نسخه قبل از انتشار

ارزیابی خطر برخی فلزات سنگین در ماهیان زالون *Alosa braschnikowi* و سوف *Sander lucioperca* دردریای خزر

گلناز میرزاپور[۱]، پریسا نجات خواه معنوی[۲]، فرناز رفیعی[۳*]، مهرناز بنی اعمام[۴]

[۱] دانشجوی دکترای گروه زیست شناسی دریا دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
zzzzzzyasi@yahoo.com
[۲] دانشیار گروه زیست شناسی دریا دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
p_nejatkhahiau@iau-tnb.ac.ir &p_nejatkhah@yahoo.com
[۳] استادیار گروه زیست شناسی دریا دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
farnaz.rafiee47@gmail.com
[۴] استادیار موسسه پژوهش‌های برنامه ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران
bani.amam@yahoo.com

Assessing the Risk of Heavy Metals in *Alosa braschnikowi* and *Sander lucioperca* in the Caspian Sea

Golnaz Mirzapour[1], Parisa Nejatkhah Manavi[۲], Farnaz Rafiei[۳]*, Mehrnaz Baniamam[۴]

[1] PhD Student of Marine Biology, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran, zzzzzzyasi@yahoo.com; 09122117902
[2] Associate Professor of Marine Biology, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran; p_nejatkhah@yahoo.com-09123887870;
[3*] Assistant Professor of Marine Biology, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran; farnaz.rafiee47@gmail.com-09123352848; (corresponding author);
[4] Assistant Professor, Planning Research Institute, Agricultural Economy and Rural Development, Ministry of Agricultural Jihad, Tehran, Iran; bani.amam@yahoo.com-09123376995;

چکیده

آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های یکی از جمله مهم‌ترین مسائل زیست محیطی به شمار می‌رود. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در دو گونه ماهی سوف و زالون در سواحل جنوبی دریای خزر بود. تجمع فلزات سنگین به روش جذب اتمی اندازه گیری شد شاخص های بهداشتی شامل تخمین دریافت روزانه و هفتگی، پتانسیل غیرسرطان‌زایی، پتانسیل سرطان‌زایی محاسبه شده اند. تخمین دریافت روزانه و هفتگی در تمام نمونه ها کمتر از میزان مجاز به

دست آمد. پتانسیل غیر سرطان‌زایی کمتر از عدد یک و پتانسیل خطر سرطان‌زایی در برخی نمونه ها بیش از بازه ی قابل پذیرش بوده است. براساس نتایج ارزیابی مصرف روزانه و هفتگی و پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی این گونه ها خطری در پی نخواهد داشت. با این وجود در مورد فلزات سنگین سرب، کادمیوم، کبالت، ارسنیک و کروم مصرف طولانی مدت می‌تواند احتمال ابتلا به انواع سرطان ها را بدنبال داشته باشد. تخمین دریافت روزانه برای یک فرد بالغ با وزن ۷۰ کیلوگرم در ارتباط با فلز سرب ۷/۴ و در ارتباط با فلز کادمیوم ۰/۰۵ و تخمین دریافت هفتگی به ترتیب ۵۱/۸۲ و ۰/۳۵ به دست آمد.
واژگان کلیدی: دریای خزر، فلزهای سنگین، تجمع زیستی، زالون، سوف

مقدمه

بالا رفتن جمعیت، گسترش صنعت و توسعه فعالیت های کشاورزی سبب وارد شدن آلودگی ها به اکوسیستم‌های آبی می‌شود. فلزات سنگین عمدتا ترکیباتی سمّی هستند که بدن به سختی قادر است تنها میزان کمی از آن ها را دفع کند و تجمع میزان بیشتر آن عوارض خطرناکی را به همراه دارد. (۲۶) فلزات سنگین از طرق گوناگون مثل مصرف مواد غذایی، تنفس هوای آلوده و تماس با آب و خاک آلوده وارد بدن انسان می شوند. در حالت کلی علائم و نشانه های فردی که در معرض فلزات سنگین قرار می گیرد بستگی به نوع فلز سنگین، نوع و میزان تماس، سن فرد و وضعیت سلامت آن شخص دارد. فلزات سنگین در اکوسیستم آبی عموما به حالت محلول در آب نمایان می شوند که می‌توانند در رسوبات رودخانه تجمع و در ارگانیزم ها ذخیره شوند.(۲۶) رسوبات در تثبیت و انتقال انواع آلودگی ها نقش زیادی دارند، در نتیجه رسوبات می‌توانند پیشینه آلودگی در گذر زمان و وقایع صورت گرفته برای منابع را نشان دهند. ماهی شاخصی مناسب برای ارزیابی آلودگی اکوسیستم آبی است. چون ماهی ها آلودگی ها را هم به حالت مستقیم هم از طریق رژیم غذایی در بافت‌های خود انباشته می کنند (۱).

فلزات سنگین به دلیل برخورداری از خصوصیت تجمع‌پذیری در بافت‌های گوناگون و عدم تجزیه‌پذیری و نیز مقاومت در برابر تغیرات بیولوژیکی حتی در تجمع‌های کم نیز می‌توانند در طول زنجیره غذایی نیز حضور داشته و پس از وارد شدن به محیط قادرند در چرخه حیات به مسیر خود در زنجیره غذایی ادامه داده و کم کم در بافت بدن مصرف‌کنندگان ذخیره گردند و از این راه موجب بروز خطرات متعدد، سمی، حاد، مزمن و حتی اثرات سوء ژنتیکی شوند (۲). در ادامه به معرفی ۴ فلز سنگین مورد تحقیق در این پژوهش و اثرات سو سلامتی آن ها پرداخته می شود. توجه به انتقال آلودگی های فلزی از طریق زنجیره غذایی به دهه ی۱۹۶۰ میلادی بر می‌گردد. واقعه ی مینولیتا که در اواخر دهه ی۵۰ میلادی در کشور ژاپن رخ داد، نگرانی ها در مورد انتقال فلزات سنگین از مواد غذایی دریایی و دسترسی انسان به آن را بالا رفتن داد و نقطه شروع خیلی از مطالعات در این زمینه شد (۳). روش معمول در تخمین خطر ایجاد شده بر اثر مواجهه با سطوح شناخته شده آلودگی ها استفاده از ابزار ارزیابی ریسک سلامت (HRA)[1] می باشند. با استفاده از این ابزار تجمع زیستی در دسترس فلزات سنگین و خطر آن برای انسان قابل ارزیابی می باشد (۴).

