

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۳ (۱۳۴-۱۲۳)

ارزیابی فاکتورهای مؤثر بر میزان جیوه در گلبول‌های قرمز خون (RBCs) برخی ساکنان شهرهای بندرعباس و ماهشهر

نرجس اکاتی^{۱*}

narjesokati@uoz.ac.ir

عباس اسماعیلی ساری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: مواجهه انسانی با ترکیبات جیوه به دلیل سمیت بالای آن به عنوان نگرانی عمده در سراسر جهان می باشد. این مقاله سعی دارد به ارزیابی فاکتورهای مؤثر بر میزان جیوه گلبول‌های قرمز خون (RBCs) و میزان جذب روزانه جیوه در برخی ساکنان شهرهای بندرعباس و ماهشهر که مصرف ماهی بالایی دارند، بپردازد.

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی-تحلیلی و پرسش‌نامه ای، مقادیر جیوه کل در RBCs خون ۵۳ نفر از افراد ساکن شهرهای بندرعباس و ماهشهر توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkins Elmer 4100 مجهز به Cold Vapor اندازه‌گیری گردید.

یافته ها: میانگین جیوه در RBCs و کل خون افراد در شهر بندرعباس به ترتیب ۱۷/۲۱ و ۷/۷ $\mu\text{g/L}$ و در ماهشهر ۴۴/۴۱ و ۱۹/۹۸ $\mu\text{g/L}$ بدست آمد. میانگین جذب روزانه جیوه افراد در شهرهای بندرعباس و ماهشهر به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۵۳ $\mu\text{g/kg bw/d}$ محاسبه گردید. میزان جذب روزانه جیوه در افرادی که بیش از ۲ بار در هفته ماهی مصرف می کردند در مقایسه با سایر گروه‌ها با مصرف ماهی کم تر، به طور معنی داری بالاتر بدست آمد. متغیرهای مصرف ماهی، شهر محل سکونت، خانواده صیاد یا غیر صیاد بر روی میزان جیوه RBCs تاثیرگذار بودند؛ اما اثر سن، جنسیت و تعداد دندان‌های پر شده با آمالگام بر روی میزان جیوه RBCs معنی دار نبود.

بحث و نتیجه گیری: مقایسه مقادیر جیوه خون و جذب روزانه آن در افراد مورد مطالعه با استانداردهای تعیین شده نشان می دهد که افراد ساکن در ماهشهر مواجهه بالایی با جیوه دارند. از آنجا که میزان مصرف ماهی مهم ترین عامل جذب جیوه در بدن می باشد، مطالعات دقیق ارزیابی ریسک جیوه و تعیین حدود مجاز مصرف ماهیان برای گروه های حساس جمعیت ضروری به نظر می رسد.

واژه‌های کلیدی: جیوه، گلبول‌های قرمز خون (RBCs)، مصرف ماهی، ماهشهر، بندرعباس.

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، سیستان و بلوچستان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

Evaluation of the influencing factors on mercury levels in red blood cells (RBCs) in some residents of Bandar Abbas and Mahshahr cities

Narjes Okati^{1 *}

narjesokati@uoz.ac.ir

Abbas Esmaili-sari²

Admission Date: June 18, 2024

Date Received: May 7, 2024

Abstract

Background and Objective: Human exposure to mercury compounds has been of great public concern around the world due to mercury's high toxicity. The present study tries to assess the influencing factors on mercury levels in red blood cells (RBCs) and mercury daily intake in some residents of Bandar Abbas and Mahshahr cities.

Material and Methodology: In this cross-sectional and questionnaire study, the total mercury concentrations in RBCs of 53 people living in Bandar Abbas and Mahshahr cities were measured by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometer model equipped with a Perkins Elmer 4100.

Findings: The mean mercury concentrations in RBCs and whole blood of residents in Bandar Abbas were 17.21 and 7.7 µg/L, and for residents in Mahshahr were 44.41 and 17.217 µg/L, respectively. The means of mercury daily intake of people in Bandar Abbas and Mahshahr were obtained 0.20 and 0.53 µg/kg bw/d, respectively. Mercury daily intake in people who ate fish more than 2 meals per week was significantly higher than the other groups with lower fish consumption. The fish consumption of people, city of residence, fishermen and non-fishermen family had statistically significant effect on mercury in RBCs but the age, gender and number of dental amalgam fillings variables had no statistically significant effect on mercury in RBCs.

Discussion and Conclusion: The Comparison of blood mercury levels and mercury daily intake in subjects with established standards shows that people living in Mahshahr have high mercury exposure. As fish consumption is a major factor effect on mercury daily intake in human body, it is appears to be necessary the mercury risk assessment studies and setting the fish consumption limit for sensitive groups of the population.

Keywords: Mercury, Red Blood Cells (RBCs), Fish consumption, Mahshahr, Bandar Abbas.

