



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Investigation of PCBs Contamination in Barnacles and Sedimentation of Anzali and Caspian Ports

Fatemeh Mirzababaei¹, Seyed Ali Jozi^{2*}, Omid Rafieyan³ and Mohammad Ebrahim Ramazani³

¹PhD Scholar, Department of Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

²Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³Assist. Professor, Department of Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Article information

Received: April 06, 2022

Revised: June 03, 2022

Accepted: June 11, 2022

Keywords:

Aquatic Ecosystem

Crustaceans

Persistent Organic Pollutants

Quality

Sediment

*Corresponding author:

a-jozi@iaui-tnb.ac.ir



Abstract

The Caspian Sea is important in terms of environment and monitoring of biological pollutants due to its long coastlines and commercial activities of the industrial port of agriculture and tourism. Identifying marine environmental pollutants is the first step to rebuilding and protecting this valuable ecosystem. The purpose of this study was to determine the amount of Polychlorinated biphenyls in sediments and Barnacles of Anzali and Caspian ports in Guilan province, Iran. Therefore, Barnacle and sediment samples were collected in 2 stations with 3 replications in Anzali and Caspian ports by VanVeen Grab sampler in summer according to the life cycle of Barnacles. After preparation and drying with freeze dryer, after analysis, it was read by gas chromatography. The highest concentration of PCBs in Barnacles in Anzali station was related to isomers PCB-81 & PCB-77 and the lowest was related to isomers PCB-114 and PCB-156. The highest concentration of PCBs in Barnacles in Caspian station was related to isomers PCB-28 and PCB-77 and the lowest was related to isomers PCB-114 & PCB-153. The highest PCB concentration in sediment in Anzali and Caspian ports was recorded similarly for isomers PCB-52 & PCB-28 and the lowest was related to isomers PCB-114 and PCB-156.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

In the past, polychlorinated biphenyls (PCBs) were specifically manufactured on a large industrial scale and used, for example, in transformers and electric motors, or as additives in sealing materials and hydraulic oils. Their production was banned in many countries in the

1970s and 1980s. With the entry into force of the 2004 Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, adopted in the European Union by the POPs Directive (EC 850/2004), a global strategy to eliminate this pollutant was developed. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) are environmental pollutants that have been identified in various environmental matrices



around the world. However, a significant portion of the environmental burden of these compounds is due to disposal operations, accidents leaking from various industrial facilities, and from chemical waste disposal facilities. The total amount of PCBs produced worldwide and the proportion available in the environment is unknown. However, it is estimated that about 1.5 million tons are produced worldwide. Therefore, to manage the risk of PCBs to the environment and human communities, it is necessary to develop scientific studies and detailed experiments to determine the amount of PCBs in the natural ecosystem of each region and information about their interactions. Hence, the aim of this research was to investigate the PCBs contamination in barnacles and sedimentation of two main ports in the north of Iran, Anzali and Caspian.

Material and Methods

In this study, two stations were considered for sampling coastal sediments and barnacles. Sampling was performed in the summer in 3 replications to reduce the error rate. A total of 6 samples were collected for sediment and 6 samples for Barnacle. Sampling was done by Van Veen Grab sampling machine and all samples were washed with seawater and then distilled water after harvest and kept in aluminium containers at 4 °C until the samples were prepared and in standard conditions in a trusted environmental laboratory Transferred. Sediment and barnacle samples were freeze-dried for 48 hours using a freeze dryer to allow the samples to dry completely. Sediment samples were then passed through a 250 µm sieve and Barnacle samples were ground. Method of PCB extraction from seawater and Barnacle sediments using ultrasonic probe: 5 g of the granulated sample is transferred to a 40 ml vial. To obtain the extraction recovery, a standard 10 ml ppb of Sarugite (PCB-209) is added to the sediment inside the vial of 60 ml. Then precipitate 3 times with 20 ml of a 50:50 mixtures of dichloromethane: acetone solvents and the precipitate is exposed to ultrasonic waves from the ultrasonic probe for 5 minutes. The sediment is then removed using a centrifuge and the extracted solvent is collected in a 100 ml rotary balloon. For the complete extraction of PCBs, the extraction and decontamination steps are repeated three times. Then the solvent is dried in a balloon using a rotating machine, then the rotary balloon is washed with 5 ml of hexane and the resulting solution is transferred to the cleanup

stage. First, some fibreglass was transferred into the pasteurizer pit, and then 500 mg of silica gel was transferred into the pipette. Before passing the extract, the silico-stationary phase was quenched with 3 ml of hexane. The extract was then passed through the column and the column was washed again with 10 ml of hexane and the solution was collected in a column in a vial. Finally, the resulting solution was brought to a volume of 200 ml by blowing N₂. To analyze PCBs, one ml of the solution was injected into the GC-MS device and an isomer of 18 PCBs was obtained.

Results

The results showed that the highest PCB concentration of Barnacle environmental index in Anzali and Caspian stations is 53 ng. The highest concentration of Barnacle ecological index in Anzali and Caspian stations is related to PCB-77 isomer. The highest PCB concentrations in Anzali and Caspian stations are related to PCB-28 and PCB-52 isomers, respectively. The lowest PCB concentration of Barnacle environmental index in Anzali and Caspian stations is 2.67 and 3.17 ng, which is related to the PCB-114 isomer. The lowest PCB concentrations in Anzali and Caspian stations are related to PCB-114 and PCB-156 isomers, respectively. Consistent with the results of the study that the highest amount of PCB in the sediment, which was in the isomer PCB-28 and PCB-52 (Table 1). In general, the biodegradation of PCBs in the environment depends on the number of chlorine atoms, and PCB compounds with higher chlorine content have higher adsorption.

The results show that the statistical test of PCB isomers in Anzali and Caspian is significant at the level of 5% and a significant relationship was observed between Barnacle PCBs and sediment. Increasing the level of contaminants in the environment of PCBs has a direct and increasing effect on both barnacle and sediment, But the main reason for the release of different levels of contaminants in the environment of PCBs is different in different places. In Bandar Anzali, the existence of centres with a high potential for oil pollution, including the existence of Kilka industrial fishing vessels and gasoline pumps that supply fuel for fishing and recreational boats in the rivers leading to the exit of Anzali Wetland and the entrance to the shipping canal is the main sources of pollution.

