

پایش زیستی فلز جیوه با استفاده از پلانکتون در خور موسی

اسحاق هاشمی^۱، علیرضا صفاهیه^{۱*}، محمدعلی سالاری علی‌آبادی^۱ و کمال غانمی^۲^۱ ایران، خرمشهر، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی، گروه زیست‌شناسی دریا،^۲ ایران، خرمشهر، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، گروه شیمی دریا

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۰



چکیده

در این مطالعه غلظت جیوه در آب، رسوب و پلانکتون در خور موسی بررسی گردید. نمونه‌برداری با جمع‌آوری ۹ نمونه آب و رسوب در هر خور و مجموعاً ۴۵ نمونه از کل خوریات انجام گردید. نمونه‌برداری از فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون‌ها به ترتیب با استفاده از تور ۲۰ و ۳۰۰ میکرون در هر خور انجام گرفت. پس از عملیات آزمایشگاهی غلظت جیوه به روش بخار سرد با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد نتایج نشان داد که سطح غلظت جیوه دامنه‌ای $0/82 \pm 4/39$ تا $2/14 \pm 11/66$ میکروگرم برلیتر در آب و $0/03 \pm 0/26$ تا $0/04 \pm 0/76$ میکروگرم برگرم وزن خشک در رسوب داشت. همچنین دامنه غلظت جیوه $0/01 \pm 0/02$ تا $0/01 \pm 0/17$ در فیتوپلانکتون و $0/01 \pm 0/10$ تا $0/07 \pm 0/47$ میکروگرم برگرم برای زئوپلانکتون‌ها اندازه‌گیری گردید. بررسی همبستگی بین عوامل نشان داد که بین غلظت جیوه در فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون همبستگی معنی‌دار و مثبتی ($P < 0/05$) وجود دارد. که با افزایش جیوه در فیتوپلانکتون غلظت جیوه در زئوپلانکتون نیز افزایش می‌یابد. باتوجه به سمیت بالای جیوه، امکان تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی در بدن موجودات آبی و وجود آلودگی در خور موسی پایش مداوم و منظم این محدوده آبی برای اطمینان از سلامتی اکوسیستم ضروری است. به همین جهت در این مطالعه به منظور آگاهی از میزان جیوه در سطوح پایین غذایی، غلظت این ماده شیمیایی در آب، رسوب و پلانکتون در منطقه خور موسی سنجش گردید.

واژه‌های کلیدی: پایش زیستی، فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون، جیوه، خورموسی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۶۸۳۳۱۸۲۱، پست الکترونیکی: a.safahieh@kmsu.ac.ir

مقدمه

اولین سطح غذایی) منتقل می‌شود. متیل جیوه سپس به بی‌مهرگان آبی نظیر زئوپلانکتون‌ها و حشرات آبی که از اولین حلقه زنجیره غذایی تغذیه می‌نمایند، انتقال می‌یابد (۱۵). متیل جیوه در مقایسه با جیوه معدنی قابلیت زیادی در ورود به بافت‌های بدن آبیان دارد. مطالعات گوناگون نشان داده که جیوه از محدود فلزاتی است که در طی زنجیره غذایی بزرگنمایی زیستی پیدا می‌کند به طوری که غلظت این فلز در جانداران از اولین سطح غذایی یعنی پلانکتون‌ها به سمت سطح بالاتر به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. (۹ و ۲۱). مک آرتور و همکاران در سال ۲۰۰۳ با اندازه‌گیری فلز جیوه در سطوح زنجیره غذایی در ایسلند

رشد جمعیت و توسعه صنایع در مناطق ساحلی منجر به رهاسازی انواعی از آلاینده به اکوسیستم‌های حاشیه‌ای دریایی گردیده است. در بین آلاینده‌ها فلز جیوه به دلیل سمیت نسبتاً زیاد برای آبیان و انسان بسیار مورد توجه قرار دارد. جیوه معدنی به‌وسیله نزولات جوی مانند باران و برف به محیط‌های دریایی وارد می‌شوند. پس از ورود جیوه به دریا برخی از میکروارگانیسم‌های احیاکننده سولفات نظیر باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌توانند آن را در ستون آب و رسوبات به شکل آلی (متیل جیوه) احیا نمایند. متیل جیوه که سمی‌ترین شکل جیوه آلی می‌باشد، در آب تجمع یافته و براساس پدیده تغلیظ زیستی از آب به فیتوپلانکتون

محصولات و ایجاد عوارض جسمی و روحی به آنان، اهمیت آگاهی از میزان جیوه در منطقه را افزایش داده است. لذا اندازه‌گیری سطح آلاینده در پلانکتون‌ها علاوه بر میزان آن در منطقه، مقدار ورودی آلاینده را نیز به چرخه غذایی نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه علاوه بر تعیین میزان سطح خطر ناشی از آلودگی جیوه در منطقه کاربرد مهمی در مدیریت زیست‌محیطی منطقه و پیشگیری از خسارات جانی ناشی از آن خواهد داشت. هدف از انجام این تحقیق بررسی غلظت جیوه در آب، رسوب و پلانکتون درخور موسی می‌باشد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در منطقه خوریات ماهشهر واقع در شمال‌غرب خلیج فارس و جنوب استان خوزستان در حاشیه شهرستان‌های بندر امام خمینی و ماهشهر انجام گردید. سواحل استان خوزستان حدوداً دارای ۲۶ خور اصلی است که عمدتاً درخور موسی واقع شده‌اند که مجموعاً به نام خوریات ماهشهر موسوم هستند. در مطالعات صورت گرفته (۱) در منطقه خور موسی مشاهده شده است که از بین ۲۶ خور موجود در خوریات ماهشهر، مجموعاً ۱۱ خور (غزاله، مجیدیه، پتروشیمی، زنگی، دورق، بی‌حد، پاتیل، درویش، احمدی، جعفری و غنام) درجات آلودگی بالاتری دارند (۱، ۲، ۵، ۷، ۸ و ۷)، لذا در تحقیق حاضر پنج ایستگاه خور پتروشیمی، خور مجیدیه، خور غزاله، به‌عنوان ایستگاه‌های آلوده و خور ابوخصیر و خور دورقستان به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد براساس نوع کاربری انتخاب گردیدند (شکل ۱). مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ درج گردیده است.

