

## بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین در آب‌های بندر عسلویه و تأثیر آن بر عضله ماهی قباد (*Brachirus orientalis*) و کفشک (*Scomberomorus guttatus*) در محیط GIS

### چکیده

دسته‌ای از آلاینده‌های تولیدشده توسط صنایع گاز و پتروشیمی در منطقه عسلویه فلزات سنگین می‌باشد که با ورود پساب این صنایع به خلیج فارس منجر به آلودگی آب و ماهیان موجود در آن شده است. از این رو در تحقیق حاضر، غلظت فلزات سنگین (Fe, Cr, Pb, Cu, Zn, Cd, Se, Ni) باهدف ارزیابی خطر آلودگی آب‌های خلیج فارس و تأثیر آن بر روی ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) و کفشک (*Brachirus orientalis*) بررسی شد. تعداد ۴۲ نمونه آب و ۸۴ نمونه از گونه‌های ماهی از ۱۴ نقطه (هر نقطه سه تکرار) جمع‌آوری و غلظت عناصر فلزی در آب و عضله ماهی‌ها در سال ۱۳۹۸ اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین میزان آلودگی حاصل از فلزات سنگین در آب و عضله ماهی از شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) استفاده شد. همچنین درنهایت برای تعیین نحوه توزیع مکانی عناصر سنگین در اطراف نیروگاه پارس جنوبی (آب و عضله ماهی) از روش کریجینگ در محیط GIS استفاده شد. نتایج آنالیز در نمونه‌های آب نشان داد که حداکثر مقادیر عناصر Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Cr در نمونه‌های آب به ترتیب ۴/۸، ۱۰، ۹/۸، ۵/۲، ۹/۴، ۶/۷ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به مقادیر مذکور مشخص می‌شود که در نزدیکی نیروگاه تمامی عناصر از حد مجاز استانداردهای بین‌المللی بیشتر می‌باشند که نشان‌دهنده آلودگی بالای آب در این منطقه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که آلودگی در ماهی کفشک بیشتر از ماهی قباد بود که علت آن را می‌توان محل زندگی این دو ماهی دانست، به‌طوری‌که ماهی قباد در نزدیکی سطح آب زندگی می‌کند، درحالی‌که ماهی کفشک در اعماق که آلودگی ناشی از نیروگاه بیشتر است، زندگی می‌کند. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان انتظار داشت که در درازمدت خطر آلودگی آب‌ها نسبت به فلزات سنگین ادامه یابد. به‌طوری‌که خطر آلودگی بر روی آبزیان منطقه تأثیر بسیار زیادی گذاشته که منجر به سمی شدن آن‌ها و ورود به چرخه غذایی مردم منطقه می‌گردد.

**واژگان کلیدی:** نیروگاه پارس جنوبی، عسلویه، فلزات سنگین، کیفیت آب، ماهی کفشک، ماهی قباد، شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)، GIS.

مرضیه مکرّم<sup>۱</sup>

رزاق عبیدی<sup>۲\*</sup>

عبدالحسن دولاح<sup>۳</sup>

هانیه ضیائیان نوربخش<sup>۴</sup>

۱. عضو هیئت‌علمی بخش مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران
۲. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
۳. استادیار، گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۴. استادیار گروه منابع طبیعی - تکثیر و پرورش آبزیان، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

\*مسئول مکاتبات:

Rasagh.obeidi@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۷۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۲

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

### مقدمه

پساب‌های صنعتی به میزان قابل‌توجهی در آلودگی آب‌ها نقش دارند. از آنجاکه انواع صنایع پساب خود را که شامل آلاینده‌های آلی و معدنی هستند، به رودخانه، دریاچه و یا دریاها تخلیه می‌کنند، بنابراین کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Crowe et al., 2002, Zhang et al., 2008, Schwarzbauer and Heim, 2005, Botalova et al., 2009). مناطق با فعالیت‌های صنعتی با دارا بودن فلزات سنگین در پساب خود منجر به آلودگی آب‌ها می‌شوند (Kang et al., 2010). فاضلاب ناشی از این صنایع مانند صنایع گاز و پتروشیمی شامل انواع مختلفی از آلاینده‌ها، مانند روغن و گریس، فنول‌ها (کرتوسل و گزین)، سولفیدها، آمونیاک، جامدات معلق، فلزات سنگین (مانند کروم، نیکل،

بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین در آب‌های بندر عسلویه و تأثیر آن بر عضله ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) و ... / مکرم و همکاران

