



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Investigating and comparing the amount of heavy metals in brown algae *Sargassum sp.*, *Padina sp.* and *Cystoseira sp.* water and sediments of Bushehr costals

Shahla Hamid¹, Faedeh Amini¹, Solmaz Shirali¹, kamal Ghanemi², Ahmad Shadi³

1. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran.

2. Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran.

3. Department of Biological Sciences and Technology, Persian Gulf University, Bushehr Iran.

* Corresponding Author Email: faedeh.amini@yahoo.com

Received: 7 October 2023

Revise Date: 19 November 2023

Accepted: 10 December 2023

Abstract:

In this study, we measured the amount of heavy metals (Ni, Cd, Pb, Cu, Hg) in brown algae *Sargassum sp.*, *Padina sp.* and *Cystoseira sp.*, sediments and the amount of Hg in water. The samples collected during winter 2016 and summer 2017 at four stations from the shores of Bushehr. Analysis of heavy metals in sediments and algae after chemical digestion and preparation investigated by Savanta model atomic absorption spectrophotometer. The order obtained from the concentration of heavy metals in *Padina sp.* Cd > Fe > Ni > Cu > Hg, for *Sargassum sp.* as Pb > Cu > Ni > Cd > Hg and for *Cystoseira sp.* It is in the form of Cu > Pb > Ni > Cd > Hg, among which *Padina sp.* algae had the highest accumulation of heavy metals. The order of concentration of metals in sediments was Ni > Pb > Cu > Cd > Hg. All metals, except for Pb, have a higher average in the summer season, and the average Hg metal in water was measured at 0.23 micrograms per gram of dry weight. Correlation results showed that the concentration of heavy metals (Ni, Cd, Pb, Cu, and Hg) in macroalgae *Padina sp.*, *Sargassum sp.*, *Cystoseira sp.* and their adjacent sediments in the shores of Bushehr, two algae *Sargassum sp.* and *Cystoseira sp.* have a greater ability to accumulate heavy metals. *Cystoseira sp.* have a greater ability to accumulate heavy metals. According to the obtained results, the concentration of heavy metal Hg in the waters of the shores of Bushehr city with its amount in the studied algae, it seems that *Sargassum sp.* It is a suitable material for biological monitoring of this metal in the study area.

Key Words: Heavy metals, *Padina sp.*, *Sargassum sp.*, *Cystoseira sp.*, Persian Gulf

1. Introduction

Macroalgae are considered as biological indicators to obtain information about the concentration of heavy metals or changes in their bioavailability in the surrounding environment (Trifan et al., 2015). Brown algae have the highest ability to absorb heavy metals. This is due to the biochemical characteristics of their walls. The cell wall of these algae has materials such as alginate and fucoidan that help absorb heavy metals. (Mani and Kumar, 2014). Isanejad et al. (2020) determined the concentration of heavy metals Ni, Cd, Pb, Cu, iron and Hg in sediments, water and macroalgae *Padina pavonica* in Bushehr in two seasons, summer and winter. related to iron and the lowest amount of accumulation was related to Hg element. Amini et al. (2013) investigated the concentration of heavy metals such as Pb, Cd, Cu, Ni, Zn and Fe in six species of *Padina* in polluted (Nayband Bay) and non-polluted (Bandar Bastane) areas on the coast of the Persian Gulf. During this research, the average concentration of metals in sediments and algae decreased in the following order: Fe > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd; a

positive correlation was observed between the amount of metals in sediments and in almost all algae species and it was found that these algae species can absorb metals from sediments and play the role of biological monitoring materials.

2. Materials and Methods

Four stations were selected along the tidal coast of Bushehr region and the positions of the stations were determined. The stations were selected based on the amount of human activities in the area, the amount of incoming effluents and also the presence of algae species. Macroalgae *Padina sp.*, *Cystoseira sp.* and *Sargassum sp.* With the same size and healthy appearance, they were collected by hand from the tidal area of the stations at full tide in sufficient quantity (in order to prepare three replicate samples from each station). After sampling, the algae were washed in sea water and then stored in polyethylene containers in the freezer at a temperature of less than 4°C and transported to the laboratory to prevent any contamination (Najah et al., 2015; 2020). In order to measure the concentration of heavy metals (Cu, Pb, Ni, Cd, Hg) in the laboratory, all algae and sediment samples were dried in an oven at 105°C for 24 hours. After drying, the samples were powdered in a mortar and homogenized using a 63-micron sieve and placed in sterile polyethylene containers (Carro et al., 2015). One gram of it was removed and digested with nitric acid and perchloric acid in a ratio of one to three at 40°C for one hour and then at 140°C for 4 hours. Half gram of algae was digested in 10 ml of nitric acid. Whatman No. 40 filter was used for smoothing (Bibak et al., 2020). To check the presence or absence of a significant difference between the concentration of heavy metals measured in the sediment, macroalgae under study and water in different stations and seasons, two-way analysis of variance ANOVA and Duncan's pre-test in the SPSS16 software space and also in order to draw figures from the software Excel 2007 was used. Also, to investigate the relationship between the concentration of metals (micrograms per gram of dry weight) in sediments and algae and water, Pearson's correlation coefficient was used with the help of SPSS 16 software.

3. Results

Accumulation rate of Cu heavy metal in brown algae according to *Cystoseira sp.* > *Sargassum sp.* > *Padina sp.*, for Ni metal *Padina sp.* > *Sargassum sp.* > *Cystoseira*, for Cd metal *Sargassum sp.* > *Cystoseira sp.* > *Padina sp.*, for Pb metal *Sargassum sp.* > *Padina sp.* > *Cystoseira* and for Hg metal *Padina sp.* > *Sargassum sp.* > *Cystoseira sp.* was calculated and this difference can be attributed to the type of material and bioavailability of heavy metals. The amount of heavy metals in the sediments is in the order of Ni > Pb > Cu > Cd > Hg, and its trend in brown algae is Pb > Cu > Ni > Cd > Hg, with its trend in the sediments and also the average metals in the sediments with the amount It did not match in brown algae, so the existence of such a difference shows that only by measuring the concentration of heavy metals in the sediments of an area, it is not possible to estimate its level of pollution. The reason for the low level of bioavailability is that the impact of those pollutants on the living organisms of that area is low. Accumulation of heavy metals Cu, Pb, Cd and Ni in macroalgae *Padina sp.*, *Sargassum sp.* and *Cystoseira sp.* It was measured more in the winter season than in the summer season, which can be attributed to effective environmental factors, such as wind, sunlight, and physicochemical factors of water that affect the dissolution of heavy metals, as well as the biological changes of algae and the reduction of their metabolism in winter. In some cases, a significant difference was observed between the amount of heavy metals in different study stations, which can be attributed to the location of the sampling sites in coastal areas that are affected by human factors. With the entry of pollutants through urban and industrial sewage, the studied area is affected and heavy metals increase in coastal waters through surface runoff, which comes from land and land around industries, roads, etc., a high volume of pollutants, especially heavy metals. are transferred to the coastal areas.

4. DISCUSSION and CONCLUSION

According to the correlation results between the concentration of heavy metals (Ni, Cd, Pb, Cu, Hg) in macroalgae *Padina sp.*, *Sargassum sp.*, *sp.* *Cystoseira* and their adjacent sediments on the shores of Bushehr city were found to be algae *Sargassum sp.* and *Cystoseira sp.* have a greater ability to accumulate heavy metals. Also, according to the results of the correlation between the concentration of heavy metal Hg in the waters of the shores of Bushehr city with its amount in the studied algae, it seems that *Sargassum sp.* It is a suitable material for biological monitoring of this metal in the study area.

5. REFERENCES

- Amini, F., Riahi, H. and Zolgharnain, H., 2013. Metal Concentrations in Padina Species and associated Sediment from Nayband Bay and Bostaneh Port, Northern Coast of the Persian Gulf, Iran. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*, 4(11).
- Bibak.M., Sattari,M., Tahmasebi,S., Agharokh., A, J. I. Namin. 2020. Marine macro-algae as a bio-indicator of heavy metal pollution in the marine environments, *Persian Gulf Indian Journal of Geo Marine Sciences* Vol. 49 (03), pp. 357-363.
- Carro, L., Barriada, J. L., Herrero, R., and de Vicente, M. E. S. (2015). Interaction of heavy metals with Ca-pretreated *Sargassum muticum* algal biomass: characterization as a cation exchange process. *Chemical Engineering Journal*, 264, 181-187. DOI:10.1016/j.cej.2014.11.079
- Isanejad, Z., 2020. Investigating the usability of Padina algae species as a biological monitor of heavy metals (Ni, Cd, Pb, Cu, iron and Hg) in the sediment and water of Bushehr coastal area, Master's thesis, University of Science and Technology Khorramshahr Marine, page 51-69. (In Persian)
- Mani, D., and Kumar, C. 2014. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3): 843-872. Doi:10.1007/s13762-013-0299-8
- Najah, Z., Elsharif., M. Alshtewi, M., and Attorshi, H. 2015. *Journal of Applicable Chemistry*, Phytochemical Profile and Heavy Metals Contents of Codium Tomentosum and Sargassum Hornschuchi 4(6): 1821-1827. Doi :10.13140/RG.2.1.3102.3440
- Najah,Z., Annface.,M. and Al Asekry, J., 2020 Phytochemical Content and Heavy Metals Level in Cystoseira Spicata and Cystoseira Compressa from Annagaza Seacoast. *Journal of Applicable Chemistry*, 9 (2): 299-307 (International Peer Reviewed Journal)
- Trifan, A., Breaban, I. G., Sava, D., Bucur, L., Toma, C. C., and Miron, A. 2015. Heavy metal content in macroalgae from Roumanian Black sea. *Revue Roum Chim*, 60(9): 915-920.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.





مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



سنجش و مقایسه میزان برخی از فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب، مس، جیوه) در جلبک‌های قهوه‌ای *Sargassum sp.*، *Padina sp.* و *Cystoseira sp.*، آب و رسوبات سواحل بوشهر

شهلا حمید^۱، فائده امینی^{۱*}، سلماز شیرعلی^۱، کمال غانمی^۲، احمد شادی^۳

۱. گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.
۲. گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.
۳. گروه علوم و فناوری زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: faedeh_amini@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

چکیده:

ماکرو جلبک‌ها توانایی تجمع فلزات سنگین را در خود دارند. در این بررسی میزان فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب، مس، جیوه) در جلبک‌های قهوه‌ای *Sargassum sp.*، *Padina sp.* و *Cystoseira sp.*، رسوبات و میزان جیوه در آب نیز مورد سنجش قرار گرفتند. نمونه برداری در طی دو فصل زمستان ۱۳۹۶ و تابستان ۱۳۹۷ چهار ایستگاه از سواحل استان بوشهر انجام گردید. آنالیز فلزات سنگین در رسوبات و جلبک‌ها پس از عملیات هضم شیمیایی و آماده‌سازی، به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل Savanta بررسی شد. ترتیب بدست آمده از غلظت فلزات سنگین در جلبک *Padina sp.* به صورت کادمیوم < سرب < نیکل < مس < جیوه، برای جلبک *Sargassum sp.* به صورت سرب < مس < نیکل < کادمیوم < جیوه و برای جلبک *Cystoseira sp.* به صورت مس < سرب < نیکل < کادمیوم < جیوه می‌باشد که در این میان جلبک *Padina sp.* دارای بیش‌ترین میزان تجمع فلزات سنگین بود. ترتیب غلظت فلزات در رسوبات به ترتیب نیکل < سرب < مس < کادمیوم < جیوه بود. تمامی فلزات به جز فلز سرب دارای میانگین بیشتری در فصل تابستان بوده و میانگین فلز جیوه در آب ۰/۲۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. نتایج حاصل از همبستگی میان غلظت فلزات سنگین موجود در رسوبات با میزان آنها در جلبک‌های مورد مطالعه نشان داد که میزان مس در جلبک *Padina sp.* با میزان آن در رسوب، میزان فلزات سنگین نیکل، کادمیم و میزان جیوه در آب با میزان آن در جلبک *Sargassum sp.* و غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، کادمیوم و سرب با میزان آن درون جلبک *Cystoseira sp.* دارای همبستگی مستقیم و معنی‌داری بودند. نتایج همبستگی نشان داد که بین غلظت فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب، مس، و جیوه) در ماکرو جلبک‌های *Padina sp.*، *Sargassum sp.* و *Cystoseira sp.* و رسوبات مجاور آن‌ها در سواحل بوشهر دو جلبک *Sargassum sp.* و *Cystoseira sp.* قابلیت بیشتری در تجمع فلزات سنگین را در خود دارند. طبق نتایج بدست آمده، غلظت فلز سنگین جیوه در آب‌های سواحل شهرستان بوشهر با میزان آن در جلبک‌های مورد مطالعه، به نظر می‌رسد که جلبک *Sargassum sp.* جنس مناسبی برای پایش زیستی این فلز در منطقه مورد مطالعه باشد.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، *Padina sp.*، *Sargassum sp.*، *Cystoseira sp.*، خلیج فارس، جلبک‌های قهوه‌ای.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱- مقدمه:

که این گونه‌های جلبکی می‌توانند فلزات را از رسوبات جذب کنند و نقش مواد پایشگر زیستی را ایفا کنند.

از اهداف این پژوهش تعیین رابطه بین غلظت فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب، مس و جیوه) در ماکروجلبک‌های *Padina sp.*، *Sargassum sp.* و *Cystoseira sp.* و رسوبات مجاور آن‌ها در سواحل شهرستان بوشهر، تعیین غلظت فلز سنگین جیوه در آب‌های سواحل شهرستان بوشهر و تعیین میزان همبستگی آن با رسوبات و جلبک‌ها اشاره کرد.

۲. مواد و روش‌ها

پس از بررسی‌ها و شناسایی اولیه منطقه، چهار ایستگاه در امتداد ساحل جزرومدی منطقه بوشهر انتخاب و موقعیت ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS تعیین و ثبت گردید (شکل ۱ و جدول ۱). چهار منطقه هلیله، ملی نفت کش، پارک پردیس (آب‌شیرین کن) و رافائل (رستوران رافائل) به عنوان ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شدند.

نمونه‌برداری در زمستان ۹۶ و تابستان ۹۷ انجام شد. ایستگاه‌ها بر اساس میزان فعالیت‌های انسانی در منطقه، میزان پساب‌های ورودی و همچنین حضور گونه‌های جلبک، انتخاب شدند.

ماکروجلبک‌های *Padina sp.*، *Cystoseira sp.* و *Sargassum sp.* با اندازه‌های یکسان و ظاهری سالم از ناحیه جزر و مدی ایستگاه‌ها در زمان جزر کامل به مقدار کافی (به منظور تهیه نمونه سه تکرار از هر ایستگاه) به صورت برداشت با دست جمع‌آوری شدند. پس از نمونه‌برداری، جلبک‌ها در آب دریا شسته شده و سپس به منظور جلوگیری از هر آلودگی در ظروف پلی‌اتیلنی در یخدان با دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد ذخیره شده و به آزمایشگاه منتقل شدند (Najah et al., 2015; 2020).

نمونه‌های رسوب از لایه سطحی ۵ سانتی‌متری از همان محل جمع‌آوری نمونه‌های جلبک برداشت شدند و در ظروف پلی‌اتیلنی ذخیره شدند سپس، کلیه‌ی این ظروف در یخدان با دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند (Topcuoglu et al., 2010; Amini et al., 2013; Bibak et al., 2020).

به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل، کادمیوم، جیوه) در آزمایشگاه، تمام نمونه‌های جلبک و رسوب، درون آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها در هاون پودر شده و با استفاده از الک ۶۳ میکرون به صورت همسان در آمده و در ظروف پلی‌اتیلنی استریل قرار گرفتند (Carro et al., 2015).

سپس هضم نمونه‌ها یا استفاده از اسید نیتریک انجام شد. پس از اتمام عملیات هضم و صاف کردن نمونه با فیلتر، تا زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی، در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفتند (Sudharsan et al., 2012; Rybak et al., 2013; Daryaii et al., 2015).

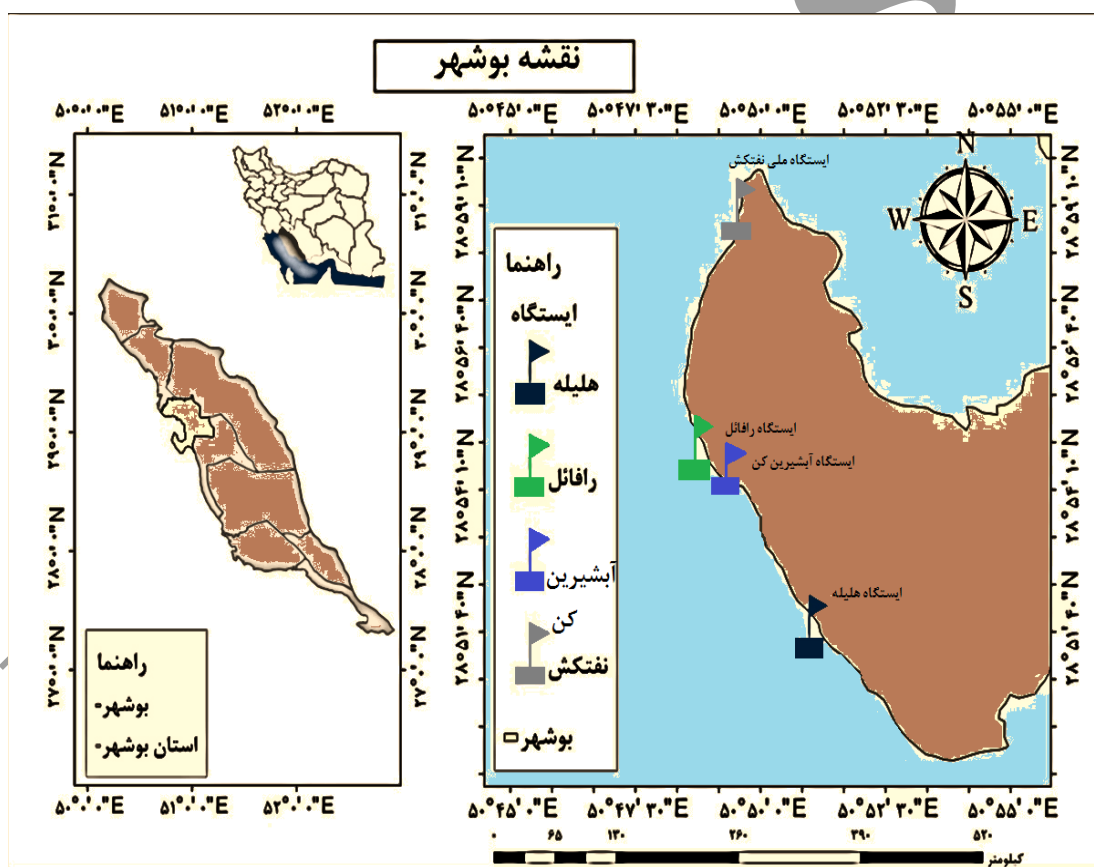
آلودگی فلزات سنگین به شکلی وسیع در اکوسیستم‌های دریایی افزایش پیدا کرده و به دلیل ویژگی‌هایی نظیر پایداری طولانی مدت در محیط، سمیت بالا و تمایل به تجمع زیستی، در معرض توجه مطالعات بوم‌شناسی قرار گرفته‌اند. با وجود توجه به خطرات این آلاینده‌ها در دریا، از فلزات سنگین هنوز هم به عنوان موادی دردرساز در بندرها، خلیج‌ها و خوریات یاد می‌شود (Sweetly et al., 2014). رودخانه‌های منتهی به دریا، نزولات جوی و منابع انسانی متمرکز همانند ورودی فاضلاب‌ها، مهم‌ترین مسیرهایی هستند که فلزات سنگین از طریق آن‌ها وارد دریا می‌شوند (Jan et al., 2015). برای تعیین تأثیر آلودگی، منابع و غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های آبی، نیاز به ارزیابی و پایش محیط ضروری بنظر می‌رسد. میزان آلودگی محیط‌های آبی به آلاینده‌ها می‌تواند از طریق میزان آن‌ها در آب، رسوب و موجودات دریایی تعیین شود (Singh et al., 2018). رسوبات به عنوان بزرگ‌ترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و همین‌طور جلیگاهی خاص برای آلودگی‌هایی هستند که می‌توانند برای دوره‌های طولانی‌تر باقی بمانند (Fan and Leu, 2013). ماکروجلبک‌ها پایه زنجیره غذایی در آب‌ها و تولیدکنندگان اولیه مهم در مناطق ساحلی در نظر گرفته می‌شوند و توانایی تجمع غلظت‌های بالای فلزات سنگین را دارا هستند (Krembs et al., 2018).

