نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳
ص ۱۳-۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۵

مقدار فلزات سنگین در عضلهٔ میگوی سفید هندی (*Fennerpenaeus indicus*)

❖ **هادی پورباقر*:** استادیار، گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج صندوق پستی ۴۱۱۱، ایران
❖ **سیدولی حسینی:** استادیار، گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج صندوق پستی ۴۱۱۱، ایران
❖ **نعمت‌الله خراسانی:** استاد، گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج صندوق پستی ۴۱۱۱، ایران
❖ **سیدمهدی حسینی:** دانشجوی دکترا، گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
❖ **پریسا دلفیه:** کارشناس ارشد، گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

چکیده

با توجه به اهمیت بررسی آلودگی‌های مربوط به فلزات سنگین در آبزیان خوراکی به علت احتمال تجمع این فلزات، همچنین به‌منزلهٔ شاخصی از آلودگی آب‌ها، تعداد ۳۰ عدد میگوی سفید هندی از آب‌های نواحی بندر ماهشهر (آبان ۱۳۸۹) صید و از منظر میزان برخی از فلزات سنگین آنالیز شدند. نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان داد که میانگین مقدار کادمیوم، کروم، مس، آهن، جیوه، منگنز، نیکل، سرب و روی در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی به ترتیب ۰/۰۷۹، ۰/۱۳۹، ۳/۶۹، ۳/۳۴، ۰/۴۱۳، ۰/۱۴۶، ۰/۱۲۹، ۰/۷۲۴ و ۶/۴۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک (جیوه بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر اندازه‌گیری شد) بوده است و فلز روی و کادمیوم به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در بین میگوهای تحت بررسی دارند. مقایسهٔ نتایج با حد مجاز تعیین‌شدهٔ سازمان بهداشت جهانی (WHO) در خصوص فلزات سنگین در آبزیان نشان داد که به جز نیکل، تمامی فلزات تحت بررسی کمتر از حد مجاز تعیین‌شده‌اند، اما با توجه به آنکه برخی از فلزات سنگین بسیار خطرناک برای سلامت مصرف‌کنندگان (مانند جیوه) نزدیک به حد مجاز اعلام شده‌اند، به منظور ارزیابی دقیق‌تر مخاطرات ناشی از ورود بیش از حد چنین فلزاتی به بدن مصرف‌کننده، باید سایر منابع دریافت و تعداد دفعات مصرف گونهٔ مذکور نیز بررسی شود.

واژگان کلیدی: آلودگی، حد مجاز، خلیج فارس، فلزات سنگین، میگوی سفید هندی *Fennerpenaeus indicus*.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴
Email: poorbagher@ut.ac.ir

۱. مقدمه

آلودگی‌های خلیج فارس عمدتاً ناشی از فعالیت‌های نادرست در استخراج، فرآوری و حمل‌ونقل مواد نفتی همچنین، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی در درون و حوضه‌های آبریز اطراف آن است (Hosseinkhezri and Tashkhourian, 2011). تحقیقات نشان می‌دهد که بیشتر این آلاینده‌ها، پس از ورود به منابع آبی، منجر به تغییراتی شگرف در اکوسیستم آنها می‌شوند (Dumont, 1998). در میان این آلاینده‌ها، فلزات سنگین به علت پایداری در چرخه‌های بیولوژیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. هر چند برخی از فلزات سنگین مانند مس، روی، آهن و منگنز با غلظت کم در چرخه‌های بیولوژیکی آبزیان ضروری‌اند، اما عناصری مانند کادمیوم، جیوه یا سرب کاملاً برای آبزیان سمی‌اند (Canli *et al.*, 2003). مطالعات توکسیکولوژیکی مرتبط با آبزیان نشان می‌دهد که تخلیهٔ فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی موجب کاهشِ تنوع زیستی، رشد و میزان هماوری در آنها می‌شود و در خصوص آبزیان خوراکی، علاوه بر موارد برشمرده، موجب بروز مخاطراتی برای مصرف‌کنندگانِ آنها نیز می‌شود (Golovanova, 2008). فلزات سنگین به طور طبیعی در سطوح مختلف زمین و آب‌های سطحی یافت می‌شوند؛ اگر میزان این فلزات کمی بیشتر از میزان طبیعی شود، با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیریِ ضعیف و قابلیت تجمع زیستی[1] در بدن موجودات زنده، به سرعت تبدیل به آلاینده‌ای سمی می‌شوند. از طرف دیگر، فلزات سنگین به دلایل برشمرده مهم‌ترین شکل آلودگی در محیط‌های آبی محسوب می‌شوند (UNEP, 1999)، زیرا آنها آلاینده‌های پایداری‌اند که، برخلاف برخی از ترکیبات آلی، از طریق فرایندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند. از نتایج مهم پایداری فلزات سنگین وسعت زیستی زیاد در زنجیرهٔ غذایی است؛ به طوری که، در نتیجهٔ این فرایند مقدار آنها در زنجیرهٔ غذایی ممکن است تا چندین برابر مقدار آنها در آب یا هوا افزایش یابد (Shariari, 2005). از طرف دیگر، در دهه‌های اخیر مصرف آبزیان هم به علت افزایش جمعیت و هم به علت رویکرد عمومی به مصرف غذاهای حاصل از منابع آبزی، در پی آشکارشدن اهمیت طبی و نقش آنها در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌های صعب‌العلاج، در حال افزایش است (Simopoulos, 1997). در این میان، میگوها به علت قرارگرفتن در بالای زنجیرهٔ غذایی[2] و همچنین، جایگاه زیست‌شان[3] از نظر احتمال جذب (تجمع) فلزات سنگین بر اساس ویژگی بزرگ‌نمایی زیستی بیشتر مورد توجه‌اند، زیرا آگاهی از سطح فلزات سنگین موجود در آنها و تعیین میزان مصرف‌شان می‌تواند در حفظ سلامت جامعهٔ مصرف‌کنندگان این آبزیان ارزشمند، بسیار کمک‌کننده باشد. با این رویکرد، پژوهش حاضر سنجش نُه فلز سنگین (جیوه Hg، کادمیوم Cd، کروم Cr، مس Cu، سرب Pb، منگنز Mn، روی Zn، نیکل Ni و آهن Fe) را در میگوی سفید هندی (*Fennerpenaeus indicus*)، به‌منزلهٔ یکی از مهم‌ترین میگوهای جنوب کشور، بررسی کرده است.

