

بررسی میزان آلودگی فلز سنگین جیوه و متیل جیوه در رسوبات استان هرمزگان

چکیده

آلودگی یکی از مهمترین مسائل مطرح در حفاظت دریاهای و حفظ تعادل بوم شناختی آب‌ها است. اگرچه آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند، ولی در اثر فعالیت‌های زیست‌شناختی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی، وارد آب‌های فوقانی می‌شوند. فلزات سنگین به ویژه جیوه به دلیل سمیت و پایداری در محیط زیست از نظر سلامت عمومی حائز اهمیت هستند. به منظور تعیین میزان آلودگی جیوه و متیل جیوه در رسوبات آب‌های ساحلی استان هرمزگان، ۵۱ نمونه رسوب از ۶ ترانسکت واقع در تنگه هرمز، جزیره لارک، جزیره فارور، جزیره قشم، اطراف تنب بزرگ و جزیره لالوان از ۳ عمق در سال ۱۳۸۷، تهیه شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی، توسط دستگاه Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry آنالیز شدند. نتایج پژوهش نشان داد ترسیب جیوه در رسوبات اعماق اطراف جزایر لارک و فارور بیش از سایر ایستگاه‌ها و سایر اعماق است. حداکثر میزان جیوه اندازه‌گیری شده در رسوبات استان هرمزگان متعلق به رسوبات عمق ۲۴ متری اطراف جزیره لالوان و رسوبات عمق ۹۴ متری در تنگه هرمز به ترتیب برابر با ۱۲ و ۵۵ نانو گرم در گرم وزن خشک می‌باشند. دامنه تغییرات متیل جیوه از ۰/۰۹ در عمق ۵۹ متری جزیره لارک تا ۰/۴۱ نانو گرم در گرم وزن خشک در عمق ۸۵ متری جزیره لالوان اندازه‌گیری شد. حداکثر میزان جیوه کل در رسوبات ترانسکت جزیره لالوان شامل سه عمق برابر با ۴۳ نانو گرم در گرم وزن خشک بود که حدوداً ۷۰ درصد بیش از میانه جیوه در رسوبات ترانسکت جزیره تنب بزرگ (۲۹/۳ نانو گرم در گرم وزن خشک) می‌باشد.

واژگان کلیدی: آلودگی، جیوه، متیل جیوه، رسوبات، استان هرمزگان.

همیرا آگاه^۱

سجاد آستانی^{۲*}

سید محمد رضا فاطمی^۳

۱. استادیار، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی، تهران، ایران.

۲. عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

۳. گروه بیولوژی دریا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*مسئول مکاتبات

Sajad.astani@iauh.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۵۰۱۰۴۳۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۱

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

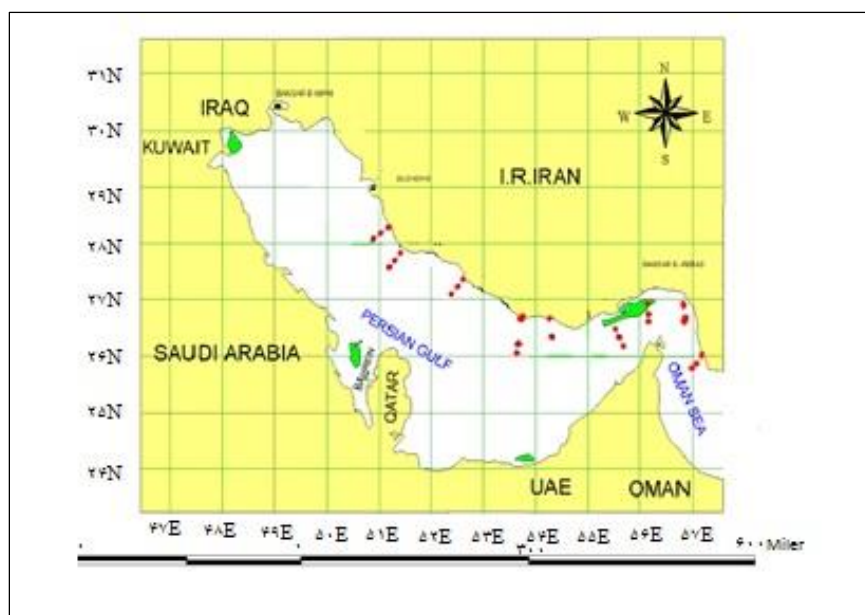
رسوبات، محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی هستند، اما تحت شرایطی می‌توانند خود به‌عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند (Izquierdo et al., 1997; Yu et al., 2001). آلودگی یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در حفاظت دریاهای و حفظ تعادل بوم‌شناختی آب‌ها است. اگرچه آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند، ولی در اثر فعالیت‌های زیست‌شناختی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی وارد آب‌های فوقانی می‌شوند. لذا اندازه‌گیری غلظت کل یک عنصر سنگین نمی‌تواند تصویر واقعی از آلودگی اکوسیستم آبی به دست دهد (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۵). این مسئله، لزوم انجام مطالعات تفکیک شیمیایی را به‌منظور دستیابی به منشأ و نوع پیوندها ضروری می‌سازد (Gupta and Chen, 1975). جیوه به سه شکل فلزی، آلی و معدنی وجود دارد. متیل جیوه از سمی‌ترین ترکیبات آلی جیوه است که قابلیت تجمع در بافت آبزیان و نیز در رسوبات بستر را دارد. ترکیب متیل جیوه برای انسان سمی و عامل بسیاری از بیماری‌ها و مسمومیت‌ها است و بعد از ترکیبات رادیواکتیو از نقطه‌نظر سمیت طبقه‌بندی می‌شود. ترکیبات متیل جیوه از قابلیت متیلاسیون در محیط‌زیست برخوردارند و این روند خصوصاً در اکوسیستم‌های آبی تشدید می‌یابد. مهم‌ترین عامل متیلاسیون باکتری‌ها و قارچ‌ها در آب و رسوبات می‌باشند. همچنین این فرآیند در آب‌های با اکسیژن کم به دلیل تراکم میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌یابد (برنجی و همکاران، ۱۳۹۰). جیوه پس از ورود به محیط‌زیست دریایی و تبدیل آن به