مقادیر بالایی از مواد آلاینده شیمیایی (فلزات سنگین) در سطوح بالای زنجیره غذایی تجمع می‌یابند و تهدید جدی برای انسان‌ها ایجاد می‌کنند (Trifan et al., 2015). معمولاً غلظت فلزات سنگین در موجودات دریایی بیش از مقدار آن‌ها در آب و رسوب است. ماکروجلبک‌ها به عنوان شاخص‌های زیستی برای دریافت اطلاعاتی درباره‌ی غلظت فلزات سنگین یا تغییر در دسترسی زیستی آن‌ها در محیط‌زیست پیرامون به حساب می‌آیند (Trifan et al., 2015). جلبک‌های قهوه‌ای بیش‌ترین قابلیت جذب فلزات سنگین را دارا هستند. این امر ناشی از خصوصیات بیوشیمیایی در دیواره آن‌ها است. دیواره سلولی این جلبک‌ها دارای موادی نظیر آلزینات و فوکوئیدان است که به جذب فلزات سنگین کمک می‌کنند. (Mani and Kumar, 2014). Isanejad et al. (2020) به تعیین غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، سرب، مس، آهن و جیوه در رسوبات، آب و ماکروجلبک *Padina pavonica* در بوشهر در دو فصل تابستان و زمستان پرداختند که در کلیه مناطق مورد بررسی بیش‌ترین تجمع فلز در جلبک و نمونه‌ی رسوب مربوط به آهن و کمترین میزان تجمع مربوط به عنصر جیوه بود. (Amini et al., 2013) به بررسی وضعیت غلظت فلزات سنگین از جمله Fe ، Zn ، Ni ، Cu ، Cd ، Pb در شش گونه *Padina* در مناطق آلوده (خلیج نایبند) و غیر آلوده (بندر بستانه) در سواحل خلیج فارس پرداختند. در طی این پژوهش، میانگین غلظت فلزات در رسوبات و جلبک‌ها به ترتیب زیر کاهش می‌یافت: $Fe > Cd > Cu > Ni > Pb > Zn$ ؛ یک همبستگی مثبت بین مقدار فلزات در رسوبات و تقریباً در تمام گونه‌های جلبکی مشاهده گردید و مشخص شد

درون لوله‌های هضم ریخته و پس از اتمام مراحل هضم، میزان جذب جیوه توسط دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی مدل ۹۱۹ Unicam اندازه‌گیری شد (Carro et al., 2015). محلول استاندارد برای هر فلز نیز تهیه شد (Gaşiorowska et al., 2018). برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رسوب، ماکروجلبک‌های مورد مطالعه و آب در ایستگاه‌ها و فصول مختلف از آنالیز واریانس دوطرفه ANOVA و پیش‌آزمون Duncan در فضای نرم‌افزار SPSS16 و همچنین به منظور رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد. همچنین، برای بررسی ارتباط بین غلظت فلزات (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در رسوبات و جلبک‌ها و آب از ضریب همبستگی پیرسون با کمک نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد.

(al., 2020). برای هضم نمونه رسوب نمونه ابتدا از صافی ۶۳ میکرون گذرانده شدند سپس به مدت ۱۶ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. یک گرم از آن برداشته شده و به نسبت یک به سه اسید نیتریک و اسید پرکلریک در دمای ۴ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت هضم شد. نیم گرم از جلبک‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک هضم شد. از فیلتر واتمن شماره ۴۰ جهت صاف کردن استفاده شد (Bibak et al., 2020).

برای سنجش میزان غلظت فلز جیوه در آزمایشگاه، پس از شست و شو و خشک کردن نمونه‌های جلبکی، آنها را در هاون پودر کرده و با استفاده از الک ۶۳ میکرون به صورت همسان درآورده و در ظروف پلاستیکی گذاشته شدند. به منظور هضم آنها، یک گرم از نمونه خشک شده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۱۵ میلی‌لیتر پتاسیم پرمنگنات پنج درصد



شکل ۱- نقشه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان بوشهر

Fig. 1- Map of the studied stations in Bushehr province

جدول ۱- وضعیت طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان بوشهر

Table 1- Longitude and latitude status of the studied stations in Bushehr province

latitude	Longitude	Station name	Station number
28°51'47.3" E	50°51'21" N	Halile station	1
28°53'72.05"E	50°49'31.9" N	Ab-Shirin kon station	2
28°54'55.3" E	50°48'46.1"N	Rafael station	3
28°59'60.1" E	50°41'34.9"N	Meli-Naftkesh station	4

Sargassum sp. اثر متقابل بین فصل و ایستگاه، بین فصول مختلف و بین ایستگاه در فصل زمستان اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($p < 0.05$) و برای ماکرو جلبک *Cystoseira sp.* فقط بین فصول مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p < 0.05$). میانگین غلظت فلز مس در فصل زمستان برای جنس‌های *Sargassum*، *Padina* و *Cystoseira* به ترتیب $4.1 \pm 9.3/31$ ، $4.1 \pm 5.6/33$ و 7.34 ± 2.09 میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد (شکل ۱). میانگین غلظت فلز مس در فصل تابستان برای جنس‌های *Sargassum*، *Padina* و *Cystoseira* به ترتیب $1.0 \pm 6.7/17$ ، $1.0 \pm 1.5/13$ و 1.67 ± 0.189 میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش گردید. بیش‌ترین غلظت در جنس *Sargassum* در فصل زمستان، ایستگاه ملی نفت‌کش با مقدار $16/61$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان در جنس *Padina* در ایستگاه آب‌شیرین‌کن فصل تابستان با مقدار 0.12 میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش گردید. در جلبک *Padina sp.* محدوده‌ی تغییرات مس در دو فصل مورد مطالعه 0.14 تا $7/7$ میکروگرم بر گرم وزن خشک، در جلبک *Sargassum sp.* در محدوده‌ی 0.51 تا $16/43$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در جلبک *Cystoseira sp.* در محدوده‌ی 0.61 تا $12/47$ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد (شکل‌های ۱ و ۲).

۳. نتایج و بحث

دمای آب در فصل زمستان $17/11$ تا $26/9$ سانتی‌گراد و در فصل تابستان $31/1$ تا $41/81$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. محدوده تغییرات شوری در فصل زمستان و تابستان به ترتیب بین $34/21$ تا $41/32$ و $33/4$ تا $40/3$ ppt، اسیدیته بین $7/9$ تا $8/9$ و $8/1$ تا $8/8$ و همچنین اکسیژن محلول بین $4/27$ تا $7/3$ و $4/11$ تا $6/8$ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که میان دو فصل زمستان و تابستان در ایستگاه‌های مختلف برای فاکتورهای اکسیژن محلول، دما، اسیدیته و شوری اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p < 0.05$).

در فصل زمستان غلظت مس با میانگین غلظت $0.36 \pm 1/43$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل تابستان با میانگین غلظت $0.55 \pm 3/28$ میکروگرم بر گرم وزن خشک متغیر بود. بیش‌ترین و کمترین میزان غلظت مس به ترتیب مربوط به ایستگاه ملی نفت‌کش در فصل تابستان و ایستگاه هلیله در فصل زمستان با میزان $5/98$ و 0.24 میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد.

با توجه به نتایج آنالیز واریانس دوطرفه برای ماکرو جلبک *Padina*، اثر متقابل بین فصل و ایستگاه، بین ایستگاه‌های مختلف در هر دو فصل و بین فصول اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$)، برای ماکرو جلبک

جدول ۲- نتایج سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های مختلف استان بوشهر، فصل زمستان

Table 2- The results of measuring the physical and chemical parameters of water in different stations of Bushehr province, winter season

pH	Temperature (C)	Salinity (ppt)	Dissolved oxygen (mg/L)	Stations	
8.43 ± 0.21^b	18.1 ± 0.91^c	36.6 ± 1.13^b	7.04 ± 0.12^a	Halile	1
8.27 ± 0.06^b	19.8 ± 0.36^b	37.06 ± 0.91^b	6.7 ± 0.52^a	Meli Naft-Kesh	2
8.7 ± 0.13^a	25.79 ± 1.63^a	40.8 ± 0.58^a	4.2 ± 0.93^b	Ab-Shirin kon	3
8.23 ± 0.11^b	17.8 ± 0.28^c	35.14 ± 0.78^c	7.1 ± 0.22^a	Rafael	4

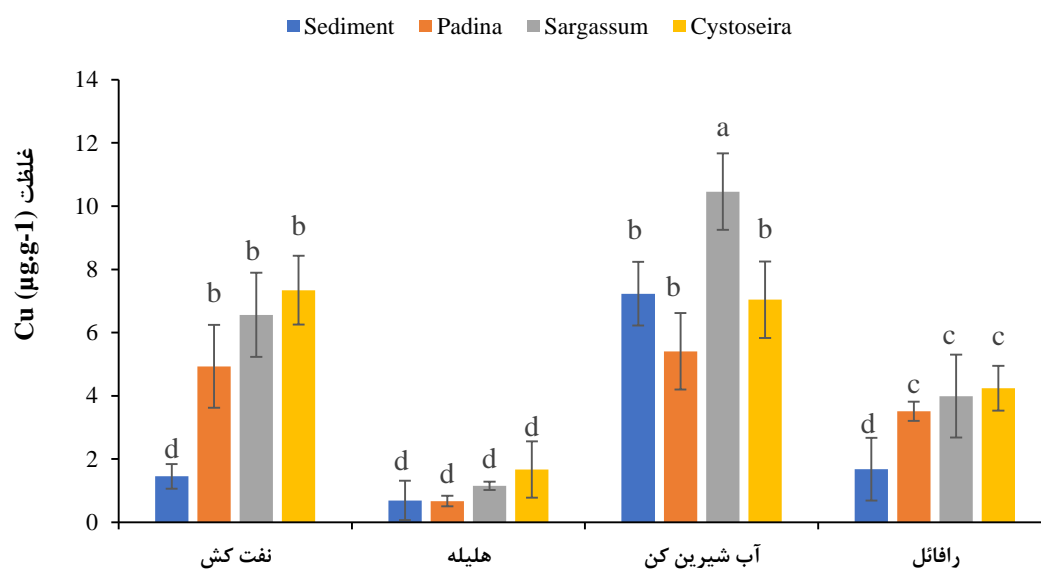
حروف غیر همسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است (ANOVA, $p < 0/05$).