1- Assistant Professor of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Siatan and Balouchestan, Iran. **(Corresponding Author)*

2- Professor of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

مقدمه

جیوه ماده‌ای فرار، ناپایدار و از عناصر سمی در محیط زیست است که به سه شکل عنصری، نمک‌های یک و دو ظرفیتی معدنی و آلی وجود دارد. این عنصر برای بدن انسان کاملاً غیر ضروری است (۱). مواجهه انسانی با ترکیبات جیوه به دلیل سمیت بالای آن به عنوان یک نگرانی عمده در سراسر جهان است. اگر چه جذب جیوه در انسان از راه‌های مختلف مانند استنشاق جیوه فلزی موجود در هوای محیط کار و منزل که ناشی از ضایعات لامپ، دماسنج، آمالگام‌دندانی و غیره، تزریق واکسن‌های حاوی تیمروزال (به‌ویژه در اطفال و کودکان) و طریق مصرف ماهی و غذاهای دریایی اتفاق می‌افتد (۲)، اما اصلی‌ترین منبع مواجهه انسان با متیل جیوه، مصرف ماهی و غذاهای دریایی آلوده است (۳). به طوری که بیش از ۹۵ درصد میزان جذب روزانه جیوه در اغلب افراد از این طریق است (۴). سمیت جیوه به اتصال جیوه‌ی متیله به گروه‌های سولفور هیدرید آنزیم‌ها، کانال‌های یونی و گیرنده‌ها وابسته است، که موجب منع سیستم‌های ضد اکسیدانی می‌شوند و در نتیجه، تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال افزایش می‌یابند (۵). متیل جیوه نیمه عمر بیولوژیکی نسبتاً طولانی (۴۴ تا ۸۰ روز) در بدن انسان دارد. فاکتورهای زیادی روی اثرات نامطلوب جیوه بر سلامت انسان مؤثرند مانند: مدت زمان مواجهه، روش مواجهه با جیوه (تنفسی، بلع و یا تماس پوستی)، غلظت، فرم شیمیایی جیوه، سن افراد (به طور کلی سیستم‌های در حال تکامل حساس‌تر هستند) و الگوی مصرف ماهی و غذاهای دریایی (۴). عمده‌ترین عوارض ناشی از مسمومیت با جیوه بروز اختلالات عصبی و کلیوی است. همچنین جیوه در بزرگسالان بیماری‌های قلبی عروقی و عصبی را به دنبال دارد (۷).

خون انسان به طور معمول به عنوان یک شاخص به منظور ارزیابی بسیاری از آلاینده‌ها از جمله جیوه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸و۹). متیل جیوه در انسان به سرعت و تقریباً به‌طور کامل جذب دستگاه گوارش می‌شود (میزان جذب شده ۹۰ تا ۱۰۰ درصد تخمین زده شده است) (۱۰). این شکل جیوه به آسانی جذب

خون می‌گردد. جیوه معدنی در خون بین پلاسما و اریتروسیت‌ها (RBCs) پخش می‌شود و البته تجمع آن بیشتر در پلاسما است. اما متیل جیوه به میزان بسیار بالایی (بیش از ۹۰ درصد) در اریتروسیت‌ها تجمع یافته و سپس در بافت‌های بدن پخش می‌گردد (۲و۳).

برطبق آمارهای سازمان شیلات ایران، سرانه مصرف ماهی در ایران با وجود پایین بودن نسبی آن در مقایسه با میانگین جهانی (۱۸/۴ کیلوگرم در سال ۲۰۱۷)، از دامنه‌نوسان زیادی در سطح کشور برخوردار است. به طوری که در استان‌های ساحلی شمال و جنوب کشور، در خانواده‌هایی که شغل آنان ماهیگیری است، مصرف بالاتر از سرانه جهانی نیز ممکن است برسد (۱۱). از طرفی خلیج فارس یکی از اصلی‌ترین منابع غذاهای دریایی در ایران می‌باشد که آلودگی‌های مختلف طبیعی، کشاورزی و صنعتی در آن افزایش یافته است (۱۲). به طوری که آب‌های خلیج فارس با ۴۷ برابر آلودگی بیشتر در مقایسه با آب‌های آزاد جهان، نام آلوده‌ترین محیط زیست آبی را به خود اختصاص داده است (۱۳). از طرفی گزارشاتی در مورد بحران جیوه در مناطق جنوبی کشور از جمله منطقه ماهشهر وجود دارد و میزان آلودگی در برخی ماهیان بالاتر از حد مجاز بوده است (۱۴). گرچه مطالعاتی در زمینه آلودگی جیوه در برخی ماهیان و صدف داران خلیج فارس انجام شده است که نشان دهنده مواجهه بالای افراد با جیوه از طریق مصرف ماهیان آلوده به جیوه در این منطقه می‌باشد، اما آن چه ضرورت این پژوهش را آشکار می‌سازد این است که بیشتر مطالعات انجام شده (به‌خصوص در ایران) تا مرحله سنجش غلظت جیوه در آب، رسوب و یا بافت‌های گونه‌های مختلف آبزیان پیش رفته‌اند و تاکنون مطالعه‌ای در مورد میزان جیوه در خون افراد و رابطه آن با میزان مصرف ماهی در ایران انجام نشده است. این مطالعه به ارزیابی فاکتورهای مؤثر بر میزان جیوه RBCs در برخی ساکنان شهرهای بندرعباس و ماهشهر می‌پردازد. همچنین

میزان جذب روزانه جیوه از طریق میزان جیوه خون محاسبه و با استانداردهای بین المللی مقایسه می گردد.

مواد و روش ها

بندر ماهشهر با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه در جنوب غربی ایران و جنوب استان خوزستان و بندر عباس با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه در جنوب ایران قرار دارند. به دلیل مصرف بالای ماهی در بین مردم سواحل جنوب کشور این شهرها انتخاب گردیدند.

