

تجمع زیستی آرسنیک در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در سواحل خلیج فارس (منطقه عسلویه)

چکیده

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌هایی هستند که می‌توانند در بافت‌های جانداران تجمع کنند و صدمات جبران‌ناپذیری بر سلامت آن‌ها بر جای گذارند. این مطالعه به منظور بررسی غلظت آرسنیک در بافت نرم خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) موجود در سواحل خلیج فارس منطقه عسلویه واقع در استان بوشهر به‌عنوان شاخص پایش زیستی فلزات سنگین انجام شد. بدین منظور پس از شناسایی منابع آلوده‌کننده منطقه موردنظر، نمونه برداری از چهار ایستگاه در منطقه عسلویه در سه ماه فصل زمستان ۱۳۹۲، به‌منظور بررسی میزان جذب آرسنیک در خرچنگ آبی طی ماه‌های یک‌فصل صورت گرفت. غلظت آرسنیک توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک طی ماه‌های دی، بهمن و اسفند در بافت نرم خرچنگ آبی به ترتیب 0.09 ± 0.17 ، 0.11 ± 0.23 و 0.15 ± 0.30 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود. تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین ایستگاه‌ها و ماه‌ها وجود داشت ($P < 0.05$). کمترین غلظت مربوط به ایستگاه سوم (0.10 ± 0.15) و بیشترین غلظت مربوط به ایستگاه اول (0.10 ± 0.35) بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت آرسنیک در همه ایستگاه‌ها و ماه‌های مورد مطالعه، پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای موجود در این زمینه می‌باشد.

واژگان کلیدی: آرسنیک، تجمع زیستی، عسلویه، خلیج فارس، *Portunus pelagicus*.

فروزان فاطمی^{۱*}

شهرزاد خرم نژادیان^۲

مهدی شمسایی مهرجان^۳

۱ و ۲. گروه محیط‌زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
۳. گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات

fatemi.forouzan@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۳

کد مقاله: ۱۰۱۷۵-۱۳۹۴

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، آلودگی آب‌های دریایی با طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های زیست‌محیطی به یکی از اساسی‌ترین مشکلات جهان تبدیل شده است. اکوسیستم‌های آبی به‌طور گسترده‌ای در معرض آلودگی فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی و انسانی قرار دارند (Kamaruzzaman et al., 2011). خلیج فارس یکی از بزرگ‌ترین خلیج‌های جهان به‌شمار می‌آید که به‌عنوان زیستگاه بسیاری از موجودات آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فعالیت‌های صنایع مستقر در سواحل خلیج فارس طی سال‌های اخیر یکی از مهم‌ترین عوامل ورود آلاینده‌های فلزی به آب‌های این منطقه می‌باشد (حسینی و عبدی بسطامی، ۱۳۹۱). فعالیت‌های دیگری

از جمله کشاورزی، کشتیرانی و آلودگی های ناشی از پسماندهای شهری نیز از عمده ترین منابع آلوده کننده آب های این خلیج می باشد که سبب نابودی جمعیت بسیاری از آبزیان ساکن در آن که اکثراً از گونه های تجاری می باشند شده است (عریان و همکاران، ۱۳۸۹). فلزات سنگین از جمله آلاینده های زیست محیطی پایدار هستند که قادر به تجزیه شدن در طبیعت نمی باشند و از این رو تمایل به تجمع و انباشت زیستی در رسوبات و جانداران آبی دارند (حسینی و عبدی بسطامی، ۱۳۹۱؛ Saei-Dehkordi *et al.*, 2010; David *et al.*, 2012). این فلزات می توانند وارد سطوح مختلف زنجیره غذایی شده و از این طریق به بدن انسان راه یابند و اثرات جدی بر سلامت آن ها ایجاد کنند. لذا بررسی این آلاینده ها در موجودات زنده از اهمیت بسزایی برخوردار است (حسینی و عبدی بسطامی، ۱۳۹۱).

آرسنیک یکی از فلزات سنگین می باشد که علی رغم اینکه در طبیعت به ندرت به شکل خالص یافت می شود، به طور گسترده ای در پوسته زمین وجود دارد. این فلز به طور طبیعی به صورت ترکیب با سولفید و یا ترکیب با فلزاتی مانند آهن، نیکل و کبالت یافت می شود (ابراهیم زاده، ۱۳۹۰). با توجه به اینکه آرسنیک از طریق منابع طبیعی مانند خاک، باد و آتش فشان ها در محیط زیست منتشر می شود (Ventura-Lima *et al.*, 2009; Tao, 2014)، اما انتشار آن از طریق منابع انسانی بیش از منابع طبیعی می باشد. از جمله منابع انسانی تولید کننده آرسنیک می توان به استفاده از آفت کش ها، احتراق زغال سنگ، احتراق چوب و زباله سوزی اشاره کرد. اکثر مواد منتشر شده آرسنیک دار ناشی از فعالیت های انسانی که اغلب به صورت آفت کش ها و یا مواد زائد جامد می باشند، به زمین وارد می شوند. باین حال، مقادیر قابل توجهی نیز از طریق فعالیت هایی مانند سوزاندن سوخت های فسیلی و یا پساب های صنعتی به هوا و آب منتشر می شود (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007). مهم ترین راه مواجهه غیر شغلی افراد جامعه با آرسنیک، آب آشامیدنی و غذاها می باشد. غذاها دریایی از جمله ماهی ها و خرچنگ ها دارای بیشترین مقدار آرسنیک کل می باشند که از طریق رژیم غذایی به بدن انسان وارد می شوند. همچنین حبوبات و غلات بیشترین مقدار آرسنیک غیر آلی را دارند که بسیار سمی تر از آرسنیک آلی می باشد (Tao, 2014). مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده است که قرار گرفتن در معرض آرسنیک باعث افزایش خطر ابتلا به سرطان ریه ها، کلیه ها، کبد و پوست و دیگر بیماری های مزمن که موجب به وجود آمدن اثرات قلبی و عروقی، عصبی و عوارض دیابتی هستند، می شود.