Table 1 PCB level in Anzali and Caspian stations (ng)

Anzali						Caspian					
PCBs Barnacle	N	Mean Rank	PCBs Sediment	N	Mean Rank	PCBs Barnacle	N	Mean Rank	PCBs Sediment	N	Mean Rank
PCB-28	3	47.00	PCB-28	3	53.00	PCB-28	3	50.00	PCB-28	3	53.00
PCB-52	3	44.00	PCB-52	3	48.83	PCB-52	3	47.00	PCB-52	3	50.00
PCB-101	3	23.00	PCB-101	3	34.67	PCB-101	3	11.33	PCB-101	3	28.33
PCB-81	3	50.00	PCB-81	3	48.17	PCB-81	3	32.00	PCB-81	3	47.00
PCB-77	3	53.00	PCB-77	3	31.83	PCB-77	3	53.00	PCB-77	3	12.67
PCB-123	3	26.00	PCB-123	3	40.00	PCB-123	3	23.00	PCB-123	3	38.67
PCB-118	3	36.67	PCB-118	3	24.50	PCB-118	3	38.67	PCB-118	3	20.67
PCB-114	3	2.67	PCB-114	3	3.00	PCB-114	3	3.17	PCB-114	3	4.83
PCB-153	3	29.00	PCB-153	3	30.33	PCB-153	3	4.33	PCB-153	3	24.00
PCB-105	3	20.00	PCB-105	3	12.17	PCB-105	3	27.33	PCB-105	3	12.83
PCB-138	3	38.33	PCB-138	3	35.33	PCB-138	3	35.00	PCB-138	3	44.00
PCB-126	3	39.00	PCB-126	3	44.00	PCB-126	3	44.00	PCB-126	3	35.50
PCB-167	3	13.67	PCB-167	3	9.00	PCB-167	3	17.00	PCB-167	3	8.00
PCB-156	3	4.33	PCB-156	3	4.00	PCB-156	3	8.83	PCB-156	3	2.17
PCB-157	3	8.00	PCB-157	3	14.83	PCB-157	3	12.33	PCB-157	3	30.17
PCB-180	3	12.67	PCB-180	3	27.33	PCB-180	3	20.00	PCB-180	3	26.83
PCB-169	3	32.00	PCB-169	3	18.17	PCB-169	3	27.67	PCB-169	3	39.83
PCB-189	3	15.67	PCB-189	3	15.83	PCB-189	3	40.33	PCB-189	3	16.50
Total	54		Total	54		Total	54		Total	54	

Conclusion

By examining the isomers of PCBs in these two contamination stations, different isomers in the living environment, namely Barnacle, had similar frequencies. In the non-living environment, the amount of PCBs contaminants in the isomers was much lower than that of Barnacle. Study at Anzali and Caspian ports according to the statistical analysis (Spearman's and Kendall's tau_b) showed that there is a positive and direct correlation between the read isomers in the sediment and Barnacle sections. A significant relationship was observed between Barnacle PCBs and sediment. As the level of contaminants in the environment of PCBs increased, it had a direct and increasing effect on both Barnacle and sediment.

Acknowledgement

It is appropriate to express our gratitude and appreciation to the distinguished professors Dr. Ali Mahdini and Dr. Mahmoud Ghafarzadeh for their scholarly opinions and precious collections and tireless efforts of the respected employees of the Research Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

بررسی آلاینده‌های بی‌فنیل‌های پلی‌کلره در بارناکل و رسوب بنادر انزلی و کاسپین

فاطمه میرزابابایی^۱، سیدعلی جوزی^{۲*}، امید رفیعیان^۳ و محمد ابراهیم رضانی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
^۲ استاد، گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۳ استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۱/۲۹]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۲/۳۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۴/۰۴]

واژه‌های کلیدی:

آلاینده‌های آلی پایدار

بوم‌سازگان آبی

کیفیت

رسوب

سخت‌پوستان

*نویسنده مسئول:

a-jozi@iau-tnb.ac.ir



دریای کاسپین به دلیل داشتن خطوط ساحلی طویل و فعالیت‌های تجاری، بندری، صنعتی، کشاورزی و گردشگری از نظر محیط زیستی و پایش آلاینده‌های زیستی دارای اهمیت بسیاری است. شناخت عوامل آلاینده محیط زیست دریایی نخستین گام جهت بازسازی و صیانت از این بوم‌سازگان بارزش است. هدف از این پژوهش تعیین میزان بی‌فنیل‌های پلی‌کلره ((PCB در رسوبات و بارناکل بندر انزلی و بندر کاسپین در استان گیلان بود. بنابراین، نمونه‌های بارناکل و رسوب در ۲ ایستگاه و با ۳ تکرار در بنادر انزلی و کاسپین به وسیله نمونه‌بردار Van Veen Grab در فصل تابستان با توجه به چرخه زندگی بارناکل‌ها برداشت شد و پس از آماده‌سازی و خشک کردن با دستگاه فریز درایر بعد از آنالیز به وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی قرائت شد. بیش‌ترین میزان غلظت PCBs در بیوماکر بارناکل ایستگاه انزلی مربوط به ایزومرهای PCB-81 PCB-77 و کم‌ترین آن مربوط به ایزومرهای PCB-156 PCB-114 تعیین شد. بیش‌ترین میزان غلظت PCBs در بارناکل ایستگاه کاسپین مربوط به ایزومرهای PCB-28 PCB-77 و کم‌ترین آن مربوط به ایزومرهای PCB-156 PCB-114 بود. بیش‌ترین میزان غلظت PCBs در رسوب ایستگاه بندرانزلی و رسوب بندر کاسپین به‌طور مشابه مربوط به ایزومرهای PCB-28 PCB-52 و کم‌ترین آن مربوط به ایزومرهای PCB-114 PCB-156 ثبت شد.

۱- مقدمه

نواحی ساحلی دریایی از لحاظ اکولوژیک از مناطق بسیار حیاتی می‌باشند که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند. بنابراین مدیریت و حفاظت از محیط زیست ساحلی که شامل بوم‌سازگان حساس و غنی از لحاظ گونه‌های مختلف زیستی می‌باشند از چالش‌های پیچیده محسوب می‌شود (Besseling et al. 2013). رسوبات ساحلی دریای کاسپین در محدوده استان گیلان، تحت تأثیر انواع فعالیت‌های کشاورزی، کشتیرانی، صنایع پتروشیمی، استخراج نفت و شهرک‌های صنعتی قرار دارد که هر یک سهم فراوانی در آلودگی منطقه دارند (Vazquez et al. 2022). همگام با

نواحی ساحلی دریایی از لحاظ اکولوژیک از مناطق بسیار حیاتی می‌باشند که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند. بنابراین مدیریت و حفاظت از محیط زیست ساحلی که شامل بوم‌سازگان حساس و غنی از لحاظ گونه‌های مختلف زیستی می‌باشند از چالش‌های پیچیده محسوب می‌شود



