Comparison of ecological quality indices based on benthic macrofauna and sediment profile images: a case study along an organic enrichment gradient off the Rhône River. *Ecological Indicators*, 12 (1), 133-142. DOI **10.1016/j.ecolind.2011.04.028**.
- 9.Dufrene, M., & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, 67(3), 345-366. DOI **10.2307/2963459**.
- 10.Chiarelli, R., & Roccheri, M. C. (2014). Marine invertebrates as bioindicators of heavy metal pollution. *Open Journal of Metal*. 04(04), 93-106 DOI **10.4236/ojmetal.2014.44011**.
- 11.McLusky, D. S., & Elliott, M. (2004). *The estuarine ecosystem: ecology, threats and management*. OUP Oxford.
- 12.Hunsicker, M. E., Kappel, C. V., Selkoe, K. A., Halpern, B. S., Scarborough, C., Mease, L., & Amrhein, A. (2016).

- Characterizing driver–response relationships in marine pelagic ecosystems for improved ocean management. *Ecological applications*, 26 (3), 651-663. DOI 10.1890/14-2200.
13. Neff, J. M. (2002). Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminants from oil well produced water. Elsevier.
  14. Stout, S. A., Uhler, A. D., McCarthy, K. J., & Emsbo-Mattingly, S. (2002). Chemical fingerprinting of hydrocarbons. *Introduction to environmental forensics*, 137-260.
  15. Sporstol, S., Gjos, N., Lichtenthaler, R. G., Gustavsen, K. O., Urdal, K., Orelid, F., & Skei, J. (1983). Source identification of aromatic hydrocarbons in sediments using GC/MS. *Environmental Science & Technology*, 17 (5), 282-286.
  16. Pastorok, R. A., Sampson, J. R., Jacobson, M. A., & Peek, D. C. (1994). Ecological risk assessment for river sediments contaminated by creosote. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 13 (12), 1929-1941.
  17. Amini Ranjbar, G., & Sotodehnia, F. (2005). Investigation of heavy metals accumulation in muscle tissue of *Mugil auratus* in relation to standard length, weight, age and sex. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 14 (3), 1-18.
  18. Ozretich, R. J., Ferraro, S. P., Lamberson, J. O., & Cole, F. A. (2000). Test of  $\Sigma$  polycyclic aromatic hydrocarbon model at a creosote-contaminated site, Elliott Bay, Washington, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 19 (9), 2378-2389.
  19. Bence, A. E., Kvenvolden, K. A., & Kennicutt II, M. C. (1996). Organic geochemistry applied to environmental assessments of Prince William Sound, Alaska, after the Exxon Valdez oil spill—a review. *Organic geochemistry*, 24 (1), 7-42.
  20. Douglas, G. S., Bence, A. E., Prince, R. C., McMillen, S. J., & Butler, E. L. (1996). Environmental stability of selected petroleum hydrocarbon source and weathering ratios. *Environmental Science & Technology*, 30(7), 2332-2339.
  21. Baumard, P., Budzinski, H., & Garrigues, P. (1998). Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 17 (5), 765-776.
  22. Oda, J., Maeda, I., Mori, T., Yasuhara, A., & Saito, Y. (1998). The relative proportions of polycyclic aromatic hydrocarbons and oxygenated derivatives in accumulated organic particulates as affected by air pollution sources. *Environmental Technology*, 19 (10), 961-976.
  23. Takada, H., Onda, T., Harada, M., & Ogura, N. (1991). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust from the Tokyo Metropolitan area. *Science of the Total Environment*, 107, 45-69.
  24. Harrison, R. M., & Johnston, W. R. (1985). Deposition fluxes of lead, cadmium, copper and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) on the verges of a major highway. *Science of the Total Environment*, 46 (1-4), 121-135.
  25. Hewitt, C. N., & Rashed, M. B. (1990). An integrated budget for selected pollutants for a major rural highway. *Science of the total environment*, 93, 375-384.
  26. Sharma, M., Marsalek, J., & McBean, E. (1994). Migration pathways and remediation of urban runoff for PAH control. *Journal of environmental management*, 41 (4), 325-336.
  27. Hoffman, E. J., Mills, G. L., Latimer, J. S., & Quinn, J. G. (1984). Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environmental science & technology*, 18 (8), 580-587.
  28. Villaume, J. F. (1984). Coal tar wastes: Their environmental fate and effects. *Hazardous and Toxic Wastes: Technology, Management and Health Effects*, the Pennsylvania Academy of Science, Easton PA. 1984. p 362-375, 3 fig, 3 tab, 22 ref.

29. Merrill, E. G., & Wade, T. L. (1985). Carbonized coal products as a source of aromatic hydrocarbons to sediments from a highly industrialized estuary. *Environmental science & technology*, 19 (7), 597-603.
30. Mueller, J. G., & Chapman, P. J. y Pritchard, PH. (1989). Creosote-contaminated sites: Their potential for bioremediation. *Environ. Sci. Tech.* 23, 1197-1201.
31. Neff, J. M., Langseth, D. E., Graham, E. M., Sauer Jr, T. C., & Gnewuch, S. C. (1994). Transport and fate of non-BTEX petroleum chemicals in soil and groundwater. *API Publication*, 4593.
32. Thrane, K. E. (1987). Deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the surroundings of primary aluminium industry. *Water, Air, and Soil Pollution*, 33, 385-393.
33. Knutzen, J. (1995). Effects on marine organisms from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and other constituents of waste water from aluminium smelters with examples from Norway. *Science of the total environment*, 163 (1-3), 107-122. National Research Council. 1985. Oil in the sea: inputs, fates, and effects (Vol. 1). National Academies Press.