متیل جیوه می‌تواند از طریق زنجیره غذایی و بخصوص از طریق مصرف ماهی‌های آلوده وارد بدن انسان شده و سلامتی را به مخاطره اندازد (Harada *et al.*, 1999; Oken *et al.*, 2005; WHO, 1990). تجمع جیوه در بدن انسان می‌تواند عوارض بالینی از قبیل سرگیجه، تهوع، سردرد و ماهیچه درد، ضعف عمومی بدن، آلرژی، افسردگی، اختلالات مغزی، اختلال در بینایی و شنوایی و درنهایت در مقادیر زیاد می‌تواند منجر به مرگ شود (Risher, 2003). جنین یکی از مهم‌ترین مراکز تجمع جیوه در بدن زنان باردار است. همچنین تجمع جیوه در شیر مادر بیش از عضلات بدن است. در نتیجه جنین و نوزادان بیش از بزرگسالان در معرض خطر دریافت متیل جیوه از طریق مواد غذایی قرار دارند و در صورت بالا بودن درصد متیل جیوه دریافتی، جنین و کودکان زیر سن رشد می‌توانند دچار اختلال شنوایی و بینایی و مغزی گردند (Vimy *et al.*, 1990; WHO, 1990).

سبزی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیف -بوسیف در سواحل شمال غرب خلیج فارس بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر به پژوهش پرداختند. هدف پژوهش حاضر بررسی میزان آلودگی فلز سنگین جیوه و متیل جیوه در رسوبات استان هرمزگان است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین میزان آلودگی جیوه و متیل جیوه در رسوبات آب‌های ساحلی استان هرمزگان، ۵۱ نمونه رسوب از ۶ ترانسکت (شکل ۱) تهیه گردید. رسوبات بستر دریا از ۶ ترانسکت واقع در تنگه هرمز، جزیره لارک، جزیره فارور، جزیره قشم، اطراف تنب بزرگ و جزیره لاوان و از ۳ عمق تهیه شدند (جدول ۱). نمونه‌برداری در هر ایستگاه نیز با ۳ تکرار صورت گرفت. موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات در جدول ۱ آورده شده است. کلیه نمونه‌های رسوب در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و پس از برچسب‌زنی در فریزر 20°C نگهداری شدند تا به آزمایشگاه ارسال گردند. نمونه‌های رسوب به ظروف پلی‌اتیلنی منتقل و پس از تعیین وزن دقیق و فریز شدن؛ به دستگاه فریز درایر (Lyophilizer Leybold Heraus) منتقل شدند تا کاملاً خشک و عاری از رطوبت شوند. پس از وزن مجدد رسوبات، میزان آب موجود در نمونه‌ها محاسبه گردید. نمونه‌های خشک‌شده از الک پلی‌اتیلنی مش ۲۰۰ عبور داده شدند تا ذرات درشت از رسوب جدا گردند و درنهایت به کمک آسیاب مکانیکی (FritschPulverisette) آسیاب و هموژنیزه شدند.



شکل ۱: ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات در استان هرمزگان ۱۳۸۷.