تولید شده در سراسر جهان و نسبت موجود در محیط ناشناخته است. با این حال، تخمین زده شده است که حدود ۱/۵ Mton در سراسر جهان تولید شده است. اشتعال پذیری، پایداری شیمیایی و امتزاج پذیری آن‌ها با ترکیبات آلی (چربی دوستی) نیز همان خواصی است که باعث ایجاد مشکلات محیط زیستی آن‌ها شده است (Lawson et al. 2019; Cullen et al. 2021). پس از وارد شدن به محیط زیست، PCBهای پایدار نسبتاً به کندی تخریب می‌شوند و در اجزای مختلف بوم‌سازگان جهانی چرخش و حمل و نقل می‌شوند. علاوه بر این، به دلیل چربی دوستی آن‌ها، این ترکیبات ترجیحاً در سطوح تغذیه‌ای بالاتر زنجیره غذایی تجمع و بزرگ‌نمایی می‌کنند. این ترکیبات در بدن موجودات، تجمع زیستی پیدا می‌کنند و در نتیجه مردمی که از این مواد غذایی استفاده می‌کنند در معرض PCBs قرار می‌گیرند. انسان‌ها اغلب از طریق ماهی و نرم‌تنان صدف دار در معرض PCBs قرار می‌گیرند که انباشتگی زیادی از این ترکیبات را دارا هستند (Ćulin and Bieleć 2015). بنابراین، برای مدیریت خطر PCBs برای محیط زیست و جوامع انسانی توسعه بررسی‌های علمی و آزمایش‌های دقیق در مورد تعیین میزان PCBهای موجود در بوم‌سازگان طبیعی هر منطقه و اطلاعاتی در مورد اثرات متقابل آن‌ها ضروری است.

پژوهش‌های متعددی در سطح دنیا به بررسی اثرات محیط زیستی اثر آلاینده‌های آلی پایدار پرداخته‌اند. Vazquez et al. (2022) به بررسی میزان PCBs در مجاورت یک کارخانه فاضلاب و یک مکان حفاظت شده پرداختند. نمونه برداری در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان از آب دریا انجام شد. یافته‌ها نشان داد بارگذاری PCB از ۲/۸۹ تا ۷۹/۴۱ ng در نمونه‌های آب دریا و از ۰/۰۷ تا ۶/۶۱ ng در نمونه‌های رسوب متغیر بود. فصلی بودن نیز یک عامل مرتبط بود زیرا در طول زمستان غلظت PCB در نمونه‌هایی بیش‌تر بود که هم‌زمان با باران‌ترین فصل بود. Pouch et al. (2021) تأثیر تغییرات آب و هوایی و ذوب یخ‌ها و برف‌ها را در آلاینده‌های PCBs در آب دریای آبدردی قطب شمال بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد غلظت ۲۳۳ ng بوده و به فعالیت‌های محلی انسانی و ذوب شدن یخچال‌های طبیعی بستگی دارد. Vaezzadeh et al. (2021) به بررسی میزان آلاینده‌های آلی پایدار موجود در سواحل اطراف شبه جزیره مالزی پرداختند. نتایج نشان داد

رشد صنعتی و اقتصادی، آلاینده‌های بسیاری وارد محیط زیست دریایی می‌شوند که اثرات مخرب برخی از آن‌ها تا مدت‌ها بر محیط زیست باقی می‌ماند. انسان‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق اقداماتی همچون توسعه مناطق شهری، صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی آلاینده‌های مختلفی را در بوم‌سازگان‌های آبی آزاد می‌سازند که می‌تواند اثرات نامطلوبی بر کیفیت زیستگاه‌های آبی و سلامت انسان‌ها ایجاد کند (Pouch et al. 2021). این مسئله باعث ایجاد نگرانی‌های گسترده در مورد کیفیت محیط زیست آبی و آینده گونه‌های حیات وحش دریایی و ساحلی به علت آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی در سرتاسر جهان شده است. بارناکلاها در بوم‌سازگان‌های ساحلی مختلف در نواحی جغرافیایی سرتاسر دنیا حضور دارند (Vaezzadeh et al. 2021).

در گذشته، بی‌فنیل‌های پلی کلره (PCBs) به‌طور خاص در مقیاس صنعتی بزرگ تولید می‌شدند و برای مثال در ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی یا به‌عنوان افزودنی در مواد آب‌بندی و روغن‌های هیدرولیک استفاده می‌شدند. تولید آن‌ها در بسیاری از کشورها در دهه ۱۹۷۰-۱۹۸۰ ممنوع شده است (Tornero and Hanke 2016). با لازم‌الاجرا شدن کنوانسیون استکهلم در مورد آلاینده‌های آلی پایدار در سال ۲۰۰۴ که در اتحادیه اروپا توسط دستورالعمل POPs (EC 850/2004) به تصویب رسید، یک استراتژی جهانی برای حذف این آلاینده ایجاد شد (Vazquez et al. 2022). PCBها گروهی از هیدروکربن‌های کلردار را توصیف می‌کنند که شامل ۲۰۹ ترکیب منفرد با درجات کلرزی فزاینده شماره‌گذاری شده‌اند. PCBها در محصولات تجاری PCB قبلی تحت نام‌های تجاری مختلف وجود داشتند که شامل مخلوطی از حدود ۱۵۰-۱۴۰ PCBs هم‌سان با درجات مختلف کلر بود. هم‌زاده‌های معمولی این مخلوط‌ها در حال حاضر معمولاً به‌عنوان Aroclor PCB شناخته می‌شوند (Besseling et al. 2013).

PCBs آلاینده‌های محیطی هستند که در سراسر جهان در ماتریس‌های مختلف محیطی شناسایی شده‌اند. با این حال، بخش قابل توجهی از بار محیط زیستی این ترکیبات ناشی از اقدامات دفع، حوادث، نشت از تأسیسات مختلف صنعتی و از سرچاه‌های دفع زباله‌های شیمیایی است. مقدار کل PCBs