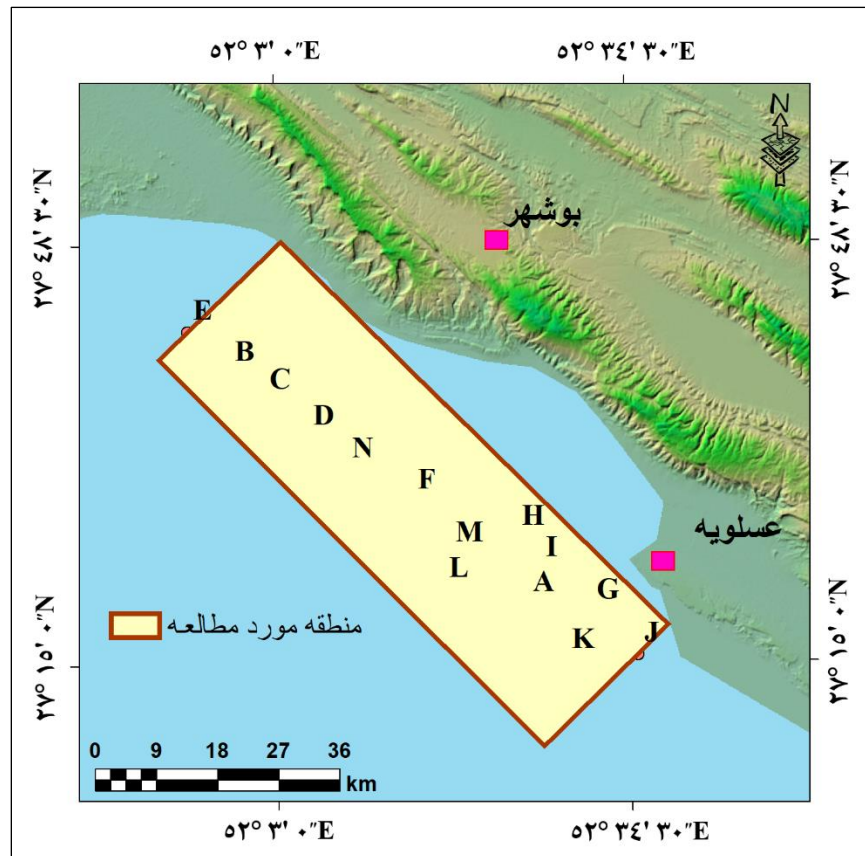
مولیبدن، سلنیوم، وانادیم، روی و...) می‌باشد (Cote, 1976). در آوریل ۱۹۷۷ در نیجریه در منطقه Luawii که تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی قرار داشتند، از آب مورد استفاده جهت آشامیدن و شست‌وشو توسط روستاییان نمونه‌برداری و آنالیز شد. آنالیز نمونه‌های آب نشان داد که میزان هیدروکربن موجود در آب برابر ۱۸ میلی‌گرم در لیتر بود که ۳۶۹ برابر بیشتر از حد مجاز در آب طبق استاندارد جهانی بود (Nwilo, 2006). در حقیقت با انتشار فلزات سنگین حاصل از فعالیت فعالیت‌های صنعتی در آب محیط‌زیست و در نهایت آبریان آلوده می‌شوند. آبریان منبع اقتصادی و غذایی بسیار مهمی برای بشر هستند. زمانی که آلاینده‌ها وارد محیط آبی می‌شوند، علاوه بر تغییر کیفیت آب، زندگی و تولیدمثل آبریان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعات مختلفی در زمینه آلودگی آب به فلزات سنگین تاکنون صورت گرفته، به طوری که Gokalp و Mohammed (۲۰۱۹) آلودگی آب‌ها در رودخانه Heshkaro واقع در عراق را بررسی نمودند. نتایج نشان داد کلیه عناصر مورد مطالعه در محدوده قابل قبول قرار دارند و سایت ۶ که متصل به دریاچه Mosul بود دارای بیشترین کیفیت آب بود. Li و Ge (۲۰۱۸) میزان جذب فلزات سنگین آب‌ها را توسط لیگنین یک پلیمر آمورف طبیعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که لیگنین یک جذب‌کننده قوی فلزات سنگین در آب است. Nath و همکاران (۲۰۱۸) نقشه آلودگی آب‌های Brahmaputra به فلزات سنگین را در محیط GIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از GIS می‌توان نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین را تهیه نمود. همچنین نتایج حاصل از بررسی کیفیت آب توسط شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) نشان داد اکثر مناطق دارای کیفیت آب زیرزمینی مناسب هستند.

Demirak و همکاران (۲۰۰۶) وضعیت رسوبات سنگین (کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی) در بافت ماهی *Leuciscus cephalus* در رودخانه‌ای واقع در جنوب غربی ترکیه بررسی کردند. نتایج نشان داد که عناصر سنگین در بافت ماهی وارد شده و منجر به آلودگی ماهی شده است که علت آن وجود نیروگاه‌های مجاور رودخانه است. از جمله مطالعاتی که اخیراً در زمینه کیفیت آب و ارتباط آن با آلودگی بافت ماهی انجام شده می‌توان به Dane و Şişman (۲۰۲۰)، Venkateswarlu و Venkatrayulu (۲۰۲۰) و Zerizghi و همکاران (۲۰۲۰) اشاره نمود که نتایج نشان داد که با افزایش آلودگی در آب، میزان عناصر در بدن ماهی افزایش می‌یابد.

منطقه عسلویه پایتخت انرژی و قطب اقتصادی وابسته به گاز و پتروشیمی ایران در بخش شمالی خلیج فارس، دومین ذخایر گاز طبیعی دنیا و بزرگ‌ترین ذخایر گاز طبیعی ایران می‌باشد که به دلیل میدان‌های عظیم گازی پارس جنوبی از اهمیت اقتصادی و موقعیت استراتژیک ویژه‌ای برخوردار است. میدان گازی پارس جنوبی در اوایل سال ۱۹۸۸ میلادی شناسایی و تخمین زده شده است که دارای ظرفیت  $3/4 \times 10^{12}$  مترمکعب گاز طبیعی می‌باشد. در این منطقه ۱۸ شرکت پتروشیمی فعال وجود دارد (Leili et al., 2017, Saidi et al., 2014). گاز طبیعی از میدان پارس جنوبی از طریق خط لوله به پالایشگاه عسلویه منتقل می‌شود که در آن هیدروکربن‌های مایع جدا می‌شوند. بنابراین انتشار آلاینده‌ها از این پالایشگاه‌ها می‌تواند رخ دهد (Kafaei et al., 2017). علاوه بر این، بسیاری از شرکت‌های فعال پتروشیمی نیز در این منطقه وجود دارند. تعداد زیاد مخازن ذخیره‌سازی، خطوط لوله‌کشی انتقال گاز، نشت گاز و صادرات و واردات گاز از صنایع، مقدار زیادی از آلاینده‌ها را به محیط‌زیست انتشار می‌دهد (Abdollahi et al., 2013). به دلیل ارزش غذایی و تجاری بالای ماهیان در مناطق مختلف ایران، بررسی میزان فلزات سنگین در آب و ماهیان مناطق مجاور نیروگاه‌ها الزامی است. با توجه به اینکه فلزات سنگین در منطقه عسلویه مشکلاتی به واسطه تجمع در بدن موجودات زنده ایجاد می‌کنند (De Mora et al., 2004)، بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و اثر آن‌ها بر روی ماهیان مهم به نظر می‌رسد. در این مطالعه به‌طور هم‌زمان آلودگی آب‌های مجاور منطقه عسلویه به برخی فلزات سنگین و میزان این فلزات در عضله ماهیان (کفشک و قباد) توسط شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) بررسی می‌شود که از نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد. شایان ذکر است که از دلایل انتخاب این دو گونه ماهی می‌توان به منطقه زیست آن‌ها در عمق آب اشاره کرد. ماهی کفشک گونه‌ای کف‌زی و ماهی قباد گونه ایست که در لایه‌های بالایی آب وجود دارند. همچنین فراوانی گونه‌ها در آب‌های خلیج فارس، صید زیاد آن‌ها توسط صیادان و استفاده بالا در سبد غذایی مردم منطقه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در آب‌های اطراف نیروگاه پارس جنوبی عسلویه در حاشیه خلیج فارس در محدوده ۲۵۶۴ کیلومترمربع در استان بوشهر به مختصات جغرافیایی  $27^{\circ}$  تا  $27^{\circ} 42'$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 36'$  تا  $53^{\circ} 43'$  طول شرقی انجام پذیرفت (شکل ۱). این نیروگاه در سال ۱۹۷۱ ساخته شد و بهره‌برداری از آن در سال ۱۹۸۹ آغاز گردید. حجم ذخیره درجای گاز طبیعی نیروگاه پارس جنوبی در حدود ۵۱ تریلیون مترمکعب و ذخیره قابل برداشت آن ۳۶ تریلیون مترمکعب برآورد می‌شود. هم‌اکنون (۲۰۱۹) به‌طور متوسط روزانه ۱ میلیارد و ۲۱۰ میلیون مترمکعب گاز طبیعی از این نیروگاه استخراج می‌شود که ۶۱۰ میلیون مترمکعب در روز توسط شرکت ملی نفت ایران و روزانه ۶۰۰ میلیون مترمکعب نیز توسط قطر پترولیوم تولید می‌گردد. این منطقه دارای اقلیم گرم و مرطوب که در تابستان دمای بالای ۵۰ درجه و در زمستان دمای حداقل تا ۵ درجه را تجربه می‌کند (سازمان هواشناسی استان فارس، ۱۳۹۸).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در آب‌های بندر عسلویه (سال بررسی ۱۳۹۸).