نمونه‌برداری از آب و رسوب: نمونه‌برداری با جمع‌آوری ۹ نمونه آب و رسوب در هر خور و مجموعاً ۴۵ نمونه از کل خوریات در پاییز ۹۱ انجام گردید. نمونه‌های آب در فاصله ۵ سانتیمتری زیر سطح آب با استفاده از بطری‌های

جنوبی جزیره macquarie نشان دادند که با افزایش سطح غذایی فلز جیوه نیز افزایش می‌یابد (۱۹). کمپل و همکاران در سال ۲۰۰۵ با بررسی غلظت جیوه و دیگر فلزات سنگین را در شبکه غذایی خلیج بافین، مشاهده نمودند که غلظت جیوه یک‌روند سعودی را طی می‌کند درحالی‌که برای دیگر فلزات این روند این‌چنین نبود (۱۳). کولاکو و همکاران در سال ۲۰۰۶ روند تجمع فلز جیوه، مس و روی در زنجیره غذایی مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان‌دهنده این بود که فلز جیوه روند سعودی در طی سطوح زنجیره غذایی دارد ولی در مورد فلز مس و روی چنین روندی مشاهده نشد (۱۴). بنابراین پلانکتون‌ها به‌عنوان اولین حلقه زنجیره غذایی، نقش مهمی در ورود جیوه به سطوح بالاتر ایفا می‌کند و می‌توان با اندازه‌گیری غلظت جیوه در این موجودات از مقدار پایه جیوه در چرخه غذایی اطلاع پیدا کرد.

محدوده آبی خور موسی واقع شده در شمال‌غرب خلیج فارس در استان خوزستان به دلیل وجود صنایع مختلف از جمله پتروشیمی، شیلات، بنادر کشتی‌رانی و تأسیسات نفتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات متعدد نشان داده که آب و رسوب و آبزیان این منطقه به جیوه آلوده می‌باشند (۴، ۷، ۸ و ۹). از سوی دیگر جیوه درخور موسی خطرناک‌ترین آلاینده ارزیابی شده است که در برخی از واحدهای صنعتی به‌عنوان کاتالیزور مصرف می‌شود (۵). گرچه آلودگی جیوه در آب و رسوب این منطقه گزارش شده است ولی در مورد اینکه چقدر از جیوه موجود در بخش غیرزنده اکوسیستم به بخش زنده (زنجیره غذایی) وارد می‌گردد اطلاع کافی در دست نمی‌باشد. منطقه خور موسی از نظر آبی‌پروری و تولید فراورده‌های شیلاتی منطقه مهمی محسوب می‌شود، که از افراد زیادی در این محدوده به صید و پرورش آبزیان اشتغال دارند. باتوجه به امکان تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در سطوح بالای هرم غذایی امکان انتقال مقادیر زیاد آن از طریق انواع فراورده‌های شیلاتی به مصرف‌کنندگان این

اسید نیتریک ۶۵ درصد به نسبت ۱:۱ که از قبل تهیه شده بودند، به ازای هر لیتر، ۵ میلی‌لیتر به ظروف نمونه‌برداری افزوده شد.

پلی‌اتیلن برداشت گردید. جهت جلوگیری از جذب جیوه توسط دیواره ظرف، بلافاصله پس از نمونه‌برداری محلول پتاسیم دی کرومات ۲۰ درصد ($K_2Cr_2O_7$) حل شده در



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و نوع کاربری خورهای انتخاب شده جهت مطالعات محیطی

خور	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع کاربری
پتروشیمی	۴۹° ۰۹' ۹۸"	۳۰° ۲۶' ۶۵"	فعالیت‌های پتروشیمی
مجیدیه	۴۹° ۱۰' ۵۲"	۳۰° ۲۸' ۴۸"	اسکله‌های نفتی
غزاله	۴۹° ۱۱' ۷۴"	۳۰° ۲۷' ۶۷"	پرورش ماهی در قفس
ابوخضیر	۴۸° ۴۵' ۳۳"	۳۰° ۱۹' ۰۸"	اسکله صیادی
دورقستان	۴۸° ۴۸' ۴۰"	۳۰° ۱۹' ۱۳"	محل ماهیگیری

منتقل شده و بلافاصله پس از نمونه‌برداری محلول فرمالین ۵ درصد به منظور فیکس کردن نمونه‌ها به آن‌ها اضافه شد، و به آزمایشگاه دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر منتقل گردید. روش معمول علمی نمونه‌برداری فیتوپلانکتون‌ها با استفاده از تورهای ۲۰ و ۵۰ میکرون انجام می‌گیرد. در این پژوهش از تور ۲۰ میکرون جهت جمع‌آوری فیتوپلانکتون‌ها استفاده گردیده است، که احتمال دارد مقداری از زئوپلانکتون هم در نمونه‌ها یافت شوند. که کل محتویات را به‌عنوان فیتوپلانکتون در نظر گرفته شده است.

نمونه‌های رسوب به‌وسیله گرب وین از ناحیه سطحی رسوبات هر خور جمع‌آوری گردید. رسوبات در درون کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. سپس بر روی یخ گذاشته و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر منتقل گردید و تا زمان آنالیز در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری شدند (۱۰).