جمعیت مورد مطالعه شامل ۵۳ نفر از ساکنین حاشیه خلیج فارس، شهرهای ماهشهر و بندرعباس بودند. جهت انجام این کار، با افراد صحبت شده و رضایت آن ها برای شرکت در این پژوهش کسب گردید. همچنین جهت آگاهی افراد درباره جیوه، خلاصه ای در مورد عوارض و اثرات جیوه بر روی انسان توضیح داده شد. پرسشنامه ای تنظیم گردید که حاوی سؤالاتی در مورد سن، وزن، جنسیت، شغل، نوع ماهیانی که به طور معمول مصرف می شوند، دفعات مصرف آن ها و از طرفی چگونگی وضعیت اقتصادی، اجتماعی و سابقه بیماری ها باشد. پس از تکمیل پرسشنامه توسط افراد، حدود ۵ سی سی خون وریدی از ناحیه بازو با استفاده از سرنگ گرفته و در لوله آزمایشی که حاوی ۰/۰۵ میلی لیتر ماده ضد انعقاد EDTA K3 ۱۵٪ یا هپارین می باشد، ریخته و تکان داده شد. لوله آزمایش از مواد پلی اتیلنی بوده که جاذب جیوه نمی باشد. نمونه ها بوسیله Cold Box به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه های خون در سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در ۱۲۰۰ rpm قرار داده شدند تا پلاسما و RBCs آن ها جدا شده و سپس در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند (۱۵). ۰/۵ میلی لیتر از RBCs از هر نمونه توسط پپیت برداشته شد و در یک فلاسک با حجم ۵۰ میلی لیتری که حاوی ۲ میلی لیتر $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ به نسبت (۱:۱)، و ۵ میلی لیتر H_2SO_4 و ۱ میلی لیتر $\text{Hg-Free H}_2\text{O}$ اضافه شده و مخلوط گردید و روی Hot plate در دمای ۲۳۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد. پس از سرد شدن محلول نمونه هضم شده با آب به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد (۱۶).

میزان جیوه کل در RBCs خون توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkins Elmer 4100 مجهز به سیستم بخار سرد (Cold Vapor) بر اساس روش تسوجی و همکاران (۱۷) اندازه گیری گردید. حد تشخیص دستگاه $1 \mu\text{g/L}$ و درصد بازیابی بین ۹۳/۸ تا ۱۰۲/۸ بدست آمد. از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد جیوه آلی در گلبول های قرمز خون (RBCs) تجمع می یابند (۱۸). بنابراین میزان متیل جیوه در کل خون با توجه به غلظت جیوه در RBCs و با در نظر گرفتن درصد گلبول های قرمز در حجم کل خون (۵۰٪-۳۶٪) در این مطالعه محاسبه گردید. پس از بدست آمدن داده های مربوط به میزان جیوه خون، میزان جذب روزانه متیل جیوه محاسبه گردید. میزان جذب روزانه متیل جیوه از طریق غذا از فرمول (۱) بدست می آید (۴).

$$d = \frac{C \times b \times V}{A \times f \times bw} \quad (1)$$

C: میزان جیوه در خون (میکروگرم در لیتر) ، b: ثابت سرعت حذف (۰/۰۱۴ در روز)، V: حجم خون بدن (۹٪ وزن بدن)، A: فاکتور جذب (۰/۹۵)، f: بخشی از متیل جیوه جذب شده که وارد خون می شود (۰/۰۵)، bw: وزن بدن (کیلوگرم) و d: میزان متیل جیوه جذب شده از طریق غذا (میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز)

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گردید. ابتدا نرمال بودن داده های بدست آمده با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده های جیوه از آنالیز واریانس یک طرفه (One way ANOVA) و یا T-Test و برای مقایسه میانگین ها از آزمون Tukey استفاده گردید.

نتایج

میانگین جیوه در RBCs و کل خون افراد در شهر بندرعباس به ترتیب $17/21 \mu\text{g/L}$ و $7/7 \mu\text{g/L}$ و در ماهشهر $44/41 \mu\text{g/L}$ و $19/98$ بدست آمد که در جدول ۱ نشان داده شده است. میانگین جذب روزانه جیوه افراد در شهرهای بندر عباس و ماهشهر به ترتیب $0/20$ و $0/53 \mu\text{g/kg bw/d}$ محاسبه گردید (جدول ۲). آزمون Tukey نشان داد که میزان جذب روزانه جیوه در افرادی

خانواده صیاد یا غیر صیاد ($p < 0/001$) بر روی میزان جیوه RBCs تاثیرگذار بودند؛ اما اثر سن ($p=0/6$)، جنسیت ($p=0/9$) و تعداد دندان‌های پر شده با آمالگام بر روی میزان جیوه RBCs معنی‌دار ($p=0/9$) نبود (جدول ۳).

که بیش از ۲ بار در هفته ماهی مصرف می‌کردند در مقایسه با سایر گروه‌ها با مصرف ماهی کمتر، به طور معنی داری بالاتر است (شکل ۱). نتایج آزمون ANOVA نشان داد که متغیرهای مصرف ماهی ($p < 0/001$)، شهر محل سکونت ($p < 0/001$).

جدول ۱- میانگین و محدوده غلظت جیوه ($\mu\text{g/L}$) در RBCs و کل خون در شهرهای مورد مطالعه

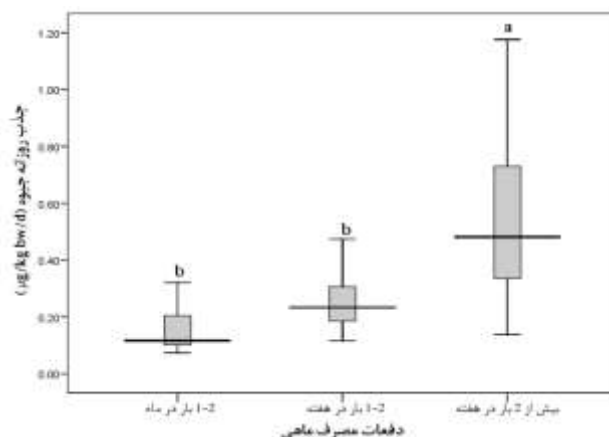
Table 1. The mean and range of mercury concentration ($\mu\text{g/L}$) in RBCs and whole blood in studied cities