1. bioaccumulation

۲. به سبب رژیم غذایی گوشت‌خواری‌شان.

۳. میگوها آبزیانی بسترزی‌اند (بستر منابع آبی محل تجمع بیشتر آلودگی‌ها در محیط‌های آبی است).

تاکنون در خصوص میزان تجمع فلزات سنگین در ماهیان خلیج فارس مطالعات چندی انجام شده است که می‌توان به پـژوهش Ghanemi and Pourreza (2009) دربـارهٔ مـاهی بیـاح (*Liza abu*, Mugilidae) و بنّـی (*Barbus sharpie*, Cyprinidae)، Shahriari (2005) دربـارهٔ شـوریده (*Otolithes rubber*, Sciaenidae) و سورخو (*Lutjanus lutjanus*, Lutjanidae)، Hashim *et al.* (1996) دربـارهٔ مـاهی هـامور (*Epinephelus coioides*)، و تحقیقات Agah *et al.* (2010) دربارهٔ پنج گونه از ماهیان با مهاجرت کم در خلـیج فـارس شـامل سنگـسر (*Pomadasys* sp., Haemulidae)، مـاهی زمـین‌کـن (*Platycephalus* sp., Platycephalidae)، هامور (*Epinephelus tauvina*, Serranidae)، شـوریده (*Otolithes rubber*, Sciaenidae) و حلـوا سـفید (*Pampus argenteus*, Stromateidae) اشاره کرد، امـا پژوهش‌های اندکی در خصوص بررسی میـزان فلـزات سنگین در میگوهای خلیج فـارس (Kureishy, 1993; and Amini, 2001; Pourang Sadiq *et al.*, 1995; Pourang *et al.*, 2005) انجام شده است. نظر به آنکـه بستر منابعِ آبی عمـده‌تـرین پذیرنـدهٔ آلـودگی اسـت، می‌توان در نظر گرفت کـه میگـوی سـفید هنـدی بـا آلودگی درخور ملاحظه‌ای طی حیـات خـود مواجـه است و از این‌رو بـه نظـر مـی‌رسـد، بـرای مطالعـات مربوط به پایش خلیج فارس، گونه‌ای مناسب باشد. از طرف دیگر، با توجـه بـه اینکـه ایـن آبـزی از ارزش غذایی و تجاری نسبتاً بالایی برخـوردار اسـت، لـزوم بررسی میزان فلزات سنگین و آگاهی از مقدار آنها بـه منظور کاهش مخاطرات ناشی از مـصرف ایـن آبـزی ارزشمند الزامی است. از این‌رو، نتایج پژوهش حاضر مـی‌توانـد از دیـدگاه سـلامت و امنیـت غـذایی مصرف‌کننده نیز حائز اهمیت باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲ .۱. تهیه و آماده‌سازی نمونه

در این تحقیق نمونه‌های میگوی سـفید هنـدی مـورد نیاز از صید روزانهٔ صیادان بندر ماهشهر (شکل ۱) در آبان ۱۳۸۹ تهیه شدند. نمونه‌گیری به صورت تصادفی از بین میگوهای صیدشـده و آمـادهٔ عرضـه بـه بـازار صورت گرفت. در ایـن تحقیـق از ۳۰ میگـو بـا وزن تقریبـی ۱۸ گـرم اسـتفاده شـد. نمونـه‌هـا پـس از شست‌وشو درون کیسهٔ پلاستیکی و داخل جعبه‌هـای یونولیت حاوی یخ پودرشده (بـه صـورت لایـه‌هـای متناوبی از یخ و میگـو بـا نـسبت ۳ بـه ۱) نگهـداری شدند و در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه شیلات دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل و تا قبل از مراحل آزمایشگاهی در دمای ۲۰- درجهٔ سـانتی‌گـراد قرار داده شدند.

قبل از کالبدشکافی و آماده‌سـازی، نمونـه‌هـا بـه مدت تقریبی ۵ سـاعت در یخچـال (دمـای ۴ درجـهٔ سانتی‌گراد) قرار داده شـدند تـا رفـع انجمـاد شـوند. سپس، نمونه‌ها بـا آب مقطـر سـرد شـست‌وشـو داده شدند تا پوشش لـزج و ذرات خـارجی جـذب‌کننـدهٔ فلزات از سطح بدن آنهـا دفـع شـوند؛ آنگـاه پوسـتهٔ (اسکلت خارجی) ناحیهٔ شکمیِ میگوهـا بـه صـورت دستی جدا شد و عضلات شکمی هر کدام از میگوهـا به طور جداگانه در دمـای ۶۵ درجـهٔ سـانتی‌گـراد تـا رسیدن به وزن ثابت خشک شد؛ سـپس، هـر یـک از نمونه‌های خشک‌شده در هاون چینی به صورت پودر درآمد و برای اندازه‌گیـری‌هـای مربـوط بـه سـنجش

میزان فلزات سنگین استفاده شد (سنجش جیوه Hg، در نمونه‌های تَر انجام گرفت). همهٔ ظروف استفاده‌شده نیز پس از انجام هر آنالیز با اسید نیتریک ۵٪ سپس، به ترتیب با آب معمولی و آب دیونیزه (دو دفعه) شست‌وشو شدند.