نمونه‌برداری از فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون: نمونه‌برداری از فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون به ترتیب با استفاده از تور پلانکتون‌گیری ۲۰ و ۳۰۰ میکرون با سه تکرار در هر خور انجام گرفت. سپس نمونه‌ها به بطری‌های ۵/۰ لیتری

نمونه‌های خشک‌شده توسط ترازوی دیجیتالی با دقت $0/001$ گرم توزین شده و به لوله‌های شیشه‌ای انتقال یافت. سپس ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد تهیه‌شده از کارخانه مرک آلمان به آن‌ها افزوده شد. همزمان ۵ میلی‌لیتر پتاسیم پرمنگنات ۵ درصد جهت تسهیل اکسیداسیون نمونه‌ها اضافه گردید. نمونه‌ها برای مدت ۲ ساعت بر روی هات پلیت با دمای 70 درجه قرار داده شدند. پس از انجام عملیات هضم، نمونه‌ها از کاغذ صافی $0/42$ میکرون عبور داده و در نهایت با آب دو بار تقطیر به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانیده شدند. در نهایت غلظت جیوه با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Savanta به روش بخار سرد سنجیده شد (۱۳ و ۲۳).

تحلیل داده‌ها: نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شپرو ویلک مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه میانگین تجمع جیوه در نمونه‌ها درخورهای مختلف از آزمون واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. در صورت مشاهده اختلاف، برای تفکیک گروه‌های دارای اختلاف از پس‌آزمون توکی (Tukey's Test) استفاده گردید که این اختلاف در سطح اطمینان بالای $0/950$ ($P < 0/05$) پذیرفته شد. برای تعیین وجود ارتباط خطی و میزان مقادیر جیوه در نمونه‌ها از آزمون رگرسیون خطی و همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

دامنه غلظت جیوه در آب خورهای منطقه بین $4/39$ تا $11/66$ میکروگرم برلیتر بود. به جز ایستگاه‌های پتروشیمی و مجیدیه، غلظت جیوه موجود در آب ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشته ($P < 0/05$) و خورهای ابوخرییر و دورقستان به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد انتخاب‌شده بودند و از نظر میزان جیوه موجود در آب اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند ($P < 0/05$). این خوریات درعین‌حال کمترین غلظت جیوه را دارا بودند. بیش‌ترین غلظت جیوه آب در ایستگاه‌های پتروشیمی،

هضم و سنجش غلظت جیوه: نمونه‌های آب، بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه از کاغذ صافی $0/42 \mu\text{m}$ عبور داده شدند. 100 میلی‌لیتر از هر نمونه آب به ارلن 250 میلی‌لیتری منتقل گردید. به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و $2/5$ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن‌ها افزوده شد. سپس، 25 میلی‌لیتر محلول ۵ درصد پتاسیم پرمنگنات به هر نمونه افزوده و حداقل 15 دقیقه به حال خود گذاشته شدند. متعاقباً 8 میلی‌لیتر $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ به آن اضافه گردید، در نمونه‌ها با شیشه ساعت پوشانده شده و برای مدت ۲ ساعت در حمام آبی با دمای 95 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها رنگ ارغوانی آن‌ها با افزودن 25 میلی‌لیتر محلول NaCl hydroxylamine hydrochloride برطرف شد (۱۰). نمونه‌های رسوب ابتدا از فریزر خارج‌شده و یخ آن‌ها در محیط آزمایشگاه ذوب گردید. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای 50 درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند تا خشک شوند. سپس با هاون چینی کاملاً به‌صورت پودر درآمدند. جهت هضم رسوبات 1 گرم از هر نمونه به همراه مخلوط 8 میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ، 2 میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و 15 میلی‌لیتر پتاسیم پرمنگنات ۵ درصد جهت اکسیداسیون بهتر نمونه‌ها، درون لوله‌های هضم ریخته شد. درب لوله‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شده و برای مدت 1 ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت بر روی هات پلیت در دمای 90 درجه حرارت داده شدند. نمونه‌های هضم شده در دمای اتاق سرد شده و پس از حجم رساندن، از کاغذ صافی 42 میکرون عبور داده و در ظروف پلاستیکی مخصوص منتقل گردیدند (۱۰).

به منظور هضم و سنجش جیوه در فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون ابتدا نمونه‌ها از کاغذ صافی $0/42 \mu\text{m}$ عبور داده شد سپس کاغذ صافی به همراه زی‌توده باقیمانده بر آن جهت خشک شدن به آن منتقل و به مدت 24 ساعت در دمای 40 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. حدود $0/2$ گرم از

درحالی‌که ایستگاه‌های ابوخضیر و دورقستان کمترین غلظت جیوه را دارا بودند. دامنه غلظت جیوه در زئوپلانکتون‌های خورهای منطقه بین ۰/۱۰ تا ۰/۴۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. غلظت جیوه در زئوپلانکتون‌های ایستگاه‌های پتروشیمی و مجیدیه معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). همچنین غلظت جیوه در زئوپلانکتون‌ها در ایستگاه‌های ابوخضیر و دورقستان نیز اختلاف معنی‌داری نبود. درحالی‌که با غلظت جیوه در زئوپلانکتون‌های ایستگاه غزاله دارای اختلاف معنی‌داری بودند ($P < 0/05$) (جدول ۲).

بررسی همبستگی غلظت جیوه بین نمونه‌های آب، رسوب، فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون جیوه آب و رسوب نشان داد که بین غلظت جیوه آب و رسوب همبستگی مستقیم و معنی‌داری وجود دارد ($P < 0/05$) (جدول ۳) (شکل ۲).