شهر	مقادیر جیوه	تعداد	میانگین ($\mu\text{g/L}$)	محدوده	انحراف استاندارد (SD)	خطای استاندارد از میانگین (SE)
بندر عباس	RBCs	۲۶	۱۷/۲۱	۶/۴۲-۱۱/۰۰	۱۰/۳۰	۲/۰۲
	کل خون	۲۶	۷/۷	۲/۱۹-۷۵/۰۰	۴/۶۴	۰/۹۱
ماهشهر	RBCs	۲۷	۱۴/۴۱	۱۶/۹۸-۱/۵۱	۲۲/۴۵	۴/۳۲
	کل خون	۲۷	۱۹/۹۸	۷/۴۴-۲۹/۳۳	۱۰/۱۰	۱/۹۴

جدول ۲- میانگین جذب روزانه جیوه ($\mu\text{g/kg bw/d}$) در شهرهای مورد مطالعه

Table 2. The mean mercury daily intake ($\mu\text{g/kg bw/d}$) in studied cities

جذب روزانه جیوه		متغیرها
ماهشهر	بندر عباس	
۲۷	۲۶	تعداد
۰/۵۳	۰/۲۰	میانگین
۰/۱-۱۹/۱۸	۰/۰-۰۷/۵۰	محدوده
۰/۲۶	۰/۱۲	انحراف استاندارد (SD)
۰/۰۵	۰/۰۲	خطای استاندارد از میانگین (SE)



شکل ۱- میزان جذب روزانه جیوه و مصرف ماهی در جمعیت مورد مطالعه

Figure 1. Mercury daily intake and fish consumption in studied population

جدول ۳- نتایج آزمون ANOVA برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل با میزان جیوه RBCs

Table 3. Results of ANOVA test for survey of the relationship between independent variables and mercury concentration in RBCs

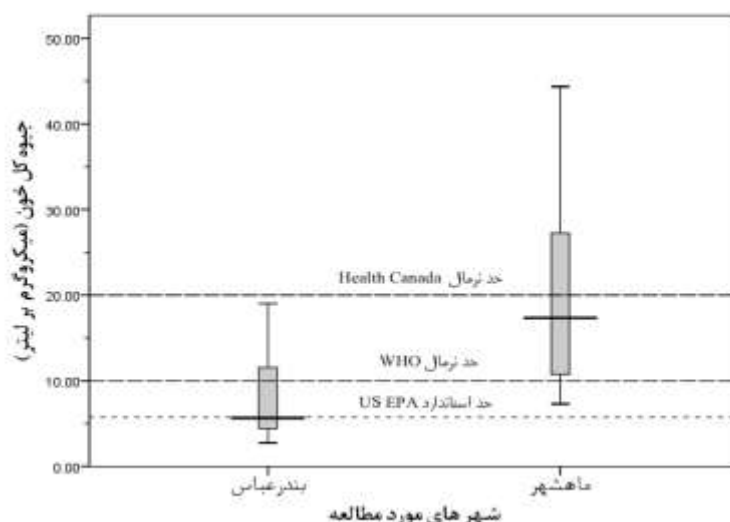
متغیر	گروه ها	تعداد	SE± میانگین جیوه RBCs	*P
سن	۱۷<	۳	۴/۲±۳۵/۲۴	۰/۶
	۱۸-۴۵	۳۲	۳/۹±۳۲/۸۰	
	۴۵>	۱۸	۵/۶±۲۷/۲۷	
جنسیت	زن	۲۶	۳/۷±۳۰/۹۶	۰/۹
	مرد	۲۷	۴/۸±۳۱/۱۶	
شهر محل سکونت	بندر عباس	۲۶	۱۷/۲±۲۱/۰	۰/۰۰۱<
	ماهشهر	۲۷	۴۴/۴±۴۱/۳	
مصرف ماهی	۱-۲ بار در ماه	۱۴	۱۲/۱±۴۸/۶	
	۱-۲ بار در هفته	۱۴	۲۳/۳±۳۰/۲	۰/۰۰۱<
	بیش از ۲ بار در هفته	۲۵	۴۵/۴±۸۲/۴	
شغل سرپرست خانواده	صیادی	۳۰	۴۲/۴±۲۹/۱	۰/۰۰۱<
	غیر صیادی	۲۳	۱۶/۱±۴۲/۷	
تعداد دندان‌های پر شده با آمالگام	۰	۲۹	۳/۸±۳۶/۰۱	
	۱-۲ دندان	۶	۱۲/۹±۳۷/۳۵	۰/۹
	۳-۴ دندان	۵	۷/۷±۳۴/۳۱	
	بیش از ۴ دندان	۳	۱۶/۴±۳۷/۶۸	

* p سطح معنی داری را نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری

مورد مطالعه (۱۲ نفر) در ماهشهر بالاتر از این مقدار بدست آمد. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که افراد خصوصاً در شهر ماهشهر مواجهه بالایی با جیوه دارند. مقایسه میزان جیوه خون در این تحقیق با مقادیر جیوه خون بدست آمده در سایر مطالعات در جدول ۴ آورده شده است. میانگین جیوه خون در افراد ساکن بندرعباس بالاتر از ساکنان هونگ کونگ چین (۲۲)، جمعیت عمومی بررسی شده در کره (۲۳) و ساکنان اسپانیا (۲۴) بدست آمد؛ در حالی که این مقدار پایین‌تر از میانگین گزارش شده برای جیوه خون که توسط سایرین انجام گرفته است (۲۵، ۲۶ و ۲۷)، می‌باشد. میانگین جیوه خون افراد در ماهشهر بالاتر از همه مطالعات گفته شده در بالا، به جز جمعیت ساکن در حاشیه رودخانه در برزیل (Dolbec و همکاران، ۲۰۰۰) بود.