۲ .۲. سنجش فلزات سنگین

برای سنجش فلزات سنگین از روش هضم اسیدی (هضم نمونه‌ها به کمک اسید نیتریک غلیظ) استفاده شد (Türkmen, 2008). طبق روش، به هر گرم از نمونهٔ خشک‌شده مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شد و روی حمام آبی با حرارت ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تا نزدیک خشک‌شدن قرار داده شد. بعد از سردشدن به آن ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱۰٪ اضافه شد و پس از عبور از کاغذ صافی (Watman 42)، با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم نهایی ۲۵ میلی‌لیتر رسید. نمونه‌های شاهد طبق مراحل شرح داده‌شده تهیه شدند. در این تحقیق برای اندازه‌گیری Cd، Cr، Cu، Fe، Mn، Ni، Pb و Zn از دستگاه ICP-OES[1] (Optima 2100DV, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA) و به منظور اندازه‌گیری جیوه از تکنیک بخار سرد (cold vapor technique) با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (CV-AAS)[2] و از محلول احیاکنندهٔ $SnCl_2$ استفاده شد.

به منظور تأیید صحت روش کار و اطمینان از روش استخراج فلزات سنگین از نمونه‌های میگو، از روش افزودن استاندارد standard addition و درصد بازیابی recovery percentage فلزات استفاده شد. در این تحقیق ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد فلزات مورد بررسی با دو غلظت متفاوت (بر حسب پی‌پی‌ام) تهیه و به نمونهٔ مورد آزمایش اضافه شد. شایان ذکر است که دو نمونه به صورت مشابه و در شرایط یکسان تهیه شدند و فقط به یکی از آنها محلول استاندارد اضافه شد؛ آنگاه غلظت هر کدام جداگانه تعیین و درصد بازیابی فلزات از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

$$R= ۱۰۰ (A_۲ - A_۱)/As$$

در این فرمول R= درصد بازیابی، $A_۱$= غلظت نمونهٔ بدون استاندارد (mg/L)، $A_۲$= غلظت نمونهٔ حاوی استاندارد (mg/L) و As= غلظت محلول استاندارد (mg/L) است.

نتایج افزایش استاندارد به نمونه‌های میگو و درصد بازیابی فلزات سنگین (۱۰۳-۹۳/۳) نشان داد که روش مورد استفاده برای تعیین فلزات سنگین مورد نظر از اطمینان کافی برخوردار است.

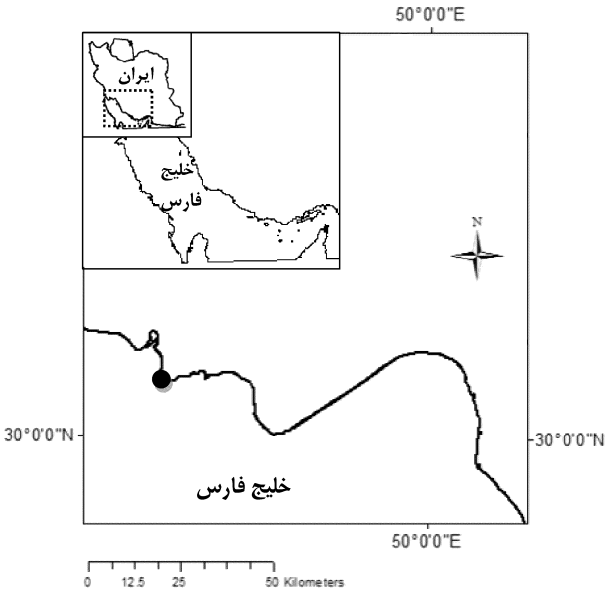
۳.۲. آنالیز آماری

نخست، داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نرمال‌سنجی شدند. پس از آن نتایج با معیارهای استاندارد پیشنهادی سازمان‌های معتبر جهانی، نظیر WHO، مقایسه شدند (با آزمون one-sample t test). از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۶ برای آنالیز آماری داده‌ها استفاده شده است.

---

1. inductively coupled plasma-optical emission spectrometry; ***ICP-OES***

۲. مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها برای سنجش جیوه مطابق دستورالعمل پیشنهادیِ کارخانهٔ سازندهٔ دستگاه صورت گرفت.



شکل ۱. موقیت تقریبی محل نمونه‌برداری در حوالی بندر ماهشهر به‌منزلهٔ محل تهیهٔ نمونه‌های میگوی سفید هندی

۳. نتیجه‌گیری

تحقیقات گذشته (PourangMéndez *et al.*, 1997; *et al.*, 2005Pourangand Amini, 2001;) نشان داده است که میزان تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گوناگون بدن میگو متفاوت است و اصولاً فلزات مختلف در اندام خاصی از بدن، که معمولاً از شدت فعالیت‌های متابولیکی بالاتری برخوردار است، بیش از سایر اندام‌ها تجمع می‌یابند، اما نظر به اینکه در میگوها بافت عضلات بخش شکمی نقش مهمی در تغذیهٔ انسانی دارد، لزوم بررسی غلظت آلاینده‌ها و اطمینان از سالم‌بودن این قسمت از میگو بیشتر مورد توجه است. از همین‌رو در پژوهش حاضر بافت خوراکی (عضله) میگوی سفید هندی بررسی شده است.