¹Polychlorinated biphenyls

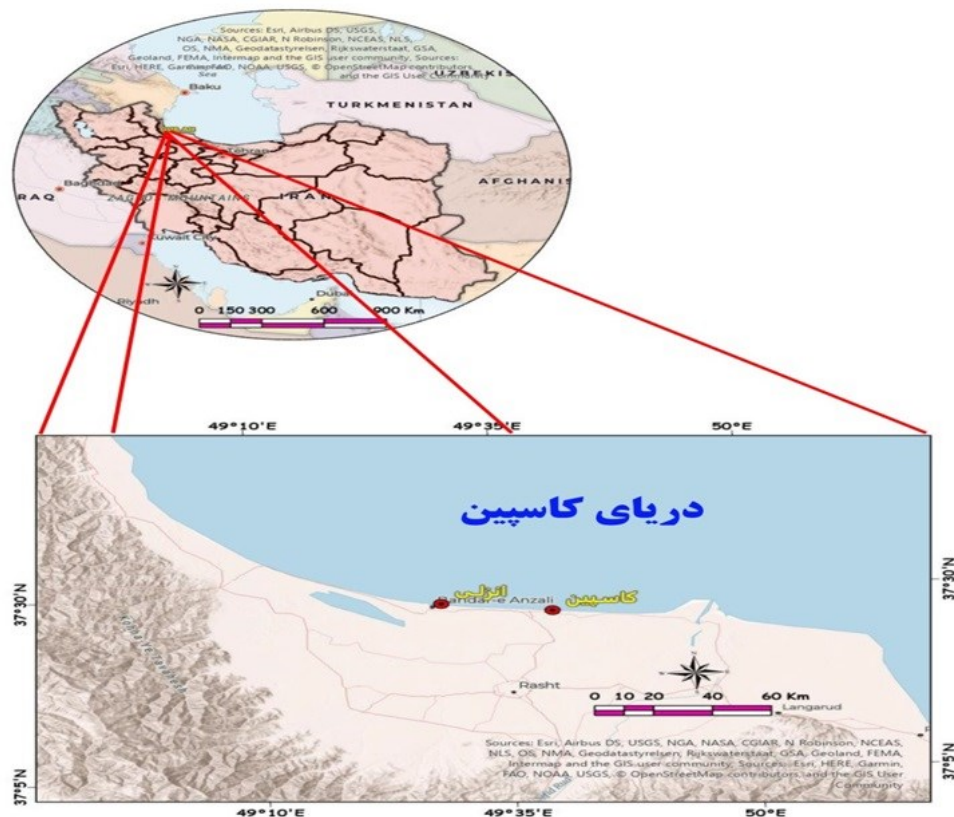
بررسی اثر اصلی انتشار PCBs در انزلی و رشت پرداختند. یافته‌ها نشان داد فعالیت‌های صنعتی در نزدیکی انزلی علت اصلی انتشار آلاینده‌ها می‌باشد.

بررسی منابع نشان داد استفاده دقیق از یک زیست‌پالایش‌گر خاص باعث به‌دست آوردن یک نتیجه جامع‌تر در مورد کیفیت بوم‌سازگان‌های آبی و تحلیل میزان آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف محیط‌زیستی می‌شود. ر ایران، مطالعات روی آلاینده‌های آلی پایدار محدود است و نیاز به بررسی بیش‌تر و تعیین میزان این آلاینده‌ها در بوم‌سازگان ساحلی ایران وجود دارد؛ بنابراین، در این پژوهش از بارناکل به‌عنوان زیست‌پالایش‌گر برای تحلیل میزان PCBs در بوم‌سازگان ساحلی استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش دو ایستگاه جهت نمونه‌برداری از رسوبات ساحلی و بارناکل‌ها در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری در فصل تابستان و در سه تکرار برای کاهش ضریب خطا انجام گرفت. در مجموع شش نمونه برای رسوب و شش نمونه برای بارناکل برداشت شد.

در بین آلاینده‌های آلی پایدار PCBs دارای بیش‌ترین غلظت بودند و بارناکل‌ها می‌توانند شاخص‌های محیط‌زیستی مفیدی برای نظارت بر آلودگی آلاینده‌های آلی پایدار در بوم‌سازگان‌های ساحلی باشند. (Lao et al. (2021) به بررسی میزان PCBs در خلیج Beibu در چین با این سؤال که آیا توسعه سریع شهرهای ساحلی باعث تسریع آلودگی آلی در منطقه شده است یا خیر پرداختند. یافته‌ها نشان داد سطوح PCBs در شرق این خلیج بیش‌تر از غرب بود که تحت تأثیر صنعتی‌شدن و شهرنشینی در شرق بود. (Hitchcock et al. (2019) تأثیر راهبرد مهاجرت گازهای مولد قطب شمال را بر وقوع آلاینده‌های PCBs در تخم‌های غاز گیاه‌خوار بارناکل بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد مهاجرت تأثیر بیش‌تری بر آلاینده‌های PCBs دارد. (Hassan and Al-Maslmani (2015) به بررسی میزان آلایندگی‌های PCBs در خلیج الخور پرداختند. یافته‌ها نشان داد غلظت آلاینده‌ها در آب بسیار کم بود. (Besseling et al. (2013) اثر میکروپلاستیک‌های دریایی بر تجمع زیستی آلاینده‌های آلی پایدار را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد میکروپلاستیک‌ها میزان غلظت PCBs را با ضریب ۱/۱ تا ۳/۶ افزایش داد. (Javadan Kherad et al. (2012)



شکل ۱- موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 1 Location of the study area and stations

سپس عصاره استخراجی از ستون عبور داده شد و دوباره ستون با ۱۰ ml هگزان شسته شد و محلول حاصل از ستون در داخل یک ویال جمع‌آوری شد. در نهایت، محلول حاصل با استفاده از دمیدن N_2 به حجم ۲۰۰ ml رسانده شد. جهت آنالیز ترکیبات PCBs مقدار ۱ μ l از محلول حاصل به دستگاه GC-MS تزریق گردید و ایزومر ۱۸ ترکیب PCB به‌دست آمد.

۳-۲- تحلیل‌های آماری

در این پژوهش برای مقایسه میزان آلودگی ایستگاه‌های مختلف و همچنین برای مقایسه غلظت PCBs در رسوب و بارناکل از آزمون غیرپارامتری کروسکال - والیس استفاده شد (Fatima et al. 2022; Kim et al. 2022).

۳- یافته‌ها و بحث

غلظت ۱۸ ترکیب PCB در نمونه‌های رسوب و بارناکل ایستگاه‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج این ترکیبات در هر ایستگاه در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج نشان داد بالاترین غلظت PCB شاخص محیط‌زیستی بارناکل در ایستگاه انزلی و کاسپین ۵۳ ng بود. بیش‌ترین غلظت شاخص محیط‌زیستی بارناکل در ایستگاه‌های انزلی و کاسپین مربوط به ایزومر PCB-77 بود. بالاترین غلظت PCB در رسوب ایستگاه‌های انزلی و کاسپین به‌ترتیب مربوط به ایزومرهای PCB-28 و PCB-52 بود. کم‌ترین میزان غلظت PCB شاخص محیط‌زیستی بارناکل در ایستگاه انزلی و کاسپین ۲/۶۷ و ۳/۱۷ ng بود که مربوط به ایزومر PCB-114 است. کم‌ترین غلظت PCB در رسوب ایستگاه‌های انزلی و کاسپین نیز به‌ترتیب مربوط به ایزومرهای PCB-114 و PCB-156 می‌باشد. همسو با نتایج پژوهش که بیش‌ترین میزان PCB موجود در رسوب که در ایزومر PCB-28 و PCB-52 بود، (Davodi et al. 2010) غلظت PCB در ۵ گونه از ماهیان خوراکی تالاب شادگان را بررسی کردند که یافته‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان PCB مربوط به ایزومر PCB-28 بود. همچنین نتایج مشابهی از PCBs با بارناکل در این مطالعه نسبت به مطالعات قبلی گزارش شده است. (Otchere 2005) میزان PCB را در تالاب‌های کشور غنا بررسی کرد که نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان PCB مربوط به ایزومر PCB-28 بود. به‌طور کلی تجزیه‌یستی PCBs در محیط به تعداد اتم کلر آن‌ها بستگی دارد و

نمونه‌برداری به‌وسیله دستگاه نمونه‌بردار رسوب بسترگراپ ون وین صورت پذیرفت. تمامی نمونه‌ها پس از برداشت ابتدا با آب دریا و سپس آب مقطر شستشو داده شدند و در ظروف آلومینیومی در دمای 4°C تا زمان آماده‌سازی نمونه‌ها نگهداری شده و در شرایط استاندارد به آزمایشگاه معتمد محیط‌زیست انتقال یافت. موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.