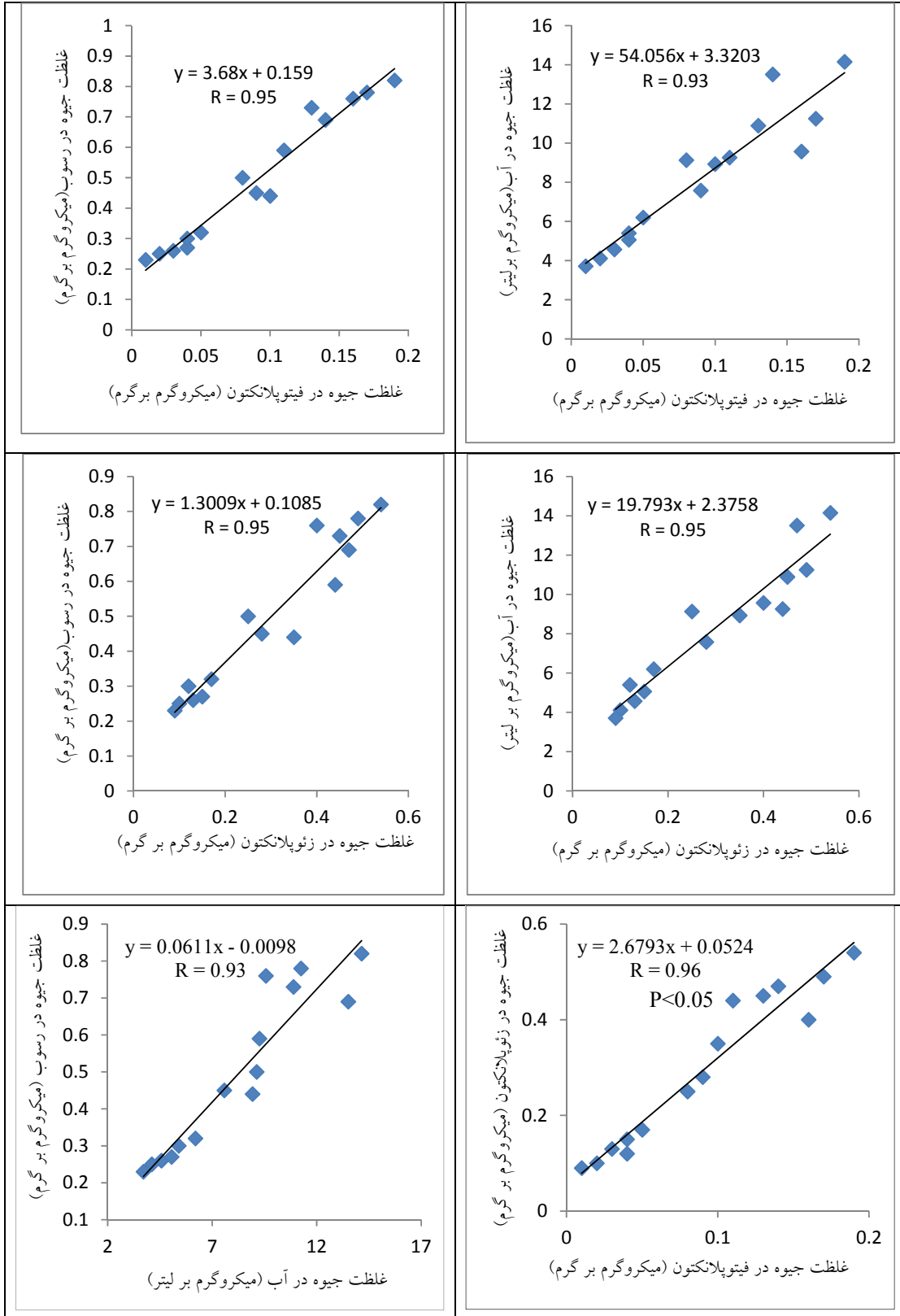
جدول ۲- (میانگین \pm انحراف معیار)، غلظت جیوه در آب (میکروگرم بر لیتر)، رسوبات، فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون (میکروگرم بر گرم) خوریات مختلف منطقه ماهشهر

خور	آب	رسوب	فیتوپلانکتون	زئوپلانکتون
پتروشیمی	$11/66 \pm 2/14^a$	$0/79 \pm 0/04^a$	$0/17 \pm 0/01^a$	$0/47 \pm 0/07^a$
مجیدیه	$11/22 \pm 2/04^a$	$0/67 \pm 0/07^b$	$0/12 \pm 0/01^b$	$0/45 \pm 0/01^a$
غزاله	$8/54 \pm 1/16^b$	$0/46 \pm 0/05^c$	$0/09 \pm 0/01^c$	$0/29 \pm 0/05^b$
ابوخضیر	$5/28 \pm 0/84^c$	$0/28 \pm 0/02^d$	$0/04 \pm 0/01^d$	$0/15 \pm 0/02^c$
دورقستان	$4/39 \pm 0/82^c$	$0/26 \pm 0/03^d$	$0/02 \pm 0/01^d$	$0/10 \pm 0/01^c$

حروف متفاوت بالای غلظت‌ها بیانگر اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها می‌باشد ($P < 0/05$).