در این مطالعه میانگین جیوه خون افراد در شهرهای بندرعباس و ماهشهر به ترتیب $7/7 \mu\text{g/L}$ و $19/98 \mu\text{g/L}$ بدست آمد. میزان جیوه خون در ۴۶٪ افراد مورد مطالعه در بندرعباس و در همه افراد در ماهشهر از حد استاندارد تعیین شده توسط US EPA برای جیوه خون ($5/8 \mu\text{g/L}$)، که هیچ آسیبی برای سلامت افراد در طول عمرشان ندارد، (۱۹) بالاتر بود (شکل ۲). همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، میزان جیوه خون در ۳۰٪ افراد در بندرعباس و ۷۷٪ افراد در ماهشهر از حد نرمال پیشنهاد شده توسط WHO برای جیوه خون ($10 \mu\text{g/L}$) فراتر بود (۲۰). سازمان بهداشت کانادا حد نرمال جیوه خون را $20 \mu\text{g/L}$ اعلام نموده است (۲۱). اگر چه میزان جیوه در هیچ کدام از افراد مورد مطالعه در بندرعباس از حد نرمال تعیین شده توسط سازمان بهداشت کانادا بالاتر نبود؛ اما میزان جیوه خون در ۴۴٪ افراد



شکل ۲- مقایسه میزان جیوه در شهرهای مورد مطالعه با حد استاندارد US EPA، حد نرمال WHO و Health

Canada

Figure 2. The comparison of mercury in studied cities with USEPA, WHO and Health Canada normal levels

جدول ۴- مقایسه میزان جیوه خون ساکنان شهرهای بندرعباس و ماهشهر با سایر مطالعات

Table 4. The comparison of blood mercury level in Bandar Abbas and Mahshahr residents with other studies

کشور	جمعیت مورد بررسی	میانگین جیوه کل خون ($\mu\text{g/L}$)	تعداد نمونه	منبع
ایران	ساکنان بندرعباس	۷/۷	۲۶	مطالعه حاضر
ایران	ساکنان ماهشهر	۱۹/۹۸	۲۷	مطالعه حاضر
چین	ساکنان هونگ کونگ	۲/۶۰	۱۵۱	(۲۲)
کره	جمعیت عمومی	۴/۱۵	۱۹۹۷	(۲۳)
یونان	زنان باردار	۱/۵	۵۰	(۲۴)
ایران	ساکنان تهران	۸/۴۸	۱۰۱	(۲۵)
کامبوج	جمعیت عمومی	۹/۳	۲۰	(۲۶)
برزیل	جمعیت ساکن حاشیه رودخانه	۲۷/۰	۶۷	(۲۷)

نفر)، گروه دوم افرادی با ۱-۲ بار مصرف ماهی در هفته (۱۴ نفر) و گروه سوم افرادی که بیش از ۲ بار در هفته ماهی مصرف می کردند (۲۵ نفر). نتایج آزمون Tukey نشان داد که بین میزان جذب روزانه جیوه در افرادی که بیش از ۲ بار در هفته ماهی مصرف می کردند در مقایسه با سایر گروه ها با مصرف ماهی کمتر، تفاوت معنی داری وجود دارد. از آنجایی که اصلی ترین عامل مواجهه انسان با متیل جیوه مصرف ماهی و غذاهای دریایی آلوده است (۳)، بنابراین می توان نتیجه گرفت که افراد در این شهرها از طریق مصرف ماهی در معرض مواجهه با جیوه قرار دارند. اگر چه میزان جیوه در ماهیان در این تحقیق بررسی نشده؛ اما آلودگی ماهیان به جیوه می تواند عامل اصلی در افزایش میزان جیوه خون در افراد باشد.

در این تحقیق افراد به ۳ گروه سنی طبقه بندی شدند (جدول ۳). اثر سن بر روی میزان جیوه RBCs افراد معنی دار نبود ($p=0/6$). این نتیجه مشابه نتایج بدست آمده در مطالعات گذشته که تأثیر سن را روی میزان جیوه خون بررسی نمودند (۲۲ و ۲۹) و بر خلاف نتایج فرانسویس و همکاران (۳۰) و همچنین بویسچیو و هنتشل (۳۱) است. افراد شرکت کننده در این تحقیق شامل ۲۶ زن و ۲۷ مرد بودند. میزان جیوه RBCs در زنان

میانگین جذب روزانه جیوه افراد در شهرهای بندر عباس و ماهشهر به ترتیب $0/20$ و $0/53 \mu\text{g/kg bw/d}$ محاسبه گردید. کمیته مشترک FAO و WHO (JECFA) حد مجاز جذب روزانه جیوه را برای زنان در سن باروری $0/2 \mu\text{g/kg bw/d}$ و برای سایر جمعیت عمومی $0/47 \mu\text{g/kg bw/d}$ تعیین نموده است (۲۸). گر چه میانگین جذب روزانه جیوه افراد در شهر بندرعباس پایین تر از حدود تعیین شده توسط JECFA بدست آمد، اما در ۲۳٪ از افراد (۶ زن) این مقدار از حد تعیین شده برای زنان در سن باروری فراتر رفته بود. میانگین جذب روزانه جیوه در افراد ساکن ماهشهر بالاتر از حدود تعیین شده توسط JECFA برای جذب روزانه جیوه بود؛ به طوری که میزان جذب روزانه جیوه ۶ مرد و ۱۳ زن به ترتیب از مقدار $0/47 \mu\text{g/kg bw/d}$ بالاتر بدست آمد. با توجه به الگوی مشابه مصرف ماهی در بین ساکنان شهرهای بندرعباس و ماهشهر، علت بالاتر بودن میزان جذب روزانه جیوه افراد در ماهشهر می تواند به خاطر تفاوت در نوع ماهیان مصرفی و آلودگی جیوه بیش تر آن ها در مقایسه با ماهیان مصرفی در بندرعباس باشد.