۲-۱- اندازه‌گیری PCBs در رسوب و بارناکل

نمونه‌های رسوب و بارناکل با استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی به مدت ۴۸ hr قرار داده شد تا نمونه‌ها کاملاً خشک شوند. سپس نمونه‌های رسوب از الک $250\text{ }\mu\text{m}$ عبور داده و نمونه‌های بارناکل هم آسیاب شد. روش استخراج PCB از بافت رسوبات دریا و بارناکل با استفاده از پیمایش‌گر^۳ اولتراسونیک، ۵ g از نمونه دانه‌بندی شده به یک ویال ۴۰ ml انتقال داده شد. برای به‌دست آوردن بازایافت استخراج، بر روی رسوب داخل ویال ۶۰ ml استاندارد ۱۰ ppb^۴ جانشین PCB-209 افزوده شد. سپس رسوب سه مرتبه با ۲۰ ml مخلوط ۵۰:۵۰ حلال‌های دی‌کلرومتان: استون اضافه شده و رسوب به مدت ۵ min در معرض امواج اولتراسونیک حاصل از پیمایش‌گر التراسونیک قرار گرفت. سپس با استفاده از سانتریفیوژ رسوب جدا شده و حلال استخراجی در بالن روتاری ۱۰۰ ml جمع‌آوری شد. برای استخراج کامل PCBs، مراحل استخراج سرریز شدن^۵ سه مرتبه تکرار شد. سپس با استفاده از دستگاه چرخان حلال داخل بالن خشک گردیده سپس با ۵ ml هگزان بالن روتاری را شسته و محلول حاصل به مرحله پاک‌سازی^۶ انتقال یافت (Fromme et al. 2022).

۲-۲- حذف مزاحمت‌ها

ابتدا به داخل پیت پاستور مقداری پشم‌شیشه انتقال داده سپس ۵۰۰ mg از سیلیکا ژل به داخل پیت انتقال داده شد. قبل از عبور دادن عصاره استخراجی فاز ساکن سیلیکوژلی داخل پیت با ۳ ml هگزان آماده‌سازی^۷ شد.

^۱Van Veen Grab

^۲Freeze Dryer

^۳Probe

^۴Surrogate

^۵Decanter

^۶Clean Up

^۷Condition

ترکیبات PCB با میزان کلر بالاتر جذب سطحی بالاتری دارند.

جدول ۱- میزان PCB در ایستگاه انزلی و کاسپین (ng)

Table 1 PCB level in Anzali and Caspian stations (ng)

Anzali						Caspian					
PCBs Barnacle	N	Mean Rank	PCBs Sediment	N	Mean Rank	PCBs Barnacle	N	Mean Rank	PCBs Sediment	N	Mean Rank
PCB-28	3	47.00	PCB-28	3	53.00	PCB-28	3	50.00	PCB-28	3	53.00
PCB-52	3	44.00	PCB-52	3	48.83	PCB-52	3	47.00	PCB-52	3	50.00
PCB-101	3	23.00	PCB-101	3	34.67	PCB-101	3	11.33	PCB-101	3	28.33
PCB-81	3	50.00	PCB-81	3	48.17	PCB-81	3	32.00	PCB-81	3	47.00
PCB-77	3	53.00	PCB-77	3	31.83	PCB-77	3	53.00	PCB-77	3	12.67
PCB-123	3	26.00	PCB-123	3	40.00	PCB-123	3	23.00	PCB-123	3	38.67
PCB-118	3	36.67	PCB-118	3	24.50	PCB-118	3	38.67	PCB-118	3	20.67
PCB-114	3	2.67	PCB-114	3	3.00	PCB-114	3	3.17	PCB-114	3	4.83
PCB-153	3	29.00	PCB-153	3	30.33	PCB-153	3	4.33	PCB-153	3	24.00
PCB-105	3	20.00	PCB-105	3	12.17	PCB-105	3	27.33	PCB-105	3	12.83
PCB-138	3	38.33	PCB-138	3	35.33	PCB-138	3	35.00	PCB-138	3	44.00
PCB-126	3	39.00	PCB-126	3	44.00	PCB-126	3	44.00	PCB-126	3	35.50
PCB-167	3	13.67	PCB-167	3	9.00	PCB-167	3	17.00	PCB-167	3	8.00
PCB-156	3	4.33	PCB-156	3	4.00	PCB-156	3	8.83	PCB-156	3	2.17
PCB-157	3	8.00	PCB-157	3	14.83	PCB-157	3	12.33	PCB-157	3	30.17
PCB-180	3	12.67	PCB-180	3	27.33	PCB-180	3	20.00	PCB-180	3	26.83
PCB-169	3	32.00	PCB-169	3	18.17	PCB-169	3	27.67	PCB-169	3	39.83
PCB-189	3	15.67	PCB-189	3	15.83	PCB-189	3	40.33	PCB-189	3	16.50
Total	54		Total	54		Total	54		Total	54	