مشخصات ایستگاه‌ها				تعداد نمونه‌ها	تعداد ترانسکت
طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق (متر)	حرارت آب		
۲۶°۰۸' ۶۰"	۵۷°۰۸' ۹۰"	۱۳/۴	۲۵	۱	تنگه هرمز
۲۶°۰۱' ۸۰"	۵۷°۰۱' ۴۰"	۹۳/۷	۲۶	۲	
۲۵°۵۵' ۰۰"	۵۶°۵۴' ۱۰"	۹۹/۱	۲۷	۳	
۲۶°۴۷' ۳۰"	۵۶°۵۶' ۲۰"	۱۸/۸	۲۵	۴	جزیره لارک
۲۶°۳۷' ۳۰"	۵۶°۵۴' ۱۰"	۵۹/۴	۲۶	۵	
۲۶°۲۷' ۴۰"	۵۶°۵۲' ۳۰"	۶۸/۷	۲۶	۶	
۲۶°۵۵' ۱۰"	۵۶°۱۶' ۹۰"	۱۷/۷	۲۵	۷	جزیره قشم
۲۶°۴۵' ۲۰"	۵۶°۱۵' ۴۰"	۵۱/۵	۲۵	۸	
۲۶°۳۵' ۴۰"	۵۶°۱۳' ۶۰"	۸۲/۸	۲۷	۹	
۲۶°۲۵' ۶۰"	۵۵°۲۸' ۳۰"	۱۹/۴	۲۵	۱۰	تنب بزرگ
۲۶°۱۸' ۰۰"	۵۵°۲۴' ۹۰"	۶۷/۷	۲۷	۱۱	
۲۶°۰۶' ۶۰"	۵۵°۲۰' ۷۰"	۷۱	۲۸	۱۲	
۲۶°۲۶' ۶۰"	۵۴°۳۵' ۴۰"	۱۸/۴	۲۵	۱۳	جزیره فارور
۲۶°۱۶' ۴۰"	۵۴°۳۳' ۶۰"	۶۰/۷	۲۲	۱۴	
۲۶°۴۶' ۷۰"	۵۳°۲۷' ۰۰"	۲۴	۲۲	۱۶	
۲۶°۳۲' ۹۰"	۵۳°۲۰' ۵۰"	۸۸	۲۵	۱۷	جزیره لاوان
۲۶°۱۸' ۹۰"	۵۳°۱۴' ۲۰"	۸۴/۹	۲۷	۱۸	

در این آزمایش کلیه ظروف مصرفی از نوع تفلونی و شیشه‌ای در پروسه‌های هضم و آنالیز توسط محلول اسید نیتریک ۵ درصد به مدت ۲۴ ساعت، دترجنت آزمایشگاهی (۲ درصد) و آبکشی توسط آب مقطر دو بار تقطیر شسته شدند. در انجام این پروژه، کلیه معرف‌های مصرفی در فرآیندهای

هضم و آنالیز دارای گرید آنالیتیک بودند. محلول HNO_3 ۴ مولار که توسط اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) و سولفات مس یک مولار (CuSO_4) که توسط سولفات مس متبلور ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) تهیه گردیده بودند، همچنین KBr 18% (w/v)، سدیم استات و اسید استیک گلاسیال و دی کلرومتان، از شرکت Merck تهیه شدند. تترا متیل آمونیوم هیدروکساید (Tetra Methyl Ammonium Hydroxide; TMAH،) (25%) از طریق شرکت Acros و معرف اتیلاسیون، سدیم تترا اتیل بورات (۱/۰٪ KOH in) نیز از طریق شرکت Strem Chemicals تهیه شدند. استانداردهای جیوه از محلول جیوه، Spepur میلی گرم بر لیتر 10 000 Hg از شرکت Johnson Matthey و استاندارد متیل جیوه ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر از شرکت Alfa Product تهیه شدند. در کلیه مراحل که نیاز به رقیق سازی بود، از آب دو بار تقطیر شده Milli-Q ۱۸۰ Mcm (water > 18Ω) از شرکت Millipore استفاده شد.

۰/۵ تا یک گرم از نمونه های رسوب توسط اسید کلریدریک و اسید نیتریک در تحت حرارت 75 ± 5 درجه سانتی گراد در آون معمولی به مدت ۲۴ ساعت هضم و سپس به حجم معین رسانده شدند (Muhaya *et al.*, 1998). پیش از آنالیز، محلول های فوق از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر (Minisart, Sartorius) عبور داده شده و توسط دستگاه آنالیز (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) (Hg Analyzer II, Thermo Separation Products)، در طول موج ماوراءبنفش ۲۵۳/۷ نانومتر آنالیز شدند.

یک گرم نمونه رسوب توسط ۵ میلی لیتر KBr (18%)، H_2SO_4 5% و یک میلی لیتر سولفات مس یک مولار در تحت درجه حرارت اتاق به مدت ۲۰ دقیقه در همزن مکانیکی هضم گردید. متیل جیوه به کمک ۱۰ میلی لیتر دی کلرو متان توسط همزن مکانیکی در مدت یک ساعت به هم زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ در دقیقه در سانتریفوژ استخراج و فاز آلی در ۲۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر در تحت حرارت ۵۰ درجه سانتی گراد و جریان ملایم ازت، استخراج معکوس گردید. مراحل اتیلاسیون و آنالیز کلیه نمونه ها مشترک است. بدین صورت که ۱۰ میلی لیتر نمونه استخراج شده به کمک محلول سدیم تترا اتیل بورات (NaBeT_4 در ۲/۰٪ KOH) و محلول بافر سدیم استات در ظروف مخصوص ادغام شده (Bloom *et al.*, 1997 و Tseng *et al.*, 1997) و سپس آنالیز توسط (Head space sampler (Perkin Elmer HS40 XL) و سپس آنالیز توسط (Gas Chromatography HP 5890 (Tekran 2500) و Atomic Fluorescence Spectrometer) انجام گرفت. پس از ادغام معرف اتیلاسیون، درب آلومینیومی به همراه واشر تفلونی ظروف Head space بسته شده و پس از یک ساعت، نمونه ها وارد دستگاه فوق جهت آنالیز گردیدند. سیگنال های سیستم آنالیز توسط نرم افزار Varian نمایش داده شدند.