افراد از لحاظ دفعات مصرف ماهی به ۳ گروه تقسیم شدند. گروه اول افرادی که یک یا دو بار در ماه مصرف ماهی داشتند (۱۴

orientalis) صید شده از خلیج فارس با $5/61 \mu\text{g/g}$ ، بیش-ترین میزان جیوه را در مقایسه با برخی ماهیان دریای خزر و تالاب انزلی داشت که محدودیت شدید مصرف برای زنان باردار و گروه‌های حساس ایجاد می‌نمود.

میانگین جیوه RBCs افراد در خانواده صیاد $42/4 \pm 29/1 \mu\text{g/L}$ و در خانواده‌هایی که شغل سرپرست شان غیر صیادی بود $16/1 \pm 42/7 \mu\text{g/L}$ بدست آمد. همچنین تفاوت معنی داری میان این دو گروه از لحاظ میزان جیوه RBCs وجود داشت ($p < 0/001$). از آنجایی که خانواده‌های صیاد در مقایسه با سایر خانواده‌ها مصرف ماهی بالاتری در هفته داشتند (بر طبق اطلاعات کسب شده از پرسش‌نامه‌ها)، بنابراین تفاوت در میزان جیوه RBCs در بین خانواده‌های صیاد و غیر صیاد می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان مصرف ماهی آنها باشد و چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نیست. از نظر تعداد دندان‌های پر شده با آمالگام افراد در ۴ گروه قرار داده شدند. نتایج آزمون ANOVA نشان داد که تعداد دندان‌های پر شده با آمالگام تاثیر معنی دار آماری ($p = 0/9$) روی میزان جیوه RBCs افراد مورد مطالعه ندارد. افرادی که هیچ دندان پر شده با آمالگام نداشتند در مقایسه با سایر گروه‌ها تعدادشان بیش‌تر بود (۲۹ نفر) و میانگین جیوه RBCs آن‌ها $36/01 \pm 3/8 \mu\text{g/L}$ بدست آمد. در حالی که میانگین جیوه RBCs در افرادی که ۳-۴ دندان پر شده با آمالگام داشتند (۵ نفر) $34/31 \pm 7/7 \mu\text{g/L}$ بود. بنابراین می‌توان این نتیجه را گرفت که تعداد دندان‌های پر شده با آمالگام عامل مؤثر در افزایش جیوه RBCs نمی‌باشد. میچالاک و همکاران (۳۶) نیز مشابه نتایج ما بدست آوردند. آن‌ها گزارش نمودند میزان جیوه در افرادی که آمالگام دندان‌ی داشتند ($0/201 \mu\text{g/g}$) مشابه افرادی بود که آمالگام دندان‌ی نداشتند ($0/191 \mu\text{g/g}$). جیوه موجود در آمالگام دندان‌ی از نوع جیوه معدنی است که گلبول‌های سفید خون به آن حساس هستند (۳۷) و در این تحقیق میزان جیوه در RBCs که در نتیجه مصرف ماهی که از نوع جیوه آلی می‌باشد، اندازه‌گیری شده است. بنابراین نتیجه بدست آمده دور از انتظار نیست.

$30/96 \pm 3/7 \mu\text{g/L}$ و برای مردان $31/16 \pm 4/8 \mu\text{g/L}$ بدست آمد. تفاوت معنی داری بین میزان جیوه RBCs با توجه به جنسیت افراد دیده نشد ($p = 0/9$). این نشان می‌دهد که جنسیت فاکتور تاثیر گذار روی میزان جیوه RBCs نیست.

تفاوت معنی داری ($p < 0/001$) بین میزان جذب روزانه جیوه افراد در شهرهای بندر عباس و ماهشهر دیده شد. با توجه به اطلاعات بدست آمده از پرسش‌نامه مردم در این شهرها دفعات مصرف ماهی مشابهی دارند. بنابراین علت این تفاوت می‌تواند ناشی از نوع ماهیان مصرفی و همین‌طور تفاوت در میزان جیوه در ماهیان مختلف این مناطق باشد. مجتمع پتروشیمی بندر امام به عنوان بزرگ‌ترین پتروشیمی ایران در منطقه اقتصادی ماهشهر و در کنار خور موسی در حال فعالیت است. این مجتمع دارای بخش‌ها و واحدهای مختلفی از قبیل خط واحد کلرآلکالی است که از جیوه به عنوان کاتالیزور استفاده می‌نماید. از آنجایی که سیستم تصفیه فاضلاب آن‌ها کارایی لازم را ندارد، طی فرایندهای گوناگون شیمیایی، مواد آلاینده مختلف از جمله جیوه را وارد محیط زیست می‌نماید و باعث آلودگی زیاد آن می‌گردد (۳۲).