[1] Health risk assessment

تولید مثل ماهی زالون در نزدیکی دهانه رودخانه های اصلی در بخش جنوب شرقی دریای کاسپی دیده می شود. این ماهی از مهم‌ترین ماهیان خانواده شگ ماهیان می باشد که به منظور تجاری و تحقیقاتی صید می شود. ماهی سوف در اکثر رودخانه هایی که به دریای کاسپی می ریزد، زیست کرده و در دریا در سواحل و مناطقی که دارای آب شیرین تر است زندگی و تغذیه می کند. فلزات سنگین به عنوان یک شاخص حائز اهمیت برای تخریب اکوسیستم شناخته شده اند. فلزات سنگین در رسوب به طور مستقیم در طول جذب و فرآیندهای رسوب گذاری توسط مواد معلق تجمع پیدا می کنند. رسوب زیست بوم برای خیلی از جانداران آبزی و مخزن اصلی برای خیلی از عناصر سمی است و با بزرگنمایی زیستی از طریق زنجیره غذایی آلودگی های گوناگون مثل فلزات سنگین را به جانداران گوناگون منتقل می نماید (۱). میزان بیش از حد فلزات سنگین سمی می‌تواند مشکلات آلودگی شدید برای مردم و اکوسیستم ایجاد نموده و در نهایت سبب بیماری و بخصوص بروز سرطان در انسان گردد. درباره خطر بیماری‌زایی و ایجاد سرطان در نتیجه وجود فلزات سنگین در ایران و دنیا مطالعاتی صورت گرفته است، اما اطلاعات کاملی از احتمال خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، ارسنیک و کروم در ماهیان زالون و سوف که از ماهیان پرطرفدار در منطقه و ایران می باشند وجود ندارد. هدف از این پژوهش ارزیابی تجمع برخی فلزات سنگین در ماهیان سوف و زالون صید شده از استان مازندران (به عنوان بخشی از محیط دریای کاسپی) با تاکید بر سلامت انسان و ارزیابی شاخص های بهداشتی است. سوف سفید مهاجرت تولیدمثلی به بالادست رودخانه ها انجام داده و با مواد طبیعی موجود در بستر رودخانه مانند شن و سنگریزه لانه سازی میکند. دلیل انتخاب این منطقه داشتن رودخانه های پر آب و مناسب پرورش این ماهی می باشد که از مطالعات عفت پناه و فلاحتکار (۱۳۹۸)، جاوید و فلاحتکار(۱۳۹۹) و .... بر روی سوف ماهیان انجام شد بدست آمد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها در استان مازندران از چهار منطقه ساری، نور، چالوس و رامسر ماهی های سوف و زالون ماهی در سال ۱۴۰۱ بوده است. همچنین فلزات سنگین مورد بررسی این پژوهش سرب، کادمیوم، کبالت، آرسنیک و کروم بود. در زمان نمونه گیری هر کدام از ماهی ها ۲ عدد صید شده است. در سه تکرار و تا حد امکان در یک اندازه و وزن تهیه و به حالت یخ زده به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه های ماهی در محیط آزمایشگاه ابتدا با آب دوبار تقطیر شده شستشو داده شدند. در مرحله ی بعد طول آن ها توسط تخته زیست سنجی با دقت یک میلی متر و وزنشان با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه گیری شد. بعد از آن هریک از آن ها درون کیسه های پلاستیکی استریل مجزا قرار داده و شماره گذاری شدند. سپس با چاقوی سرامیکی به میزان ۲۰-۳۰ گرم از قسمت بالای بدن ماهی (زیر باله پشتی) برداشته شد و به درون ظروف کاملا تمیز (شستشو داده شده با

اسید نیتریک) منتقل گردید. بافت ها به منظور فرایند خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در آون با حرارت ۹۰ درجه قرار داده شدند.

شکل ۱: موقعیت مناطق نمونه برداری نسبت به دریای خزر

میزان جذب روزانه (EDI[1])

میزان جذب روزانه فلزات سنگین توسط بدن از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/ کیلوگرم وزن بدن/ روز) آلوده به فلز سنگین از طریق این شاخص به دست آمده است که به سه عامل وزن مصرف کننده، تجمع فلز سنگین در عضله ماهی و میزان مصرف ماهی بر حسب گرم در روز بستگی دارد و طبق رابطه زیر می باشد:

$$EDI = \frac{C_m \times FIR_D}{BW}$$

EDI: میزان جذب روزانه (میکروگرم بر کیلوگرم)

C_m[2]: میزان تجمع فلز در بافت عضله ماهی (میکروگرم/ گرم برحسب وزن تر)

FIR_D[3]: میزان مصرف ماهی در مناطق مورد تحقیق برحسب گرم در روز (در بزرگسالان:۳۳/۶ و در کودکان: ۱۳/۱ گرم در روز) (۵)

[1] Estimated Daily Intake

[2] Concentration of heavy metal

[3] Food Ingestion Rate (Daily)

BW[1]: میانگین وزن بدن

میزان جذب هفتگی (EWI[2])

میزان جذب هفتگی فلزات سنگین توسط بدن از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/ کیلوگرم وزن بدن/ هفته) آلوده به فلز سنگین از طریق این شاخص به دست آمده است که به سه عامل وزن مصرف کننده، تجمع فلز سنگین در عضله ماهی و میزان مصرف ماهی بر حسب گرم درهفته بستگی دارد و طبق رابطه زیر می باشد (۶):

$$EwI = \frac{C_m \times FIR_w}{BW}$$

EWI: میزان جذب درهفته (میکروگرم بر کیلوگرم)

C_m: میزان تجمع فلز در بافت عضله ماهی (میکروگرم/ گرم برحسب وزن تر)

FIR_w[3]: میزان مصرف ماهی در مناطق مورد تحقیق برحسب گرم درهفته (در بزرگسالان: ۲۳۵/۲ و در کودکان: ۹۱/۷ گرم در هفته) (۵)

BW: میانگین وزن بدن (۷۰بالغین: کیلوگرم و کودکان: ۱۶ کیلوگرم)

نتایج تخمین دریافت روزانه و هفتگی با دریافت روزانه و هفتگی قابل تحمل موقت تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت/سازمان خواربارجهانی (۲۰۰۴) مقیاس می شود.

میزان دریافت مجازقابل تحمل موقت روزانه و هفتگی

PTWI[4] و PTDI[5] به میزان دوره مصرف و میزان آن توسط مصرف کننده غذا بستگی دارد (۶) وحداکثر میزان دریافت روزانه و هفتگی فلزات سنگین بدون هیچ گونه خطری برای سلامت انسآنرا نشان می دهد (۱). در واقع میزان فلزات سنگین موجود در ماهیچه با این میزان که برگرفته و توصیه شده توسط کمیته مشترک خواربار جهانی و سازمان بهداشت جهانی می باشد مقیاس می شود. این عمل جهت تعیین میزان ایمن و بدون خطر برای مصرف روزانه و هفتگی فرد انجام می شود (۵).