آرسنیک را می توان خطری جدی برای موجودات دریایی نیز به شمار آورد (Azizur Rahman *et al.*, 2012). این فلز شیمی پیچیده ای در محیط زیست دریایی دارد و ترکیبات متفاوت بسیاری از هر دو گونه آلی و غیر آلی آن شناخته شده است (Zhang *et al.*, 2011). به دلیل این که آرسنیک یکی از ترکیبات موجود در پوسته زمین می باشد، این فلز به طور طبیعی در مقادیر کم در بافت های گونه های مختلف آبی تجمع می یابد (Ventura-Lima *et al.*, 2009). موجودات دریایی از طریق رژیم غذایی و یا از طریق تماس با منابع دیگری مانند آب و رسوبات ترکیبات فلزی از جمله آرسنیک را درون بدنشان تجمع و تبدیل می کنند (صلاحی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). جانداران آبی اغلب آرسنیک غیر آلی را در خود انباشته می کنند و ارگانسیم های دیگری از جمله فیتوپلانکتون ها و باکتری ها آن را به ترکیبات آلی آرسنیک مانند آرسنوبتاین تبدیل می کنند (Azizur Rahman *et al.*, 2012). مطالعاتی نیز نشان داده است که میزان جذب آرسنیک در موجودات زنده با تغییر در عوامل محیطی از جمله دما و شوری تغییر می کند (Eisler, 1988). با توجه به خطرات ناشی از فلزات سنگین برای موجودات آبی و انسان ها، سطوح این فلزات باید به طور پیوسته بررسی و اندازه گیری شود و بدین وسیله از افزایش و تراکم آن ها در زنجیره های غذایی جلوگیری به عمل آید (حسینی و عبدی بسطامی، ۱۳۹۱).

موجودات کف زی به دلیل اینکه از یک سو به طور مستقیم در تماس با رسوبات کف دریا که محل انباشت نهایی فلزات سنگین است، می باشند و از سوی دیگر در رژیم غذایی انسان مورد استفاده قرار می گیرند نقش مهمی را در انتقال آلاینده های فلزی از اکوسیستم دریا به انسان ایفا می نمایند (McMurtrie, 2010). خرچنگ شناگر آبی *Portunus pelagicus* یکی از گونه های تجاری در جهان و با پراکندگی گسترده در منطقه خلیج فارس می باشد (حسینی و عبدی بسطامی، ۱۳۹۱؛ Kamrani *et al.*, 2010). این گونه اغلب درخورها و زیستگاه های شنی و گلی، آب های ساحلی و منطقه بین جزر و مدی تا عمق ۵۰ متر و همچنین به صورت مخفی شده در رسوبات یافت می شود (Kamrani *et al.*, 2010). خرچنگ شناگر آبی یکی از ذخایر مهم شیلاتی نیز محسوب می شود و دارای مصارف مختلفی از جمله مصارف خوراکی می باشد و منبع غنی استخراج ترکیبات کیتین و کیتوسان است که در صنایع غذایی، تصفیه فاضلاب، داروسازی و بخش های نانو تکنولوژی کاربرد فراوانی دارد (دریالعل و همکاران، ۱۳۹۰).

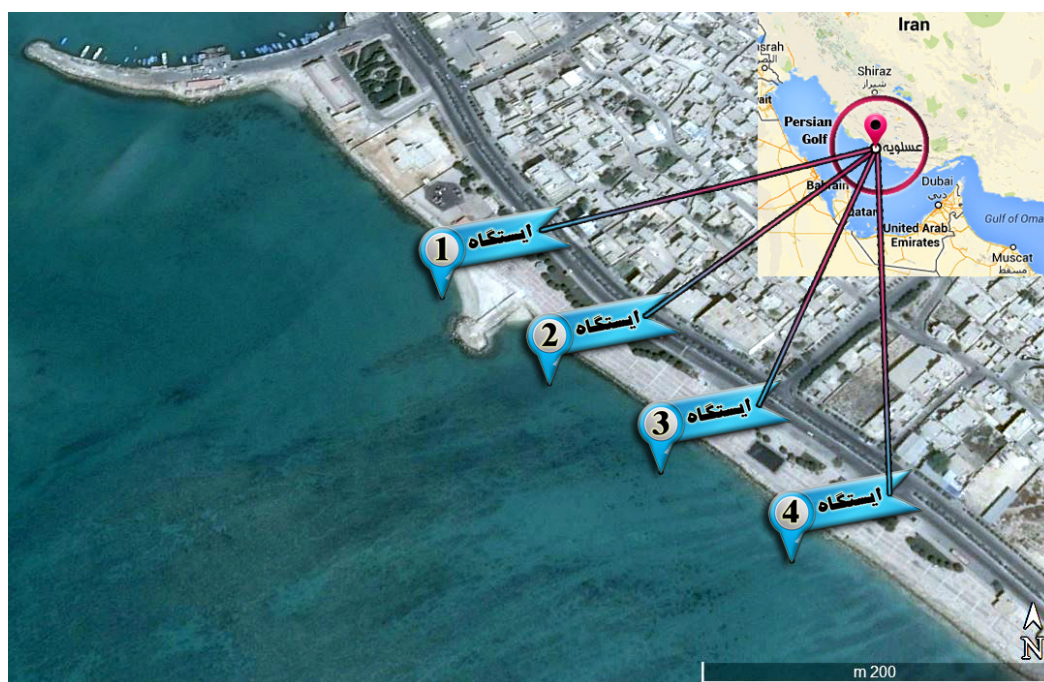
مطالعات متعددی در مناطق مختلف در رابطه با تجمع فلزات سنگین در سخت پوستان انجام شده است. تحقیقی در زمینه تجمع فلزات سنگین