در پژوهش حاضر، میانگین غلظت کادمیوم، کروم، مس، آهن، جیوه، منگنز، نیکل، سرب و روی در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی به ترتیب ۰/۴۰۵، ۰/۶۹۴، ۱۸/۹، ۱۷/۱، ۰/۴۱۳، ۰/۷۴۸، ۰/۶۶۳، ۳/۷۱ و ۳۳/۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک[1] اندازه‌گیری شدند. نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که فلزهای روی و کادمیوم به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت (مقدار) را در میگوهای تحت بررسی دارند (جدول ۱).

هر چند مقادیر فلز روی اندازه‌گیری‌شده در بافت خوراکی میگوی سفید هندی بالاتر از سایر عناصر تحت بررسی بود، اما در مقایسه با میگوهایی مانند ببری سبز Penaeus merguinsis (Pourang *et al.*, 2005) و میگوی پاسفید Metapenaeus affinis (Pourang and Amini, 2002) کمتر بود. جدول ۳ غلظت فلزات سنگین از جمله فلز روی را در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی با سایر میگوهای خلیج فارس به طور مقایسه‌ای نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، بین مقادیر روی اندازه‌گیری‌شده اختلافاتی فاحش وجود دارد. وجود برخی از این تفاوت‌ها در غلظت عنصر روی احتمالاً می‌تواند به منطقهٔ زیست نمونه‌ها، اندازه، سن، جنسیت، گونهٔ مورد بررسی و تا حدودی نیز به روش‌های متفاوت هضم شیمیایی نمونه‌ها مربوط باشد. از طرف دیگر، متوسط غلظت فلز مس در بافت عضلهٔ نمونه‌های تحت بررسی ۱۸/۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شد. در مطالعهٔ Amini and Pourang (2001) که دربارهٔ بافت عضلهٔ میگوی ببری سبز و پاسفید انجام گرفت، مقدار این فلز به ترتیب ۱۷/۹ و ۱۷/۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد[2]. این

۱. مقدار جیوه بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر اندازه‌گیری شد.

۲. محل نمونه‌برداری ناحیهٔ شمال غربی خلیج فارس.

تفاوت ناچیز نیز می‌تواند به عوامل برشمرده مربوط باشد. از طرف دیگر، بر اساس مطالعات انجام‌شده مشخص شد که محدودهٔ غلظت فلزات روی و مس در میگوهای خلیج فارس به ترتیب ۴۷/۳-۱۳/۵ و ۲۰/۳-۲/۴۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک است (جدول ۳). با توجه به این نکته، مشخص شد که نتایج پژوهش حاضر دور از انتظار نیست و در محدودهٔ تعیین‌شده قرار دارد.

سرب علاوه بر اینکه به مقدار جزئی و به طور طبیعی در محیط زیست یافت می‌شود، یکی از ترکیبات مهم نفت است که حضور مقادیر بیش از حد آن در منطقه می‌تواند نشان‌دهندهٔ بروز آلودگی نفتی باشد. سرب یکی از چهار فلزی است که بیشترین عوارض را روی سلامت انسان دارد. اختلال بیوسنتز هموگلوبین و کم‌خونی، افزایش فشار خون، آسیب به کلیه، سقط جنین و نارسی نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب به مغز، ناباروری مردان، کاهش قدرت یادگیری و اختلالات رفتاری در کودکان از عوارض منفی افزایش غلظت سرب در بدن است. مختل‌شدن عملکرد فیتوپلانکتون‌ها به‌منزلهٔ یکی از منابع مهم تولید اکسیژن در دریاها و در نتیجه برهم‌خوردن تعادل جهانی موجودات آبزی از مهم‌ترین عوارض نامطلوب حضور سرب در اکوسیستم‌های آبی است. دربارهٔ این فلز، نتایج نشان داد که میانگین آن در بافت خوراکی میگو ۳/۷۱ میکروگرم بر گرم است. در بررسی انجام‌شده در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی پرورشی[1] مقدار این عنصر ۰/۰۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد (Saghali *et al.*, 2009). مقایسهٔ نتایج آزمایش‌های این تحقیق همچنین، تحقیقات به‌عمل‌آمده دربارهٔ سایر میگوهای خلیج فارس با پژوهش‌های انجام‌شده دربارهٔ میگوهای سایر اکوسیستم‌های آبی (جدول‌های ۳ و ۴) نشان می‌دهد که غلظت سرب در میگوهای خلیج فارس نسبتاً بالاست که این تفاوت ممکن است به علل مختلفی از جمله آلودگی بیشتر خلیج فارس به سبب ورود گستردهٔ ترکیبات نفتی و فاضلاب‌های صنعتی به داخل دریا همچنین، به سبب نیمه‌بسته‌بودن خلیج فارس (تبادل‌نداشتن مناسب آب با دریاهای آزاد) و شرایط جغرافیایی، محیطی (تبخیر زیاد) و کیفیت منابع تأمین‌کنندهٔ آب آن مربوط باشد. ضمن آنکه مقررات دفع پساب در کشورهای مختلف، روش‌های متفاوت هضم شیمیایی نمونه‌ها، نوع گونه و ویژگی‌های آن مانند اندازه و جنس نیز ممکن است در نتایج آزمایش دخالت داشته باشند (Agusa *et al.*, 2004; Anan *et al.*, 2005).