پتانسیل خطر غیر سرطانزایی (THQ[6])

---

[1] Body Weight

[2] Estimated Weekly Intake

[3] Food Ingestion Rate (Weekly)

[4] Provisional Tolerable Weekly Intake

[5] Provisional Tolerable Daily Intake

[6] Target Hazard Quotient

این شاخص که برای بیان اثرات غیر سرطان‌زایی آلودگی استفاده می شود، توسط آژانس حفاظت اکوسیستم آمریکا از شاخص های معتبر جهت اندازه‌گیری دریافت فلزات سنگین از طریق مواد غذایی آلوده معرفی شد و نسبت مصرف میزان معینی فلز سمی از طریق خوراکی به میزان یا دوز مرجع ارائه شده توسط آژانس حفاظت اکوسیستم آمریکا می باشد. اگر این شاخص بیش از یک به دست بیاید، به این معنی است که احتمالا جمعیت مصرف کننده ی ماده ی غذایی آلوده به فلز اثرات مضر آشکاری را تجربه خواهند کرد. با بالا رفتن میزان این شاخص احتمال خطر سلامتی برای انسان نیز بیشتر خواهد شد. ولی اگر کمتر از یک به دست بیاید به این معنی است که خطر حاصل از آن قابل چشم پوشی می باشد. این شاخص از رابطه ی زیر به دست آمده است (۷):

$$THQ = \frac{EF \times ED \times C \times FIR}{RfD \times BW \times AT} \times 10^{-3}$$

EF[1]: فراوانی مواجهه (۳۶۵ روز/ سال)

ED[2]: متوسط دوره ی مواجهه (۷۰ سال برای بزرگسالان و ۶ سال برای کودکان)

C: تجمع فلز سنگین در عضله ماهی

FIR: میزان مصرف روزانه

RfD[3]: دوز مرجع خوراکی (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) برای فلزات سنگین کادمیوم، آرسنیک، سرب و مس بترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۴ می باشد (۴ و ۸).

BW: وزن فرد (۷۰بالغین: کیلوگرم و کودکان: ۱۶ کیلوگرم)

AT[4]: میانگین زمان که حاصل ضربED و روزهای سال می باشد.

شاخص خطر (Hazard Index[5])

به منظور ارزیابی ریسک سلامتی در ارتباط با مصرف ماهی، خطرپذیری کل یا شاخص خطر از فرمول زیر محاسبه شد (۹):

$$HI = \sum THQ = THQ_{As} + THQ_{Pb} + THQ_{Cd} + THQ_{Cu}$$

اگر این شاخص بیش از یک به دست بیاید، به این معنی است که احتمالا جمعیت مصرف کننده ی ماده ی غذایی آلوده به فلز اثرات مضر آشکاری را تجربه خواهند کرد، ولی اگر کمتر از یک به دست بیاید خطر حاصل از آن قابل چشم پوشی می باشد (۷)

پتانسیل سرطان‌زایی (TCR[1])

[1] Exposure frequency

[2] Exposure duration

[3] Reference Oral Dose

[4] Average Time

[5] Hazard Index

این شاخص ریسک ابتلا به سرطآنرا در طول زندگی بر اثر مواجهه با یک عامل بالقوه سرطان‌زا نشان می دهـد. بـر اسـاس آژانس حفاظت اکوسیستم آمریکا این شاخص از رابطه ارزیابی شد (۷ و ۱۰):

$$TCR = \frac{EF \times ED \times C \times FIR \times CSF}{BW \times AT} \times 10^{-3}$$

EF: فراوانی مواجهه

ED: متوسط دوره ی مواجهه

C: تجمع فلز سنگین در عضله ماهی

FIR: میزان مصرف روزانه

CSF[۲]: فاکتور شیب سرطان‌زایی خوراکی می باشد (برای فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم و سرب بترتیب ۱/۵، ۶/۳ و ۰/۰۰۸۵ (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) می باشد.)

BW: وزن فرد (۷۰بالغین: کیلوگرم و کودکان: ۱۶ کیلوگرم)

AT: میانگین زمان که حاصل ضربED و روزهای سال می باشد.

حد قابل قبول مصرف روزانه ماهی (CRlim[۳]) و حد قابل قبول وعده های ماهانه ماهی (CRmm[۴])

حد مجاز مصرف ماهی به منظور ایجاد تعادل بین فواید مصرف ماهی و حفظ سلامت عمومی ناشی از مصـرف مـاهی مـی باشد (۶). حد مصرف روزانه ماهی و تعداد وعده های ماهانه با استفاده از روش آژانس حفاظت اکوسیستم (EPA) اندازه‌گیری می شود. این میزان براساس میزان فلزات سنگین در بافتهای خوراکی ماهی با استفاده از دوز مرجع براساس فرمـول هـای زیـر ارزیابی شده اند. با استفاده از اینروش ها، فرد می‌تواند سطح قابل پذیرشی از مصرف ماهی و محصولات شیلاتی در طی یـک دوره ی زمانی را، به دست بیاورد (۵).

---

[1] Target Cancer Risk

[2] Carcinogenic Slope Factor

[3] The Maximum allowable concentration rate per day

[4] The Maximum allowable fish consumption rate per month

$$CRlim = \frac{RFD \times Bw}{Cm}$$

$CRlim$: حد مجاز مصرف روزانه ماهی (کیلوگرم در روز)

Cm: تجمع فلز سنگین در عضله ماهی (میکروگرم بر گرم)

RfD: دوز مرجع (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)

BW (body weight): وزن فرد (کیلوگرم)

$$CRmm = \frac{CRlim \times Tap}{Ms}$$

$CRmm$: تعداد مجاز وعده های ماهانه مصرف ماهی

$CRlim$: حد مجاز مصرف روزانه ماهی برحسب کیلوگرم در روز

Tap[1]: دوره ی متوسط زمانی (۳۶۵/۲۵ روز÷۱۲ ماه (۳۰/۴۴))

Ms[2]: متوسط اندازه وعده ماهی (بزرگسالان: ۰/۲۲۷ کیلوگرم و کودکان: ۰/۱۱۴کیلوگرم

نتایج

تخمین دریافت روزانه (EDI)

دریافت تخمینی روزانه (EDI) فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آرسنیک، کبالت و کروم از طریق مصرف ماهی سوف و زالون برای فرد بالغی با وزن ۷۰ کیلوگرم محاسبه و یافته های مرتبط با آن به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شد.

جدول ۱. تخمین دریافت روزانه فلزات سنگین در ماهی سوف

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	**۰/۰۰۰۳۱۲**	**۰/۳۴۵۹۶**	**۰/۰۰۳۳**	**۰/۰۷۶۳۲**	**۰/۰۴۸۲۵۶**
نور	**۰/۰۰۰۵۰۴**	**۰/۱۷۱۶**	**۰/۰۰۱۸۶**	**۰/۱۰۱۰۴**	–
ساری	**۰**	**۰/۰۸۱۸۴**	**۰/۰۰۱۳۴۴**	**۰/۱۲۲۸۸**	–
چالوس	**۰/۰۰۰۲۰۸**	**۰/۰۴۰۶۴**	**۰/۰۰۱۶۴۸**	**۰/۱۰۴۱۶**	**۰/۰۰۲۰۱۶**

نتایج بررسی دریافت تخمین روزانه فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین میزان دریافت تخمینی روزانه برای فلز سرب به میزان ۰/۳۴۵۹۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۳۱۲

[1] Time average period

[2] Meal size

میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۱۰۱۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۵۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی روزانه متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۰/۱۲۲۸۸ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان ۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۱۰۴۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۲۰۸ ۰ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. همچنین نتایج نشان داد که در مناطق نور و ساری اثری از دریافت تخمینی روزانه کروم وجود ندارد.