جدول ۳- همبستگی غلظت جیوه بین نمونه‌های آب، رسوب، فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون

زئوپلانکتون	فیتوپلانکتون	رسوب	آب	همبستگی پیرسون	آب
۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۱	همبستگی پیرسون	آب
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	معناداری	
۰/۹۶	۰/۹۸	۱	۰/۹۳	همبستگی پیرسون	رسوب
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	معناداری	
۰/۹۶	۱	۰/۹۸	۰/۹۴	همبستگی پیرسون	فیتوپلانکتون
۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	معناداری	
۱	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	همبستگی پیرسون	زئوپلانکتون
-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	معناداری	



شکل ۲- بررسی همبستگی غلظت جیوه بین فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، آب و رسوب

بحث

مطالعات نشان داده‌اند یکی از مهمترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌های موجود در سواحل، فلزات سنگین است که می‌تواند به آلودگی حاد و مزمن جمعیت‌های زیستی، اعم از گیاهی، جانوری و انسانی منجر شود (۳). در سیستم‌های آبی، موجوداتی که در بالای زنجیره غذایی قرار دارند، پتانسیل بالایی برای افزایش غلظت جیوه در بدن دارند، از این رو ماهیان شکارچی مانند کوسه‌ماهی، ماهی تن، پرندگان دریایی دارای بالاترین غلظت جیوه می‌باشند. این در حالی است که ۹۰ درصد از جیوه موجود در بدن ماهیان شکارچی و پرندگان آبی به شکل متیل جیوه می‌باشد که از طریق رژیم غذایی منتقل می‌شوند. البته جیوه معدنی می‌تواند از طریق آبشش و جذب پوستی و فرایند انتشار وارد آبزیان شود اما به دلیل اهمیت کمتر این مسیر جذب نسبت به جذب از طریق رژیم غذایی و ماندگاری کمتر آن در بدن، مقدار جیوه معدنی یافت شده کم می‌باشد (۹، ۱۳ و ۱۵)

غلظت جیوه آب منطقه مورد مطالعه بین ۴/۳۹ تا ۱۱/۶۶ میکروگرم برلیتر بود که شباهت زیادی به نتایج بدست آمده مطالعه بابادی در منطقه دارد اما مقایسه این نتایج با سایر محیط‌های دریایی نشان داد که جیوه آب خوریات مورد مطالعه بالاتر از محیط‌های دریایی است که این امر نشان‌دهنده آلودگی شدید آب خوریات مورد مطالعه به جیوه می‌باشد. همچنین در مقایسه غلظت جیوه در مطالعه حاضر با استانداردهای جهانی، آلودگی جیوه آب خوریات مورد مطالعه بسیار بالا و در سطح خطرناک قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از بررسی غلظت جیوه درخورهای مورد مطالعه نشان داد که الگوی تجمع جیوه در آب به صورت زیر است:

پتروشیمی - مجیدیه < غزاله > ابوخصیر - دورقستان

بالا بودن مقدار جیوه آب خوریات مورد مطالعه به دلایل

گونگونی می‌تواند باشد. مهمترین دلیل آن وجود تأسیسات صنعتی خصوصاً واحدهای پتروشیمی است که در سال‌های اخیر در منطقه رو به گسترش بوده‌اند. مجموعه خوریات ماهشهر در نزدیکی شرکت ملی صنایع پتروشیمی بندر امام قرار دارند که بزرگترین مجتمع پتروشیمی کشور است. یکی از مواد موجود در پساب این مجتمع جیوه است که مستقیماً وارد خوریات منطقه شده و سبب آلودگی آن‌ها می‌شود. خور پتروشیمی به دلیل مجاورت با واحد تولید کلر آلکالی مجتمع پتروشیمی، جیوه بیشتری از طریق پساب تخلیه‌شده آن واحد دریافت می‌کند که باعث آلودگی گسترده این منطقه شده که این آلودگی منجر به افزایش جیوه در آب، رسوب، پلانکتون و نهایتاً آبزیان می‌شود. درخور مجیدیه وجود تأسیسات نفتی ممکن است باعث نشت ترکیبات نفت و مشتقات آن شده و عامل اصلی آلودگی جیوه باشد همچنین احتمال دارد که جریانات جزرومدی در این منطقه، آب و مواد آلاینده را به این خور جابجا نمایند. خور غزاله در سال‌های پیش به عنوان محلی مناسب برای احداث قفس‌های پرورش ماهی انتخاب شده که احتمالاً به دلیل آلودگی کم این خور بوده است حال آنکه احتمالاً دامنه وسیع حمل‌ونقل دریایی در این خور و نزدیکی به مجتمع‌های پتروشیمی و ورود جریانات آب آن مناطق باعث آلودگی جیوه این خور گردیده است. خورهای ابوخصیر و دورقستان به دلیل دور بودن از تأسیسات نفتی، کشتی‌رانی و خروجی مستقیم فاضلاب پتروشیمی در آن وجود ندارند. نتایج سنجش نشان داد که مقادیر کمتری از جیوه در این خوریات نسبت به سایر خوریات مورد مطالعه بود هرچند غلظت جیوه از استانداردهای جهانی بسیار بالاتر بود که احتمالاً به دلیل ورود آلاینده‌ها توسط جریانات آبی به‌ویژه جزرومد و تنشست در این خورها می‌باشد.

در مطالعات پیشین صورت گرفته در این منطقه منبع اصلی آلودگی جیوه خور موسی به جیوه، تخلیه پساب پتروشیمی کیمیا اعلام شده بود و مقدار جیوه در اطراف این کارخانه

درخورهای مورد مطالعه نشان داد که الگوی تجمع این فلز در رسوبات به صورت زیر است:

پتروشیمی < مجیدیه < غزاله < ابوخضیر- دورقستان

گودرزی و همکاران در سال ۱۳۸۵ به منظور بررسی اثرات جیوه ناشی از پساب واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام، ۱۴ ایستگاه را در فواصل معینی از محل خروج پساب به دریا انتخاب نمودند. غلظت جیوه در رسوبات برداشت شده در محدوده ۰/۱۵-۱۰/۰۳ میکروگرم بر گرم بود که با افزایش فاصله از محل خروج پساب، به تدریج از میزان غلظت جیوه کاسته می‌شد، به طوری که بیشترین غلظت جیوه مربوط به ایستگاه نزدیک خروجی پساب بود (۹) که با نتایج این تحقیق کاملاً همخوانی دارد.