کمترین حد تشخیص دستگاه برای جیوه کل و متیل جیوه به ترتیب ۳ و ۰/۰۰۴ نانوگرم بر گرم وزن خشک بود. در هر بچ آنالیز یک نمونه شاهد و یک نمونه ماده رفرنس مورد آنالیز قرار گرفتند. دقت و صحت روش بکار رفته در این تحقیق به کمک ماده رفرنس IAEA 405 (عناصر کمیاب و متیل جیوه در رسوبات خور) تعیین شد. نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج اعلام شده برای مواد رفرنس تطابق خوبی داشت.

جدول ۲: مقایسه نتایج آنالیز ماده رفرنس IAEA ۴۰۵ در این تحقیق با نتایج اعلام شده آن.

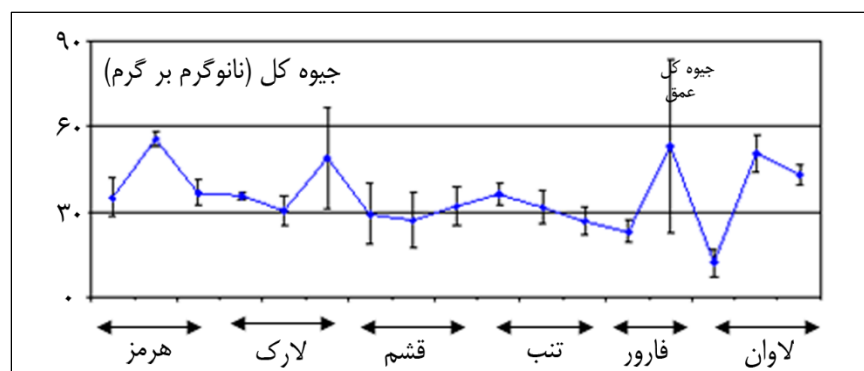
متیل جیوه			جیوه کل		
غلظت ماده رفرنس	نتایج آزمایش	راندمان	غلظت ماده رفرنس	نتایج آزمایش	راندمان
میکروگرم بر گرم وزن خشک	میکروگرم بر گرم وزن خشک (تعداد آنالیز=۹)	درصد	میکروگرم بر گرم وزن خشک	میکروگرم بر گرم وزن خشک (تعداد آنالیز=۸)	درصد
۰/۷۷۷-۰/۸۴۸	۰/۸۱۸-۰/۸۴۸	۱۰۲±۱	۴/۹۷-۶/۰۲	۴/۹۲-۵/۸۷	۹۶±۷

نتایج غلظت جیوه و متیل جیوه گزارش شده در هر نمونه شامل میانگین سه بار هضم مستقل و نتیجه آنالیز آن ها بود.

بررسی‌های آماری اطلاعات در این طرح، به کمک نرم‌افزار آماری SPSS V13 پردازش شده و از آنالیز واریانس و رگرسیون برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها نیز از طریق آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد. در مقایسه داده‌های مختلف و نیز تعیین آنکه آیا اختلاف میزان داده‌ها از یکدیگر در دامنه قابل قبول بوده و یا اختلاف آن‌ها معنی‌دار است و می‌تواند به فاکتور خاصی مرتبط شود، از روش One Way ANOVA کمک گرفته شد. هرگاه $P \leq 0.05$ بود، اختلاف میانگین داده‌ها معنی‌دار در نظر گرفته شد. جهت تعیین ارتباط بین میانگین یا میانه داده‌ها و فاکتورهای تأثیرگذار بر آن‌ها نیز از آماره رگرسیون استفاده شد.