سرب و کروم در خرچنگ شناگر آبی در منطقه بندرعباس، طی دو فصل تابستان و زمستان انجام شده است (دریالعل و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین مطالعه دیگری در این زمینه توسط حسینی و عبدی بسطامی (۱۳۹۱) بر غلظت فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، مس، سرب) در خلیج فارس صورت گرفته است. غلظت آرسنیک و چندین فلز سنگین دیگر در بافت ماهیچه نوعی سخت پوست، میگو *Fenneropenaeus merguensis* در سواحل خلیج فارس در منطقه بندرعباس در تحقیقی بررسی گردید (Javaheri Baboli and Velayatzadeh, 2013). *Ventura-Lima* و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعه‌ای مشابه بر خرچنگ آبی *Portunus pelagicus* موجود در خلیج فارس، میزان آرسنیک را در این موجود اندازه‌گیری کردند. *Ayas* (۲۰۱۳) به بررسی تأثیرات جنسیت و فصل‌ها بر میزان جذب فلزات سمی در بافت عضله خرچنگ شناگر آبی *Portunus pelagicus* در شمال شرق دریای مدیترانه پرداخت. *Pinheiro* و همکاران (۲۰۱۲) تجمع زیستی شش فلز سنگین (*Cd, Cr*) در خرچنگ‌های مانگرویی *Ucides cordatus* و گونه‌ای مانگرو قرمز (*Rhizophora mangle*) به‌عنوان منبع غذایی این نوع خرچنگ بررسی کردند.

باین‌حال درحالی‌که در عسلویه خرچنگ آبی به‌وفور یافت می‌شود، مطالعات بسیار کمی در رابطه با تجمع فلزات در این نوع سخت پوست در منطقه یادشده وجود دارد. همچنین اکثر مطالعات در این زمینه به بررسی غلظت فلزات سنگین در سخت پوستان به‌صورت مقایسه چند فصل پرداخته‌اند و مطالعات اندکی در مورد وضعیت جذب این فلزات و بخصوص آرسنیک در سخت‌پوستان، در طول یک فصل انجام شده است. لذا در این مطالعه باهدف بررسی غلظت آرسنیک در خرچنگ‌های شناگر آبی جمع‌آوری‌شده از منطقه عسلویه به‌عنوان شاخص پایش زیستی آرسنیک، به مقایسه میزان جذب آرسنیک در ماه‌های مختلف فصل زمستان در چهار ایستگاه مختلف در سواحل این منطقه، پرداخته شد. همچنین با توجه به اینکه این‌گونه در منطقه مورد مطالعه مصرف خوراکی دارد، نتایج حاصل شده با استانداردهای جهانی موجود در این زمینه مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه عسلویه در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۴۹ دقیقه و ۹۴ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه ۶۲ دقیقه و ۱۹ ثانیه قرار دارد. به‌منظور تعیین غلظت فلز آرسنیک در خرچنگ شناگر آبی، نمونه‌ها از سواحل خلیج فارس در منطقه عسلویه جمع‌آوری گردیدند. به‌منظور تعیین ایستگاه‌های نمونه برداری، منابع آلاینده منطقه عسلویه شناسایی شدند و نمونه برداری از چهار ایستگاه بافاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر، با توجه به موقعیت منطقه صورت گرفت. منطقه مورد نظر برای نمونه برداری مابین جنگل‌های حرا نایبند و اسکله بندر عسلویه قرار داشت؛ به‌این ترتیب که ایستگاه اول نزدیک‌ترین ایستگاه به اسکله صیادی و منطقه صنعتی عسلویه بوده و ایستگاه چهارم دارای کم‌ترین فاصله از جنگل‌های حرا نایبند نسبت به سایر ایستگاه‌ها بود. و فور خرچنگ‌های شناگر آبی در منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر مناطق و همچنین مجاورت این منطقه به ناحیه صنعتی عسلویه و اسکله‌های صیادی مهم‌ترین دلایل انتخاب آن برای نمونه برداری می‌باشد. به‌این ترتیب می‌توان میزان آلودگی صنایع اطراف را بررسی نمود. با توجه به اینکه نمونه برداری در فصل زمستان انجام شده است و در این فصل خرچنگ‌های آبی غیرفعال بوده (Roy et al., 2012)، اکثر اوقات به‌صورت مدفون شده در گل‌ولای و رسوبات بوده و جابجایی چندانی ندارند؛ همچنین با توجه به امکانات موجود، فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها توسط دستگاه *GPS* ثبت شد (جدول ۱) و بر روی نقشه منطقه علامت گذاری گردید (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی عسلویه (منطقه مورد مطالعه) و ایستگاه‌های نمونه برداری بر روی نقشه.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل خلیج فارس، منطقه عسلویه.