مقادیر بالایی را نشان می‌داد (۵، ۶ و ۷). این در حالی است که ببادی در سال ۱۳۹۰ غلظت جیوه در آب خوریات غزاله و مجیدیه بیشتر از خور پتروشیمی سنجد و دلیل آن را انتهایی بودن این خوریات نسبت به خور پتروشیمی که تبادل کمتری با آب‌های آزاد دارند و وجود جریانات جزرومدی در منطقه عنوان کرد (۱). محدوده غلظت جیوه رسوب خوریات بین ۰/۲۶ تا ۰/۷۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود که شباهت زیادی به نتایج بدست آمده از سایر مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر داشته و در محدوده آن قرار می‌گیرد. همچنین در مقایسه غلظت جیوه رسوبات منطقه مورد مطالعه با استانداردهای جهانی، آلودگی جیوه در رسوبات بسیار بالا و در سطح خطرناک قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از بررسی غلظت جیوه

جدول ۴- مقایسه غلظت جیوه آب و رسوب در مطالعه حاضر با سایر مطالعات و مقایسه آنها با استانداردهای جهانی

منبع	غلظت جیوه	منطقه	مقایسه غلظت جیوه
(۱)	۳/۶۶-۱۲	خور موسی	
(۵)	۹/۳۶-۲۴/۲۲	خور موسی	آب (میکروگرم بر لیتر)
مطالعه حاضر	۴/۳۹-۱۱/۶۶	خور موسی	
EPA 1995	۲/۱	حفاظت از زندگی دریایی	استاندارد جهانی
مطالعه حاضر	۸/۲۱	خور موسی	
(۱)	۰/۳۱-۰/۶۹	خور موسی	
(۵)	۰/۲۱-۱۶/۱۴	خور موسی	
(۶)	۰/۴۴-۲/۹۷	خور موسی	
(۳)	۱/۶۱-۱۱/۵۴	خور موسی	رسوب (میکروگرم بر گرم)
(۷)	۰/۱۵-۱۰/۰۳	خور موسی	
مطالعه حاضر	۰/۲۶-۰/۷۹	خور موسی	
(۱۶)	۰/۱۵	ERL (Effects Range Low)	
(۲۲)	۰/۱۷	TEL (Threshold Effect Level)	
(۱۴)	۰/۲	MET (Minimal Effect Threshold)	استاندارد جهانی
(۱۸)	۰/۱۵	NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)	
مطالعه حاضر	۰/۲۶-۰/۷۹	خور موسی	

غلظت جیوه در پلانکتون‌های ایستگاه نزدیک به محل ورود جیوه از بیشترین مقدار برخوردار است (۲۵).

جدول ۵- مقایسه غلظت جیوه در فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون های مطالعه حاضر با سایر مطالعات

پلانکتون	منطقه	غلظت جیوه (میکروگرم بر گرم)	منبع
پلانکتون	کالیفرنیا	۰/۰۳-۰/۰۸	(۲۳)
زئوپلانکتون	کالیفرنیا	۰/۰۰۹-۰/۰۱۴	(۲۳)
میکرون >۰/۱۰ پلانکتون	کانادا	۰/۰۹-۰/۰۱۷	(۲۴)
میکرون >۰/۷۳ پلانکتون	کانادا	۰/۰۱-۰/۰۳۰	(۲۴)
میکرون >۰/۸۰ پلانکتون	کانادا	۰/۰۶-۰/۰۱۹	(۲۲)
زئوپلانکتون	کانادا	۰/۱۶-۰/۰۴۰	(۲۳)
میکرون >۰/۱۹۰ پلانکتون	کانادا	۰/۱۹-۰/۰۳۲	(۲۲)
میکرون >۰/۱۱۲ پلانکتون	آمریکا	۰/۱۵-۰/۰۳۰	(۱۳)
زئوپلانکتون	بالتیک	۰/۰۱-۰/۰۰۳	(۱۰)
۲۰، فیتوپلانکتون	خور موسی	۰/۰۲-۰/۰۱۷	مطالعه حاضر
۳۰۰، زئوپلانکتون	خور موسی	۰/۱۰-۰/۰۴۷	مطالعه حاضر

از سوی دیگر با افزایش فاصله از منابع غلظت جیوه نیز در پلانکتون‌ها کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر کاملاً مطابقت می‌کند. مازج و همکاران در سال ۲۰۱۰ میزان غلظت فلزات سنگین از جمله جیوه را در زنجیره غذایی مورد بررسی قراردادند و بالاترین میزان جیوه را در گونه‌های ماهی و پایین‌ترین سطح جیوه را رسوب و پلانکتون مشاهده نمودند (۲۰).

کهریگ و همکاران در سال ۲۰۰۹ غلظت جیوه را در فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون سنجیدند و همبستگی مستقیم و معناداری بین آن‌ها مشاهده نمودند. فیتوپلانکتون جیوه را به صورت معدنی و آلی از آب جذب می‌کنند. بدین صورت جیوه را به طرف بالای زنجیره انتقال می‌دهند. پلانکتون‌ها به عنوان اولین سطوح زنجیره غذایی در محیط‌های دریایی

فقیری در سال ۱۳۸۸ با بررسی میزان جیوه موجود در رسوبات ۵ اسکله در بندر امام خمینی به این نتیجه دست‌یافت که بیشترین غلظت جیوه در رسوبات ایستگاه داک سرسره وجود دارد. فقیری دلیل این افزایش را نزدیکی ایستگاه ذکر شده به مجتمع‌های پتروشیمی عنوان کرد (۸). بررسی ارتباط میان غلظت جیوه در آب و رسوبات همبستگی معنی‌داری میان آن‌ها نشان داد. این مسئله بیانگر آن است که با افزایش جیوه در آب غلظت جیوه در رسوب نیز افزایش می‌یابد (جدول ۴).