نمونه‌های آب به‌طور تصادفی از ۱۴ نقطه (به ازای هر نقطه ۳ تکرار) از منطقه مورد مطالعه در تابستان ۱۳۹۸ نمونه‌برداری شدند که پس از آماده‌سازی لازم به‌منظور جلوگیری از تأثیر نور آفتاب، نمونه‌ها در محفظه‌های مناسب قرار گرفته و تا زمان انتقال به آزمایشگاه در شرایط مناسب دمایی و در حداقل زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شده و تا قبل از انجام آزمایش در یخچال تحت دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (جدول ۱). نمونه‌برداری و آنالیز برای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی شامل دما،  $Zn$ ،  $Pb$ ،  $Cd$ ،  $Fe$ ،  $Ni$ ،  $Cr$ ،  $Cu$  انجام گرفت. به‌منظور تثبیت

بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین در آب‌های بندر عسلویه و تأثیر آن بر عضله ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) و ... / مکرم و همکاران

و جلوگیری از رسوب‌گذاری عناصر محلول در نمونه‌ها، به ازای هر ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه آب، ۱ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر با سرعت ۸۵ دور بر دقیقه، محلول توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شد. به‌منظور کالیبراسیون دستگاه پالسمای جفت شده القایی Varian مدل-710 ES، با استفاده از محلول استاندارد ۱ میلی‌گرم بر لیتر عناصر موردبررسی، نسبت به تهیه محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک عناصر نیکل و آهن در غلظت‌های ۱، ۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر لیتر، سرب در غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۵ میکروگرم بر لیتر، برای هر دو عنصر کادمیوم و کروم غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر، مس در غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر اقدام شد (Muhammad *et al.*, 2011). درنهایت غلظت فلزات سنگین برحسب میکروگرم بر لیتر در سه تکرار خوانده شد. شایان‌ذکر است که در این مطالعه برای بررسی آلودگی آب از استانداردهای بین‌المللی کیفیت آب از دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی (WHO) استفاده شد (Rainbow, 1985). به طوری که طبق این دستورالعمل مقادیر بیشتر از استاندارد به‌عنوان مقادیر نامطلوب و آلوده در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری.

نقاط	طول	عرض
I	۶۴۵۱۴۸	۳۰۲۱۶۳۳
A	۶۴۵۱۴۸	۳۰۲۱۶۳۳
G	۶۶۰۹۵۰۸	۳۰۱۳۵۵۰
K	۶۳۷۲۷۲۸	۳۰۲۸۴۱۲
H	۶۳۷۲۷۲۸	۳۰۲۸۴۱۲
J	۶۳۷۲۷۲۸	۳۰۲۸۴۱۲
M	۶۳۱۴۳۶۲	۳۰۲۸۶۳۸
L	۶۲۲۱۱۳	۳۰۲۷۵۲۶
N	۶۱۹۱۲۸۱	۳۰۴۵۸۴۴
D	۶۰۲۴۴۶	۳۰۴۳۸۰۵
C	۵۹۱۸۶۱۲	۳۰۴۶۹۰۵
B	۵۸۹۲۰۷	۳۰۵۵۸۸۸
E	۵۹۲۷۵۴	۳۰۶۵۶۴۳

جدول ۲: استانداردهای سازمان بهداشت جهانی برای فلزات سنگین در آب‌های طبیعی (Rainbow, 1985).

پارامتر	نیکل	مس	کروم	کادمیوم	سرب	روی	آهن
حدود مطلوب (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۷	۱/۵	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۱/۵	۵

در ادامه جهت ارزیابی کیفی آب از شاخصی به نام شاخص آلودگی فلزی ((HPI) Heavy metal pollution indices) استفاده شد. این شاخص ابزاری قدرتمند به‌منظور بررسی کیفیت کلی آب است. درواقع این شاخص نشان‌دهنده کیفیت کلی آب با توجه به میزان فلزات سنگین در آب است. شاخص آلودگی فلزی با استفاده از فرمول زیر و بر اساس سازمان بهداشت جهانی تعیین می‌گردد (Cengiz *et al.*, 2017):

$$MI = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(MAC)_i}$$

رابطه ۱:

CI: غلظت عنصر موردنظر

i: i مین عنصر موردنظر در نمونه

(MAC)i: حداکثر غلظت مجاز عنصر موردنظر

که اگر مقادیر به دست آمده برای HPI بیشتر از ۳۰ باشد نشان دهنده آلودگی آب از نظر فلزات سنگین است.

برای انجام این بررسی ۸۴ عدد نمونه از گونه‌های ماهی قباد و کفشک به ازای هر گونه ۳ عدد در هر منطقه در تابستان سال ۱۳۹۸ از صیدگاه‌های بندر عسلویه توسط صیادان منطقه صید گردید. ماهی‌ها توسط یخدان حاوی یخ تحت دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها با آب مقطر شست‌وشو داده شده و پس از اندازه‌گیری آزمایش‌ها بیومتری، جداسازی بافت عضله به وسیله چاقوی پلی‌اتیلنی انجام شد. نمونه‌ها جهت تزریق به دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی Perkin Elmer 3030 ساخت آمریکا به داخل ظروف پلی‌اتیلنی درب دار انتقال داده شدند. مقادیر مجاز برای هر یک از عناصر بر اساس استاندارد بین‌المللی سازمان بهداشت جهانی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: میزان غلظت عناصر سلنیوم، آهن، روی، مس، کادمیوم، سرب، نیکل طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی

(میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) برای ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) و کفشک (*Brachirus*)

(orientalis) (سال ۱۳۹۸).