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ایستگاه ۱	۲۷° ۲۸' ۱۵/۷۰" N	۵۲° ۳۶' ۲۱/۶۵" E
ایستگاه ۲	۲۷° ۲۸' ۱۳/۵۶" N	۵۲° ۳۶' ۲۴/۴۱" E
ایستگاه ۳	۲۷° ۲۸' ۱۱/۵۵" N	۵۲° ۳۶' ۲۷/۲۹" E
ایستگاه ۴	۲۷° ۲۸' ۹/۵۴" N	۵۲° ۳۶' ۳۰/۱۴" E

نمونه برداری در فصل زمستان ۱۳۹۲ در سه ماه دی، بهمن و اسفند با استفاده از تله و با کمک افراد بومی منطقه صورت گرفت. گونه‌های جمع‌آوری شده برای تجزیه و تحلیل فلزی بر اساس فراوانی کلی آن‌ها در آن منطقه و تشابه اندازه نمونه‌ها انتخاب شدند. از این رو تعداد ۷۲ نمونه خرچنگ از چهار ایستگاه مطالعاتی در فصل زمستان (۲۴ نمونه در هر ماه) جمع‌آوری گردید. سپس نمونه‌ها درون ظروف یونولیت حاوی یخ قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

در آزمایشگاه قبل از شروع کار، ابتدا تمام وسایل و ظروف مورد نیاز شیشه‌ای و پلاستیکی به دقت با آب گرم و دترجنت، اسید نیتریک ۱۰ درصد یا اسید کلریدریک و در نهایت ۴ الی ۵ بار با آب دیونیزه شستشو شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. سپس خرچنگ‌های هر ایستگاه نیز به‌طور جداگانه با آب دیونیزه شسته و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به مرحله ی آنالیز و هضم شیمیایی نگهداری شدند. به‌منظور هضم شیمیایی نمونه‌ها، ابتدا بافت نرم (ترکیبی از بافت عضله و هیپاتوپانکراس) خرچنگ را جدا کرده و پس از همگن کردن آن، ۵ گرم از نمونه را با ترازوی آزمایشگاهی با دقت نزدیک به ۰/۰۰۱ گرم داخل یک کروزه وزن کردیم و به مدت ۴ ساعت در کوره با درجه حرارت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید تا نمونه‌ها خشک و خاکستر شدند. پس از آن نمونه‌ها در هاون چینی تا پودر شدن کامل ساییده شدند. نمونه کاملاً پودر شده در یک بشر ریخته شد و ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (HNO_3) به آن اضافه شد و اجازه دادیم تا حد خشک شدن تبخیر گردد. پس از آن باقیمانده مواد ۲ ساعت در کوره با درجه حرارت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۰/۵ گرم پتاسیم یدید (KI) به آن اضافه گردید و با اسید کلریدریک (HCL) ۱۰ درصد در بالون ژوژه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله بعد، ۰/۲۵ گرم اسید آسکوربیک اضافه شد و نمونه ۵

ساعت در دمای محیط قرار گرفت. محلول حاصل شده به دستگاه جذب اتمی کوره با مارک *Varian* و مدل *Zeeman 600* ساخت کشور استرالیا، تزریق شد. روش ذکر شده برای تعیین غلظت آرسنیک در این آزمایش، بر مبنای روش تعیین شده سازمان ملی استاندارد ایران می باشد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۱).

پس از مشخص شدن غلظت آرسنیک در نمونه های خرچنگ شناگر آبی، نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزارهای Excel نسخه ۲۰۱۳ و SPSS نسخه ۲۲، تجزیه و تحلیل شد. به منظور بررسی اختلاف معنادار بین ایستگاه ها و ماه ها از آنالیز واریانس دوطرفه در سطح اطمینان ۹۵ درصد و برای مقایسه بین میانگین ها، آزمون دانکن (Duncan) استفاده شد.

نتایج

غلظت آرسنیک در ایستگاه های مختلف نمونه برداری در جدول ۲ نشان داده شده است که بر اساس یافته های این پژوهش بیشترین میزان غلظت آرسنیک در طول دوره نمونه برداری در ایستگاه اول ($0/10 \pm 0/35$) و کمترین غلظت مربوط به ایستگاه سوم ($0/10 \pm 0/15$) بوده است. همچنین جدول ۳ غلظت آرسنیک در ماه های نمونه برداری را نشان می دهد که با توجه به مقایسه میزان تجمع آرسنیک در ماه های مختلف در بافت نرم خرچنگ شناگر آبی، بیشترین غلظت مربوط به ماه اسفند ($0/30 \pm 0/15$) و کمترین میزان مربوط به ماه دی ($0/09 \pm 0/17$) می باشد.