جدول ۲. تخمین دریافت روزانه فلزات سنگین در ماهی زالون

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۰/۰۰۱۲۲۴	۰/۴۷۴۵۶	۰/۰۰۳۶۹۶	۰/۶۷۰۸	۰/۰۰۸۵۲
نور	۰/۰۰۰۶۰۸	۰/۲۱۷۶	۰/۰۰۶۴۱۶	۰/۴۳۹۳۶	۰/۰۳۴۴۸
ساری	۰/۰۰۱۰۴	۰/۱۵۷۱۲	۰/۰۰۶۹۹۲	۰/۶۶۸۸	۰/۰۰۶۱۲۸
چالوس	۰/۰۰۲۱۲۸	۰/۱۴۵۶	۰/۰۰۷۴۰۸	۰/۸۸۳۵۲	۰/۰۲۲۴۸۸

نتایج بررسی دریافت تخمین روزانه فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین میزان دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۶۷۰۸ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۱۲۲۴ میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۴۳۹۳۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۶۰۸ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی روزانه متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۰/۶۶۸۸ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان ۰/۰۰۱۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۸۸۳۵۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۲۱۲۸ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد.

تخمین دریافت هفتگی (EWI)

دریافت تخمینی هفتگی (EWI) فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آرسنیک، کبالت و کروم از طریق مصرف ماهی سوف و زالون برای فرد بالغی با وزن ۷۰ کیلوگرم محاسبه و یافته های مرتبط با آن به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شد.

جدول ۳. تخمین دریافت هفتگی فلزات سنگین در ماهی سوف

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۰/۰۲۱۸۴	۲/۴۲۱۷۲	۰/۰۲۳۱	۰/۵۳۴۲۴	۰/۳۳۷۷۹۲
نور	۰/۰۰۳۵۲۸	۱/۲۰۱۲	۰/۰۱۳۰۲	۰/۷۰۷۲۸	–
ساری	۰	۰/۵۷۲۸۸	۰/۰۰۹۴۰۸	۰/۸۶۰۱۶	–
چالوس	۰/۰۰۱۴۵۶	۰/۲۸۴۴۸	۰/۰۱۱۵۳۶	۰/۷۲۹۱۲	۰/۰۱۴۱۱۲

نتایج بررسی دریافت تخمین هفتگی فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین میزان دریافت تخمینی هفتگی برای فلز سرب به میزان ۲/۴۲۱۷۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۲۱۸۴ میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز سرب به میزان ۱/۲۰۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۳۵۲۸ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی هفتگی متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۰/۸۶۰۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان ۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۷۲۹۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۱۴۵۶ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. همچنین نتایج نشان داد که در مناطق نور و ساری اثری از دریافت تخمینی هفتگی کروم وجود ندارد.

جدول ۴. تخمین دریافت هفتگی فلزات سنگین در ماهی زالون

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۰/۰۰۸۵۶۸	۳/۳۲۱۹۲	۰/۰۲۵۸۷۲	۴/۶۹۵۶	۰/۰۵۹۶۴
نور	۰/۰۰۴۲۵۶	۱/۵۲۳۲	۰/۰۴۴۹۱۲	۳/۰۷۵۵۲	۰/۲۴۱۳۶
ساری	۰/۰۰۷۲۸	۱/۰۹۹۸۴	۰/۰۴۸۹۴۴	۴/۶۸۱۶	۰/۰۴۲۸۹۶
چالوس	۰/۰۱۴۸۹۶	۱/۰۱۹۲	۰/۰۵۱۸۵۶	۶/۱۸۴۶۴	۰/۱۵۷۴۱۶

نتایج بررسی دریافت تخمین هفتگی فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین میزان دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک به میزان ۴/۶۹۵۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۸۵۶۸

میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک بـه میـزان ۳/۰۷۵۵۲ میکروگـرم بـر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۴۲۵۶ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شـد. در منطقـه سـاری بیشـینه دریافـت تخمینی هفتگی متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۴/۶۸۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینـه آن بـه میـزان ۰/۰۰۷۲۸ میکروگـرم بـر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشـینه دریافـت تخمینـی هفتگـی بـرای فلـز آرسـنیک بـه میـزان ۶/۱۸۴۶۴ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۱۴۸۹۶ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد.

ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین (THQ):

میزان پتانسیل خطرپذیری THQ هر یک از فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب، کادمیوم و کروم برای مصرف کنندگان بزرگسال ماهیان سوف و زالون صید شده از چهار ایستگاه صیادی محاسبه و در جداول ۵ و ۶ نشان داده شد.

جدول ۵. پتانسیل خطر غیر سرطان‌زایی در بالغین ماهی سوف

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۰/۰۰۰۳۱۲	۰/۰۸۶۴۹	۰/۰۰۰۱۶۵	۰/۲۵۴۴	۰/۰۱۶۰۸۵
نور	۰/۰۰۰۵۰۴	۰/۰۴۲۹	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۳۳۶۸	–
ساری	۰	۰/۰۲۰۴۶	–	۰/۴۰۹۶	–
چالوس	۰/۰۰۲۰۸	۰/۰۱۰۱۶	–	۰/۳۴۷۲	۰/۰۰۰۶۷۲

نتایج بررسی پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین و کمترین پتانسیل خطرغیرسرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۰/۲۵۴۴ و ۰/۰۰۰۱۶۵ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم به میزان ۰/۳۳۶۸ و ۰/۰۰۰۵۰۴ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و سرب به میزان ۰/۴۰۹۶ و ۰/۰۲۰۴۶ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم به میزان ۰/۳۴۷۲ و ۰/۰۰۲۰۸ ثبت شد. همچنین نتایج نشان داد که در مناطق نور و ساری اثری از کروم وجود نداشته و برای ساری و چالوس اثری از کبالت مشاهده نگردید.

جدول ۶. پتانسیل خطر غیر سرطان‌زایی در بالغین ماهی زالون

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۰/۰۰۱۲۲۴	۰/۱۱۸۶۴	۰/۰۰۰۱۸۵	۲/۲۳۶	۰/۰۰۲۸۴
نور	۰/۰۰۱۰۴	۰/۰۳۹۲۸	۰/۰۰۰۳۲۱	۱/۴۶۴۵۳۳	۰/۰۱۱۴۹۳
ساری	۰/۰۰۱۰۴	۰/۰۳۹۲۸	۰/۰۰۰۳۵	۲/۲۲۹۳۳۳	۰/۰۰۲۰۴۳
چالوس	۰/۰۰۲۱۲۸	۰/۰۳۶۴	۰/۰۰۰۳۷	۲/۹۴۵۰۶۷	۰/۰۰۷۴۹۶

نتایج بررسی پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین و کمترین پتانسیل خطرغیرسرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم به میزان ۲/۲۳۶ و ۰/۰۰۱۲۲۴ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۱/۴۶۴۵۳۳ و ۰/۰۰۰۳۲۱ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۲/۲۲۹۳۳۳ و ۰/۰۰۰۳۵ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۲/۹۴۵۰۶۷ و ۰/۰۰۰۳۷ ثبت شد.