جدول ۳- نتایج سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های مختلف استان بوشهر، فصل تابستان
 Table 3- The results of measuring the physical and chemical parameters of water in different stations of Bushehr province, summer season

pH	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	Dissolved oxygen (mg/L)	Stations	
8.23 ± 0.06 ^b	32.57 ± 0.7 ^{bc}	37.2 ± 0.8 ^c	6.15 ± 0.26 ^b	Halile	1
8.27 ± 0.15 ^b	33.43 ± 0.47 ^b	36.3 ± 0.08 ^b	6.34 ± 0.31 ^{ab}	Meli Naft-Kesh	2
8.87 ± 0.53 ^a	41.03 ± 1.44 ^a	39.9 ± 0.95 ^a	4.21 ± 0.81 ^c	Ab-Shirin kon	3
8.27 ± 0.12 ^b	31.39 ± 0.52 ^c	34.1 ± 0.63 ^b	6.61 ± 0.19 ^a	Rafaet	4

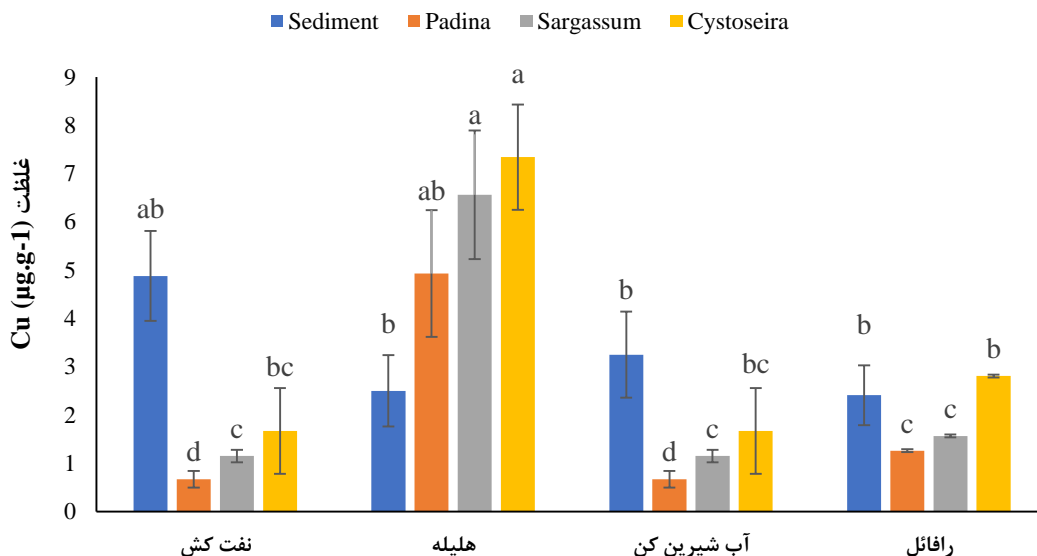
حروف غیر همسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است (ANOVA, p<0/05).

زمستان



شکل ۱- میزان غلظت مس در جلبک‌ها و رسوبات در فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig. 1- Cu concentration in algae and sediments in winter at different stations.

تابستان



شکل ۲- میزان غلظت مس جلبک‌ها و رسوبات در فصل تابستان در ایستگاه‌های مختلف

Fig. 2- The concentration of Cu in algae and sediments in the summer season at different stations

($p < 0.05$): در فصل زمستان با میانگین غلظت $1/07 \pm 4/53$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل تابستان با میانگین غلظت $1/8 \pm 9/84$ میکروگرم بر گرم وزن خشک متغیر بود. بیش‌ترین و کمترین غلظت به ترتیب مربوط به ایستگاه آب‌شیرین‌کن فصل تابستان و رافائل در فصل زمستان با میانگین $1/67$ و $18/53$ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. در جلبک *Padina sp.* محدوده‌ی تغییرات نیکل در دو فصل مورد مطالعه $10/17$ تا $7/24$ میکروگرم بر گرم وزن خشک، در جلبک *Sargassum sp.* در محدوده‌ی $1/36$ تا $4/22$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در جلبک *Cystoseira sp.* در محدوده‌ی $0/34$ تا $9/41$ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. میزان میانگین نیکل در تحقیق حاضر $1/55$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای جنس *Sargassum sp.* بود که با میزان سنجش شده در تحقیقات AL-shawafi و Rushdi (2008) در خلیج عدن مطابقت داشته، در صورتی که از میزان سنجش شده در تحقیقات Alah Vardi et al. (2013) در سواحل بوشهر و سواحل عربستان از میزان نیکل سنجش شده در تحقیق حاضر بیشتر است. میزان میانگین نیکل در تحقیق حاضر $3/26$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای جنس *Padina sp.* بود که با میزان سنجش شده و میزان سنجش شده نیکل در جلبک *Cystoseira sp.* $1/49$ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد که میزان آن با تحقیقات Dadolahi et al. (2004) در سواحل کیش مطابقت دارد. در کشور برزیل حد مجاز غلظت نیکل در جلبک‌های خوراکی حدود 5 میکروگرم در گرم وزن خشک تعیین شده است (De Oliveira et

al. 2012). میانگین مس در تحقیق حاضر $4/45$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای جنس *Sargassum sp.* بود که با میزان سنجش شده et al. Alah Vardi (2013) در سواحل بوشهر مطابقت داشته، در صورتی که از میزان سنجش شده در تحقیقات Karthick et al. (2012) در جزیره آندامان بیشتر و از میزان مس سنجش شده در مطالعات Taghili (2017) در سواحل بندرعباس کمتر می‌باشد. میزان میانگین مس در تحقیق حاضر $2/18$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای جنس *Padina sp.* بود که با میزان سنجش شده در تحقیقات Karthick et al. (2012) در جزیره آندامان مطابقت داشته، در صورتی که میزان آن از تحقیقات صورت گرفته توسط Isanejad et al. (2020) بیان کردند که در سواحل بوشهر و همچنین میزان سنجش شده در تحقیقات AL-shawafi و Rushdi (2008) در خلیج عدن کمتر می‌باشد و همچنین میزان سنجش شده در جلبک *Cystoseira sp.* $4/48$ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد که میزان آن با تحقیقات سایرین مطابقت نداشته و می‌توان دلیل آن را تفاوت در جنس و زمان و مکان نمونه‌برداری دانست. با توجه به اینکه میانگین غلظت مس در هر سه جنس نمونه‌برداری شده کمتر از 12 میکروگرم در گرم وزن خشک اندازه‌گیری شده است، به نظر می‌رسد این جلبک‌ها از نظر مصرف غذایی آلودگی چندانی به مس نداشته باشند

با توجه به نتایج آنالیز واریانس دوطرفه، اثر متقابل بین فصل و ایستگاه، میان دو فصل و بین ایستگاه‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بوده

در تحقیقات AL-shawafi و Rushdi (2007) در خلیج عدن مطابقت داشته، در صورتی که از میزان سنجش شده در تحقیقات Alah Verdi et al. (2013) در سواحل بوشهر، Taghili (2013) در بندرعباس در سواحل عربستان از میزان کادمیوم سنجش شده در تحقیق حاضر بیشتر است. میزان میانگین کادمیوم در تحقیق حاضر $0.37 \pm$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای جنس *Padina sp.* بود که با میزان سنجش شده توسط Isanejad et al. (2020) در سواحل بوشهر مطابقت داشته و همچنین میزان سنجش شده در جلبک *Cystoseira sp.* $0.47 \pm$ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد که میزان آن با تحقیقات Conti (2009) در سواحل ایتالیا مطابقت دارد. سازمان بهداشت جهانی میزان جذب قابل تحمل روزانه کادمیوم برای یک فرد بالغ با وزن 70 کیلوگرم را حدود 70 میکروگرم (1 میکروگرم در کیلوگرم در روز) تعیین کرده است (WHO, 2003). در کشورهای برزیل و فرانسه، حد مجاز غلظت کادمیوم در جلبک‌های خوراکی حدود 1 و $0.5 \pm$ میکروگرم در گرم وزن خشک تعیین شده است (Lee et al., 2022, Almela et al., 2009; De Oliveira et al., 2006). در کشورهای استرالیا و نیوزلند نیز حد مجاز غلظت کادمیوم در جلبک‌های خوراکی حدود $0.2 \pm$ میکروگرم در گرم وزن خشک تعیین شده است (ANZFA, 1997).