نتایج

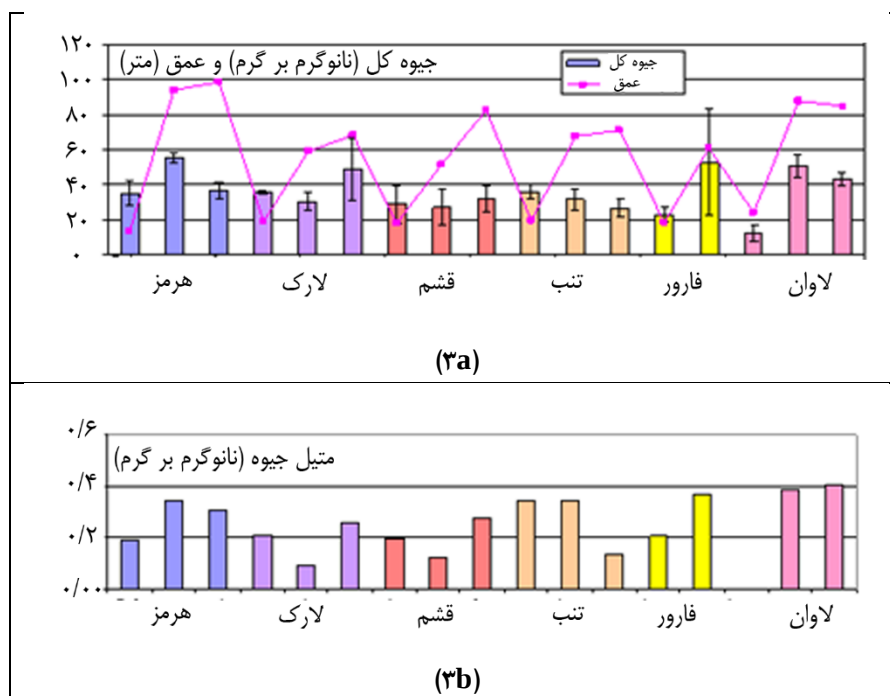
نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوب برای تعیین جیوه کل و متیل جیوه برحسب $\text{ng.g}^{-1} \text{d.w}$ در رسوبات استان هرمزگان برای کلیه نمونه‌ها در شش ترانسکت به‌طور مجزا در جدول ۳ آورده شده است. هرچند دامنه تغییرات نسبی برای هر نمونه مستقل با سه بار آنالیز کمتر از ۵ درصد بود، غیریکنواخت بودن میزان ترسیب جیوه در مناطق نمونه‌گیری، منجر به گسترش دامنه تغییرات و به طبع آن افزایش دامنه تغییرات نسبی نتایج سه نمونه مستقل تهیه‌شده در هر عمق از ایستگاه‌های نمونه‌گیری گردید. لذا در این پژوهش سعی شد تا به‌جای مقادیر متوسط (mean) از میانه (median) استفاده گردد. لازم به ذکر است که هریک از سه نمونه مستقل تهیه‌شده در هر عمق، سه بار هضم مستقل شده و به ازای هر هضم سه بار آنالیز انجام گرفت؛ لذا نتایج درج‌شده به ازای هر عمق حاصل ۲۷ نتیجه آنالیز است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، ترسیب جیوه در رسوبات اعماق اطراف جزایر لارک و فارور بیش از سایر ایستگاه‌ها و سایر اعماق است. حداکثر میزان جیوه اندازه‌گیری شده در رسوبات استان هرمزگان متعلق به رسوبات عمق ۲۴ متری اطراف جزیره لاوان و رسوبات عمق ۹۴ متری در تنگه هرمز به ترتیب برابر با ۱۲/۰ و ۵۵/۵ نانوگرم در گرم وزن خشک است. دامنه تغییرات متیل جیوه از ۰/۰۹ در عمق ۵۹ متری جزیره لارک تا ۰/۴۱ نانوگرم در گرم وزن خشک در عمق ۸۵ متری جزیره لاوان اندازه‌گیری شد (جدول ۳). حداکثر میزان جیوه کل در رسوبات ترانسکت جزیره لاوان برابر با ۴۳/۰ نانوگرم در گرم وزن خشک بود که حدوداً ۷۰ درصد بیش از میانه جیوه در رسوبات ترانسکت جزیره تنب بزرگ (۲۹/۳ نانوگرم در گرم وزن خشک) است (جدول ۳ و شکل ۳). همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، روند و الگوی تغییرات متیل جیوه مشابه روند تغییرات جیوه کل در رسوبات استان هرمزگان است.



شکل ۲: میزان جیوه کل در رسوبات اعماق مختلف استان هرمزگان.

جدول ۳: میزان جیوه کل و درصد متیل جیوه برحسب نانوگرم در گرم وزن خشک در نمونه‌های رسوب استان هرمزگان.

ترانسکت‌ها	ایستگاه	عمق (متر)	تعداد	جیوه کل (نانوگرم بر گرم) Median±IQR	RSD درصد	متیل جیوه (نانوگرم بر گرم)	میان‌ه جیوه کل (نانوگرم بر گرم)	متوسط عمق (متر)	درصد متیل جیوه
تنگه هرمز	۱	۱۳/۴	۳	۳۵±۶/۸	۱۹	۰/۲			۰/۵۷
	۲	۹۳/۷	۳	۵۵/۵±۲/۴	۴	۰/۳۴	۳۸/۶±۱۵/۳	۹۴±۴۳	۰/۶۱
	۳	۹۹/۱	۳	۳۶/۵±۴/۶	۱۲	۰/۳۱			۰/۸۵
جزیره لارک	۴	۱۸/۸	۳	۳۵/۵±۱	۳	۰/۲۱			۰/۵۹
	۵	۵۹/۴	۳	۳۰/۴±۵/۳	۱۷	۰/۰۹	۳۵/۵±۶/۲	۶۰±۲۵	۰/۳۰
	۶	۶۸/۶	۳	۴۸/۹±۱۸	۳۷	۰/۲۶			۰/۵۳
جزیره قشم	۷	۱۷/۷	۳	۲۹/۲±۱۰/۶	۳۶	۰/۲۰			۰/۶۹
	۸	۵۱/۵	۳	۲۷/۱±۱۰	۳۷	۰/۱۲	۳۰/۰±۱۰/۷	۵۲±۳۳	۰/۴۴
	۹	۸۲/۸	۳	۳۱/۹±۷	۲۲	۰/۲۷			۰/۸۵
تنب بزرگ	۱۰	۱۹/۴	۳	۳۵/۹±۴	۱۱	۰/۳۵			۰/۹۷
	۱۱	۶۷/۷	۳	۳۱/۵±۵/۹	۱۹	۰/۳۴	۲۹/۳±۸/۴	۶۸±۲۶	۱/۰۸
	۱۲	۷۱/۰	۳	۲۶/۵±۵	۱۹	۰/۱۴			۰/۵۳
جزیره فارور	۱۳	۱۸/۴	۳	۲۳±۴	۱۷	۰/۲۰	۳۵/۷±۲۷/۴	۴۰±۲۱	۰/۸۷
	۱۴	۶۰/۷	۳	۵۳±۳۰/۵	۵۷	۰/۳۷			۰/۷۰
	۱۶	۲۴/۰	۳	۱۲±۴/۸	۴۰	-			-
جزیره لاوان	۱۷	۸۸/۰	۳	۵۰/۵±۶/۵	۱۳	۰/۳۹	۴۳/۰±۳۲/۸	۸۵±۳۲	۰/۹۵
	۱۸	۸۴/۹	۳	۴۳/۳±۳/۷	۹	۰/۴۱			۰/۵۵
گستره و میان‌ه کل ۱۲/۰-۵۵/۵ و				۳۵/۱±۱۵/۸					