یکی دیگر از فاکتور مؤثر بر روی میزان جیوه RBCs میزان مصرف ماهی بود ($p < 0/001$). در این مطالعه افراد ساکن شهرهای جنوبی کشور انتخاب شدند که مصرف ماهی بالایی دارند و از طرفی میزان مصرف ماهی مهم‌ترین عامل جذب جیوه در بدن انسان می‌باشد. با افزایش میزان مصرف ماهی میزان جیوه خون افزایش می‌یابد (۲۲). همبستگی مثبت و معنی داری بین دفعات مصرف ماهی با جیوه کل و متیل جیوه در کل خون و RBCs دیده شده است (۱۶ و ۳۳). همچنین گزارش شده که متیل جیوه در نتیجه مصرف ماهی به طور خاص در گلبول‌های قرمز تجمع یافته و ذخیره می‌گردد (۳۴). گرچه در این مطالعه میزان جیوه در ماهیان مصرفی این شهرها گزارش نشده است، اما گزارشاتی در مورد بحران جیوه در مناطق جنوبی کشور از جمله منطقه ماهشهر وجود دارد و میزان آلودگی در برخی ماهیان بالاتر از حد مجاز بوده است (۳۵). در مطالعه اسماعیلی-ساری و همکاران (۱) کفشک ماهی (*Euryglossa*)

- regional screening level (RSL) summary table: Nov 2011. <http://www.epa.gov/regshwmd/risk/human/Index.html>lastupdate. Accessed 06 Dec 2011
5. Basta, P. C., de Vasconcellos, A. C. S., Hallwass, G., Yokota, D., Pinto, D. D. O. D. E. R., de Aguiar, D. S., ... & Oliveira-da-Costa, M. (2023). Risk Assessment of Mercury-Contaminated Fish Consumption in the Brazilian Amazon: An Ecological Study. *Toxics*, 11(9), 800.
 6. FAO/WHO (2007). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Methylmercury, WHO Food Additives Series, 58, 269-315.
 7. Mufakhir, F. R., Yoga, G. P., Darusman, T., Lestari, D. P., Arriyadi, D., Utami, R. R., ... & Prasetya, H. (2024). Mercury risk assessment scenarios: exposure from fish dietary behaviors of Katingan River Basin community. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-17.
 8. Fukata, H., Omori, M., Osada, H., Todaka, E., Mori, C. (2005). Necessity to measure PCBs and organochlorine pesticide concentrations in human umbilical cords for fetal exposure assessment, *Environmental Health Perspectives*, 113, 297-303.
 9. Vasconcellos, A. C. S. D., Hallwass, G., Bezerra, J. G., Aciole, A. N. S., Meneses, H. N. D. M., Lima, M. D. O., ... & Basta, P. C. (2021). Health risk assessment of mercury exposure from fish consumption in Mundurucu indigenous communities in the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 7940.
 10. WHO., 2013. Mercury and health (Fact sheet No. 361). Geneva: WHO, 2013 [Internet]. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/en/> [accessed 11 October 2013].
- مقایسه مقادیر بدست آمده جیوه خون و جذب روزانه آن در افراد مورد مطالعه با استانداردهای تعیین شده نشان می دهد که افراد ساکن ماهشهر مواجهه بالایی با جیوه دارند که دلیل آن می تواند در نتیجه مصرف ماهیان آلوده به جیوه در این منطقه باشد و نشان دهندهی حضور فعال منابع ورود جیوه به این بندر مهم اقتصادی خلیج فارس است. در نتیجه لازم است با ایجاد و نظارت و اعمال استانداردهای محیط زیستی، از ورود آلایندههای منتشره به محیط های آبی دریایی بدون تصفیه اولیه مناسب جلوگیری نمود. همچنین میزان جذب روزانه جیوه در برخی زنان شهر بندرعباس نیز از حد تعیین شده JECFA برای زنان در سن باروری بالاتر بود. بنابراین با توجه به خطرهای احتمالی ناشی از آلودگی و سمیت فوق العاده جیوه، خصوصاً در خانواده های صیاد که مصرف ماهی بیش تری دارند، مطالعات دقیق ارزیابی ریسک جیوه و پایش جیوه در ماهیان مصرفی این مناطق و تعیین حدود مجاز مصرف ماهیان برای گروه های حساس جمعیت ضروری به نظر می رسد و نیازمند نظارت بیش تری است.
- ### References
1. Ferreira, W. Q., da Fonseca Alves, B. S., & Dantas, K. D. G. F. (2023). Health risk assessment attributed the consumption of fish and seafood in Belém, Pará, Brazil. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 6, 100103.
 2. Wu, Y. S., Osman, A. I., Hosny, M., Elgarahy, A. M., Eltaweil, A. S., Rooney, D. W., ... & Yap, P. S. (2024). The Toxicity of Mercury and Its Chemical Compounds: Molecular Mechanisms and Environmental and Human Health Implications: A Comprehensive Review. *ACS omega*.
 3. EFSA (European Food Safety Authority), 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food, *EFSA Journal*, 10(12), 2985. 241pp.
 4. US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2011) USEPA