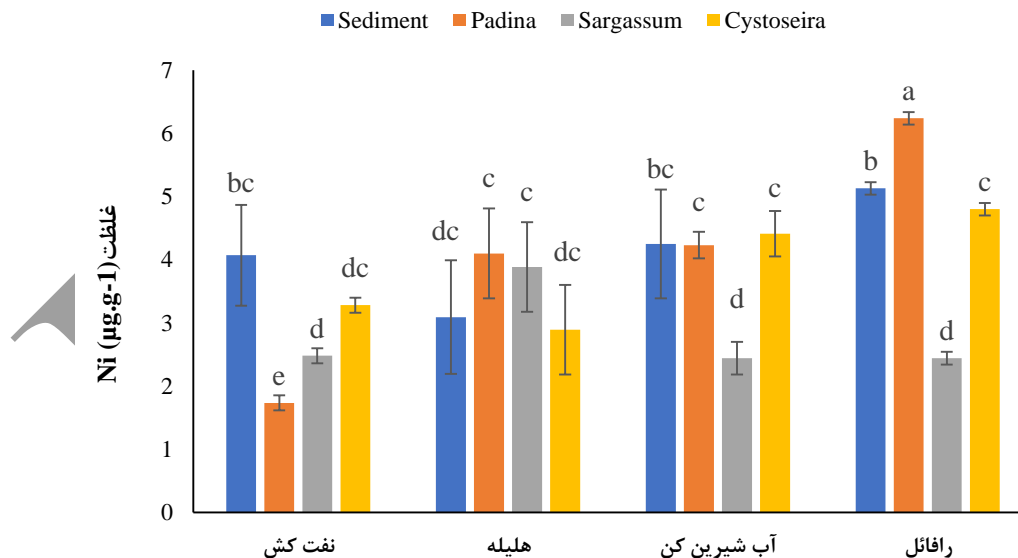
al., 2009). برخی محققان عقیده دارند که به‌طور کلی غلظت نیکل در جلبک‌ها پایین بوده و منشأ احتمالی بالا بودن غلظت آن در جلبک‌های دریایی، آلودگی دریا به مواد نفتی، ته نشین اتمسفری و تخلیه پساب‌های صنعتی می‌باشد.

با توجه به نتایج آنالیز واریانس دوطرفه، اثر متقابل بین فصل و ایستگاه، میان دو فصل و بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ($p > 0.05$)؛ در فصل زمستان با میانگین غلظت 0.21 ± 0.98 میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل تابستان با میانگین غلظت 0.34 ± 1.27 میکروگرم بر گرم وزن خشک متغیر بود. بیش‌ترین و کمترین غلظت به ترتیب مربوط به ایستگاه رافائل فصل تابستان و آب شیرین کن در فصل زمستان با میزان 1.87 و 0.06 میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد.

در جلبک *Padina sp.* محدوده‌ی تغییرات کادمیوم در دو فصل مورد مطالعه 0.05 تا 1.54 میکروگرم بر گرم وزن خشک، در جلبک *Sargassum sp.* در محدوده‌ی 0.1 تا 1.33 میکروگرم بر گرم وزن خشک و در جلبک *Cystoseira sp.* در محدوده‌ی 0.12 تا 1.09 میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد.

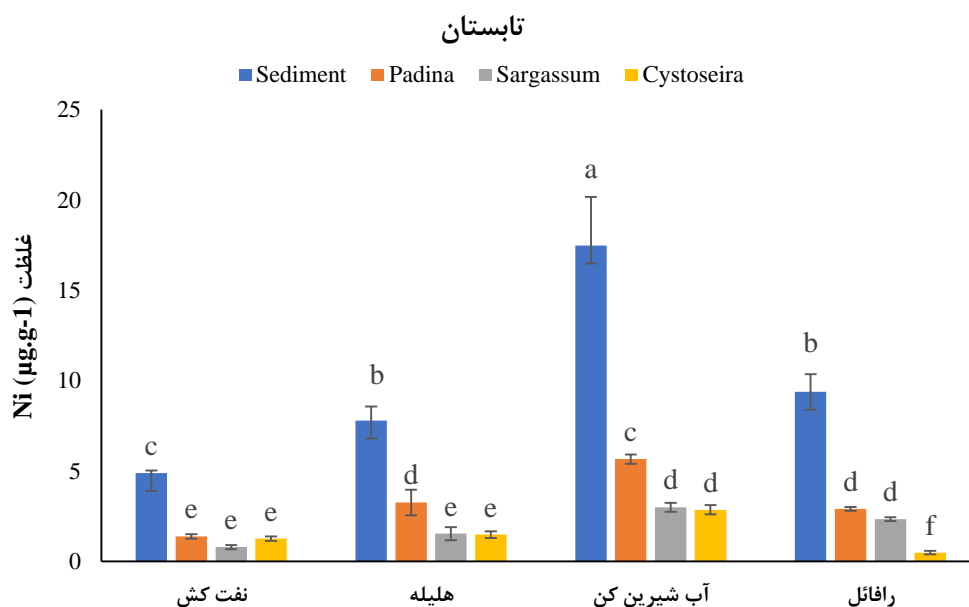
میزان میانگین کادمیوم در تحقیق حاضر $0.64 \pm$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای جنس *Sargassum sp.* بود که با میزان سنجش شده

زمستان

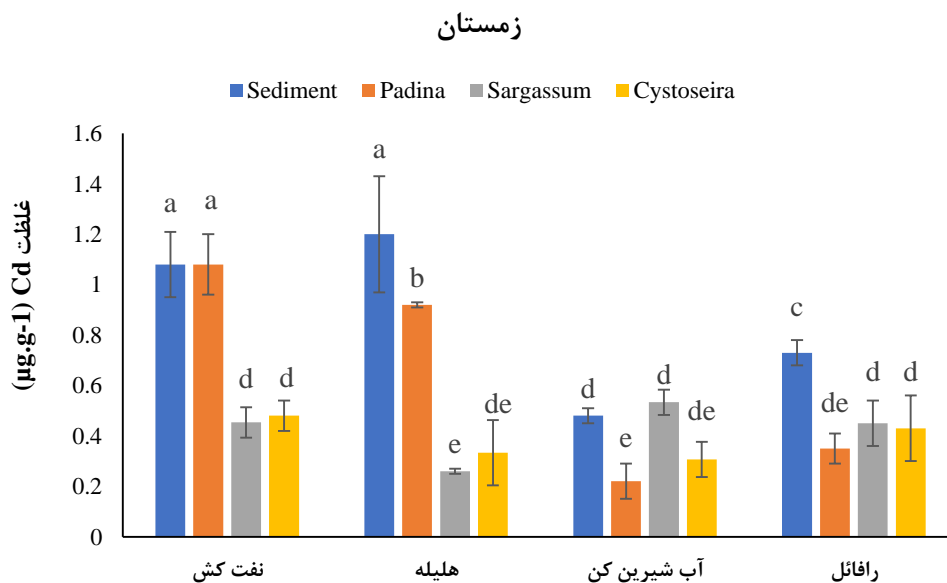


شکل ۳- میزان غلظت نیکل جلبک‌ها و رسوبات در فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف

Fig. 3- The amount of Ni concentration of algae and sediments in the winter season at different stations

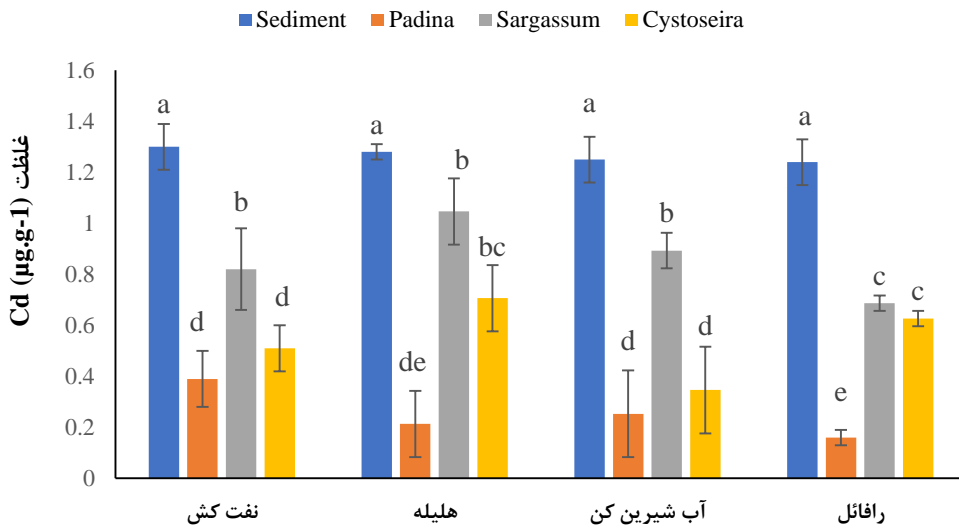


شکل ۴- میزان غلظت نیکل جلبک و رسوبات در فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig. 4- Algae Ni concentration and sediments in winter at different stations



شکل ۵- میزان غلظت کادمیوم در جلبک‌ها و رسوبات در فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig. 5- Cd concentration in algae and sediments in winter at different stations.

تابستان

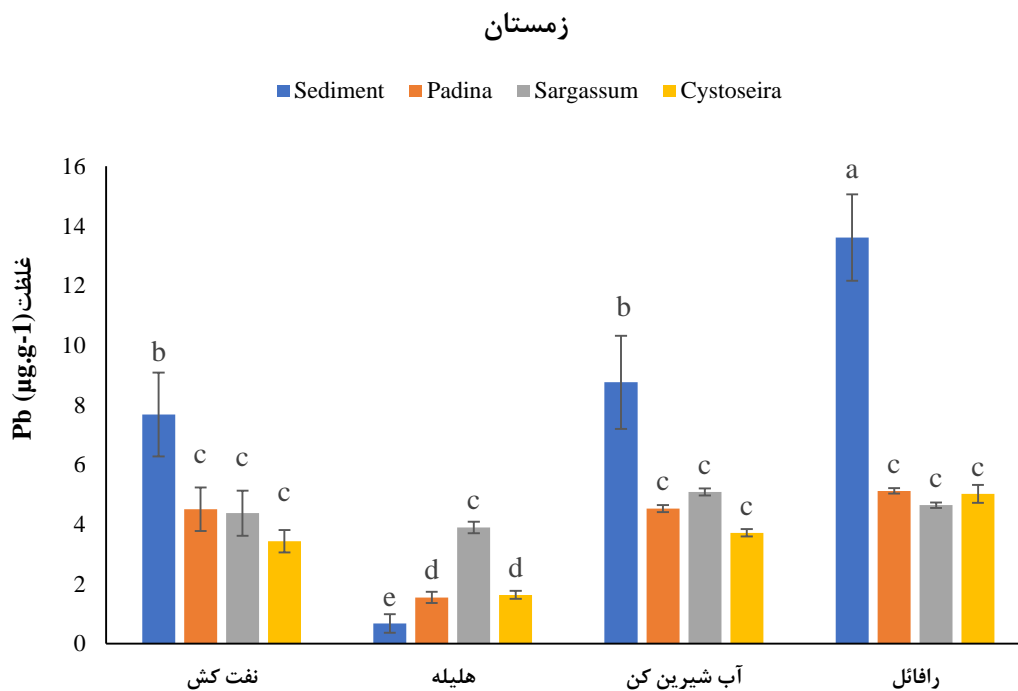


شکل ۶- میزان غلظت کادمیوم در جلبک‌ها و رسوبات در فصل تابستان در ایستگاه‌های مختلف