شکل ۳: (a و b): غلظت جیوه و متیل جیوه در سه عمق هر ترانسکت.

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه میزان جیوه کل در کمترین و بیشترین اعماق در هر ترانسکت (جدول ۳) نشان می‌دهد که به‌جز در ترانسکت تنب بزرگ، در مابقی ترانسکت‌ها میزان جیوه در اعماق هر ترانسکت بیش از مناطق ساحلی است. به‌طور کلی، رسوبات استان هرمزگان از نظر آلاینده جیوه در محدوده رسوباتی با آلودگی کم (کوچکتر از ۱۰۰ نانوگرم بر گرم) قرار دارند.

بین جیوه و متیل جیوه همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r^2=0.7$) برقرار است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که درصد متیل جیوه در رسوبات مناطق عمیق به‌طور نسبی از مناطق ساحلی بیشتر است و این می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر متیلاسیون در مناطق عمیق باشد. مطالعات انجام‌شده در منطقه شمالی خلیج فارس بخصوص در زمینه‌ی اندازه‌گیری میزان آلودگی جیوه محدود است. اندازه‌گیری متیل جیوه که نیازمند بکارگیری روش‌ها و تجهیزات مناسب است از محدودیت اطلاعات بیشتری برخوردار است، لذا اطلاعات بسیار محدودی در خصوص میزان آلودگی جیوه در رسوبات استان هرمزگان و نیز در خصوص میزان آلودگی جیوه در منطقه شمالی خلیج فارس به دست آمد.

در پژوهشی برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیف-بوسیف در سواحل شمال غرب خلیج فارس بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر، مشخص گردید رسوبات از نظر کیفیت آلودگی فقط برای دو فلز سرب و جیوه در طبقه ۲ آلودگی (آلودگی متوسط) و در مورد سایر فلزات به دلیل داشتن مقادیر شاخص کمتر از صفر در طبقه آلودگی صفر یا غیر آلوده قرار می‌گیرند (سبزی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیقی که ربانی و همکاران در فصول بهار و تابستان ۱۳۸۵ در منطقه عسلویه به عمل آوردند، میزان غلظت جیوه در رسوبات سطحی ۲۰٫۲ تا ۲۹٫۵ نانوگرم بر گرم اعلام شد (ربانی و همکاران ۱۳۸۶، جدول ۴). نتایج تحقیقی به‌منظور تعیین آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب بامدژ (۱۳۸۵) با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر، بیانگر آن بود که میانگین غلظت عنصر جیوه بالا است (کرباسی و ولوی، ۱۳۸۹).

در تحقیقی جهت ارزیابی میزان تجمع فلزات سنگین روی، مس، سرب، کادمیوم و جیوه در آب و رسوب محل زیست صدف آوندونت در تالاب انزلی، نتایج بیانگر آن بود که میانگین غلظت فلزات جیوه در رسوبات انزلی بین ۴۰ تا ۵۰۰ نانوگرم بر گرم بود که به‌طور نسبی از میزان آلودگی در رسوبات استان هرمزگان بیشتر است (اشجع اردلان و همکاران، ۱۳۸۴، جدول ۴).

اطلاعات موجود نشان می‌دهد که میزان جیوه در رسوبات استان هرمزگان بیش از سواحل جنوبی خلیج فارس است (ROPME, 2000) (جدول ۴). به نظر می‌رسد که دو الگو در این توزیع آلودگی می‌تواند نقش داشته باشند. اولین و مهم‌ترین عامل مربوط به شرایط هیدرولوژیک و رسوب‌گذاری است که وجود ذرات ریزتر و نرم‌تر را در سواحل ایرانی خلیج فارس سبب شده است، زیرا که با افزایش عمق، قطر ذرات رسوبی نیز کمتر می‌شود. رسوبات سواحل جنوبی خلیج فارس بیشتر ذرات دانه‌درشت و شنی می‌باشند و عمق در این نواحی کمتر (حدود ۵ برابر) از مناطق شمالی خلیج فارس است (Al-Majed and Preston, 2004 و ROPME, 2000). احتمالاً عامل دیگر، آلودگی‌های محلی می‌تواند باشد که این امر با بررسی میزان آلودگی محلی و روان آب‌های منتهی به دریا قابل تشخیص است.