نتایج حاصل از بررسی غلظت جیوه درخورهای مورد مطالعه نشان داد که الگوی تجمع این فلز در فیتوپلانکتون مشابه با رسوبات به صورت مقابل است: پتروشیمی <مجیدیه <غزاله <ابوخضیر- دورقستان

همچنین نتایج حاصل از بررسی غلظت جیوه درخورهای مورد مطالعه نشان داد که الگوی تجمع این فلز در زئوپلانکتون مشابه با آب و به صورت مقابل است: پتروشیمی - مجیدیه <غزاله <ابوخضیر- دورقستان

مشاهده بیشترین غلظت جیوه در پلانکتون‌های پتروشیمی ناشی از مجاورت این خور با واحد کلر آلکالی می‌باشد. درحالی‌که کمترین میزان جیوه در خوریات ابوخضیر و دورقستان که فاصله دورتری از مجتمع پتروشیمی قرار گرفته بود وجود داشت. مقایسه این نتایج با سایر محیط‌های دریایی نشان داد که جیوه فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون خوریات مورد مطالعه بالاتر از سایر محیط‌های دریایی است که این امر نشان‌دهنده آلودگی پلانکتون خوریات مورد مطالعه به جیوه می‌باشد (جدول ۵). غلظت جیوه فیتوپلانکتون منطقه مورد مطالعه بین ۰/۰۲ تا ۰/۱۷ میکروگرم بر گرم بود. درحالی‌که غلظت جیوه زئوپلانکتون منطقه مورد مطالعه بین ۰/۱۰ تا ۰/۴۷ میکروگرم بر گرم سنجش گردید.

ساچنک و همکاران در سال ۲۰۰۸ با بررسی غلظت جیوه در سطوح پایین زنجیره غذایی، به این نتیجه رسیدند که

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج نشان داد که جیوه آب و رسوبات خوریات مورد مطالعه بالاتر از سایر محیط‌های دریایی است که این امر نشان‌دهنده آلودگی خوریات مورد مطالعه به جیوه می‌باشد. همچنین در مقایسه غلظت جیوه در مطالعه حاضر با استانداردهای جهانی، آلودگی جیوه آب و رسوبات خوریات مورد مطالعه بسیار بالا و در سطح خطرناک قرار می‌گیرد. وجود همبستگی مستقیم بین غلظت جیوه در فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون و نمونه‌های آب و رسوب بیانگر آن است که می‌توان از این جانداران به‌عنوان پایشگر زیستی جیوه در منطقه استفاده نمود.

نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در انتقال آلاینده به سطوح بالاتر را ایفا می‌کند (۱۷). بررسی ارتباط میان غلظت جیوه در فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون همبستگی معنی‌داری میان آن‌ها نشان داد. این مسئله بیانگر آن است که با افزایش جیوه در فیتوپلانکتون غلظت جیوه در زئوپلانکتون نیز به‌طور مستقیم افزایش می‌یابد فیتوپلانکتون‌ها به‌عنوان اولین حلقه زنجیره غذایی، جیوه را در خود انباشته می‌کنند، سپس به‌وسیله زئوپلانکتون‌ها به‌عنوان حلقه دوم زنجیره غذایی خورده می‌شوند، بدین‌صورت جیوه در غلظت جیوه در شکارچیان بالاتر افزایش می‌یابد. همچنین سیدی آب الوان و همکاران در سال ۱۳۹۴ با بررسی اثر فلز جیوه بر رشد و تراکم پلانکتون آب شیرین نشان دادند که با افزایش غلظت جیوه، حساسیت آن‌ها نیز افزایش می‌یابد (۶). که با این مطالعه همخوانی دارد.

منابع

۱. بابادی، ص.، ۱۳۹۰. تجمع زیستی جیوه در برخی از بافت‌های ماهی شانک زرد باله *Acanthopagrus latus* مقایسه محیط طبیعی با شرایط آزمایشگاهی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۷۵ صفحه.
۲. جلیلیان، م.، ۱۳۸۸. تجمع زیستی جیوه کل در میگوی سفید *Metapenaeus affinis* و رسوبات منطقه خورموسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۷۵ صفحه.
۳. حسینی، م.، نبوی، س.، گلشنی، ر.، نبوی، س.، و رئیس سرآسیاب، ع.، ۱۳۹۴. آلودگی فلزات سنگین (نیکل، مس، سرب، کبالت و کادمیوم) در رسوب و بافت‌های کبد و ماهیچه کفشک ماهی *Psettodes erumei* در استان بوشهر، خلیج فارس، مجله زیست‌شناسی ایران، شماره ۴ جلد ۲۸.
۴. حقیقت، م.، ۱۳۸۸. بررسی تجمع زیستی جیوه در ماهی کفشک (*Euryglossa orientalis*) درخور موسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۹۰ ص.
۵. دهقان مدیسه، ۱۳۸۶. شناسایی مناطق حساس و تحت اثر خوریات ماهشهر با استفاده از شاخص‌های اکولوژیک و
۶. سیدی آب الوان، م.، قرایی، ا.، غفاری، م.، ۱۳۹۴. اثر فلز سنگین جیوه (Hg) بر رشد و تراکم جمعیت روتیفر آب شیرین *Brachionus Calyciflorus* مجله زیست‌شناسی ایران، شماره ۳، جلد ۲۸.
۷. عصار، م.، ۱۳۸۸. بررسی تجمع زیستی جیوه و متیل جیوه در ماهی شبه شوریده در خوریات ماهشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۹۷ صفحه.
۸. فقیری، ا.، ۱۳۸۸. پایش زیستی فلزات سنگین (جیوه، مس، سرب) در بندر امام خمینی (ره) با استفاده از صدف دوکفه‌ای *Crassostrea gigas*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۹۸ صفحه.
۹. گودرزی، م.، اسماعیلی ساری، ع.، ساداتی پور، م.، و پوری، ق.، ۱۳۸۵. اندازه‌گیری میزان جیوه ناشی از صنایع کلر الکالی در رسوبات منطقه بندر امام، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۹ صفحه.
10. APHA, 2005. Standard methods for the examination of water & wastewater. 21st ed.
11. Baeyens, W., M., Leermakers, T., Papina, A., Saprykin, N., Brion, J., Noyen, M., De Gieter, M., Elskens, and L., Goeyens. 2003.