خطرسرطان زایی فلزات سنگین (TCR)

نتایج به دست آمده از محاسبه ی شاخص خطر سرطان‌زایی در جدول شماره ی ۷ و ۸ نشان داده شد.

جدول ۷. پتانسیل خطر سرطان‌زایی در بالغین ماهی سوف

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۱/۹۶۵۶E – ۰۶	۲/۹۴E – ۰۶	–	۰/۰۰۰۱۱۴	۲/۴۱۲۸E – ۰۵
نور	–	۱/۴۶E – ۰۶	–	۰/۰۰۰۱۵۲	–
ساری	۳/۱۷۵۲E – ۰۶	۶/۹۶E – ۰۷	–	۰/۰۰۰۱۸۴	–
چالوس	–	۳/۴۵E – ۰۷	–	۰/۰۰۰۱۵۶	۱/۰۰۸E – ۰۶

نتایج بررسی پتانسیل خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین و کمترین پتانسیل خطر سرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان ۰۶–E ۲/۹۴ و ۰/۰۰۰۱۱۴ ثبت شد. در

منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان ۱/۴۶ E-۰۶ و ۰/۰۰۰۱۵۲ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان ۶/۹۶ E-۰۷ و ۰/۰۰۰۱۸۴ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان ۱/۴۵ E-۰۷ و ۰/۰۰۰۱۵۶ ثبت شد.

جدول ۸. پتانسیل خطر سرطان‌زایی در بالغین ماهی زالون

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۷/۷۱۱۲E – ۰۶	۴/۰۳E – ۰۶	–	۰/۰۰۱۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۴۲۶
نور	۳/۸۳۰۵E – ۰۶	۱/۸۵E – ۰۶	–	۰/۰۰۰۶۵۹	۱/۷۲۴E – ۰۵
ساری	۶/۵۵۲۱E – ۰۶	۱/۳۴E – ۰۶	–	۰/۰۰۱۰۰۳	۳/۰۶۴E – ۰۶
چالوس	۱/۳۴۰۶E – ۰۵	۱/۲۴E – ۰۶	–	۰/۰۰۱۳۲۵	۱/۱۲۴۴E – ۰۵

نتایج بررسی پتانسیل خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین و کمترین پتانسیل خطر سرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و کروم به میزان ۷/۷۱۱۲ E-۰۶ و ۰/۰۰۰۰۰۴۲۶ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و آرسنیک به میزان ۳/۸۳۰۵ E-۰۶ و ۰/۰۰۰۶۵۹ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و آرسنیک به میزان ۶/۵۵۲ E-۰۶ و ۰/۰۰۱۰۰۳ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و آرسنیک به میزان ۱/۳۴۰۶ E-۰۶ و ۰/۰۰۱۳۲۵ ثبت شد.

حد مجاز مصرف روزانه ماهی (CRlim)

میزان حد مجاز مصرف روزانه سه گونه ماهی مورد تحقیق برای دو گروه بالغین با وزن ۷۰ کیلوگرم برای هر یک از پنج فلز مس، آرسنیک، کادمیوم، کبالت و کروم مورد محاسبه قرار گرفته است و نتایج آن در جدول شماره ی ۹ و ۱۰ نشان داده شد.

جدول ۹. حد مجاز مصرف روزانه (CRlim) در بالغین ماهی سوف

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۱۰۷/۶۹۲۳	۰/۳۸۸۴۸۴	۲۰۳/۶۳۶۴	۰/۱۳۲۰۷۵	۲/۰۸۸۸۶
نور	۶۶/۶۶۶۶۷	۰/۷۸۳۲۱۷	۳۶۱/۲۹۰۳	**۰/۰۹۹۷۶۲**	–
ساری	–	۱/۶۴۲۲۲۹	۵۰۰	**۰/۰۸۲۰۳۱**	–
چالوس	۱۶۱/۵۵۰۹	۳/۳۰۷۰۸۵	۴۰۷/۷۷۰۹	**۰/۰۹۶۷۷۴**	۵۰

نتایج بررسی حد مجاز مصرف روزانه فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین و کمترین حد مجاز مصرف روزانه فلزات سنگین به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۲۰۳/۶۳۶۴ و ۰/۱۳۲۰۷۵ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۳۶۱/۲۹۰۳ و ۰/۰۹۹۷۶۲ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۵۰۰ و ۰/۰۸۲۰۳۱ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۴۰۷/۷۷۰۹ و ۰/۰۹۶۷۷۴ ثبت شد.

جدول ۱۰. حد مجاز مصرف روزانه (CRlim) در بالغین ماهی زالون

فلز/منطقه	کادمیوم	سرب	کبالت	آرسنیک	کروم
رامسر	۲۷/۴۵۰۹۸	۰/۲۸۳۲۱	۱۸۱/۸۱۸۲	۰/۰۱۵۰۲۷	۱۱/۸۳۰۹۹
نور	۵۵/۲۶۱۷	۰/۶۱۷۶۴۷	۱۰۴/۷۳۴۹	۰/۰۲۲۹۴۲	۲/۹۲۳۴۳۵
ساری	۳۲/۳۰۷۲	۰/۸۵۵۳۹۷	۹۶/۱۰۹۶۲	**۰/۰۱۵۰۷۲**	۱۶/۴۴۹۰۴
چالوس	۱۵/۷۸۹۵۹	۰/۹۲۳۰۷۷	۹۰/۷۱۲۹۴	**۰/۰۱۱۴۰۹**	۴/۴۸۲۳۹۱

نتایج بررسی حد مجاز مصرف روزانه فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین و کمترین حد مجاز مصرف روزانه فلزات سنگین به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۱۸۱/۸۱۸۲ و ۰/۰۱۵۰۲۷ ثبت

شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۱۰۴/۷۳۹ و ۰/۰۲۲۹۴۳ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۹۶/۱۰۹۶۲ و ۰/۰۱۵۰۷۲ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۹۰/۷۱۲۹۴ و ۰/۰۱۱۴۰۹ ثبت شد.

بحث و نتیجه گیری

روش مرسوم در تخمین ریسک خطر ایجاد شده دراثر مواجهه با سطوح شناخته شده ی آلودگی ها استفاده از ابزار ارزیابی ریسک سلامت می باشند که با استفاده از آن ها خطر بالقوه برای سلامت انسان قابل ارزیابی می باشد (۴). از استانداردها و روش های پذیرفته شده بین المللی جهت تعیین خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی مصرف ماهی روشی است که توسط آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) مورد استفاده قرار می گیرد (۵) از اینرو از شاخص های EDI و EWI برای تعیین دریافت تخمینی روزانه و هفتگی فلزات سنگین توسط کودکان و بالغین استفاده شد. جذب روزانه عنصر از طریق مصرف مواد غذایی به تجمع عنصر در غذا و میزان غذای مصرفی بستگی دارد (۱۱). یک عامل حائز اهمیت در ارزیابی خطرات مواد شیمیایی موجود در غذا، دانستن میزان جذب این مواد مضر توسط بدن و نگه داشتن آن در حاشیه امن می باشد (۶). براساس نتایج به دست آمده از پژوهش های پیشین و ولیر سالانه ی سازمان شیلات ایران میزان مصرف ماهی برای هر فرد بالغ ۳۳/۶ و برای کودکان ۱۳/۱ گرم به حالت روزانه می‌باشد (۵).