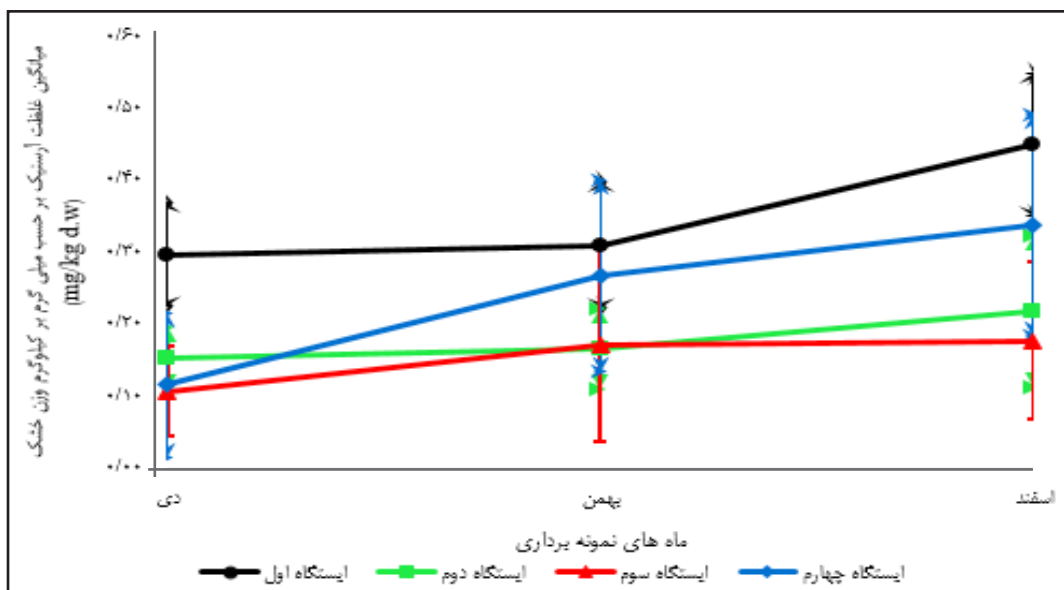
جدول ۲: میانگین غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در بافت نرم خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در ایستگاه ها در طول دوره نمونه برداری، منطقه عسلویه (زمستان ۱۳۹۲).

ایستگاه های نمونه برداری	انحراف معیار \pm میانگین
ایستگاه ۱	$0/35 \pm 0/10$
ایستگاه ۲	$0/18 \pm 0/07$
ایستگاه ۳	$0/15 \pm 0/10$
ایستگاه ۴	$0/24 \pm 0/15$

جدول ۳: میانگین غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در بافت نرم خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در ماه های نمونه برداری، منطقه عسلویه (زمستان ۱۳۹۲).

ماه های نمونه برداری	انحراف معیار \pm میانگین
دی	$0/09 \pm 0/17$
بهمن	$0/23 \pm 0/11$
اسفند	$0/30 \pm 0/15$

شکل ۲ نشان دهنده تغییرات غلظت آرسنیک در ماه های نمونه برداری در ایستگاه های مختلف می باشد. با توجه به نمودار، میانگین غلظت آرسنیک در کلیه ایستگاه ها در طی دوره سه ماهه نمونه برداری سیر صعودی داشته است.



شکل ۲: نمودار میانگین غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در طول دوره نمونه برداری در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در منطقه عسلویه (زمستان ۱۳۹۲).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس در ایستگاه‌ها و ماه‌های نمونه برداری در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد بین ایستگاه‌های مختلف و بین ماه‌های نمونه برداری وجود داشت ($P < 0.05$) اما تفاوت معنی داری بین ایستگاه‌ها و ماه‌های نمونه برداری به طور متقابل یافت نشد ($P > 0.05$). مطابق با نتایج آزمون دانکن (*Duncan*) الگوی تجمع آرسنیک در ایستگاه‌ها به صورت ایستگاه ۲ = ایستگاه ۳ > ایستگاه ۴ > ایستگاه ۱ بوده است. همچنین مقایسه میانگین آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در ماه‌های نمونه برداری با استفاده از این آزمون نشان داد که بیشترین میانگین غلظت آرسنیک مربوط به ماه اسفند بوده است و بین ماه‌های دی و بهمن اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد وجود نداشته است.

جدول ۴: نتایج آنالیز واریانس دوطرفه غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) با سطح اطمینان ۹۵ درصد در خرچنگ‌های شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف در منطقه عسلویه (زمستان ۱۳۹۲).

منبع تغییرات	متغیر وابسته	مقدار p
ایستگاه‌های نمونه برداری	غلظت آرسنیک	۰/۰۰۰*
ماه‌های نمونه برداری	غلظت آرسنیک	۰/۰۰۰*
ماه‌ها × ایستگاه‌ها	غلظت آرسنیک	۰/۲۹۴

* نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد.

بحث و نتیجه گیری

ورود آرسنیک به آب‌های طبیعی و آلودگی‌های ناشی از آن به عنوان یکی از مشکلات جدی جهان امروز مطرح می شود (*Zhang et al. 2011*). تجمع زیستی این فلز در زنجیره غذایی دریاها، اثرات نامطلوبی را بر سلامت انسان‌ها برجای می گذارد. در این مطالعه، غلظت آرسنیک در بافت نرم خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) به عنوان شاخص زیستی جهت تشخیص آلودگی‌های منطقه عسلویه مورد بررسی قرار گرفت.

در توضیح جدول ۲ می توان گفت آرسنیک یک عنصر طبیعی با گستردگی فراوان در خاک و اکوسیستم‌های آبی است که از هر دو عامل فعالیت‌های انسانی و طبیعی به محیط زیست وارد می شود (*Ventura-Lima et al., 2009*). وجود صنایع پتروشیمیایی و پالایشی گسترده در منطقه و تخلیه پساب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین سبب افزایش این فلز در آب، خاک و هوای مجاور می گردد. مواد حاوی آرسنیک در انواع فرآورده‌های تولید صنایع پتروشیمی به کار می روند (*Willhite and Ferm, 1984*). از این رو بالا بودن غلظت آرسنیک در ایستگاه اول می تواند