کروم از جمله عناصری است که قابلیت تجمع در بافت‌هایی مانند پوست، عضلات و چربی انسان را دارد و میزان تجمع آن تابعِ عواملی مانند سن، جنسیت و شرایط جغرافیایی است. تأثیر مخرب کروم بیشتر به ترکیب شش ظرفیتی آن مربوط است که در انسان سبب نکروزشدن کبد، التهاب کلیه و نهایتاً مرگ می‌شود. سازمان بهداشت جهانی WHO، حداکثر میزان مجاز کروم در محصولات شیلاتی را ۱۰ میکروگرم بر گرم وزن تر برآورد کرده است. در مطالعهٔ حاضر مقدار فلز کروم در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی، ۰/۶۹۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک (۰/۱۳۵ میکروگرم بر گرم وزن تَر) آنها مشاهده شد.

۱. ایستگاه تکثیر و پرورش میگوی گمیشان- استان گلستان.

در مطالعات انجام‌شده در آب‌های خلیج فارس مقدار کروم در میگـوی پاسـفید و ببـری سـبز صیدشـده از منطقهٔ قشم، به ترتیب ۰/۷۳۵ و ۰/۶۳۵ میکروگرم بـر گـرم وزن خـشک (Pourang and Amini, 2001) تعیین شده است که بـا مطالعـهٔ حاضـر فاقـد تفـاوت آماری است و می‌توان نتیجه گرفت که از منظـر ایـن عنصر، تفاوت چندانی در تغییر غلظت آلاینـده‌هـا در اکوسیستم خلیج فارس رخ نداده است.

نیکل فلزی سنگین با آلودگی مشخص رسـوبات در نواحی صنعتی است. عامل اصـلی ورود نیکـل بـه دریاها از طریق رودخانه‌هاست. مهم‌ترین منشأ انسانی نیکل در اکوسیستم‌های آبـی سـوختن سـوخت‌هـای فسیلی، سـنگ‌هـای معـدنی و فعالیـت‌هـای تـصفیه، گداختن و آبکاری فلزات است. قرارگرفتن موجودات آبزی در معـرض رسـوبات آلـوده بـه نیکـل موجـب تأثیرات شدیدی مانند مـرگ‌ومیـر و کـاهش رشـد و فعالیت‌های بازدارندهٔ تولیدمثل می‌شود (Martin and Whitfield, 1983). در مطالعهٔ حاضر، متوسط غلظت نیکل در عضلهٔ میگو ۰/۶۶۳ میکروگرم بـر گـرم وزن خـشک انـدازه‌گیـری شـد. بـر اسـاس بررسـی‌هـای انجام‌شده در آب‌های خلیج فارس، مقدار این عنـصر در میگوی ببری سـبز و پاسـفید بـه ترتیـب ۰/۳۶۳ و ۱/۱۷ میکروگرم بر گرم وزن خـشک (Pourang and Amini, 2001) اندازه‌گیـری شـد. نتـایج متغیـری در خصوص سایر میگوهای خلیج فارس همچنین سـایر منابع آبی به دست آمـد (جـدول‌هـای ۳ و ۴). علـت اختلافات مشاهده‌شده می‌تواند به مواردی که پیش‌تـر در خصوص سایر عناصر بیان شد مـرتبط باشـد، امـا باید توجـه داشـت کـه فلـز نیکـل از جملـه عناصـر نشان‌دهندهٔ آلودگی نفتی (آلـودگی بـسیار متـداول در خلیج فارس) محسوب مـی‌شـود. از ایـن‌رو افـزایش میزان این عنصر نسبت به مطالعات گذشته، می‌توانـد نشان‌دهندهٔ افزایش میزان این آلاینده در ناحیه باشد.

کادمیوم یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها برای آبزیان و انسان است که از طریق نزولات جـوی همچنـین، در اثر تخلیهٔ فاضـلاب انـسانی در منـاطق سـاحلی وارد محـیط‌هـای دریـایی مـی‌شـود. ایـن فلـز بـه علـت کاربردهای وسیع و مختلف در صنایع و فعالیت‌هـای انسانی از مهم‌ترین منابع آلودگی با منـشأ انـسانی بـه شمار می‌رود. بر اساس مطالعهٔ ایزلـر (Eisler, 1985) مـرگ و میـر شـدید و کـاهش رشـد و فعالیـت‌هـای تولیدمثلی از عوارض قرارگـرفتن آبزیـان در معـرض کادمیوم است. از طرف دیگـر، تحقیقـات نـشان داده است که مصرف آبزیان آلوده به فلز کادمیوم موجـب بیماری ایتای ایتای، تخریب کلیه و بافت‌های بیضه در فـرد مـی‌شـود (Shariari, 2005). در ایـن بررسـی کمترین مقدار تجمع عناصر در بافـت میگـوی مـورد مطالعه مربوط به فلـز کـادمیوم بـود. بـه طـوری کـه، متوسط غلظت آن در بافت میگـو ۰/۴۰۵ میکـروگـرم بر گرم وزن خشک به دست آمـد. بررسـی‌هـا نـشان می‌دهد محدودهٔ غلظـت فلـز کـادمیوم در میگوهـای خلـیج فـارس حـدود ۰/۶۸۰–۰/۰۷۵ بـر اسـاس میکروگرم بر گرم از وزن خـشک اسـت (جـدول ۳). پایین‌بودن آلودگی بـه کـادمیوم در نمونـه‌هـای مـورد بررسی احتمالاً به‌دلیل کمتربودن مقدار ورود این فلـز در منطقهٔ نمونه‌برداری و ویژگی‌های گونـه‌ای (ماننـد اندازه و جنس) است.