در پژوهشی که در کشور اسلوونی بر روی آلودگی ماهیان کپور معمولی و کلمه صید شده از مجموعه دریاچه های سالک به فلزات سنگین سرب ، کادمیوم و آرسنیک انجام شد، الگوی آلودگی به حالت سرب > آرسنیک > کادمیوم بوده است. در این تحقیق مثل پژوهش حاضرمیزان آلودگی سرب در این دو گونه بیش ازآرسنیک و کادمیوم به دست آمده است. به طور کلی میزان تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پژوهش حاضر بیش از این مطالعه بوده و تنها تجمع آرسنیک به عدد به دست آمده از پژوهش حاضر نزدیک است. در ارزیابی دریافت تخمینی هفتگی (EWI) میزان به دست آمده از این تحقیق بسیار کمتر از پژوهش حاضربوده است (۱۲). میزان کمتر آلودگی در این تحقیق می‌تواند نشان دهنده این مساله باشد که آلودگی های کشاورزی و صنعتی برخلاف خلیج گرگان وارد دریاچه‌های مورد تحقیق نمی‌شوند. حتی باوجود بیشتر بودن آلودگی سرب نسبت به دو فلز دیگر در این تحقیق میزان آن بسیار کمتر از حداکثر حد قابل قبول بوده است. در پژوهشی که به روی ماهی کفال صید شده در جنوب نیجریه انجام شد، تجمع فلزات سنگین کادمیوم، سرب و مس به ترتیب ۱۷/۴۴، ۶/۷۵ و ۳۲/۹۸ به دست امده است. با وجود اینکه براساس مرتبه ی آلودگی فلزات سنگین در این پژوهش و نیز پژوهش حاضر فلز مس بیش از سایر فلزات سنگین سهم دارد، ولی میزان آلودگی به این سه فلز در این تحقیق بسیار بیشتر از تحقیق حاضر بوده است، ولی میزان آلودگی به ارسنیک در این تحقیق کمتر از تحقیق حاضر بوده است. دریافت تخمینی روزانه فلز کادمیوم بین اعداد ۷/۴۹ و ۱۰/۷۰۰، سرب بین ۳/۲۲۲ و ۴/۵۹۰ و فلز مس بین ۱۰/۱۸۵ و ۱۴/۵۰ به دست آمده است، که از میزان به دست آمده در پژوهش حاضربیشتر بوده است. محیط آبی انتخاب شده در این تحقیق یک مسیر حمل و نقل کالا و نیز مواد نفتی می

باشد و از طرف دیگر از منابع تامین پروتئین مردم منطقه است. دلیل آلودگی بالای ماهی در این تحقیق می‌تواند همین نکته نیز باشد (۱۳).

در مطالعه‌ای بر روی ۸ نوع ماهی مورد مصرف در بنگلادش انجام شد، آلودگی فلزات سنگین مس، کادمیوم، سرب و آرسنیک مورد تحقیق قرار گرفته است. در این تحقیق ترتیب آلودگی فلزات سنگین به حالت کادمیوم > سرب > مس > آرسنیک بوده و متفاوت از نتایج پژوهش حاضر بوده است. میزان آلودگی کادمیوم و سرب در این تحقیق بسیار بیشتر از پژوهش حاضر به دست آمده است. میزان آلودگی ماهیان به فلز مس بین ۰/۳–۲/۲۳، کادمیوم ۱/۵۲–۱۴/۰۹، سرب ۰/۱۱– ۸/۹۲ و آلودگی آرسنیک نیز ۰/۰۸> بوده است. در این تحقیق شاخص EDI بین $۱/۲۸*۱۰^{-۴}$ تا $۵/۲۵*۱۰^{-۵}$ برای فلز مس، $۱/۰۸*۱۰^{-۳}$ تا $۲/۶۶*۱۰^{-۴}$ برای فلز کادمیوم، $۱/۹۵*۱۰^{-۵}$ تا $۱/۵۶*۱۰^{-۳}$ برای فلز سرب و کمتر از حد تشخیص برای آرسنیک به دست آمده است (۱۴). در پژوهشی که در دو منطقه ی ساحلی کشور مالزی روی ۲ گونه ماهی دریایی انجام شد، میزان تجمع فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و آرسنیک در منطقه اول مورد تحقیق به ترتیب بین ۰/۰۴–۰/۱۶، ۱/۴۹–۰/۸۱، ۱/۸۴–۳/۳۶، ۴/۱۷–۳/۵۴ و در منطقه ی دوم ۰/۰۳–۰/۴۳، ۱/۶۴–۰/۸۱، ۲/۰۷–۲۵/۶۹، ۶/۳۸– ۲۳/۵۲ میکروگرم بر گرم به دست آمده است. محاسبه ی دریافت تخمینی روزانه (EDI) نشان داده است که میزان این شاخص در ارتباط با فلزات سنگین سرب و کادمیوم کمتر از دریافت قابل تحمل موقت روزانه بوده است. در مورد آرسنیک به غیر از یک مورد میزان این شاخص در باقی نمونه ها بیش از دریافت قابل تحمل موقت روزانه به دست آمد. میزان EDI مس تقریبا دو برابر میزان دریافت قابل تحمل موقت روزانه تعیین شده برای این فلز بوده است (۱۵).

در تحقیقی که طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ بر روی آلودگی ماهیان و سایر آبزیان صید شده از نقاط گوناگون کشور چین به فلزات سنگین انجام شد، میانگین میزان تجمع فلز کادمیوم در ماهیان بین ۰/۰۰۶ در شمال غربی تا ۰/۰۰۸ در شرق و جنوب غربی، تجمع فلز سرب بین ۰/۰۲۲ در شمال غربی تا ۰/۰۵ در جنوب غربی و تجمع فلز آرسنیک بین ۰/۰۱۷ در جنوب غربی و بخش مرکزی چین تا ۰/۰۲۶ در بخش شرقی بوده است. به غیر از منطقه ی شرق چین در سایر نقاط مورد تحقیق میزان تجمع سرب بیش از دو فلز دیگر بوده است. در محاسبه میزان دریافت تخمینی روزانه (EDI) نیز تمام میزان به دست آمده در این تحقیق کمتر از دریافت قابل تحمل موقت روزانه گزارش شد و از این لحاظ با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (۷).