مربوط به فاصله نزدیک آن با اسکله و صنایع پتروشیمی موجود در منطقه باشد. همچنین نتایج نشان داد که پس از ایستگاه اول، بیشترین غلظت آرسنیک در ایستگاه چهارم بوده است. با وجود اینکه ایستگاه چهارم نسبت به ایستگاه‌های دیگر، فاصله بیشتری از منطقه صنعتی عسلویه و اسکله بندر عسلویه دارد، اما می‌توان گفت علاوه بر فعالیت‌های صنعتی، یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در جذب آرسنیک، وضعیت تغذیه‌ای و ماهیت رژیم غذایی این جاندار می‌باشد. با توجه به اینکه خرچنگ شناگر آبی علاوه بر نرم تنان کوچک از گیاهان نیز تغذیه می‌کند و ایستگاه مذکور، نزدیک‌ترین ایستگاه به جنگل‌های حرا نایبند می‌باشد، افزایش غلظت آرسنیک در این مکان می‌تواند به دلیل افزایش غلظت این فلز در جنگل‌های حرا اطراف آن که یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های *P. pelagicus* است، باشد. گیاهان می‌توانند توسط ریشه و یا از طریق برگ‌هایشان آرسنیک موجود در خاک یا هوا را تا حد زیادی جذب کنند. در مطالعه‌ای در این زمینه توسط *Pinheiro* و همکاران (۲۰۱۲) نیز مشاهده شد که رابطه مستقیمی بین تجمع فلزات سنگین در درختان مانگرو و خرچنگ‌های *Ucides cordatus* که از آن‌ها تغذیه می‌کردند وجود دارد. همچنین با ذکر این نکته که آرسنیک از منابع متنوعی (منابع طبیعی و منابع انسانی) وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شود و با توجه به تخلیه فاضلاب‌های خانگی و آب توازن کشتی‌ها در مکان‌های مختلف، تفاوت در نتایج ایستگاه‌ها و نبودن الگویی منظم امری بدیهی است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه‌ای انجام‌شده در سواحل خلیج فارس در منطقه بندرعباس میانگین آرسنیک موجود در بافت ماهیچه میگو *Fenneropenaeus merguensis* برابر با 0.117 ± 0.07 به دست آمد (Javaheri Baboli and Velayatzadeh, 2013). در تحقیقی مشابه در سواحل خلیج فارس در منطقه هندجیان نیز، غلظت آرسنیک در بافت ماهیچه لابسترهای *homarus Panulirus* مورد مطالعه، برابر با $275 - 118$ میکروگرم بر کیلوگرم و میانگین آن $184/3$ میکروگرم بر کیلوگرم بود (Raissy et al., 2011). اختلاف نتایج این مطالعات با نتایج تحقیق حاضر ممکن است به علت تفاوت در نوع بافت مورد مطالعه و شرایط جغرافیایی باشد.

با توجه به جدول ۳ غلظت آرسنیک جذب‌شده در خرچنگ شناگر آبی در ماه‌های مختلف زمستان، متفاوت است. عوامل محیطی متنوعی، از جمله شوری و دما، می‌تواند بر دسترسی زیستی آرسنیک در ارگانیزم‌ها تأثیرگذار باشد. با توجه به اینکه دما در ماه اسفند، بیشتر از ماه‌های دیگر است، می‌توان گفت که این امر به علت تأثیر دما بر نرخ متابولیک ارگانیزم‌ها و در نتیجه افزایش میزان جذب آرسنیک می‌باشد. همچنین با افزایش دما شوری آب افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان جذب آرسنیک بیشتر می‌شود. *Ayas* و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه خود دریافتند که خرچنگ شناگر آبی *Portunus pelagicus* جمع‌آوری‌شده از شمال شرق دریای مدیترانه، در ماه‌های مختلف نمونه برداری، غلظت‌های متفاوتی از فلزاتی مانند *Zn*، *Cu*، *Fe* را جذب کرده است. *Celechovska* و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی غلظت آرسنیک در نوعی ماهی (*Oncorhynchus mykiss*) در طول یک سال دریافتند که غلظت آرسنیک در فصل زمستان با کاهش دما، در بافت‌های این گونه کاهش می‌یابد. در تحقیقی دیگر در این زمینه در چند نوع ماهی در دریای شمال و دریای بالتیک، رابطه خطی مثبتی بین میزان شوری و غلظت آرسنیک یافت شد (Ventura-Lima et al., 2009). در مطالعه‌ای دیگر نیز غلظت آرسنیک با افزایش شوری به صورت خطی از 0.113 میکروگرم بر لیتر در آب‌های شیرین تا $1/8$ میکروگرم بر لیتر در آب‌های شور افزایش یافته است (Azizur Rahman et al., 2012). همچنین با توجه به جداول ۲ و ۳، انحراف معیارهای به‌دست‌آمده در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف در این مطالعه به علت متفاوت بودن و تأثیر عواملی از جمله جنسیت و سن خرچنگ‌هایی که به‌طور تصادفی در همراه جمع‌آوری‌شده‌اند، بر میزان جذب فلزات می‌باشد.