- Bioconcentration and biomagnification of mercury and methylmercury in North Sea and Scheldt estuary fish. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45, PP: 498-508.
12. Boszke, L., Siepak, J., and Falandysz, J., 2003. Total mercury contamination of selected organisms in Puck Bay, Baltic Sea, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12, PP: 275-286.
 13. Campbell, L. M., Norstrom, R. J., Hobson, K. A. D., Muir, C., Backus, S., and Fisk, A. T., 2005. Mercury and other trace elements in a pelagic Arctic marine food web (Northwater Polynya, Baffin Bay). *Science of the Total Environment*, 351, PP: 247-263.
 14. Colaço, A., Bustamante, P., Fouquet, Y., Sarradin, P. M., and Serrao-Santos, R., 2006. Bioaccumulation of Hg, Cu, and Zn in the Azores triple junction hydrothermal vent fields food web. *Chemosphere*, 65, PP: 2260-2267.
 15. Gorski, P. R., Cleckner, L. B., Hurley, J. P., Sierszen, M. E., and Armstrong, D. E., 2003. Factors affecting enhanced mercury bioaccumulation in inland lakes of Isle Royale National Park, USA. *Science of the Total Environment*, 304, PP: 327-348.
 16. Kainz, M., Lucotte, M., and Parrish, C. C., 2002. Methyl mercury in zooplankton the role of size, habitat, and food quality. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, PP: 1606-1615.
 17. Kehrig, H. A., Seixas, T. G., Palermo, E. A., Baêta, A. P., Castelo-Branco, C. W., Malm, O., and Moreira, I., 2009. The relationships between mercury and selenium in plankton and fish from a tropical food web. *Environmental Science and Pollution Research* 16(1), PP: 10-24.
 18. MacDonald, D. D., Ingersoll, C., and Berger, T., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, PP: 20-31.
 19. McArthur, T., Butler, E. C. V., and Jackson, G. D., 2003. Mercury in the marine food chain in the Southern Ocean at Macquarie Island: an analysis of a top predator, Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and a mid-trophic species, the warty squid (*Moroteuthis ingens*). *Polar Biology*, 27, PP: 1-5.
 20. Mazej, Z., Sayegh-Petkovšek, S. Al., and Pokorný, B., 2010. Heavy metal concentrations in food chain of Lake Velenjsko Jezero, Slovenia: an artificial lake from mining. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 58, PP: 998-1007.
 21. Paterson, M. J., Rudd, J. W., and Louis, St. V., 1998. Increases in total and methylmercury in zooplankton following flooding of a Peatland Reservoir. *Environmental Science & Technology*, 32, PP: 3868-3874.
 22. Plourde, Y., Lucotte, M., and Pichet, P., 1997. Contribution of suspended particulate matter and zooplankton to MeHg contamination of the food chain in midnorthern Quebec (Canada) reservoirs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, PP: 821-831.
 23. Schmitt, C. J., Stricker, C. A., and Brumbaugh, W. G., 2011. Mercury bioaccumulation and biomagnification in Ozark stream ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74, PP: 2215-2224.
 24. Smith, S. L., MacDonald, D. D., Keenleyside, K., Alngersoll, C. G., and Jay Field, L., 1996. A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal of Great Lakes Research*, 22, PP: 624-638.
 25. Suchanek, T. H., Eagles-Smith, C. A., Slotton, D. G., Harner, E. J., Adam, D. P., Colwell, A. E., Anderson, N. L., and Woodward, D. L., 2008. Mine-derived mercury: effects on lower trophic species in Clear Lake, California. *Ecological Applications*, 18, PP: A158-A176.

Plankton as Biomonitoring agents of Hg Contamination in Khor Musa

Hashemi E.¹, Safahieh A.R.¹, Mohamad Ali Salari Ali Abadi,³Kamal Ghanemi⁴

¹ Dept. of Marine Biology, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, I.R. of Iran.

² Dept. of Marine Chemistry, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, I.R. of Iran.

Abstract

In the study, the mercury concentrations in water, sediment and plankton in Khor Musa was investigated. The 9 samples of water and sediment were collected from each estuary and a total of 45 samples were taken. Sampling of phytoplankton and zooplankton was collected by net of 20 and 300 μm , respectively. After the concentrations of mercury by cold vapour method was measured using atomic absorption. The results showed that mercury concentrations range from 4.39 ± 0.82 (mean \pm SE) to 11.66 ± 2.14 $\mu\text{g/L}$ in water and 0.26 ± 0.03 to 0.76 ± 0.04 $\mu\text{g/g}$ of dry weight in sediments. The mercury concentrations 0.02 ± 0.01 to 0.17 ± 0.01 on phytoplankton and 0.10 ± 0.01 to 0.47 ± 0.07 $\mu\text{g/g}$ for zooplankton were measured. The correlation factors showed that mercury concentrations in phytoplankton and zooplankton had significant positive correlation ($P < 0.05$). With the mercury rising mercury concentrations in zooplankton increases in phytoplankton due to the high toxicity of mercury, the possibility of bioaccumulation and bio-magnification in the aquatic organisms and contamination of the waters in the estuary Moses regular monitoring is essential to ensure the health of ecosystems. Therefore, in this study to determine the amount of mercury in low levels of the food, chemical concentrations in water, sediments and plankton were measured in the estuary area of Khor Musa.

Key words: Biomonitoring, Phytoplankton, Zooplanktons, Mercury, Khor Musa