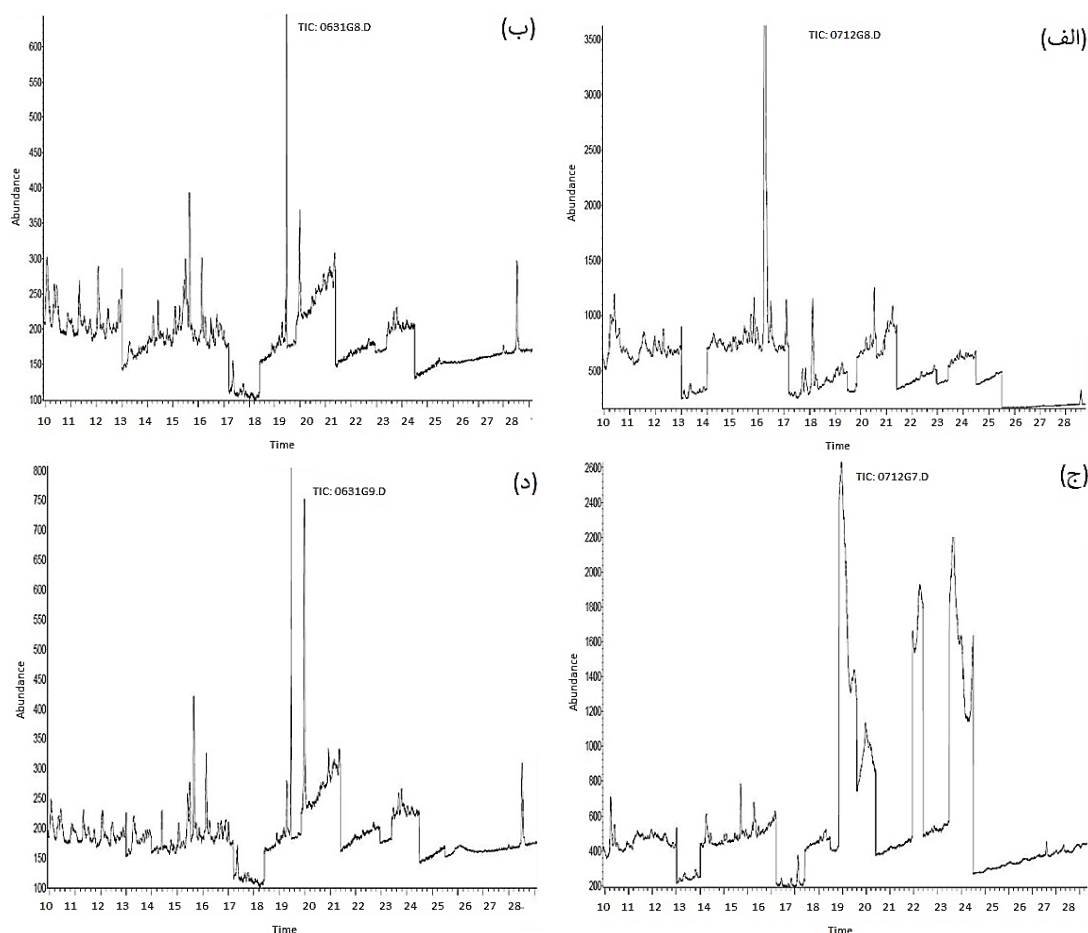
در مقایسه با سطوح PCBs محاسبه‌شده در این پژوهش نسبت به سایر نتایج در این مطالعه غلظت‌های بیشتری از مناطق ساحلی بندر بیبو چین (از ۱/۱۷ تا ۸ ng)، مناطق ساحلی اندونزی (۲/۱ تا ۴/۳ ng)، ژاپن (۱۱ ng)، کره جنوبی (۲۳ ng)، نروژ و هلند (۳/۵ تا ۴/۹ ng) مشاهده شد. همچنین غلظت‌های مشاهده‌شده در این پژوهش کمتر از غلظت‌های مشاهده‌شده در قطب شمال (۲۳۳ ng)، کامبوج (۲۰۰ ng)، ویتنام (۳۰۰ ng) و مالزی (۱۶۰ ng) بود (Lawson et al. 2021). همچنین Šrédlová and Cajthaml (2022) نشان داد میزان غلظت PCB در شمال مکزیک از دستورالعمل آلاینده‌های آلی پایدار فراتر رفته است. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد از آنجایی که مکان‌های نمونه‌برداری متفاوت است، نتایج مطالعه حاضر با سایر مطالعات نیز متفاوت است. برای بررسی همخوانی نتایج در مورد روندهای زمانی سطوح PCB در بارناکل‌ها از مکان‌های مشابه پژوهش‌های دیگری مورد نیاز است. به‌طور کلی، سطوح فعلی این آلاینده‌ها در دریای کاسپین و ساحل بندر انزلی بسیار بیشتر از سطوح آلاینده در سایر مناطق گرمسیری و معتدل است؛ بنابراین، سطوح فعلی یک تهدید محیط‌زیستی برای موجودات آبرزی در این مناطق طبیعی ایجاد می‌کند.

در مقایسه با استانداردهای موجود، در کشور آلمان حداکثر غلظت باقی‌مانده مجاز در PCB-28 و PCB-52 ng ۸۰ تعیین‌شده است. بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا حداکثر میزان مجاز PCBs برابر ng ۳۰۰ می‌باشد (Coelhan et al. 2006). نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های صورت گرفته در این پژوهش از هیچ‌کدام از استانداردهای بین‌المللی فراتر نرفته است. PCBs به‌دلیل ماندگاری، تجمع در محیط و سمی بودن آن‌ها برای انسان و حیات وحش، طبق کنوانسیون استکهلم به‌عنوان آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) طبقه‌بندی می‌شوند. این ترکیبات باعث اختلال عملکرد کبد، مسمومیت تیروئید، مسمومیت عصبی رشدی و احتمالاً سرطان می‌شوند (Kaw and Kannan 2016).

همچنین، نمودار کروماتوگرام در هر ۲ ایستگاه نیز در شکل (۱) ترسیم‌شده است. در جدول (۲) نتایج حاصل از آزمون معنی‌داری کای دو ارائه‌شده است. نتایج نشان می‌دهد آزمون آماری ایزومرهای PCB در انزلی و کاسپین در سطح ۵٪ معنی‌دار است و بین PCBs های بارناکل و رسوب ارتباط معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری‌که افزایش سطح آلاینده در محیط PCBs به روی هردو بخش بارناکل و رسوب اثر مستقیم و فزاینده‌ای دارد؛ اما علت اصلی انتشار سطوح

Javadan Kherad et al. (2012) نشان دادند در بندر انزلی علت اصلی انتشار PCBs فعالیت‌های صنعتی هست. تجمع اصلی شهرک‌های صنعتی، کشتارگاه‌های شهر انزلی، مراکز تجاری و شبکه‌های فاضلاب که در نزدیکی تالاب قرار دارند و باعث انتشار و افزایش غلظت این آلاینده‌ها می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

مختلف آلاینده‌ها در محیط PCBs در مکان‌های مختلف متفاوت است. در بندر انزلی وجود مراکز با پتانسیل‌های بالا آلودگی مواد نفتی از جمله وجود شناورهای صید صنعتی کیلکا و پمپ‌بنزین تأمین‌کننده سوخت قایق‌های صیادی و تفریحی در رودخانه‌های منتهی به خروج از تالاب انزلی و ورودی به کانال کشتیرانی از منابع اصلی آلودگی می‌باشند.