مس	آهن	سلنیوم	روی	نیکل	سرب	کادمیوم
۱۰	-	-	۱۰۰	۰/۵	۰/۵	۰/۲

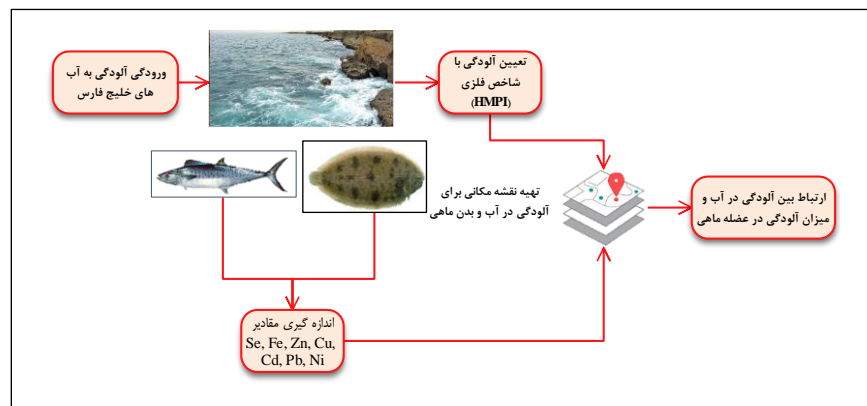
به منظور تعیین توزیع مکانی هر یک از عناصر سنگین (در آب و عضله ماهی) از روش کریجینگ که یکی از روش‌های زمین آمار می‌باشد استفاده شد. کریجینگ یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن دار شده استوار است. به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین برآورد کننده خطی نارایب می‌باشد. این برآورد کننده به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن  $Z^*(x)$  عیار برآوردی،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $i$  ام و  $z(x_i)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند، زیرا ترکیب خطی از  $n$  داده است که شرط استفاده از این برآورد کننده این است که متغیر  $z$  دارای توزیع نرمال باشد. مهم‌ترین قسمت کریجینگ تعیین وزن‌های آماری  $\lambda_i$  می‌باشد که جهت نارایب بودن برآوردها، این وزن‌ها بایستی به نحوی تعیین گردند که مجموع آن‌ها برابر ۱ باشد (رابطه ۳):

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \text{رابطه ۳:}$$

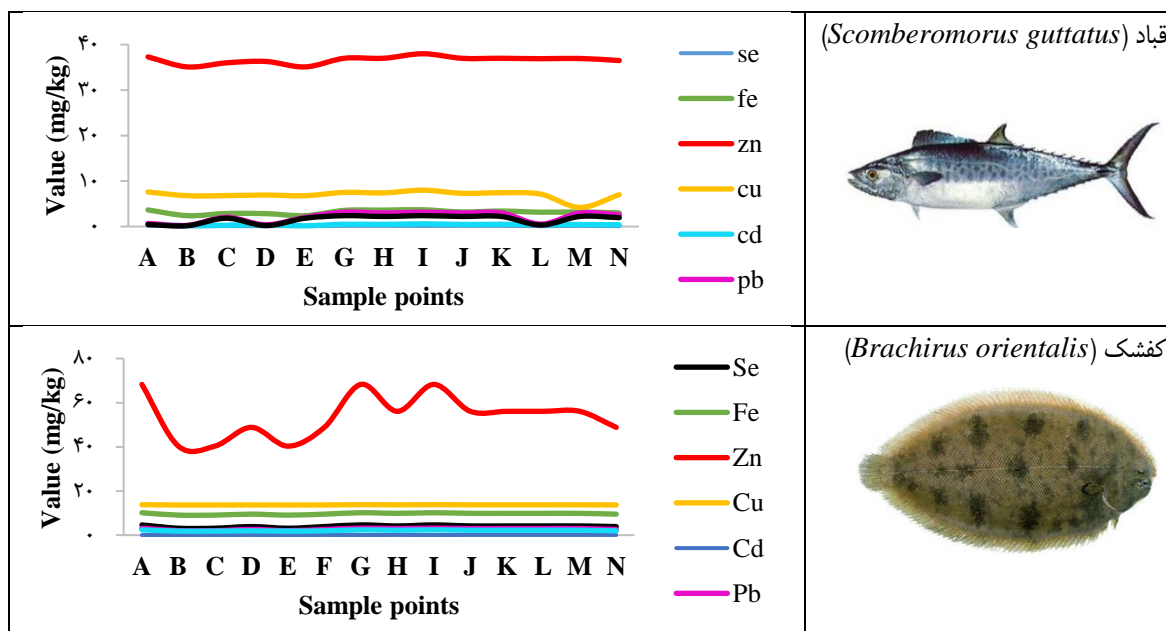
به طور خلاصه روند این تحقیق در شکل ۲ آمده است:



شکل ۲: روند تحقیق در منطقه مورد مطالعه.

### نتایج

نتایج اندازه‌گیری‌ها برای ماهی قباد نشان می‌دهد که میانگین مقادیر Se, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni به ترتیب ۱/۵۶، ۲/۰۵، ۰/۴۱، ۶/۹۸، ۳۶/۶، ۳/۱۴ و ۰/۱۰۹ بود که نیکل، سرب و کادمیوم در بافت عضله ماهی قباد به ترتیب ۸۰، ۹۰ و ۵۰ درصد از حد مجاز استاندارد بالاتر بود. میانگین مقادیر برای ماهی کفشک نیز به ترتیب ۲/۱۱، ۳/۷۲، ۰/۰۳، ۱۳/۷۱، ۵۳/۷۷ و ۹/۶۸ که سلیوم ۴۰ درصد و بقیه عناصر ۱۰۰ درصد از حد مجاز استاندارد بین‌المللی بیشتر هستند. نتایج حاکی از این است که هر چه به سمت ایستگاه‌های نزدیک‌تر به نیروگاه پارس جنوبی در عسلویه می‌شویم، مقادیر فلزات سنگین در آب نیز افزایش می‌یابد (شکل ۳).