جدول ۴: مقایسه میزان جیوه موجود در رسوبات آب‌های مختلف.

مکان نمونه‌برداری	جیوه کل (نانوگرم بر گرم)	متیل جیوه (نانوگرم بر گرم)	مأخذ
(Iran)-Hormozgan Persian Gulf	۵۶-۱۰ وزن خشک میانگین: ۳۴	۰/۱۴-۰/۴۱	This study
Persian Gulf: (Emirate Saudi Arabia, Quarter, Kuwait)	۳۹-۰/۶ وزن خشک	-	ROPME, 2000
North Sea (Belgium)	۷۰۱-۴	۰/۰۰۵-۰/۴۵	Leermakers <i>et al.</i> , 2001
Scheldt Estuary (Belgium)	۷۳۰-۴ وزن خشک ۱۴۰۰-۸۰۰	۰/۰۰۷-۰/۴۷ وزن خشک ۱۹۲-۱۴۴	Leermakers and Galletti, 2001 Baeyens, <i>et al.</i> , 1998 Muhaya <i>et al.</i> , 1998
Lake Balaton (Hungary)	۱۶۰-۹ وزن خشک	۰/۰۷-۰/۸۴ وزن خشک	Nguyen <i>et al.</i> , 2005
Montego Bay (Jamaica)	۳۰۰- $<dl^*$ وزن تر	-	Jaffé <i>et al.</i> , 2003
Minamata Bay (Japan)	۹۰۰-۱۱۰۰ وزن تر (میانگین: ۴۰۰۰)	۰/۴-۱۹/۹ وزن تر (میانگین: ۳/۷) ۵۳-۰/۰۳ درصد	Haraguchi <i>et al.</i> , 2000
Lake in southern (Norway)	۶۰۰-۳۰ وزن خشک	-	Rognerud <i>et al.</i> , 2000
Anadyr Estuary (Russia)	۲۱۰۰-۸۰	۰/۱-۰/۶	Blanco <i>et al.</i> , 2000
Nerbi 'on-Ibaizabal Estuary (Bilbo Basque)	۵۷۰۰-۷۰۰ وزن خشک	۸-۸۰	Landaluze <i>et al.</i> , 2004
خلیج فارس - عسلویه	۲۰,۲-۲۹,۵	-	ربانی و همکاران، ۱۳۸۶
انزلی دریای خزر	۴۰-۵۰۰	-	اشجع اردلان و همکاران، ۱۳۸۵

همان‌گونه که در بالا اشاره شد، علیرغم بالاتر بودن میزان آلودگی جیوه در رسوبات استان هرمزگان در مقایسه با سواحل جنوبی خلیج فارس، میزان این آلودگی در رنج آلودگی‌های کم جیوه قرار دارد. میزان آلودگی جیوه در این تحقیق با دریاچه بالاتون، خلیج مونتگو قابل مقایسه بوده (Jaffé *et al.*, 2003; Nguyen *et al.*, 2005) و به‌طور چشمگیری نسبت به رسوبات دریای شمال در غرب انگلیس در مرز بلژیک (Leermakers *et al.*, 2001; Baeyens, *et al.*, 1998; Muhaya *et al.*, 1998)، خلیج می نیمانت در ژاپن (Haraguchi *et al.*, 2000)، دریاچه‌ای در جنوب نروژ (Rognerud *et al.*, 2000)، خور آنادیر شوروی (Blanco *et al.*, 2000) و خور نربی در باسک (Landaluze *et al.*, 2004)، جیوه کمتری دارد (جدول ۴).

منابع

اشجع اردلان، آ.، ۱۳۸۵. مقایسه میزان فلزات سنگین (Cd, Pb, Cu, Zn, Hg) در آب، رسوبات و بافت نرم دو کفه‌ای آنودونت تالاب انزلی در دو فصل پائیز و بهار، امور دام و آبزیان، شماره ۷۳.

برنجی، م.، عبدالحسین زاده، ف. و صالحی، ح.، ۱۳۹۰. بررسی مسمومیت ماهیان در اثر جیوه و اهمیت آن در بهداشت عمومی، اولین همایش منطقه‌ای شیلات و آبزیان.

سبزعلی زاده، س. و دهقان مدیسه، س.، ۱۳۸۹. تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیف-بوسیف (سواحل شمال غرب خلیج فارس) بر اساس شاخص تجمع زمینی، پژوهشکده تحقیقات آبزی‌پروری جنوب کشور، اهواز.

ربانی م.، جعفرآبادی آشتیانی ا. و مهرداد شریف، ا. ع.، ۱۳۸۶. اندازه‌گیری میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین ن کیل، سرب و جیوه در رسوبات خلیج فارس / منطقه عملیاتی عسلویه. مجله اکتشاف و تولید شماره ۵۴ نشریه فنی تخصصی شرکت ملی نفت ایران.