شکل ۲- کروماتوگرام دستگاه GC-MS مربوط به نمونه‌های الف- بارناکل، ب- رسوب (در ایستگاه بندر انزلی)، ج- بارناکل و د- رسوب (در ایستگاه بندر کاسپین)

Fig. 2 Chromatogram of GC-MS in: a) Banacle and b) sediment samples (Anzali port station) and c) Banacle and d) sediment samples (Caspian port station)

جدول ۲- آزمون آماری ایزومرهای PCB
Table 2 Statistical test of PCB isomers

Statistical Tests	Anzali port		Caspian port	
	Barnacle	Sediment	Barnacle	Sediment
Chi-Square	52.472	51.222	52.533	52.263
df	17	17	17	17
Asymp. Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000

هیدرولیک و روغن‌موتورها تقریباً به‌طورقطع در محیط ریخته می‌شوند و راه خود را به بوم‌سازگان آبی پیدا می‌کنند. Kaw and Kannan (2016) نشان دادند دفع نامناسب پسماندهای الکترونیکی و شیرابه‌ها در محل‌های دفن زباله و

Vaezzadeh et al. (2021) نشان دادند علت اصلی انتشار PCBs در مجاورت شهرهای بزرگ، به‌احتمال زیاد نتیجه کنترل ضعیف تخلیه پسماندهای صنعتی است. روغن‌های استفاده‌شده از ترانسفورماتورهای الکتریکی، سیالات

مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن ۰/۸۰۱ به‌دست‌آمد. نشان می‌دهد در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. در ایستگاه کاسپین مقدار ضریب همبستگی کندالز مقدار ۰/۳۵۲ محاسبه شد. این نشان می‌دهد بین مقدار کل در بارناکل و رسوب در ایستگاه بندر کاسپین رابطه همبستگی مثبت وجود دارد. از آنجایی‌که مقدار انحراف معیار کمتر از ۰/۰۱ است و با توجه به مثبت بودن ضریب همبستگی کندالز در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار هست. مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن مقدار ۰/۴۵۰ به‌دست‌آمد که نشان می‌دهد بین مقدار کل در بارناکل و رسوب در ایستگاه بندر کاسپین رابطه همبستگی مثبت وجود دارد. از آنجایی‌که مقدار انحراف معیار کمتر از ۰/۰۱ است و با توجه به مثبت بودن ضریب همبستگی اسپیرمن در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳- آزمون همبستگی در ایستگاه انزلی و کاسپین

Table 3 Correlation test in Anzali and Caspian stations

Correlations ^a			Anzali port		Caspian port	
			Barnacle	Sediment	Barnacle	Sediment
Kendall's tau_b	Barnacle	r	1.000	0.620**	1.000	0.352**
		P value	0.000	0.000	0.000	0.000
		N	54	54	54	54
	Sediment	r	0.620**	1.000	0.352**	1.000
		P value	0.000	0.000	0.000	0.000
		N	54	54	54	54
Spearman's rho	Barnacle	r	1.000	0.801**	1.000	0.450**
		P value	0.000	0.000	0.00	0.001
		N	54	54	54	54
	Sediment	r	0.801**	1.000	0.450**	1.000
		P value	0.000	0.000	0.001	0.000
		N	54	54	54	54

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); r = correlation coefficient

۱- ایزومرهای PCBs در دو ایستگاه بندر انزلی و بندر کاسپین آلودگی ایزومرهای مختلف در محیط زنده یعنی بارناکل دارای فراوانی مشابهی بوده‌اند. در محیط غیرزنده رسوب میزان آلاینده PCBs در ایزومرها نسبت فراوانی بسیار پایین‌تری از بارناکل داشته‌اند.

۲- بین ایزومرهای قرائت‌شده در بخش رسوب و بارناکل همبستگی مثبت و مستقیم وجود دارد.

۳- بین PCBs بارناکل و رسوب ارتباط معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری‌که با افزایش سطح آلاینده در محیط PCBs به روی هردو بخش بارناکل و رسوب اثر مستقیم و فزاینده‌ای داشت.

یکی از محدودیت‌های پژوهش عدم اطلاع و ارزیابی صحیح انجام‌شده در زمینه صنایع مرتبط با بنادر و عدم وجود

زیرساخت‌های طراحی‌شده برای مدیریت زباله‌های الکترونیکی خانگی به‌عنوان منابع اصلی دیگر انتشار می‌باشند. بررسی توزیع فضایی این آلاینده‌ها در تالاب‌ها نشان می‌دهد که استفاده‌های صنعتی از PCBs در شهرها منبع اصلی این ترکیبات هستند، اگرچه برخی از سهم‌های رسوبات جوی که از جاهای دیگر منشأ گرفته‌اند نیز ممکن است در این آلودگی نقش داشته باشد (Vazquez et al. 2022).

در جدول (۳) نتایج آزمون همبستگی کندالز و اسپیرمن در ایستگاه انزلی و ایستگاه کاسپین ارائه‌شده است. نتایج ضریب همبستگی کندالز و اسپیرمن نشان می‌دهد بین مقدار کل در بارناکل و رسوب در ایستگاه بندر انزلی رابطه همبستگی مثبت وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی کندالز ۰/۶۲۰ و

۴- نتیجه‌گیری

از آنجایی‌که دریای کاسپین بزرگ‌ترین دریاچه جهان بوده و به‌طور طبیعی به آب‌های آزادراه ندارد و از سویی وجود گونه‌های نادر دریایی از جمله ماهیان خاویاری و فک خزری که به‌نوعی فسیل زنده از آن‌ها یاد می‌شود. لذا از لحاظ آلودگی بسیار شکننده است و نیاز به کنترل دارد. به همین جهت می‌بایستی منابع آلوده‌کننده این دریا شناسایی و پیشگیری و یا اینکه آن را تعدیل نمود و آلودگی را از مبدأ کنترل کرد. یکی از منابع آلاینده دریای کاسپین وجود بنادر تجاری و ماهیگیری هست. در این پژوهش دو بندر از بنادر موجود در دریای کاسپین که در استان گیلان قرار دارد بررسی‌شده است تا شاید بتوان با شناسایی یکی از منابع آلودگی آن را مهار نمود. مهم‌ترین نتایج حاصل از پژوهش به شرح زیر است:

سیاسگزاری

شایسته است مراتب سپاس و قدرانی خود را از اساتید فرهیخته جناب آقایان دکتر علی مهدی‌نیا و دکتر محمود غفارزاده بابت نظرات عالمانه و اندوخته‌های گران‌بهاشان و زحمات بی‌دریغ کارمندان محترم پژوهشگاه اقیانوس‌شناسی و علوم جوی اعلام داریم.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارد.

سازمان حمایت‌کننده برای هزینه‌های بالای پژوهش می‌باشد. بنابراین، در زمینه ارزیابی آلودگی الزام تنظیم و اجرای تفاهم‌نامه‌ای در این خصوص با سازمان‌های مربوطه می‌تواند کشور را به سمت بنادر سبز و دوستدار محیط‌زیست سوق دهد. در پژوهش‌های آتی علاوه بر مطالعه تمامی بنادر چه بنادر موجود در سواحل ایران و چه بنادر موجود در سایر کشورهای حاشیه دریای کاسپین به سایر منابع آلاینده عمده از جمله فعالیت‌های اکتشاف و استخراج نفت خام که اخیراً در این دریا بسیار توسعه یافته و گاه و بیگاه نشت فرآورده‌های نفتی و به تبع آن اثرات آن در بوم‌سازگان آبی و آبزیان و سواحل مورد رصد قرار گیرد. با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد می‌شود پسماندهای PCBs مطابق با استانداردهای بین‌المللی مدیریت شوند و اقداماتی جهت کاهش و تعدیل تخلیه پسماندهای صنعتی در منطقه صورت گیرد.