شکل ۳: مقادیر غلظت عناصر سلیوم، آهن، روی، مس، کادمیوم، سرب، نیکل در عضله ماهی قباد

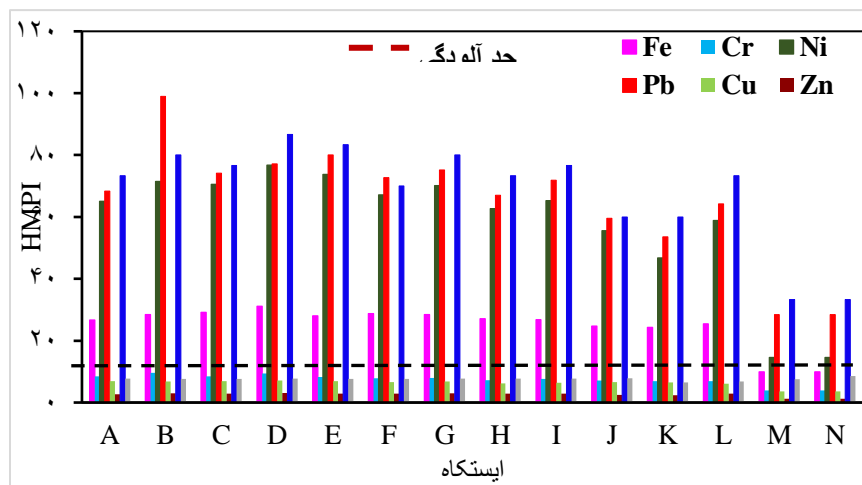
(*Scomberomorus guttatus*) و کفشک (*Brachirus orientalis*) (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه (سال ۱۳۹۸).

با توجه به جدول ۴ مشخص می‌شود که مقادیر آهن در آب‌های منطقه مورد مطالعه ۳ - ۹/۴۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. میزان کروم ۲ - ۴/۸۶ و نیکل ۱ - ۵/۲ میلی‌گرم در لیتر و میزان نیکل آب منطقه بین ۵/۲۹ - ۱ میلی‌گرم در لیتر بود، در حالی که حداکثر مقادیر روی، سرب و مس به ترتیب ۱۰، ۶/۷ و ۸/۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که نسبت به مقادیر مجاز در آب بیشتر است (Cengiz et al., 2017). میزان کادمیوم ۰/۱ - ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر بود که نشان‌دهنده آلودگی کم آب به این عنصر است. مقادیر pH آب‌های منطقه مورد مطالعه بین ۸/۵ - ۶/۵ می‌باشد. همچنین برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون نرمالیت کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده حالت نرمال دارند. با توجه به ستون Sig در جدول ۴ دیده می‌شود که در سطح خطای ۰/۰۵ فرض صفر که نشان‌دهنده یکنواخت بودن توزیع داده‌ها است رد نمی‌شود.

جدول ۴: مقادیر هر یک از عناصر سنگین در آب منطقه مورد مطالعه (سال ۱۳۹۸).

عناصر سنگین	دامنه (میلی‌گرم بر لیتر)	میانگین ± انحراف معیار (میلی‌گرم بر لیتر)	Sig.
آهن	۶/۴۲۲	۰/۰۰۲±۷/۵۴۴	۰/۰۶
کرم	۲/۸۶۷	۰/۸۲۷±۳/۷۶	۰/۰۷
نیکل	۴/۲۹۴	۱/۳۷۶±۳/۹۹۷	۰/۰۵۲
سرب	۶/۹۱	۱/۷۶۵±۶/۷۷	۰/۰۶۸
مس	۳/۳۵۵	۱/۰۹۹±۵/۹۱۲	۰/۰۵۱
روی	۶/۰۶۱	۲/۰۱۴±۸/۵۲۲	۰/۰۶
کادمیوم	۰/۱۵۸	۰/۰۵۱±۰/۲۰۷	۰/۰۶۸
pH	۲	۰/۷±۷/۵	۰/۰۶۵

شکل ۴ مقادیر محاسبه‌شده شاخص فلزی بر اساس استاندارد بین‌المللی نشان می‌دهد. با محاسبه شاخص فلزی مشخص شد همه ایستگاه‌ها دارای مقادیر سرب و کادمیوم بالایی هستند که نشان‌دهنده آلودگی بالا می‌باشد. ایستگاه‌های A, H, I مقادیر سرب و کادمیوم بالاتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند. به‌طور کلی علت اصلی بالا بودن HPI در منابع آب بالا بودن غلظت فلز کادمیوم و سرب نسبت به استاندارد در نمونه‌ها می‌باشد.



شکل ۴: مقادیر HPI برای سایر ایستگاه‌ها (سال ۱۳۹۸).

در پژوهش حاضر ماتریس همبستگی به روش اسپیرمن مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۵ آمده است. بر اساس این جدول همه عناصر موجود در آب و شاخص HPI دارای همبستگی مثبت هستند. ماتریس همبستگی عناصر سنگین و شاخص آلودگی آب در منطقه مورد مطالعه (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار همبستگی با عناصر کروم با ضریب همبستگی ۰/۸۲۴ می‌باشد.

جدول ۵: ماتریس همبستگی عناصر سنگین و شاخص‌های آلودگی در منطقه مورد مطالعه (همبستگی اسپیرمن) (سال ۱۳۹۸).

	HPI	آهن	کرم	نیکل	سرب	مس	روی	کادمیوم
HPI	1	0.785**	0.821**	0.795**	0.794**	0.781**	0.698**	0.733**
آهن		1	0.943**	0.975**	0.956**	0.955**	0.977**	0.947**
کرم			1	0.952**	0.918**	0.949**	0.886**	0.913**
نیکل				1	0.991**	0.928**	0.971**	0.978**
سرب					1	0.897**	0.964**	0.982**
مس						1	0.895**	0.873**
روی							1	0.965**
کادمیوم								1

به‌منظور برآزش بهترین مدل بر روی واریوگرام تجربی از میزان RSS کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر استفاده شد (Robinson and Metternicht, 2006). در جدول‌های ۶ و ۷ مدل مناسب برآزش داده‌شده بر روی واریوگرام و عامل‌های مربوطه برای عناصر موجود در عضله ماهی (Se, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni)، عناصر موجود در آب (Fe, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, pH) و شاخص HPI آورده شده است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرارداد. ولی این نسبت اگر کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط و بزرگ‌تر از ۰/۷۵ ساختار فضایی ضعیف است (Shi et al., 2007). با توجه به اینکه نسبت اثر قطعه‌ای بر آستانه (CO/CO+C) برای کلیه پارامترهای آب و ماهیان مذکور در مدل‌های Spherical, Circular, Exponential کمتر است، از این مدل‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر استفاده شد.