خطر غیر سرطان‌زایی (THQ)

ارزیابی خطر فلزات سنگین از طریق مصرف محصولات دریایی اغلب به وسیله THQ محاسبه می شود (۶). THQ شاخص ارزیابی خطر می باشد و دریافت آلودگی را با یک دوز مرجع استاندارد مقیاس می کند و اغلب در ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین مورد استفاده قرار می گیرد (۱۶). اگر میزان این شاخص بیش از عدد یک به دست بیاید بدین معناست که فلز سنگین مورد تحقیق در ماده ی غذایی دارای پتانسیل خطر (خطر بالقوه) برای سلامت مصرف کننده می باشد و اگر کمتر از عدد یک به دست بیاید این خطر قابل چشم پوشی خواهد بود (۷) و حاکی ازآن است که دراثر مصرف ماهیان

مورد ارزیابی احتمال بروز خطر بیماری‌های غیر سرطانی در افراد مصرف کننده این گونه ماهیان بسیار کم است (۶). برای محاسبه ی این شاخص دو مورد به عنوان پیش فرض دانسته می شود:

۱. میزان فلز وارد شده برابر میزان جذب شده توسط بدن است.

۲. عمل پختن تاثیری بر آلودگی ندارد (۱۷).

میزان THQ محاسبه شده برای فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب و مس دراثر مصرف گونه های صید شده از هر سه ایستگاه برای بزرگسالان و کودکان در تحقیق حاضر کمتر از یک به دست آمده است که نشان می دهد، مصرف آن ها از میزان بهداشتی خطری برای مصرف کنندگان به لحاظ ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی ندارد. در پژوهشی که بر روی آلودگی تعدادی از گونه های صید شده در بندرعباس به فلزات سنگین انجام شد، میزان شاخص THQ برای فلز سرب بین $۴/۳۲*۱۰^{-۴}$ تا $۱/۰۳*۱۰^{-۳}$ و میزان این شاخص برای فلز کادمیوم بین $۱/۷۶*۱۰^{-۴}$ تا $۶/۷*۱۰^{-۴}$ به دست آمده و از نتایج تحقیق حاضر کمتر بوده است (۱۸).در پژوهشی که بر روی ماهی کپور در کشور لهستان، میزان پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) و مجموع آن ها (HI) کمتر از یک به دست آمد و مشابه تحقیق حاضر خطری را از جهت بیماری‌های غیر سرطانی ایجاد نمی کرده است (۱۹). در تحقیقی که بر روی آلودگی عضله چند گونه ماهی در خلیج کاتانیا در شرق دریای مدیترانه به فلزات سنگین انجام شد میزان شاخص THQ برای فلز کادمیوم کمتر از یک بوده و با تحقیق حاضر همخوانی دارد، ولی شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلز آرسنیک برخلاف تحقیق حاضر بیش از یک به دست آمده است (۲۰).

در مطالعه‌ای که در مناطق گوناگون کشور چین در ارتباط با آلودگی گونه های گوناگون ماهی به فلزات سنگین انجام شد، میزان شاخص پتانسیل غیر سرطان‌زایی آلودگی (THQ) برای سه فلز آرسنیک، سرب و کادمیوم و همچنین شاخص HI برای تمام فلزات سنگین مورد تحقیق محاسبه شده و تمامی میزان کمتر از یک به دست آمد. این بدان معناست که مصرف این ماهیان خطر بالقوه ای برای سلامتی مصرف کنندگان ندارد. بعلاوه، نتایج حاصل از محاسبه ی شاخص HI برای تمام فلزات سنگین مورد تحقیق کمتر از عدد یک به دست آمده است. نتایج تحقیق شاخص خطر غیرسرطان‌زایی و HI با تحقیق حاضر همخوانی دارد (۷).

در پژوهشی که بر روی گونه های صید شده در جزیره سنت مارتین بنگلادش انجام شد، نتایج ارزیابی شاخص THQ به غیر از فلز کادمیوم در دوگونه از ماهی ها در سایر گونه ها کمتر از یک گزارش شد که نشان دهنده ی عدم خطر بالقوه غیر سرطان‌زایی مصرف آن ها بوده است. نتایج ارزیابی این شاخص برای فلز مس $۱/۳۱*۱۰^{-۳}$ تا $۹/۷۵*۱۰^{-۳}$، فلز کادمیوم $۲/۶۶*۱۰^{-۱}$ تا ۲/۴۶۷۹، فلز سرب $۹/۷۸*۱۰^{-۴}$ تا $۱/۵۱*۱۰^{-۲}$ به دست آمده است. با این وجود محاسبه شاخص HI که مجموع THQ فلزات سنگین موجود را نشان می دهد در دو گونه ی مذکور بیش از عدد یک به دست آمده است و بیانگر این مساله می باشد که مصرف آن ها می توانست در دراز مدت اثرات غیر سرطان‌زایی در مصرف کننده داشته باشد(۱۴). در پژوهشی که در مالزی انجام شد، در برآورد میزان THQ فلزات سنگین در ماهیان صید شده به غیر از فلز مس و ارسنیک در از گونه های

صید شده درمنطقه ی دوم باقی موارد کمتر از عدد یک به دست امده است. هرچند محاسبه ی شاخص HI که حاصل مجموع میزان THQ کلیه فلزات سنگین در یک گونه ماهی می باشد نیز در تمام موارد مورد تحقیق بیش از عدد یک بوده است و از این بابت با نتایج پژوهش حاضرمغایرت داشته و نشان داده است که مصرف گونه های مورد تحقیق می توانست دلیل ایجاد خطرات بالقوه ای برای سلامت مصرف کنندگان شود (۱۵). در پژوهشی که در جنوب نیجریه بر روی ماهی کفال صید شده انجام شد، ارزیابی شاخص غیرسرطان‌زایی در مورد فلزکادمیوم بین ۷/۴۹ تا ۱۰/۷، سرب بین ۰/۰۹۲ تا ۰/۱۳۰ و مس بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۴۰ متغیر بوده است. نتایج شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلز کادمیوم مغایر با تحقیق حاضر بوده و بسیار بیشتر نیز به دست آمده است. نتایج شاخص HI فلزات سنگین مس، کادمیوم، سرب و کروم بین ۷/۶۱۲ تا ۱۰/۱۰۸۴۲ نیز متغیر بوده است. بر اساس نتایج مصرف گونه مورد تحقیق در این تحقیق می توانست خطراتی را به دنبال داشته باشد (۱۳).