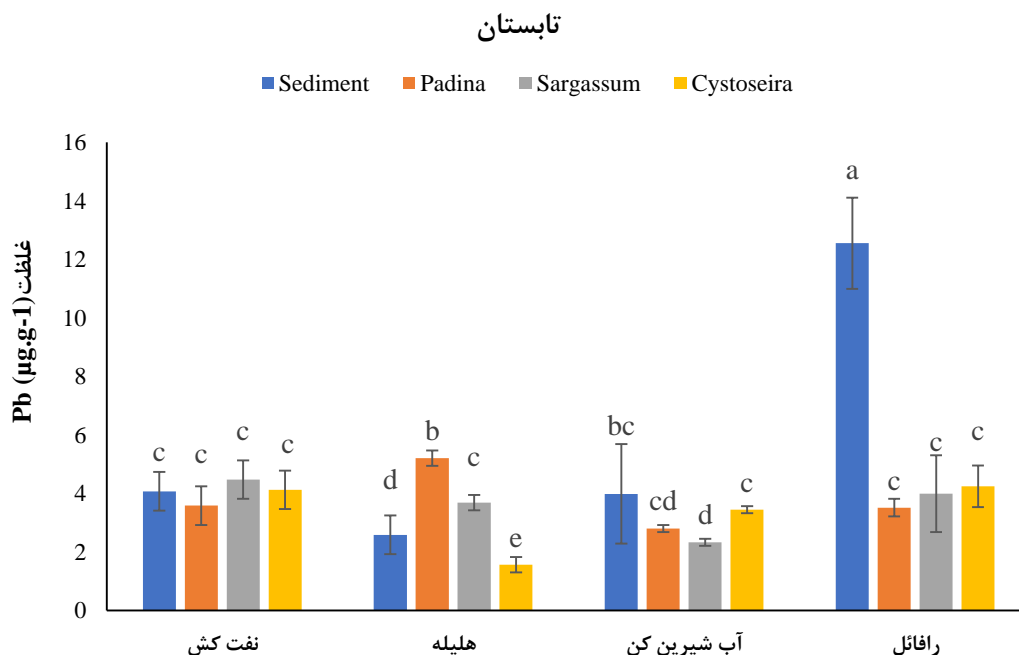
Fig. 6- The amount of Cd concentration in algae and sediments in the summer season at different stations.

تحقیقات AL-shawafi و Rushdi (2007) در خلیج عدن مطابقت داشته، میزان میانگین سرب در تحقیق حاضر ۳/۹۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای *Padina* sp. بود که با میزان آن بیشتر از میزان سنجش شده توسط Isanejad et al. (2020) در سواحل بوشهر می‌باشد و همچنین میزان سنجش شده در جلبک *Cystoseira* sp. ۳/۸۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد که میزان آن از تحقیقات Dadolahi (2003) در سواحل کیش بیشتر می‌باشد. در کشور فرانسه حد مجاز غلظت سرب در جلبک‌های خوراکی حدود ۵ میکروگرم در گرم وزن خشک تعیین شده است (Almela et al., 2006; Lee et al., 2022). وجود مقادیر بالای فلز سرب در جلبک‌های نمونه‌برداری شده از سواحل خلیج فارس احتمالاً به دلیل مصرف بالای سوخت‌های فسیلی برای انجام فعالیت‌های صنعتی و حمل و نقل دریایی در حوزه خلیج فارس است. بر اساس نظر Lozano et al. (2013) غلظت‌های بالاتر از ۱۰ میکروگرم در گرم وزن خشک سرب در جلبک‌ها، تنها در مناطق آلوده دنیا دیده می‌شود. بنابراین مقادیر سرب اندازه‌گیری شده در جلبک‌های نمونه‌برداری شده از سواحل بوشهر از حد مشخص شده برای مناطق آلوده دنیا، پایین‌تر می‌باشد.

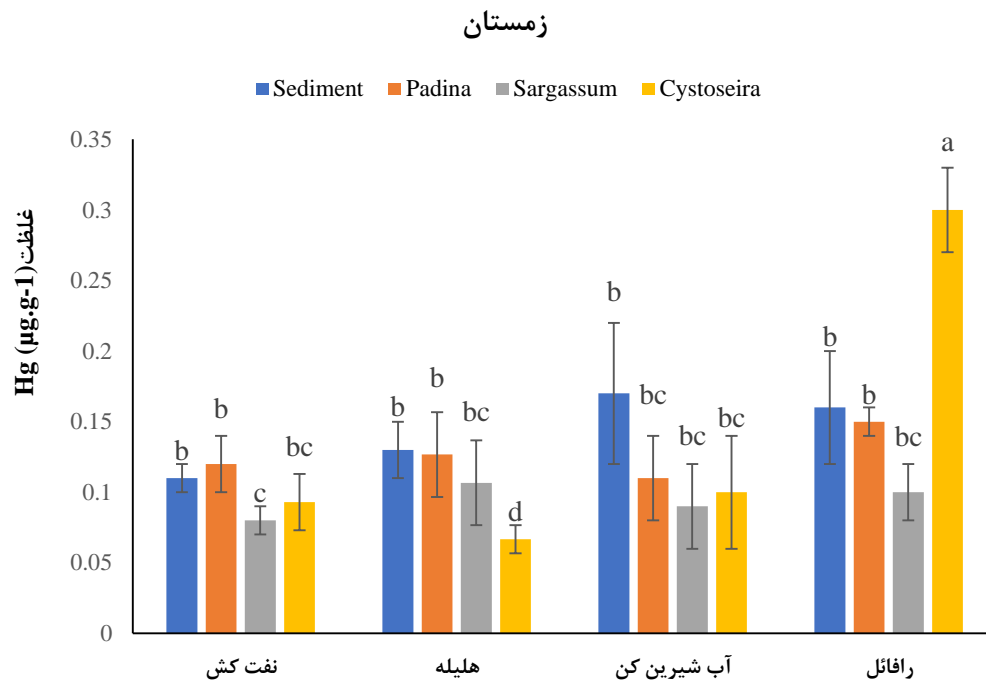
با توجه به نتایج آنالیز واریانس دوطرفه، اثر متقابل بین فصل و ایستگاه و همچنین بین ایستگاه‌های مختلف در فصل زمستان اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$), در صورتی که بین دو فصل و بین ایستگاه‌ها در فصل تابستان اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($p < 0.05$). فصل زمستان با میانگین غلظت $7/68 \pm 2/9$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل تابستان با میانگین غلظت $5/78 \pm 1/56$ میکروگرم بر گرم وزن خشک متغیر بود. بیش‌ترین و کمترین غلظت به ترتیب مربوط به ایستگاه رافائل در فصل زمستان و هلیله در فصل زمستان با میزان $0/38$ و $14/56$ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. در جلبک *Padina* sp. محدوده‌ی تغییرات سرب در دو فصل مورد مطالعه $0/5$ تا $7/34$ میکروگرم بر گرم وزن خشک، در جلبک *Sargassum* sp. محدوده‌ی $0/18$ تا $7/93$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در جلبک *Cystoseira* sp. در محدوده‌ی $0/98$ تا $9/31$ میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد. میزان میانگین سرب در تحقیق حاضر $4/41$ میکروگرم بر گرم وزن خشک برای *Sargassum* sp. بود که با میزان سنجش شده در تحقیق Dadolahi et al. (2003) در سواحل کیش و



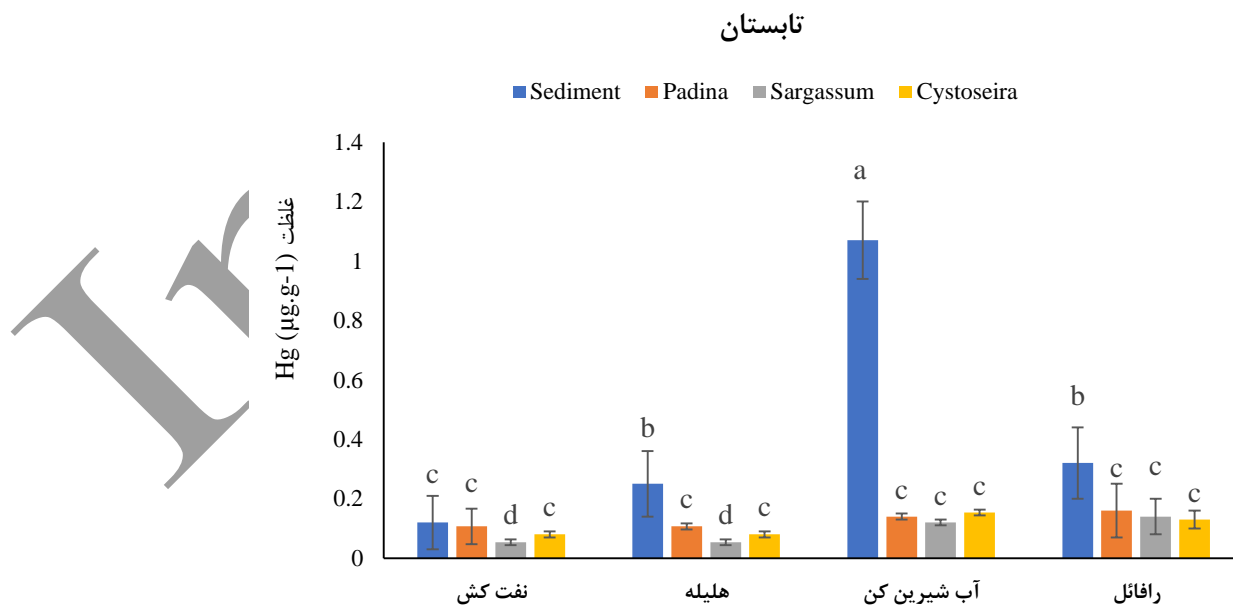
شکل ۷- میزان غلظت سرب در جلبک‌ها و رسوبات در فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig.7- Pb concentration in algae and sediments in winter at different stations.