18. Clarkson, T.W., Friberg, L., Hursh, J.B., Nylander, M. (1988). The prediction of intake of mercury vapor from amalgams. In Clarkson TW, Friberg L, Nordberg GF, Sager PR, editors, Biological monitoring of toxic metals, New York NY: Plenum Press 247-264.
19. National Research Council. (2000). Committee on the toxicological effects of methylmercury, in toxicological effects of methylmercury; National Academy Press: Washington, DC, USA 2000.
20. UNIDO (United Nations Industrial Development Organization). (2003b). Removal of barriers to introduction of cleaner artisanal gold mining and extraction technologies, http://www.cetem.gov.br/gmp/GMP_News/GMP_News_January_2003.pdf.
21. Health Canada. Human Health Risk Assessment of Mercury in Fish and Health Benefits of Fish Consumption. Ottawa, ON: Health Canada, 2007. Available at: www.hc-sc.gc.ca/fn-an/pubs/mercur/merc_fish_poisson_e.html (Accessed March 19, 2008).
22. Liang, P., Qin, Y.Y., Zhang, C., Zhang, J., Cao, Y., Wu, S.C., Wong, C.K.C., Wong, M.H. (2013). Plasma mercury levels in Hong Kong residents: In relation to fish consumption, Science of the Total Environment, 463–464, 1225–1229.
23. Kim, N.S., Lee, B.K. (2011). National estimates of blood lead, cadmium, and mercury levels in the Korean general adult population, International Archives of Occupational and Environmental Health, 84, 53–63.
24. Castaño, A., Pedraza-Díaz, S., Cañas, A. I., Pérez-Gómez, B., Ramos, J. J., Bartolomé, M., ... & Esteban, M. (2019). Mercury levels in blood, urine and hair in a nation-wide sample of Spanish
11. FAO., (2020). The state of world fisheries and aquaculture, Rome, Italy.
12. Agah, H., Leermakers, M., Elskens, M., Fatemi, M., Baeyens, W. (2007). Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Persian Gulf and the Caspian Sea, Water Air and Soil Pollution, 181, 95–105.
13. Najafi Asfand, M., Darabinia, M. (2012). Evaluation of Oil Pollution Process despite International Conventions for its Prevention and Removing, Journal of Mazandaran University Medical Science, 22(Supple 1), 94-101. (In Persian)
14. Soleimani, M. (2012). Mercury pollution in the coastal water of Mahshahr city. The 6th national conference and exhibition on environmental engineering, 17- 21 November 2012, Thehan University, Tehran, Iran. (In Persian)
15. Yaginuma-Sakuria, K., Murata, K., Iwai-Shimada, M., Nakai, K., Kurokawa, N., Tatsuta, N., Satoh, H. (2012). Hair-to-blood ratio and biological half-life of mercury: experimental study of methylmercury exposure through fish consumption in humans, The Journal of Toxicological Science, 37(1), 123-130.
16. Gao, Z. Y., Li, M. M., Wang, J., Yan, J., Zhou, C. C., & Yan, C. H. (2018). Blood mercury concentration, fish consumption and anthropometry in Chinese children: A national study. Environment international, 110, 14-21.
17. Tsuji, M., Ando, T., Kitano, T., Wakamiya, J., Koriyama, C., Akiba, S. (2012). Relationship between RBC mercury levels and serum n3 polyunsaturated fatty acid concentrations among Japanese men and women, Journal of Environmental and Public Health, (1), 1-6.

32. Okati, N., & Esmaili-Sari, A. (2018). Determination of mercury daily intake and hair-to-blood mercury concentration ratio in people resident of the coast of the Persian Gulf, Iran. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 74, 140-153.
33. Mahaffey, K.R., Clickner, R.P., Jeffries, R.A. (2009). Adult women's blood mercury concentrations vary regionally in the United States: association with patterns of fish consumption (NHANES 1999–2004), *Environmental Health Perspectives*, 117, 47–53.
34. Singh, K., Blechinger, S., Pelletier, L., Karthikeyan, S., St-Amand, A., Liberda, E. N., & Chan, H. M. (2023). Characterizing variability in total mercury hair: blood ratio in the general Canadian population. *Environmental Research*, 224, 115491.
35. Okati, N., & Esmaili-Sari, A. (2018). Hair mercury and risk assessment for consumption of contaminated seafood in residents from the coast of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 639-657.
36. Michalak, I., Chojnacka, K., Saeid, A., Mikulewicz, M. (2014). Research on mercury levels in scalp hair, *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(3).
37. Pınar, G. Ü. L., KARATAŞ, Ö., SAĞSÖZ, Ö., AŞKIN, S., Turkeri, O., & Kiziltunc, A. (2023). Release of mercury from amalgam filling and its relationship with metallothionein and superoxide dismutase. *European Oral Research*, 57(1), 16-21.
- adults. *Science of the total environment*, 670, 262-270.
25. Farzin, L., Amiri, M., Shams, H., Faghih, M.A.A., Moassesi, M.E. (2008). Blood levels of lead, cadmium, and mercury in residents of Tehran, *Biological Trace Element Research*, 123, 14–26.
26. Agusa, T., Kunito, T., Sudaryanto, A., Monirith, I., Kan-Atireklap, S., Iwata, H., et al. (2007). Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia, *Environmental Pollution*, 145, 766–77.
27. Dolbec, J., Mergler, D., Passos, C.J.S., de Moraes, S.S., Lebel, J. (2000). Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajos River, Brazilian Amazon, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73, 195–203.
28. JECFA, (2021). Report of the 35th Session of the Codex Committee on Fish and Fishery Products. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentarius. Rome, Italy.
29. Kosatsky, T., Przybysz, R., Armstrong, B. (2000). Mercury exposure in Montrealers who eat St. Lawrence River sportfish, *Environmental Research*, 84, 36–43.
30. Francis, P.C., Birge, W.J., Roberts, B.L., Black, J.A. (1982). Mercury content of human hair: a survey of dental personnel, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 10 (4-5), 667-72.
31. Boischio, A.A.P., Henshel, D.S. (2000). Linear regression models of methylmercury exposure during prenatal and early postnatal life among riverside people along the upper Madeira River, Amazon, *Environmental research*, 83(2), 150-61.