صبر صعودی میانگین غلظت آرسنیک در تمامی ایستگاه‌ها در طی دوره نمونه برداری در شکل ۲ با توجه به دلایل ذکر شده در رابطه با تأثیر دما و شوری بر نرخ جذب آرسنیک امری بدیهی به نظر می‌رسد. عوامل دیگری مانند رشد و یا چرخه تولیدمثل نیز می‌تواند بر نوسانات فصلی و ماهانه فلزات تأثیرگذار باشند (Saei-Dehkordi et al., 2010). همچنین بیشترین تغییرات افزایش غلظت آرسنیک از دی‌ماه تا اسفندماه در ایستگاه چهارم بوده است که این افزایش علاوه بر دلایل ذکر شده، می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله ورود فاضلاب‌های شهری و ویژگی‌های زمین‌شناسی مانند هوازدگی طبیعی سنگ‌ها نیز مرتبط باشد. باین‌حال *Saei-Dehkordi* و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای نشان دادند که غلظت آرسنیک در چندگونه تجاری ماهی جمع‌آوری‌شده از خلیج فارس در فصل زمستان بیشتر از غلظت آن در فصل تابستان می‌باشد. تفاوت نتایج این مطالعه با مطالعه حاضر ممکن است به علت تفاوت در نوع گونه‌های مورد مطالعه، تعداد نمونه‌ها و مکان نمونه برداری باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ماه‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود داشت (جدول ۴)؛ دریالعل و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعه‌ای مشابه دریافتند که تفاوت معنی‌داری در میزان فلزات سرب و کروم در خرچنگ شناگر آبی حوزه بندرعباس بین ایستگاه‌ها وجود داشت. همچنین تحقیقات انجام‌شده بر غلظت آرسنیک موجود در ده گونه ماهی صیدشده از خلیج فارس نیز حاکی از این بود که تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) بین فصل‌های زمستان و تابستان وجود دارد (Saei-Dehkordi et al., 2010).

جدول ۵: بیشترین حد مجاز غلظت آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در مواد غذایی بر اساس استانداردهای جهانی.

استاندارد	میزان (میلی گرم بر کیلوگرم)	منبع
FSANZ (استرالیا و نیوزلند)	۲	McMurtrie, 2010; Food Standards Australia New Zealand, 2011
.UK (FSA)	۱	Food Standards Agency, 2012
سنگاپور	۱	Suhaimi et al., 2005
چین Gb 2762	۱	Bugang, 2010

با توجه به جدول ۵ مقایسه نتایج در این مطالعه با استانداردهای بین‌المللی موجود در این زمینه نشان داد که غلظت آرسنیک در همه ایستگاه‌ها و ماه‌های مورد مطالعه، پایین‌تر از حد مجاز تمام استانداردهای ذکر شده می‌باشد. در مقایسه نتایج غلظت آرسنیک در چندگونه ماهی در خلیج فارس با استانداردهای موجود نیز نشان داده شد که غلظت آرسنیک پایین‌تر از استانداردهای منتشر شده توسط سازمان WHO و FAO بوده است (Saei- Dehkordi et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر در زمینه آنالیز فلزات سنگین سرب و کروم در بافت خرچنگ شناگر آبی، مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با استاندارد مواد غذایی، نمایانگر بحرانی بودن غلظت این فلزات در منطقه خلیج فارس بود (دریالعل و همکاران، ۱۳۹۰). علت این امر تفاوت در نوع صنایع و آلاینده‌های موجود در این مطالعه و مطالعه حاضر می‌باشد.

به‌طور کلی، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تجمع زیستی آرسنیک در موجودات کف‌زی به عوامل مختلفی از جمله شوری، دما، نوع رژیم غذایی موجود، محل نمونه برداری و غیره بستگی دارد. با توجه به اینکه توانایی خرچنگ‌های *Portunus pelagicus* در تغلیظ فلزات سنگین در ماه‌های مختلف، تحت تأثیر پارامترهای محیطی تغییر می‌کند، مطالعات مکرر جهت پایش فلزات سنگین در این منطقه در حفظ سلامت افراد بسیار مؤثر است. همچنین با توجه به اینکه، خرچنگ شناگر آبی از موجودات مهم در حفظ تعادل زنجیره غذایی دریاها و از غذاهای اصلی در رژیم غذایی افراد بومی منطقه و همچنین از گونه‌های مهم تجاری محسوب می‌شود، آگاهی از تجمع آرسنیک در این گونه، یک امر ضروری به شمار می‌آید. قسمت عمده آرسنیک درون غذاهای دریایی مانند ماهی و سخت‌پوستان از نوع ترکیبات آلی آرسنیک می‌باشد که برای انسان غیر سمی به حساب می‌آیند، اما فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی می‌تواند باعث افزایش مقدار آرسنیک غیر آلی درون موجودات آبی گردد. علاوه بر این، با توجه به اینکه بیشترین مقدار آرسنیک غیر آلی، از طریق آب آشامیدنی و مواد غذایی مانند برنج و سبزیجات به بدن انسان منتقل می‌شود، نیاز به تحقیقات گسترده‌تری در رابطه با غلظت این فلز در اکوسیستم‌های آبی حس می‌شود.

منابع

- ابراهیم‌زاده، ع.، ۱۳۹۰. بررسی و اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین (سرب، جیوه، آرسنیک و کادمیوم) موجود در آب مصب رودخانه تجن در دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیمی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- حسینی، م. و عبدی بسطامی، ا.، ۱۳۹۱. غلظت فلزات سنگین (Pb, Cu, Cd, Ni) در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) و رسوبات زیستگاه آن در آب‌های ساحلی بوشهر. هفدهمین کنفرانس سراسری و پنجمین کنفرانس بین‌المللی زیست‌شناسی ایران.
- دریالعل، خ.، داداللهی، س.، ذوالقرنین، ح. و صفاهیه، ع. ر.، ۱۳۹۰. بررسی تجمع فلزات سنگین سرب و کروم در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در سواحل استان هرمزگان (شهرستان بندرعباس). پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست.
- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۱. مواد غذایی، اندازه‌گیری عناصر کم‌مقدار - اندازه‌گیری آرسنیک کل با روش طیف‌سنجی جذب اتمی تولید هیدرید (HGAAS) پس از خاکستر سازی خشک.
- صلاحی نژاد، آ.، جوانشیر خویی، آ.، عطاران، آ.، پورباقر، ه. و ایگدری، س.، ۱۳۹۳. بررسی اثر کادمیوم بر نرخ جذب و فیلتراسیون صدف *Mytilaster lineatus* و میگوی *Palaemon elegans* دریای خزر به روش مزوکوزم (*Mesocosme*). مجله علمی- پژوهشی زیست‌شناسی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال ششم، شماره بیست و سوم، صفحات ۴۹-۶۰.
- عریان، ش.، تاتینا، م. و قریب‌خانی، م.، ۱۳۸۹. بررسی اثرات آلودگی نفتی در حوزه شمالی خلیج فارس بر میزان تجمع فلزات سنگین (نیکل، سرب، کادمیوم و وانادیوم) در بافت عضله‌ی ماهی حلوا سفید (*Pampus rgenteuss*). مجله اقیانوس‌شناسی، سال اول، شماره ۴ (پیاپی ۱۵).
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry., 2007. Toxicological profile for Arsenic.
- Ayas, D., 2013. Effects of gender and season on potentially toxic metal levels in muscles of adult Blue Swimmer Crabs (*Portunus pelagicus*) from the northeastern Mediterranean Sea. Journal of Biology and