جیوه سمی‌ترین فلزی است که بـا تـأثیر در مغـز انسان سبب آشفتگی‌های عصبی می‌شود و همچنـین، دارای اثر بازدارندگی رشد بـدن و آنـزیم‌هاسـت. بـه علـت تـأثیرات متعـدد و مـضر جیـوه بـر سـلامت مصرف‌کننده، مطالعـات متعـددی در خـصوص آنهـا

انجام شده است. تحقیقات نشان داده است که مصرف آبزیان یکی از عمده‌ترین مسیرهای ورود این عنصر خطرناک به بدن انسان‌هاست. همان طور که از نتایج پژوهش حاضر مشهود است، مقدار این عنصر در میگوی سفید هندی مورد بررسی نسبتاً بالاست (۰/۴۱۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک). چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نیست، چراکه با توجه به جایگاه زیست میگو و از آنجا که رسوبات مهم‌ترین پذیرندهٔ فلزات سنگین در منابع آبی‌اند، نتیجه توجیه‌شدنی است. از طرف دیگر، بیشتربودن مقدار جیوهٔ اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های تحقیق حاضر، در مقایسه با میگوهای سایر اکوسیستم‌های آبی (جدول ۴)، احتمالاً می‌تواند به ورود مقدار بیشتر آلاینده‌های حاوی جیوه به اکوسیستم آبی منطقهٔ مورد مطالعه مربوط باشد. البته نباید تأثیر عوامل دیگر مانند روش هضم شیمیایی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و محتوای چربی در گونه‌های مختلف را از نظر دور نگه داشت. Farkas *et al.* (2003) بیان کردند که محتویات چربی بافت خاصیت رقیق‌کنندگی فلزات را بر عهده دارند و از آنجا که میزان چربی گونه‌های مختلف میگو متفاوت است، می‌توان نتیجه گرفت که محتویات چربی در بافت‌ها تا اندازه‌ای در این تفاوت مؤثر بوده است. به طور کلی، ارتباط بین فاکتورهای رشد با تجمع فلزات در آبزیان به عوامل متعددی از قبیل عملکرد ویژهٔ فلز در بافت مورد نظر، روابط متقابل فاکتورهای بیوشیمیایی بافت مورد نظر با عوامل زیستی، تأثیر افزایش رشد بافت (خاصیت رقیق‌کنندگی غلظت فلزات) و نرخ متابولیکی گونهٔ مورد نظر، نیمه عمر فلزات و دردسترس‌بودن فلز در زیستگاه بستگی دارد (Langston, *et al.*, 1995).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که، به استثنای نیکل، تمامی فلزات تحت بررسی در عضلهٔ ناحیهٔ شکمیِ میگو کمتر از حد مجاز تعیین‌شدهٔ سازمان‌های معتبر جهانی (WHO، MAFF، USEPA، ANHMRC، New Zealand) است (جدول ۲)، اما با توجه به آنکه عمدهٔ فلزات خطرناک‌تر مانند جیوه نزدیک به حد اعلام‌شده‌اند، بنابراین در دفعات مصرف این گونه از آبزی ارزشمند باید دقت لازم مبذول شود تا از بروز مخاطرات ناشی از ورود بیش از حد چنین فلزات سنگینی به مصرف‌کننده جلوگیری شود.

جدول ۱. مقدار فلزات سنگین در بافت خوراکی میگوی سفید هندی (*Fennerpenaeus indicus*)[1]

	Zn	Pb	Ni	Mn	Hg	Fe	Cu	Cr	Cd
میانگین	۳۳/۲	۳/۷۱	۰/۶۶۳	۰/۷۴۸	۰/۴۱۳	۱۷/۱	۱۸/۹	۰/۶۹۴	۰/۴۰۵
میانه	۳۱/۹	۳/۴۹۵	۰/۵۵۵	۰/۵۳۴	۰/۳۷۹	۱۵/۶	۱۸/۲	۰/۵۳۰	۰/۳۷۰
حداقل	۱۹/۶	۱/۷۴	۰/۱۸۰	۰/۱۰۳	۰/۱۳۶	۱۱/۳	۸/۲۱	۰/۲۴۰	۰/۱۹۰
حداکثر	۵۲/۱	۶/۰۱	۱/۳۱	۱/۸۱	۰/۸۷۶	۲۸/۶	۳۳/۹	۱/۵۷	۰/۸۱۰

۱. مقادیر ارائه‌شده برای همهٔ عناصر ذکرشده، به استثنای جیوه، بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک است.

جدول ۲. مقادیر حد مجاز در عضلهٔ ماهیان در استانداردهای مختلف (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر)

	Zn	Pb	Ni	Mn	Hg	Fe	Cu	Cr	Cd
میگوی سفید هندی	۶/۴۷	۰/۷۲۴	۰/۱۲۹	۰/۱۴۶	۰/۴۱۳	۳/۳۴	۳/۶۹	۰/۱۳۵	۰/۰۷۹
استانداردها									
WHO[a]	۱۰۰۰	۱/۵	۰/۰۵	۵/۴	۰/۵	–	۱۰	۱۰	۰/۲
MAFF[b]	۵۰	۲		–	۰/۳	–	۲۰	–	۰/۲
USEPA[c]	۱۵۰	۴	۱	–	۰/۵	–	۱۲۰	۸	۰/۲
ANHMRC[d]	۱۵۰	۱/۵		–	–	–	۲۰	–	۰/۰۵
New Zealand[e]	۴۰	۲	۱	–	–	–	۳۰	–	۱
Germany[f]	–	۰/۵	–	–	۱	–	–	–	۰/۵

[a] World Health Organization (Pourang *et al.,* 2005); [b] Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (UK); MAFF (2000); [c] United states EPA (Mishra *et al.*, 2007); [d] Australian National Health and Medical Research Council (Pourang *et al.*, 2005); [e] Vicente-Martorell *et al.*, 2009; [f] Merian, 1991.