References

- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E. M., Van Den Heuvel-Greve, M. J., & Koelmans, A. A. (2013). Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environ. Sci. Technol.*, 47(1), 593-600. DOI: [10.1021/es302763x](https://doi.org/10.1021/es302763x)
- Coelhan, M., Strohmeier, J., & Barlas, H. (2006). Organochlorine levels in edible fish from the Marmara Sea, Turkey. *Environ. Int.*, 32(6), 775-780. DOI: [10.1016/j.envint.2006.03.015](https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.03.015)
- Čulin, J., & Bielić, T. (2015). Ship-source pollution by polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants. *Pomorstvo*, 29(1), 90-94.
- A. Cullen, J. A., Marshall, C. D. & Hala, D. (2019). Integration of multi-tissue PAH and PCB burdens with biomarker activity in three coastal shark species from the northwestern Gulf of Mexico. *Sci. Total Environ.*, 10(1), 1158-1172. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.09.128](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.128)
- Davodi, M., Esmailisari, A., Bahramifar, N., & Zamani ahmadmahmoudi, R. (2010). Investigation of concentration and pattern of polychlorinated biphenyls (PCBs) distribution in five edible fish species from Shadegan wetland. *Veterin. Res. Bio. Product.*, 23(3), 52-59. DOI: [20.1001.1.24235407.1389.23.3.7.6](https://doi.org/10.1001.1.24235407.1389.23.3.7.6)
- Fatima, S. U., Khan, M. A., Alamgir, A., Mahmood, N., & Sulman, N. (2022). Multivariate and spatial methods-based water quality assessment of Chu Tran Valley, Gilgit Baltistan. *Appl. Water Sci.*, 12 (6), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01661-z>
- Fromme, H., Fuchs, V., Albrecht, M., Aschenbrenner, B., Röhl, C., Janitzki, N., Herber-Jonat, S., Wöckner, M., Vökel, W., Flemmer, A. W., & Schober, W. (2022). Polychlorinated dioxins and dibenzofurans (PCDD/F), polybrominated dioxins and dibenzofurans (PBDD/F), polychlorinated biphenyls (PCB), polybrominated diphenyl ethers (PBDE), and per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in German breast milk samples (LUPE 8). *Sci. Total Environ.*, 825, 154066. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.154066](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154066)
- Hassan, H., & Al-Maslamani, I. (2015). Environmental contamination in mangrove crustaceans inhabiting Qatari waters. In Qatar University Life Science Symposium-QULSS 2015 Global Changes: The Arabian Gulf Ecosystem (Vol. 2015, No. 5, p. 26). Hamad bin Khalifa University Press (HBKU Press).
- Hitchcock, D. J., Andersen, T., Varpe, G., Loonen, M. J., Warner, N. A., Herzke, D., & Borgå, K. (2019). Potential effect of migration strategy on pollutant occurrence in eggs of Arctic breeding barnacle geese (*Branta leucopsis*). *Environ. Sci. Technol.*, 53(9), 5427-5435. DOI: [10.1021/acs.est.9b00014](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00014)

- Javadan Kherad, E., Esmaeili Sari, A., & Bahramifar, N. (2012). Monitoring of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in three edible fish species of Anzali wetland. *Veterin. Res. Bio. Product.*, 25(2), 49-59.
- Kim, E., Nam, S. H., Ahn, C. H., Lee, S., Koo, J. W., & Hwang, T. M. (2022). Comparison of spatial interpolation methods for distribution map an unmanned surface vehicle data for chlorophyll-a monitoring in the stream. *Environ. Technol. Innov.*, 28, 102637. DOI: [10.1016/j.eti.2022.102637](https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102637)
- Kaw, H. Y., & Kannan, N. (2016). A review on polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in South Asia with a focus on Malaysia. *Rev. Environ. Contamin. Toxicol.*, 242, 153-181. DOI: [10.1007/398_2016_14](https://doi.org/10.1007/398_2016_14)
- Lao, Q., Liu, G., Zhou, X., Chen, F., & Zhang, S. (2021). Sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) and dichlorodiphenyltrichloroethanes (DDTs) found in surface sediment from coastal areas of Beibu Gulf: A reflection on shipping activities and coastal industries. *Marine Pollut. Bull.*, 167, 112318. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112318](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112318)
- Lawson, M. C., Cullen, J. A., Nunnally, C. C., Rowe, G. T., & Hala, D. N. (2021). PAH and PCB body-burdens in epibenthic deep-sea invertebrates from the northern Gulf of Mexico. *Marine Pollut. Bull.*, 162, 111825. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2020.111825](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111825)
- Otchere, F. A. (2005). Organochlorines (PCBs and pesticides) in the bivalves *Anadara (Senilis) senilis*, *Crassostrea tulipa* and *Perna perna* from the lagoons of Ghana. *Sci. Total Environ.*, 348(1-3), 102-114. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2004.12.069](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.069)
- Pouch, A., Zaborska, A., Mazurkiewicz, M., Winogradow, A., & Pazdro, K. (2021). PCBs, HCB and PAHs in the seawater of Arctic fjords—Distribution, sources and risk assessment. *Marine Pollut. Bull.*, 164, 111980. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.111980](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111980)
- Šrédlová, K., & Cajthaml, T. (2022). Recent advances in PCB removal from historically contaminated environmental matrices. *Chemosphere*, 287, 132096. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2021.132096](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132096)
- Tornero, V., & Hanke, G. (2016). Chemical contaminants entering the marine environment from sea-based sources: A review with a focus on European seas. *Marine Pollut. Bull.*, 112(1-2), 17-38. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2016.06.091](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.091)
- Vaezzadeh, V., Thomes, M. W., Kunisue, T., Tue, N. M., Zhang, G., Zakaria, M. P., & Bong, C. W. (2021). Examination of barnacles' potential to be used as bioindicators of persistent organic pollutants in coastal ecosystem: A Malaysia case study. *Chemosphere*, 263, 128272. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.128272](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128272)
- Vazquez, N. D., Chierichetti, M. A., Acuña, F. H., & Miglioranza, K. S. (2022). Occurrence of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the sea anemone *Bunodosoma zamponii*, sediments and seawater from the southwestern Atlantic. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29, 39649–39664. DOI: [10.1007/s11356-022-18877-w](https://doi.org/10.1007/s11356-022-18877-w)

How to cite this paper:

Mirzababaei, F., Jozi, S. A., Rafieyan, O. and Ramazani, M. E. (2023). Investigation of PCBs contamination in barnacles and sedimentation of Anzali and Caspian ports. *Environ. Water Eng.*, 9(3), 308-319. DOI: [10.22034/jewe.2022.337600.1763](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.337600.1763)