Oceanography, 2:2.

Azizur Rahman, M., Hasegawa, H. and Lim, R. P., 2012. Bioaccumulation, biotransformation and trophic transfer of arsenic in the aquatic food chain. *Environmental Research*, 116:118–135.

Bugang, W., 2010. National Food Safety Standard-Maximum Levels of Contaminants in Foods, GB2762. USDA Foreign Agricultural Service. GAIN Report Number: CH10000.

Celechovska, O., Harkabusova, V., Macharackova, B., Vitoulova, E. and Lavickova, A., 2011. Accumulation of arsenic during the growing period of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno*, 80: 219–225.

David, I. G., Matache, M. L., Tudorache, A., Chisamera, G., Rozyłowicz, L. and Radu, G. L., 2012. Food chain biomagnification of heavy metals in samples from the lower Prut floodplain natural park. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(1):69-73.

Eisler, R., 1988. Arsenic hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Biological Report 85(1.12). U.S. Fish and Wildlife Service Patuxent Wildlife Research Center Laurel, MD 20708.

Food Standards Agency (FSA), 2012. United Kingdom legislation: Contaminants in food (additional requirements). Retrieved from: http://www.cbi.eu/system/files/marketintel/2012_United_Kingdom_legislation_Contaminants_in_food_additional_requirements.pdf

Food Standards Australia New Zealand., 2011. Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 1.4.1 - Contaminants and Natural Toxicants. Available at: <http://www.comlaw.gov.au/Details/F2011C00542>

Javaheri Baboli, M. and Velayatzadeh, M., 2013. Determination of heavy metals and trace elements in the muscles of marine shrimp, *Fenneropenaeus merguensis* from Persian Gulf, Iran. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3): 786-791.

Kamaruzzaman, B. Y., Rina, Z., Akbar John, B. and Jalal, K. C. A., 2011. Heavy metal accumulation in commercially important Fishes of south west Malaysian Coast. *Research Journal of Environmental Science*, 5(6):595-602.

Kamrani, E., Sabili, A. N. and Yahyavi, M., 2010. Stock Assessment and Reproductive Biology of the Blue Swimming Crab, *Portunus pelagicus* in Bandar Abbas Coastal Waters, Northern Persian Gulf. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*, 1(2):11-22.

McMurtrie, S., 2010. Healthy estuary and rivers of the city: water quality and ecosystem health monitoring programme of Ihutai: heavy metals in fish and shellfish from Christchurch rivers and Estuary: 2010 survey. Report No: R10/148.

Pinheiro, M. A. A., Silva, P. P. G. E., Duarte, L. F. D. A., Almeida, A. A. and Zanotto F. P., 2012. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucridae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81:114-21.

Raissy, M., Ansari, M. and Rahimi, E., 2011. Mercury, arsenic, cadmium and lead in lobster (*Panulirus homarus*) from the Persian Gulf. *Toxicology and Industrial Health*, 27(7): 655-659.

Roy, B. J., Singha, N. K., Hasan Ali, S. M. and Gaziur Rhaman, M. D., 2012. Exploitation of marine swimming crab in Cox's Bazar, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Zoology*, 40(2): 241-245.

Saei-Dehkordi, S. S., Fallah, A. A. and Nematollahi, A., 2010. Arsenic and mercury in commercially valuable fish species from the Persian Gulf: Influence of season and habitat. *Food and Chemical Toxicology*, 48:2945–2950.

Suhaimi, F., Wong, S. P., Lee, V. L. L. and Low, L. K., 2005. Heavy metals in fish and shellfish found in local wet markets. *Singapore Journal of Primary Industries*, 32: 1-18.

Tao, S. S. H., 2014. Toxic Metals: Arsenic. *Encyclopedia of Food Safety*, 2:342-345.

Ventura-Lima, J., Fattorini, D., Notti, A., Monserrat, J. M. and Regoli, F., 2009. Bioaccumulation patterns and biological effects of Arsenic in aquatic organisms. In: Environmental Health Risks eds Gosselin, J. D. and Fancher, I. M., Nova Science Publishers, Inc, pp.1-18.

Willhite, C. C. and Ferm, V. H., 1984. Prenatal and developmental toxicology of arsenicals. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 177:205-28.

Zhang, W., Huang, L. and Wang, W. X., 2011. Arsenic bioaccumulation in a marine juvenile fish *Terapon jarbua*. *Aquatic Toxicology*, 105:582– 588.