جدول ۳. مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی با سایر میگوهای خلیج فارس

گونهٔ میگو	Zn	Pb	Ni	Mn	Hg	Fe	Cu	Cr	Cd
میگوی ببری سبز[۱]	۴۰/۲	–	۰/۳۶۳	۰/۱۵۱	–	۱۷/۸	۱۷/۹	۰/۶۳۵	۰/۰۷۵
میگوی پاسفید[۲]	۴۶/۱	–	۱/۱۷	۰/۴۶۰	–	۲۲/۲	۱۷/۴	۰/۷۳۵	۰/۱۱۱
میگو[۳]	۱۳/۵	–	۵/۱۴	۰/۲۸۰	–	۸/۰۴	۵/۸۷	۰/۶۷۰	۰/۱۸۰
ببری سبز[۴]	۴۷/۳	–	–	–	–	–	۲۰/۳	–	۰/۳۱
میگوی ببری سبز[۵]	–	۱/۱۰	۰/۹۷۰	–	۰/۰۸	–	۲/۴۰	–	۰/۶۸۰
میگوی سفید هندی[۶]	۳۳/۲	۳/۷۱	۰/۶۶۳	۰/۷۴۸	۰/۴۱۳	۱۷/۱	۱۸/۹	۰/۶۹۴	۰/۴۰۵

1 *Penaeus merguiensis* (Pourang and Amini, 2001)
2 *Metapenaeus affinis* (Pourang and Amini, 2001)
۳. گونه مشخص نشد. نمونه‌ها از سواحل خلیج فارس واقع در محدودهٔ آب‌های عربستان جمع‌آوری شده‌اند. فلزات سنگین در این گونه در کل بدن آن (whole body) اندازه‌گیری شده است (Sadiq *et al.*, 1995).
4. Pourang *et al.* (2005)
۵ منطقهٔ ساحلی خلیج فارس در محدودهٔ آب‌های قطر (Kureishy, 1993).
6. *Fenneropenaeus indicus*

جدول ۴. مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بافت عضلهٔ میگوی سفید هندی با میگوهای سایر مناطق دریایی

منطقهٔ جغرافیایی	گونهٔ میگو	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Ennore estuary, India (3)	*P. indicus*	۱/۲۷	۴/۸۰	۶۰/۵	–	–	–	۱/۸۰	۳/۳۰	۱۲۶
Mediterranean coast of Turkey (2)	*P. Kerathurus*	۰/۰۳	۰/۱۴۰	۷/۴۰	۳/۱۰	۰/۰۳۸	–	۱/۴۰	۰/۳۴۰	۱۳/۲
Three Mile Creek, Australia (3)	*P. merguiensis*	nd	–	۹/۱۰	۰/۶۱	۰/۰۲	۱/۰۹	–	–	–
Sunderban, India (4)	*P. monodon*	۰/۷۲	–	–	۱۹۲	–	–	–	۳۲/۱	۱۱۸۵
Coast of Ghana (5)	*P. notialis*	nd	–	۴/۸۱	۴/۹۹	۰/۰۲۷	–	–	۰/۲۹	۱۵/۷
Pacific coast of Mexico (6)	*P. vannamei*	۰/۵۷	۱/۴۵	۲۳/۳	–	–	۷/۰۷	۱/۳۰	–	۶۰/۶
مطالعهٔ حاضر	*F. indicus*	۰/۴۰۵	۰/۶۹۴	۱۸/۹	۱۷/۱	۰/۴۱۳	۰/۷۴۸	۰/۶۶۳	۳/۷۱	۳۳/۲

(1) Joseph *et al.*, 1992; (2) Balkas *et al.,* 1982; (3) Darmono and Denton 1990; (4) Guhathakurta and Kaviraj 2000; (5) Biney and Ameyibor, 1992; (6) Paez-Osuna and Ruiz-Fernandez, 1995.

References

[1]. Agah, H., Leermakers, M., Gao, Y., Fatemi, S.M.R., Mohseni Katal, M., Baeyens, W., Elskens, M., 2010. Mercury accumulation in fish species from the Persian Gulf and in human hair from fishermen. Environmental Monitoring and Assessment, 169: 203–216.

[2]. Agusa, T., Kunito, T., Tanabe, S., Pourkazemi, M. and Aubrey, D.G., 2004. Concentrations of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin, 49: 789–800.

[3]. Anan, Y., Kunito, T., Tanabe, S., Mitrofanov I., Aubrey, D., 2005. Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin, 51: 882–888.

[4]. Bkas, T.I., Turul, S., Saliholu, I. 1982. Trace metal levels in fish and crustaceans from northeastern Mediterranean coastal waters. Marine Environmental Research, 6(4): 281–9.

[5]. Biney, C.A., Ameyibor, E., 1992. Trace metal concentrations in the pink shrimp *Penaeus notialis*, from the coast of Ghana. Water, Air and Soil Pollution, 63: 273–9.

[6]. Calnli M., Atli G., 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environment Pollution, 121:129-136.

[7]. Darmono, D., Denton, G.R.W. 1990. Heavy metal concentrations in the banana prawn, *Penaeus merguiensis*, and leader prawn, *P. monodon,* in the Townsville Region of Australia. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 44: 479–86.