**جدول ۶: بهترین مدل برازش داده‌شده به واریوگرام و عامل‌های مربوط به آن برای دو گونه ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) و کفشک (*Brachirus orientalis*) و شاخص HI (سال ۱۳۹۸).**

کفشک						قباد					
RSS	R2	اثر قطعه‌ای بر آستانه	آستانه	اثر قطعه‌ای	اثر بر آستانه	RSS	R2	اثر قطعه‌ای بر آستانه	آستانه	اثر قطعه‌ای	اثر بر آستانه
۰/۰۵	۰/۹۳	۰/۲۱	۰/۸۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۹۳	۰/۲۱	۰/۸۶	۰/۱۸	۰/۱۸
۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۲۷	۰/۷۱	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۲۷	۰/۷۱	۰/۱۹	۰/۱۹
۰/۱۹	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۰۳
۰/۱	۰/۸۶	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱	۰/۸۶	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۱۲
۰/۱۵	۰/۸۶	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۸۶	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۰۶
۰/۲	۰/۸	۰/۰۲	۰/۶۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲	۰/۸	۰/۰۲	۰/۶۲	۰/۰۱	۰/۰۱
۰/۰۴	۰/۸۱	۰/۵۱	۰/۹۴	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۰۴	۰/۸۱	۰/۵۱	۰/۹۴	۰/۴۸	۰/۴۸

**جدول ۷: بهترین مدل برازش داده‌شده به واریوگرام و عامل‌های مربوط به آن برای عناصر آب و شاخص HPI (سال ۱۳۹۸).**

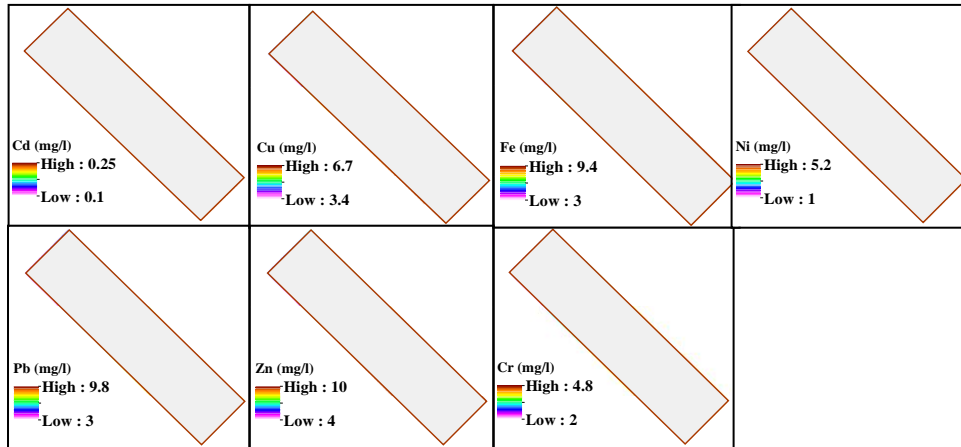
پارامتر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	اثر قطعه‌ای بر آستانه	R2	RSS
کرم	Circular	۰/۱۸	۰/۸۶	۰/۲۱	۰/۹۱	۰/۰۴
آهن	Spherical	۰/۱۷	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۹۳	۰/۱۸
روی	Exponential	۰/۰۶	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۹۴	۰/۵
مس	Spherical	۰/۱۶	۰/۶۱	۰/۲۶	۰/۸۱	۰/۱۴
کادمیوم	Exponential	۰/۰۶	۰/۷	۰/۰۹	۰/۸۵	۰/۱۸
سرب	Spherical	۰/۰۰۱	۰/۵۸	۰	۰/۸۴	۰/۲۷
نیکل	Circular	۰/۹۵	۰/۴۴	۲/۱۶	۰/۹۲	۰/۰۲
HPI	Circular	۰/۱۱	۰/۹	۰/۱۲	۰/۹۵	۰/۱۲

با توجه به نتایج جدول ۶ نقشه پهنه‌بندی برای هر یک از پارامترها در عضله ماهی کفشک با توجه به مقادیر بالای این ماهی نسبت به ماهی قباد مورد مطالعه، در محیط GIS تهیه شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ مشخص شد که در ماهی قباد عناصر Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Se به ترتیب با مقادیر حداکثر ۰/۵۲، ۰/۷۵، ۳/۷، ۲/۴، ۳/۲، ۳۸، ۰/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بخش‌هایی که نزدیک نیروگاه پارس جنوبی می‌باشد، دارای بیشترین مقدار هستند، در حالی که در ماهی کفشک عناصر Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Se به ترتیب با مقادیر ۰/۹۸، ۲۷، ۰/۴، ۰/۳، ۲/۹، ۰/۷۵، ۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در محل مجاور با نیروگاه دارای بیشترین مقدار نسبت به دیگر بخش‌های منطقه مورد مطالعه هستند. با توجه به مقادیر مجاز در عضله ماهی طبق شکل ۵ مشخص می‌شود که مقادیر Fe, Pb, Se در ماهی کفشک در مجاور نیروگاه بیشتر از مقادیر مجاز می‌باشد که نشان‌دهنده آلودگی بیشتر در عضله این ماهیان می‌باشد. از دیگر مواردی که منجر به آلودگی بیشتر ماهی کفشک نسبت به ماهی قباد در آب‌های آلوده می‌شود می‌توان به مکان زندگی آن‌ها اشاره نمود، به طوری که ماهی قباد در نزدیکی سطح آب و ماهی کفشک در اعماق که آلودگی ناشی از نیروگاه بیشتر است، زندگی می‌کند و همین مسئله منجر به جذب بیشتر فلزات سنگین در ماهی کفشک و آلودگی بیشتر این ماهی شده است که نتایج این تحقیق آن را اثبات می‌نماید.

																کفشک
																قباد

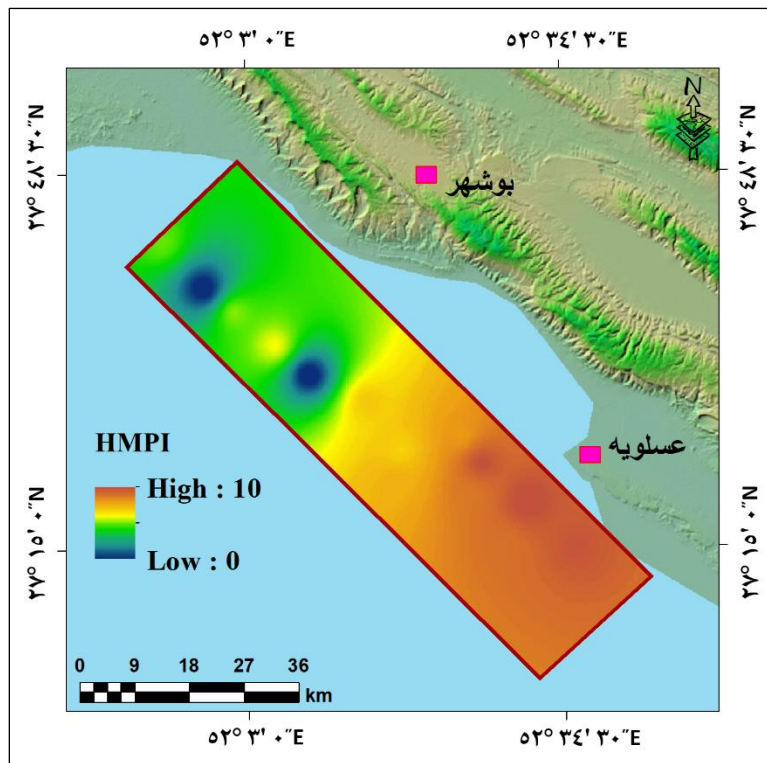
شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر اندازه‌گیری شده در عضله ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) و کفشک (*Brachirus orientalis*) (سال ۱۳۹۸).