شکل ۸- میزان غلظت سرب جلبک‌ها و رسوبات در فصل تابستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig. 8- The amount of Pb concentration in algae and sediments in the summer season at different stations.



شکل ۹- میزان غلظت جیوه در جلبک‌ها و رسوبات در فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig. 9- Hg concentration in algae and sediments in winter at different stations



شکل ۱۰- میزان غلظت جیوه در جلبک‌ها و رسوبات در فصل تابستان در ایستگاه‌های مختلف
 Fig. 10- Hg concentration in algae and sediments in summer at different stations.

رسوبات به طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌توانند از مهم‌ترین منابع فلزات سنگین برای موجودات کفزی و ساکن باشند. فلزات موجود در رسوبات در دو بخش دسته‌بندی می‌شوند، بخشی از فلزات که با پیوند بسیار سستی به رسوبات متصل شده‌اند، به راحتی از رسوبات جدا شده و در دسترس موجودات زنده قرار می‌گیرند. بخش دیگری از فلزات نیز در ساختار رسوب قرار گرفته و به راحتی از آن جدا نمی‌شوند و بنابراین کمتر مستعد دستیابی زیستی هستند (Vives et al., 2007).

مقایسه غلظت فلزات سنگین در جلبک‌ها و رسوبات نمونه‌برداری شده در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که سطح غلظت فلزات سنگین در جلبک‌ها پایین‌تر از رسوبات نمونه‌برداری شده می‌باشد. وجود چنین اختلافی نشان می‌دهد که تنها با اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوبات یک منطقه نمی‌توان میزان آلودگی آن را تخمین زد. زیرا بر اساس عقیده Eggleton و Thomas (2004) و Lasat et al. (2014) ممکن است میزان مواد آلاینده در یک منطقه بالا باشد، اما به دلیل پایین بودن میزان دسترسی زیستی، میزان تأثیر آن آلاینده‌ها بر موجودات زنده آن منطقه کم باشد.

وجود همبستگی مثبت میان غلظت فلزات سنگین در رسوبات و جلبک‌ها حاکی از افزایش دسترسی زیستی این فلزات بر اثر آزادسازی دوباره آن‌ها به ستون آب می‌باشد و این بدان معنی است که غلظت این فلزات در جلبک‌ها به غلظت آن‌ها در رسوبات وابسته است (Haritonodis and Malea, 1999).

با توجه به نتایج آنالیز واریانس دوطرفه، اثر متقابل بین فصل و ایستگاه و بین ایستگاه‌های مختلف در هر دو فصل و بین فصول اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0.05$). فصل زمستان با میانگین غلظت 0.14 ± 0.09 میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل تابستان با میانگین غلظت 0.17 ± 0.24 میکروگرم بر گرم وزن خشک متغیر بود. بیش‌ترین و کمترین غلظت به ترتیب مربوط به ایستگاه رافائل در فصل تابستان و ملی نفت کش در فصل زمستان با میزان 0.33 و 0.09 میکروگرم بر گرم وزن خشک سنجش شد.

با توجه به شکل‌های فوق میزان فلزات سنگین در سه جلبک مورد بررسی بصورت زیر می‌باشد

مس < سرب < نیکل < کادمیوم < جیوه : *Sargassum* sp.

سرب < نیکل < مس < کادمیوم < جیوه : *Padina* sp.

مس < سرب < نیکل < کادمیوم < جیوه : *Cystoseira* sp.

با توجه به جدول شماره ۵، میزان فلزات سنگین نیکل، کادمیوم در رسوبات و میزان جیوه در آب با میزان آن‌ها در جلبک *Sargassum* sp. همبستگی معنی‌داری نشان داد و همین‌طور بین غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، کادمیوم و سرب در رسوبات با میزان آن در جلبک *Cystoseira* sp. همبستگی مستقیم و معنی‌داری نشان داد. در مورد منشأ حضور فلزات سنگین در جلبک‌ها و سایر موجودات بستر زی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. بسیاری از این تحقیقات نشان داده‌اند که

جدول ۴- نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در جلبک‌های مورد مطالعه در سواحل استان بوشهر با سایر نقاط خلیج فارس و دیگر سواحل جهان (میکروگرم بر گرم وزن خشک)

Table 4- The results of measuring the concentration of heavy metals in the studied algae on the shores of Bushehr province with other parts of the Persian Gulf and other coasts of the world (micrograms per gram of dry weight)

Source	Sampling location	Hg	Ni	Cu	Cd	Pb	Genus
Dadolahi, 2003	Kish coasts		0.37	0.76	1.46	1.8	<i>Sargassum</i> sp.
Taghili, 2017	Bandar Abbas		21.86	6.53	4.61	14.22	<i>S.angustifolium</i>
Alah Verdi et al., 2013	Bushehr coasts		15	5.13	3.78	18.3	
Taghili, 2017	Arabian coasts		21.6	5.75	1.28	12.2	<i>S.latifolium</i>
AL-shawafi and Rushdi, 2007	Arabian coasts		2.8	10.2	0.76	2.4	<i>S.binderi</i>
Isanejad, 2020	Bushehr coasts	0.11	9.33	4.01	0.39	1.31	<i>P.pavonica</i>
Taghili, 2017	Bandar Abbas		4.43	10.95	5.05	18.91	
Dadolahi, 2003	Kish coasts		1.05	2.71	1.31	0.96	<i>Padina</i> sp.
AL-shawafi and Rushdi, 2007	Gulf of Aden		6.18	13.7	0.6	2.8	
Conti, 2008	Italian coasts			11	1	6.36	<i>Cystoseira</i> sp.
				11.26	0.28	5.24	

Dadolahi, 2003	Kish coasts	1.07	1.12	1.74	1.66	<i>C. sinuosa</i>	
		0.92	0.88	1.14	1.42	<i>C. myrica</i>	
Taghili, 2017	Bandar Abbas	25.1	8.1	4.9	20.15		
Present Research	Bushehr Province	0.12	1.55	4.45	0.64	4.41	<i>Sargassum</i> sp.
		0.14	3.26	2.8	0.37	3.99	<i>Padina</i> sp.
		0.11	1.49	4.48	0.47	3.84	<i>Cystoseira</i> sp.

جدول ۵ - همبستگی بین فلزات سنگین درون رسوب و ماکرو جلبک‌های مورد مطالعه

Table 5 - Correlation between heavy metals in sediment and studied macroalgae

<i>Cystoseira</i>	<i>Sargassum</i>	<i>Padina</i>	Macroalgae	
				Metal concentration in sediment
0.586**	0.491	0.597**	R	Cu
0.003	0.015	0.002	P	
0.725**	0.563**	0.364	R	Ni
0.00	0.004	0.08	P	
0.588**	0.525**	0.356	R	Cd
0.003	0.008	0.088	P	
0.07	0.005	0.011	P	
0.654**	0.218	0.411	R	Pb
0.001	0.306	0.04	P	
0.419	0.033	0.297	R	Hg
0.043	0.879	0.058	P	Hg concentration in water
0.331	0.544**	0.424	R	
0.114	0.006	0.034	P	

*معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و **معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

و بیش‌ترین میزان همبستگی بین جنس‌های *Sargassum* sp. با رسوبات مشاهده شد.

۴. نتیجه‌گیری نهایی

میزان تجمع فلز سنگین مس در جلبک‌های قهوه‌ای به ترتیب *Padina* sp. > *Sargassum* sp. > *Cystoseira* sp. برای فلز نیکل *Cystoseira* sp. > *Sargassum* sp. > *Padina* sp. برای فلز کادمیوم *Padina* sp. > *Cystoseira* sp. > *Sargassum* sp. برای فلز سرب *Cystoseira* sp. > *Padina* sp. > *Sargassum* sp.

طبق تحقیقات Alah Verdi et al. (2013) در سواحل بوشهر همبستگی مثبت و قوی بین سرب و کادمیوم موجود در رسوبات با جلبک *S. angustifolium* وجود دارد. این جنس برای پایش زیستی فلز کادمیوم در سواحل بوشهر نیز مستعد به نظر می‌رسد. طبق بررسی Isanejad et al. (2020) بین غلظت فلزات سنگین رسوب و جنس *Padina pavonica* مشخص شد بین میزان جیوه رسوب و میزان آن در ماکرو جلبک همبستگی مثبت وجود دارد. طبق بررسی Taghili (2017) مشخص شد بین نیکل رسوبات با میزان آن در جنس *Padina* sp. و *Sargassum* sp. و *Cystoseira* sp. همبستگی مثبت نشان داد.

آن‌ها در زمستان دانست. در بعضی موارد تفاوت معنی‌داری میان میزان فلزات سنگین در ایستگاه‌های مطالعاتی مختلف مشاهده شد که می‌توان دلیل آن را قرارگیری محل نمونه‌برداری در مکان‌های ساحلی که تحت تأثیر عوامل انسانی هستند دانست. با ورود آلاینده‌ها از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر قرار گرفته و فلزات سنگین در آب‌های ساحلی از طریق رواناب‌های سطحی افزایش پیدا می‌کند که از خشکی‌ها و زمین‌های اطراف صنایع، جاده‌ها و غیره حجم بالایی از آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین را به نواحی ساحلی منتقل می‌کنند. مطابق با نتایج همبستگی انجام شده بین غلظت فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب، مس، جیوه) در ماکروجلبک‌های *Padina sp.*، *Sargassum sp.*، *Cystoseira sp.* و رسوبات مجاور آن‌ها در سواحل شهرستان بوشهر مشخص شد که جلبک *Sargassum sp.* و *Cystoseira sp.* توانایی بیشتری در تجمع فلزات سنگین را در خود دارا می‌باشند. همچنین طبق نتایج همبستگی غلظت فلز سنگین جیوه در آب‌های سواحل شهرستان بوشهر با میزان آن در جلبک‌های مورد مطالعه، به نظر می‌رسد که جلبک *Sargassum sp.* جنس مناسبی برای پایش زیستی این فلز در منطقه مورد مطالعه باشد.