[8]. Dumont, H.J., 1998. The Caspian lake, history, biota, structure, and function. Limnology and Oceanography, 43: 44–52.

[9]. Eisler, R. 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife and invertebrates, A synoptic review. U.S. Fish wild. Servay Biological Report 85 (1.2). 46 p.

[10]. Farkas, A., Salànki, J., Specziàr, A. 2003. Relation between growth and the heavy metal concentration in organs of bream *Abramis brama* L. populating Lake Balaton. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 43: 236–43.

[11]. Golovanova, I.L., 2008. Effect of heavy metals on the physiological and biochemical status of fishes and aquatic invertebrates. Inland Water Biology, 1: 93–101.

[12]. Guhathakurta, H., Kaviraj, A., 2000. Heavy metal concentration in water, sediment, shrimp (*Penaeus monodon*) and mullet (*Liza parsia*) in some brackish water ponds of Sunderban, India. Marine Pollution Bulletin, 40: 914–920.

[13]. Hashim A.A., Jalal, A., Ismail, M.M., Dhabia, A., 1996. Heavy metals in the grouper fish *Epinephelus coioides* from the coast of Bahrain, an assessment of monthly and spatial trends. International Journal of Environmental Studies, 50(3-4): 237-246.

[14]. Hosseinkhezri, P., Tashkhourian, J., 2011. Determination of heavy metals in *Acanthopagrus latus* (Yellowfin seabream) from the Bushehr seaport (coastal of Persian Gulf), Iran. International Food Research Journal, 18:791-794.

[15]. Joseph, K.O., Srivastava, J.P., Kadir, P.M.A. 1992. Acute toxicity of five heavy metals to the prawn, *Penaeus indicus* (H. Milne Edwards) in brackish water medium. Journal of Inland Fisheries Society of India, 24(2): 82–4.

[16]. Kureishy, T.W. 1993. Concentration of heavy metals in marine organisms around Qatar before and after the Gulf War oil spill. Marine Pollution Bulletin, 27: 183-186.

[17]. Langston, W.J., Spence, S.K., 1995. Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms, In: (A. Tessier & D.R. Turner eds.), Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. John Wiley, New York, USA. 407-478 pp.

[18]. MAFF, 2000. Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1997. In, Aquatic Environment Monitoring Report No. 52. Center for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Lowestoft, UK.

[19]. Martin, J.M., Whitfield, M. 1983. The significance of the river input of chemical elements to the ocean. Water Research, 29: 265–296.

[20]. Méndez, L., Acosta, B., Palacois, E., Magallón, F. 1997. Effect of stocking densities on trace metal concentration in three tissues of brown shrimp *Penaeus californiensis.* Aquaculture, 156: 21–34.

[21]. Merian, E. 1991. Metals and their Compounds in the Environment Occurrence, Analysis and Biological Relevance, Weinheim, VCH 704 p.

[22]. Mishra, S., Bhalke, S., Saradhi, I.V., Suseela, B., Tripathi, R.M., Pandit, G.G., Puranik, V.D. 2007. Trace metals and organometals in selected marine species and preliminary risk assessment to human beings in Thane Creek area, Mumbai. Chemosphere, 69: 972–978.

[23]. Paez-Osuna, F., Ruiz, C.F. 1995. Trace metals in the Mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. Environmental Pollution, 87: 243–7.

[24]. Pourang, N., Amini, G. 2001. Distribution of trace elements in tissues of two shrimp species from Persian gulf and effects of storage temperature on elements transportation. Water, Air and Soil Pollution, 129: 229-243.

[25]. Pourang, N., Dennis, J.H., Ghourchian, H., 2005. Distribution of heavy metals in *Penaeus semisulcatus* from Persian Gulf and possible role of metallothionein in their redistribution during storage, Environmental Monitoring and Assessment 100(1-3): 71-88.

[26]. Pourreza, N., Ghanemi, K. 2009. Determination of mercury in water and fish samples by cold vapor atomic absorption spectrometry after solid phase extraction on agar modified with 2-mercaptobenzimidazole. Journal of Hazardous Materials, 161: 982–987.

[27]. Saghali, M, Yadegarian, L., Hosseini, S.A., Makhdoomi, N.M., 2009. Detemination of heavy metal (Cd, Hg, Pb and Zn) levels in muscle tissues of Indian White Shrimp (*Penaeus indicus*) cultured in Gomishan region (Golestan Province), Kolahi region (Hormozgan Province) and Caspian Sea shrimp (*Palaemon elegans*). Journal of Marine Science and Technology, 8(1): 81-88.

[28]. Shahriari, A., 2005. Determination of cadmium, chromium, lead and nickel in edible tissues of Tiger-Toothed Croaker and Russels snapper from Persian Gulf in 1382. Journal of Gorgan University of Medical Sciences, 2(7): 65-67.

[29]. Simopoulos, A. 1997. Nutritional aspects of fish. In, Luten J., Borresen T. and Oehlenschlager J. (eds.), Seafood from producer to consumer, integrated approach to quality. Amsterdam, Elsevier. 589-607.

[30]. Türkmen, M., Türkmen, A., Tepe, Y., Töre, Y., Ates, A. 2009. Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas. Food Chemistry, 113: 233–237.

[31]. UNEP. 1999. Chemical programme, Globale Mercury Assessment Report, chapter 4, *Current Mercury Exposures and Risk Evaluations for humans*.

[32]. Vicente-Martorell, J.J., Galindo-Riaño, M.D., García-Vargas, M., Granado-Castro, M.D. 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. Journal of Hazardous Materials, 162: 823–836.