با توجه به نتایج جدول ۷ نقشه پهنه‌بندی برای هر یک از پارامترها در آب در محیط GIS تهیه شد که در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ مشخص شد که عناصر Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Cr با مقادیر حداکثر ۴/۸، ۱۰، ۹/۸، ۵/۲، ۹/۴، ۶/۷ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در بخش‌هایی که نزدیک نیروگاه پارس جنوبی می‌باشد دارای بیشترین مقدار هستند. با توجه به مقادیر مذکور مشخص می‌شود که در نزدیکی نیروگاه تمامی عناصر از حد مجاز بالاتر می‌باشند که نشان‌دهنده آلودگی بالای آب در این منطقه می‌باشد؛ بنابراین با استفاده از GIS می‌توان نقشه‌های پهنه‌بندی با دقت بالا تهیه نمود.



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر اندازه‌گیری شده در آب (سال ۱۳۹۸).

در انتها نقشه پهنه‌بندی برای شاخص HPI برای آب منطقه مورد مطالعه تهیه گردید که در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷ مشخص می‌شود که مناطق نزدیک به نیروگاه پارس جنوبی دارای مقادیر HPI بیشتری نسبت به دیگر مناطق دارد که نشان‌دهنده آلودگی بیشتر می‌باشد. در واقع هر چه از نیروگاه دورتر می‌شویم مقادیر HPI آب نسبت به مناطق مجاور نیروگاه کمتر می‌شود و در نتیجه آلودگی نیز کمتر می‌باشد. در کل مقادیر HPI نشان می‌دهد که آب منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت کم (HPI بیشتر از ۱) می‌باشد.



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی شاخص HPI (سال ۱۳۹۸).

## بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه با توجه به بالا بودن میزان آهن در عضلات ماهی در مقایسه با استاندارد جهانی، پیشنهاد می‌گردد که استفاده از این گونه در این منطقه با مراقبت‌های لازم انجام گیرد. همچنین جهت حصول اطمینان از سلامت مصرف سایر آبزیان، باید پایش‌های مداوم تمامی آلاینده‌های محیطی در آب، رسوب و آبزیان خلیج فارس صورت پذیرد و به جهت کنترل منابع آلاینده نیز مدیریت مناسب اتخاذ گردد تا ذخایر آبزیان که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع پروتئینی به‌حساب می‌آیند دچار صدمات کمتری شوند. تجمع فلزات سنگین حاصل از صنایع گاز و پتروشیمی توسط گیاهان می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای نظارت بر آلودگی‌های محیطی فراهم کند. علاوه بر تأثیری که آلاینده‌ها بر سیستم تنفسی دارند، بررسی‌های اخیر نشان‌دهنده ارتباط بین این آلاینده‌ها و افزایش بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد (Pascal *et al.*, 2013, Mannocci *et al.*, 2015).

در پژوهش حاضر، با مقایسه میانگین مقادیر فلزات سنگین در نمونه‌های مختلف مشخص می‌شود که غلظت این فلزات در بعضی از نمونه‌ها از حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) بسیار بیشتر بوده است (Kirk *et al.*, 1991). همچنین مقدار این فلز از استاندارد وزارت کشاورزی، پرورش ماهی و جنگل‌داری انگلستان (MAFF) و مدیریت سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) نیز بیشتر می‌باشد (FAO, WHO). در این مطالعه مشخص شد که علت عمده آلودگی ماهیان به دلیل فعالیت نیروگاه پارس جنوبی می‌باشد که منجر به آلودگی آب‌های این منطقه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر Fe, Pb, Se در ماهی کفشک در مجاور نیروگاه بیشتر از مقادیر مجاز می‌باشد که نشان‌دهنده آلودگی بیشتر در عضله این ماهیان می‌باشد. ماهی قباد دارای آلودگی کمتری نسبت به عناصر سنگین است که علت آن را می‌توان به محل زندگی ماهی ربط داد. به‌طوری‌که ماهیانی که در نزدیکی سطح آب زندگی می‌کنند دارای آلودگی کمتری نسبت به ماهیانی هستند که در نزدیک کف آب زندگی می‌کنند. در این مطالعه همچنین نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر سنگین در محیط GIS تهیه شد. مطالعات نشان می‌دهد که در محیط GIS می‌توان نقشه‌های پهنه‌بندی با دقت بالا تهیه نمود (Nath *et al.*, 2015). مصرف ماهیان آلوده به کادمیوم منجر به اثرات سوء از جمله مشکلات اسکلتی، برونشیت، آمفیوزم، کم‌خونی و سنگ کلیه را در مصرف‌کنندگان می‌شود (Moghadasian, 2008). میانگین وجود فلز کادمیوم در مطالعه حاضر از حد استانداردهای جهانی بیشتر بوده و از لحاظ بهداشتی بسیار نگران‌کننده است و نیاز به بررسی و نظارت بیشتری در این زمینه وجود دارد. در مطالعه عریان و همکاران که در خلیج فارس انجام شد میزان فلز کادمیوم در حلواماهی  $1/65 \pm 0/04$  میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن گزارش شد (Khosravi *et al.*, 2011). بر اساس یافته‌های این پژوهش، غلظت فلز سرب، مس، نیکل و سلنیوم انباشته‌شده در بافت عضله ماهی کفشک، در حال حاضر از استانداردهای تعیین‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت بیشتر است. همچنین در ماهی قباد غلظت نیکل و سرب از استاندارد جهانی بالاتر است که تهدیدی برای سلامتی انسان دارد. شایان‌ذکر است که سهم سلنیوم و سرب در ماهی کفشک و قباد نزدیک به ۱۰۰ درصد است که می‌تواند اثرات سوئی برای سلامتی داشته باشد. با توجه به نگرانی‌های عمومی، حساسیت ساکنین به آلودگی‌ها، خطرات احتمالی و سرعت چشمگیر گسترش این صنایع در منطقه عسلویه، سازمان‌های متولی سلامت عمومی مانند دانشگاه علوم پزشکی در استان بوشهر موظف به انجام مطالعات بیشتر جهت پایش آلودگی‌های ناشی از صنایع گاز و پتروشیمی بر سلامت مردم در این منطقه می‌باشد تا با ارزیابی آلودگی‌های ناشی از این صنایع در جهت استانداردسازی فعالیت‌های صنایع و جلوگیری از آسیب به سلامت مردم و کارکنان این صنایع اقدامات الزام صورت پذیرد.