References:

Alah Vardi, M., Dadollahi Sohrab, A., Safahiye, A. and Savari, A., 2013. Use of chlorophyll content of *Ulva intestinals* and *Sargassum angustifolium* algae as a biological indicator of metal pollution. *Journal of Marine Science and Technology*, 10(4), pp.56-66. (In Persian)

Almela, C., Clemente, M. J., Velez, D., and Montoro, R., 2006. Total arsenic, inorganic arsenic, Pb and Cd contents in edible seaweed sold in Spain. *Food and Chemical Toxicology*, 44(11), p.1901-1908. DOI: 10.1016/j.fct.2006.06.011

Al-Shawafi, N. and Rushdi, A., 2008. heavy metals Concentrations in marine green, brown and red seaweeds from coastal water of Yemen, the Gulf of Aden. *Environment Geology*. DOI: 10.1007/s00254-007-1015-0.

Amini, F., Riahi, H. and Zolgharnain, H., 2013. Metal Concentrations in *Padina* Species and associated Sediment from Nayband Bay and Bostaneh Port, Northern Coast of the Persian Gulf, Iran. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*, 4(11).

ANZFA.,1997. Australian and New Zealand Food Stanadard A12 Metals and contaminants in food. Australian and New Zealand Food Authority. (Australia Government Public Service: Canberra).

Bibak.M., Sattari, M., Tahmasebi,S., Agharokh., A, J. I. Namin., 2020. Marine macro-algae as a bio-indicator of heavy metal pollution in the marine environments, Persian Gulf. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 49 (03), pp.357-363.

برای فلز جیوه *Padina sp.* > *Sargassum sp.* > *Cystoseira sp.* محاسبه شد و این تفاوت می‌تواند به نوع جنس و همچنین دسترسی زیستی فلزات سنگین نسبت داد. میزان فلزات سنگین موجود در رسوبات به ترتیب نیکل < سرب < مس < کادمیوم < جیوه می‌باشد و روند آن در جلبک‌های قهوه‌ای به صورت سرب < مس < نیکل < کادمیوم < جیوه می‌باشد که با روند آن در رسوبات و همچنین میانگین فلزات در رسوبات با میزان آن در جلبک‌های قهوه‌ای مطابقت نداشته، بنابراین وجود چنین اختلافی نشان می‌دهد که تنها با اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوبات یک منطقه نمی‌توان میزان آلودگی آن را تخمین زد، از طرفی ممکن است میزان مواد آلاینده در یک منطقه بالا باشد، اما به دلیل پایین بودن میزان دسترسی زیستی، میزان تأثیر آن آلاینده‌ها بر موجودات زنده آن منطقه کم باشد. میزان تجمع فلزات سنگین مس، سرب، کادمیوم و نیکل در ماکروجلبک‌های *Padina sp.*، *Sargassum sp.* و *Cystoseira sp.* در فصل زمستان بیشتر از فصل تابستان سنجش شد که دلیل آن را می‌توان عوامل محیطی مؤثر، همچون وزش باد، میزان نور خورشید و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب که بر انحلال فلزات سنگین تأثیرگذار بوده و همچنین تغییرات زیستی جلبک‌ها و کاهش متابولیسم

Carro, L., Barriada, J. L., Herrero, R., and de Vicente, M. E. S., 2015. Interaction of heavy metals with Ca-pretreated *Sargassum muticum* algal biomass: characterization as a cation exchange process. *Chemical Engineering Journal*, 264, pp.181-187. DOI:10.1016/j.cej.2014.11.079.

Conti, M. E.,2009. Biological monitoring: theory & applications: bioindicators and biomarkers for environmental quality and human exposure assessment (Vol. 17). WIT Press. Edited by M.E. Conti. Boston:WIT Press, 2008. 228 pp. ISBN: 978-1-84564-002-6.

Dadolahi-Sohrab, A., 2003. A study on the potential of using seaweed as biomonitoring indicator in Kish Island, Iran (Doctoral dissertation, University Putra Malaysia).

Daryaii, L. B., Samsampour.D., Bagheri, A, and Sohrabipour, J.,2020.High content of heavy metals in seaweed species: A case study in the Persian Gulf and the Gulf of Oman in the southern coast of Iran. *Journal of Phycology Research*, 4(2), pp.544-560.

Eggleton, J., and Thomas, K.V., 2004. Areview of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediments disturbance events. *Environment International*, (30), pp.973-980. DOI:10.1016/j.envint.2004.03.001

Karthick. , Sankar, R.S., Kaviarasan, T. and Mohanraju, R., 2012. Ecological implications of trace metals in seaweeds: Bio-indication potential for metal contamination in Wandoor,

- South Andaman Island. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(4), pp. 227-231.
- Lasat, M. M., Chung, K. F., Pb, J., Grath, S. Mc., Owen, R. J. Rocks, S., Unrine, J. and Zhang, J., 2018. *Journal of Environmental Protection*, 9(4), pp. 385-404. DOI: 10.4236/jep.2018.94025.
- Lee, K. J., Kang, E., H., Yoon, M, Jo, M. R., Yu, H., Son, K.T., Jeong, S., H. and Kim, J.H., 2022. Comparison of Heavy Metals and Arsenic Species in Seaweeds Collected from Different Regions in Korea. *Applied. Science.*, 12(14), pp.7000. <https://doi.org/10.3390/app12147000>.
- Fan, X. S., and Luo, H. 2013. Spatial and industrial distribution pattern of heavy metals emission in industrial waste water. *China Environmental Science*, 33(4), pp. 655-662.
- Gąsiorowska, B., Plaza, A., Rzażewska, E., Cybulska, A., and Górski, R. ,2018. The potato tuber content of microelements as affected by organic fertilisation and production system. *Environmental monitoring and assessment*, 190(9), pp.522. doi: 10.1007/s10661-018-6894-x
- Haritonidis, S., and Malea, P., 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environmental Pollution* (104), pp. 365-372. doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00192-4
- Heydari, M., Mohadinia, Abdul Ali. and Vahosseini, Saba., 2017. Investigating the antiradical and antioxidant power of two species of red and brown algae from the shores of the Persian Gulf in Bushehr province in comparison with the leaves of the mangrove tree (*Avicennia marina*). *Environmental Science and Technology Quarterly*, 19, pp. 189-179. (In Persian)
- Isanejad, Z., Amiri, F., Sakhaii, N., Ghanemi, K. and Shadi, A., 2020. *Padina pavonica* algae as a Heavy metal Bio-Indicator in Inter tidal Sediments of Bushehr Coasts, Persian Gulf. *Journal of Oceanography*, 11(41), pp. 127-137. (In Persian).
- Jan, T., Azam, M., Siddiqui, I. and kehkashan, N., 2015. Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. *International Journal of Molecular Science*, 16(12), pp. 29592–29630. doi: 10.3390/ijms161226183.
- Krembs, C., Bos, J., Albertson, S., Keyzers, M., and Brownlee, A., 2018. Recent and projected seasonal changes to river flows combine with human pressures to restructure the base of the marine food web in Puget Sound. *Salish Sea Ecosystem Conference*. 310. <https://cedar.wvu.edu/ssec/2018ssec/allsessions/310>
- Lozano, G., Hardisson, A., Gutiérrez, A. J., and Lafuente, M. A., 2003. Pb and Cd levels in coastal benthic algae (seaweeds) of Tenerife, Canary Islands. *Environment International*, 28(7), pp. 627-631. DOI: 10.1016/s0160-4120(02)00103-4.
- Mani, D., and Kumar, C. ,2014. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3), pp. 843-872. Doi:10.1007/s13762-013-0299-8.
- Najah, Z., Elsherif, M. Alstewi, M., and Attorshi, H., 2015. Phytochemical Profile and Heavy Metals Contents of *Codium tomentosum* and *Sargassum hornschuchi*. *Journal of Applicable Chemistry*, 4(6), pp. 1821-1827. Doi :10.13140/RG.2.1.3102.3440.
- Najah, Z., Annface, M. and Al Asekry, J., 2020 Phytochemical Content and Heavy Metals Level in *Cystoseira Spicata* and *Cystoseira compressa* from Annaggaza Seacoast. *Journal of Applicable Chemistry*, 9 (2), pp. 299-307 (International Peer Reviewed Journal).
- Singh, H., Kushwaha, A., and Shukla, D. N., 2018. Assessment of eco-environmental geochemistry of heavy metals pollution of the river Gandak, a major tributary of the river Ganga in Northern India. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1952, No. 1, p. 020038). AIP Publishing. doi.org/10.1063/1.5032000
- Sudharsan, S., Seedeivi, P., Ramasamy, P., Subhpradha, N., Vairamani, S., and Shanmugam, A., 2012. Heavy metal accumulation in seaweeds and sea grasses along southeast coast of India. *J. Chem. Pharm. Res*, 4(9), pp. 4240-4244.
- Sweetly, D. J., Sangeetha, K., and Suganthi, B., 2014. Biosorption of heavy metal Pb from aqueous solution by nonliving biomass of *Sargassum myricostum*. *Inter. Journal of Appl or Inno. in Eng. and Managemen*, (3), pp. 123-134.
- Taghili, M., 2017. Study and investigation of the use of algae as an indicator of biological monitoring of heavy metals in the coastal waters of Hormozgan province with emphasis on the beaches of Bandar Abbas and Bandar Lange cities. Master's Thesis, Marine Biology, Marine Pollution, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, page 70. (In Persian)
- Topcuoglu, S., Kılıç, O., Belivermiş, M., Ergul, H. A., and Kalaycı, G., 2010. Use of marine algae as biological indicator of heavy metal pollution in Turkish marine environment. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 16(1), pp. 621-629.
- Trifan, A., Breaban, I. G., Sava, D., Bucur, L., Toma, C. C., and Miron, A., 2015. Heavy metal content

in macroalgae from Roumanian Black sea. *Revue Roum Chim*, 60(9): 915-920.

Vives, A.E.S.D., Brienza, S.M.B., Moreira, S., Zucchis, O.L., Barroso, R.C., and Filho, V.F.N., 2007. Evaluation of the availability of heavy metals in lake sediments using SR-TXRF. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, (579), pp.503-506. Doi: oi: 10.1016/j.nima.2007.04.111.

In Press