کرباسی، ع. ر.، بیانی آ. و نبی بید هندی، غ. ر.، ۱۳۸۵. بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفا رود. مجله محیط‌شناسی، شماره ۳۹، صفحات ۴۸-۴۱.

کرباسی، ع. ر. و ولوی، ش.، ۱۳۸۹. تعیین آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب بامدژ با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر. محیط‌شناسی، سال سی و ششم، شماره ۵۴، صفحات ۱-۱۰.

Al Majed, N. and Preston, M., 2000. An assessment of the total and methylmercury content of zooplankton and fish tissue in the Kuwait territorial waters. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 297-307.

Blanco, R. M., Villanueva, M. T., Uría, J. E. S. and Sanz-Medel, A., 2000. Field sampling, preconcentration and determination of mercury species in river waters. *Analytica Chimica Acta*, 419(2), pp.137-144.

Bloom, N. S., Colman, J. A. and Barber, L., 1997. Artifact formation of methyl mercury during aqueous distillation and alternative techniques for the extraction of methyl mercury from environmental samples. *Fresenius' journal of analytical chemistry*, 358(3), pp.371-377.

Gupta, S. K. and Chen, K. Y., 1975. Partitioning of trace metals in selective chemical fraction of near- shore sediments. *J. Environmental Letters*. 10:129-158.

Harada, M., Akagi, H., Tsuda, T., Kizaki, T. and Ohno, H., 1999. Methylmercury level in umbilical cords from patients with congenital Minamata disease. *The Science of the Total Environment* 234, 59-62.

Haraguchi, T., Koujin, T., Hayakawa, T., Kaneda, T., Tsutsumi, C., Imamoto, N., Akazawa, C., Sukegawa, J., Yoneda, Y. and Hiraoka, Y. 2000. Live fluorescence imaging reveals early recruitment of emerlin, LBR, RanBP2, and Nup153 to reforming functional nuclear envelopes. *J. Cell Sci.* 113, 779-794.

Izquierdo, C., Usero J. and Gracia I., 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes- on the southern Atlantic coast of Spain. *Marine pollution bulletin*. 34(2): 123-128.

Jaffé, R., Gardinali, P.R., Cai, Y., Sudbury, A., Fernandez, A. and Hay, B.J., 2003. Organic compounds and trace metals of anthropogenic origin in sediments from Montego Bay, Jamaica: assessment of sources and distribution pathways. *Environmental Pollution*, 123(2), pp.291-299.

Landaluze, J. S., de Diego, A., Raposo, J. C. and Madariaga, J. M., 2004. Methylmercury determination in sediments and fish tissues from the Nerbioi-Ibaizabal estuary (Basque Country, Spain). *Analytica Chimica Acta*, 508(1), pp.107-117.

Leermakers, M., Galletti, S., De Galan, S., Brion, N. and Baeyens, W., 2001. Mercury in the Southern North Sea and Scheldt estuary. *Marine chemistry*. 75:229-248.

Muhaya, B. B., Leermakers, M. and Baeyens, W., 1998. Influence of sediment preservation on total mercury and methylmercury analyses. *Water, Air, & Soil Pollution*, 107(1), pp.277-288.

Nguyen H.L., Leermakers M., Kurunczi S., Bozo L. and Baeyens W., 2005. Mercury distribution and speciation in Lake Balaton, Hungary- *Science of the Total Environment* 340 231- 246.

Oken, E., Wright, R. O., Kleinman, K. P., Bellinger, D., Amarasiriwardena, C. J., Hu, H., Rich-Edwards, J.W. and Gillman, M. W., 2005. Maternal Fish Consumption, Hair Mercury, and Infant Cognition in a U.S. Cohort. *Environmental Health Perspectives* 113, 1376-1380.

ROPME, 2000. Regional report of the state of marine environment (ROPME Sea Area) translated by Fatemi M. R; Marine Environment Bureau of Iran, p: 167.

Risher, J. F., 2003. Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects. World Health Organization, Geneva.

Rognerud, S., Hongve, D., Fjeld, E. and Ottesen, R. T., 2000. Trace metal concentrations in lake and overbank sediments in southern Norway. *Environmental Geology*, 39(7), pp.723-732.

Tseng, T. H., Kao, E. S., Chu, C. Y., Chou, F. P., Wu H. M. L., and Wang, C. J., 1997. Protective effects of dried flower extracts of *Hibiscus sabdariffa* L. against oxidative stress in rat primary hepatocytes. *Food Chem. Toxicol.*, 35: 1159-1164.

Vimy, M.J., Takahashi, Y. and Lorscheider, F.L., 1990. Maternal-fetal distribution of mercury (^{203}Hg) released from dental amalgam fillings. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 258(4), pp.R939-R945.

WHO, 1990. International Programme on Chemical Safety-Environmental Health Criteria 101-Methyl Mercury-Inchem- Home-Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labor Organization and the World Health Organization, World Health Organization. Geneva, 1990.

Yu, K. C., Tsai, L. J., Chen, S. H. and Ho, S.T., 2001. Chemical binding of heavy metals in anoxic river sediments. Water Research, 35(17), pp.4086-4094.