## منابع

Abdollahi, S., Raoufi, Z. and Faghiri, I., 2013. Contamination levels and spatial distributions of heavy metals and PAHs in surface sediment of Imam Khomeini Port, Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 71(1-2): 336-345.

- Botalova, O., Schwarzbauer, J., Frauenrath, T. and Dsikowitzky, L., 2009.** Identification and chemical characterization of specific organic constituents of petrochemical effluents. *Water Research*, 43(15): 3797-3812.
- Cengiz, M. F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M. and Yalcin, M. G., 2017.** Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 189:248.
- Côté, R.P., 1976.** The effects of petroleum refinery liquid wastes on aquatic life, with special emphasis on the Canadian environment (Vol. 15021). National Research Council of Canada, NRC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality.
- Crowe, A. U., Plant, A. L. and Kermode, A. R., 2002.** Effects of an industrial effluent on plant colonization and on the germination and postgerminative growth of seeds of terrestrial and aquatic plant species. *Environmental Pollution*, 117: 179-189.
- Dane, H. and Şişman, T., 2020.** A morpho-histopathological study in the digestive tract of three fish species influenced with heavy metal pollution. *Chemosphere*, 242:125-212.
- De Mora, S., Fowler, S.W., Wyse, E. and Azemard, S., 2004.** Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman, *Marine Pollution Bulletin*, 49: 410-424.
- Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A. L., Ozdemir, N., 2006.** Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere*. 63(9), 1451-1458.
- FAO/WHO, ed.** Lists of contaminants and their maximum levels in foods. 1st ed. Rome, Italy.
- FPMO (Fars Province Meteorological Organization), 2020.** <http://www.farsmet.ir/>.
- Ge, Y. and Li, Z., 2018.** Application of lignin and its derivatives in adsorption of heavy metal ions in water: a review. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(5): 7181-7192.
- Gokalp, Z. and Mohammed, D., 2019.** Assessment of heavy metal pollution in Heshkaro stream of Duhok city, Iraq. *Journal of Cleaner Production*, 237:117-681.
- Kafaei, R., Tahmasbi, R. and Ravanipour, M., 2017.** Urinary arsenic, cadmium, manganese, nickel, and vanadium levels of schoolchildren in the vicinity of the industrialised area of Asaluyeh, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(30): 23498-23507.
- Kang, J. H., Lee, S. W., Cho, K. H., Ki, S. J., Cha, S. M. and Kim, J. H., 2010.** Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin. *Water Research*, 44(14): 4143-4157.
- Khosravi, M., Bahramifar, N., Ghasempouri, M., 2011.** Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) Contamination in Sediment of Three Sites Anzali Wetland. *Iranian Journal of Health and Environment*. 4(2): 223-232 (Persian).
- Kirk, R. S., Swyer, R., Egan, H., 1991.** Pearson's composition and analysis of foods. 9th ed. Harlow, UK: Longman Group United Kingdom.
- Leili, M., Farjadfard, S. and Sorial, G. A., 2017.** Simultaneous biofiltration of BTEX and Hg from a petrochemical waste stream. *Journal of Environmental Management*, 204: 531-9.
- Mannocci, A., Pignalosa, S., Saulle, R., Sernia, S., De Sanctis, S., Consentino, M., Gialdi, C., Nicosia, V. and La Torre, G., 2015.** Prevalence of major cardiovascular risk factors among oil and gas and energy company workers. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 51(2): 148-153.
- Moghadasian, M.H., 2008.** Advances in dietary enrichment with n-3 fatty acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2008; 48: 402-410.
- Muhammad, S., Tahir Shah, M. and Khan, S., 2011.** Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal*, 98(2): 334-343.
- Nath, B. K., Chaliha, C., Bhuyan, B., Kalita, E., Baruah, D. C. and Bhagabati, A. K., 2018.** GIS mapping-based impact assessment of groundwater contamination by arsenic and other heavy metal contaminants in the Brahmaputra River valley: A water quality assessment study. *Journal of Cleaner Production*, 201:1001-1011.

- Nwilo, P. C. and Badejo, O. T., 2006.** Impacts and Management Of Oil Spill Pollution Along The Nigerian Coastal Areas. (Accessed at [http://www.fig.net/pub/figpub/pub36/chapters/c\\_hapter\\_8.pdf](http://www.fig.net/pub/figpub/pub36/chapters/c_hapter_8.pdf).)
- Pascal, L., Pascal, M. and Stempfelet, M., 2013.** Ecological Study on Hospitalizations for Cancer, Cardiovascular, and Respiratory Diseases in the Industrial Area of Etang-de-Berre in the South of France. *Journal of Environmental and Public Health*, 13.
- Rainbow, P. S., 1985.** The biology of heavy metals in the sea. *Journal of Environmental Studies*, 25: 195-211.
- Robinson, T. P. and Metternicht, G., 2006.** Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50: 97-108.
- Saidi, M., Siavashi, F. and Rahimpour, M., 2014.** Application of solid oxide fuel cell for flare gas recovery as a new approach; a case study for Asalouyeh gas processing plant, Iran. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 17: 13-25.
- Schwarzbauer, J. and Heim, S., 2005.** Lipophilic organic contaminants in the Rhine river (Germany). *Water Research*, 39: 4735-4748.
- Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Changxing Liu, X., Zhu, H., Yu, C., 2007.** Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of, China. *Journal of Environmental Geology*, 52(1): 1-10
- Venkateswarlu, V. and Venkatrayulu, C., 2020.** Bioaccumulation of heavy metals in edible marine fish from coastal areas of Nellore, Andhra Pradesh, India. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 10(1): 018-024.
- Zerizghi, T., Yang, Y., Wang, W., Zhou, Y., Zhang, J. and Yi, Y., 2020.** Ecological risk assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a shallow lake: a case study of Baiyangdian Lake, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2): 154.
- Zhang, Z., Hibberd, A. and Zhou, J. L., 2008.** Analysis of emerging contaminants in sewage effluent and river water: comparison between spot and passive sampling. *Analytica Chimica Acta*, 607: 37-44.