ارزیابی شاخص سرطان‌زایی (TCR)

TCR شاخص سرطان‌زایی می باشد و نشان دهنده ی احتمال ابتلای یک فرد بر اثر مواجهه با یک عامل بالقوه سرطان‌زا در طول زندگی به سرطان می باشد (۱۸). اگر میزان آن بیش از $1*10^{-4}$ به دست بیاید بدین معناست که خطر سرطان زایی بر اثر مصرف آن ماده غذایی دارای فلز مورد تحقیق وجود دارد. اگر عدد به دست امده بین $1*10^{-4}$و $1*10^{-6}$ باشد، خطر سرطان زایی ان آلودگی قابل قبول می باشد و اگر کمتر از $1*10^{-6}$ به دست بیاید به این معنی است که خطر سرطان‌زایی بر اثر مصرف ماده ی غذایی دارای فلز مورد تحقیق قابل چشم پوشی است (۷). در تحقیقی که بر روی آلودگی گونه‌های صید شده در بندرعباس به فلزات سنگین انجام شد، نتایج ارزیابی شاخص سرطان زایی (TCR) برای فلز کادمیوم بین $2/54*10^{-7}$ تا $6/68*10^{-8}$ و برای فلز سرب بین $3/51*10^{-8}$ تا $1/47*10^{-8}$ به دست آمده است، که از نتایج پژوهش حاضربسیار کمتر بوده و خطری را در خصوص سرطان‌زایی برای مصرف کننده در پی ندارد (۲۱). بعلاوه میزان پتانسیل خطر سرطان‌زایی (TCR) در تحقیق ی آلودگی ماهی کپور معمولی به فلزات سنگین در گروه بالغین در کشور لهستان بسیار کمتر از بازه ی تعیین شده و برای فلز سرب برابر با $4/39*10^{-8}$ و برای فلز آرسنیک $4/50*10^{-7}$ به دست آمده است. این میزان کمتر از بازه ی قابل پذیرش بوده اند، به این معنی که خطرسرطان‌زایی فلزها از طریق مصرف ماهی کپور معمولی قابل چشم پوشی بوده و مصرف این ماهی خطری به لحاظ ابتلا به بیماری‌های سرطانی ندارد (۱۹). درحالیکه در تحقیق حاضر میزان این شاخص در در گروه بالغین در محدوده ی قابل پذیرش بوده است.

در پژوهشی که بر روی دو گونه ماهی صید شده از دو خط ساحلی در کشور مالزی انجام شد، شاخص سرطان‌زایی (TCR) فلز آرسنیک بین $6/25*10^{-0}$ و $35/30*10^{-0}$ ، فلز کادمیوم بین $163/03*10^{-3}$ و $12/33*10^{-3}$ و فلز سرب بین $13/90*10^{-3}$ و $6/77*10^{-3}$ برای دو گروه بالغین و کودکان متغیر بوده است. این میزان بیش از بازه ی مورد پذیرش بوده و بیان کننده این مسئله بوده است که مصرف ماهیان مورد تحقیق می توانست خطر جدی سرطان‌زایی را به دنبال داشته باشد (۱۵). در پژوهشی که در چین انجام شد، نتایج حاصل از ارزیابی شاخص سرطان‌زایی (TCR) فلزات سنگین سرب، کادمیوم و آرسنیک در ماهیان مورد تحقیق نشان داده است که میزان به دست آمده بین $8/02*10^{-5}$ تا $2/97*10^{-7}$ متغیر بوده و در مورد

فلز سرب، میزان به دست آمده از میزان سرطان‌زایی قابل چشم پوشی و در مورد دو فلز دیگر در محدوده ی قابل قبول بوده است (۷).

حد مجاز روزانه و حداکثر وعده های مجاز در طول یک ماه

میزان نرخ مجاز مصرف روزانه در واقع حداکثر میزان مصرف مجاز روزانه را بدون داشتن انتظار اثرات مضر غیر سرطان زا در طول عمر فرد نشان می دهد. با توجه به اینکه در عضله ماهیان مورد تحقیق فلزات سنگین تشخیص داده شد، در نتیجه ضروری است که معین شود مصرف‌کنندگان چه میزان از این گونه ها مصرف نمایند، بدون اینکه برای آن ها اثرات مضری به وجود بیاید (۶). میزان حد مجاز روزانه و بعلاوه حداکثر وعده های مجاز در طول یک ماه مصرف ماهیان مورد تحقیق از میزان فلزات سنگین آرسنیک، سرب، کادمیوم و مس برای افراد بالغ با وزن ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان با وزن ۱۶ کیلوگرم محاسبه و نتایج آن در جداول شماره ۴-۹ تا ۴-۱۲ نشان داده شد. حد مجاز مصرف ماهیان مورد تحقیق در روز برای کودکان تقریبا ۴/۴ برابر کمتر از حد مجاز مصرف در روز برای بالغین می باشد و دلیل این تفاوت اختلاف وزنی افراد است. در پژوهشی که بر روی آلودگی ماهی قزل آلای رنگین کمان به فلزات سنگین سرب و کادمیوم انجام شد، میانگین میزان آلودگی عضله ماهیان به فلز سرب ۲۳/۶۵ و میزان آلودگی به فلز کادمیوم برابر ۰/۱۶ میکروگرم بر گرم وزن تر به دست آمده است. میزان آلودگی به فلز سرب از پژوهش حاضربسیار بیشتر بوده و علاوه بر این میزان آن بیش از آلودگی به کادمیوم بوده است. تخمین دریافت روزانه برای یک فرد بالغ با وزن ۷۰ کیلوگرم در ارتباط با فلز سرب ۷/۴ و در ارتباط با فلز کادمیوم ۰/۰۵ و تخمین دریافت هفتگی به ترتیب ۵۱/۸۲ و ۰/۳۵ به دست آمد. تمامی میزان به دست آمده کمتر از میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی و روزانه بود. در ارزیابی شاخص خطر غیر سرطان‌زایی برای دو فلز سرب و کادمیوم و شاخص HI اعداد به دست آمده همه کمتر از یک و به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۰۷ و ۰/۲۱ به دست آمد و خطری برای مصرف کنندگان در پی نداشت است. درارزیابی حد مجاز مصرف روزانه ی ماهی (CRlim) برای دو گروه بالغین و کودکان در ارتباط فلز سرب به ترتیب اعداد ۰/۰۱ و ۰/۰۰۲ و در ارتباط با فلز کادمیوم به ترتیب اعداد۰/۴۴ و ۰/۰۹ کیلوگرم در روز به دست امده است. بعلاوه نتایج ارزیابی تعداد وعده های مجاز در ماه (CRmm) برای فلز سرب و کادمیوم در بالغین و کودکان به ترتیب ۱/۵۹، ۰/۳۳ و ۰/۵۹، ۱۲/۱۵ به دست آمد (۲۱).

نتایج ارزیابی شاخص های بهداشتی نشان داده است که مصرف روزانه و هفتگی این دو گونه از نظر سلامتی مساله ای برای افراد ایجاد نمی کند، علاوه بر این اندازه‌گیری پتانسیل خطر غیر سرطان‌زایی تمام نمونه ها کمتر از عدد یک به دست امد و این بدان معناست که مصرف آن ها خطری به لحاظ ابتلا به بیماری‌های غیر سرطانی در پی نخواهد داشت. با این وجود اندازه‌گیری پتانسیل خطر سرطان زایی برخی فلزات سنگین بیش از بازه ی قابل قبول بوده و در نتیجه نشان می‌دهد که مصرف این ماهیان در دراز مدت می‌تواند خطر ابتلا به انواع بیماری‌های سرطانی را به دنبال داشته باشد. به علت مصرف ماهی توسط

افراد در گروه‌های سنی مختلف و تاثیر آن در سلامت افراد، ضروری است که پایش‌های زیستی مداوم در مناطق مختلف که درگیر ورود آلودگی‌ها و فلزات سنگین هستند در تمامی گروه‌های سنی صورت بگیرد، چرا که ممکن است در اثر ورود حجم بالای این موارد به اکوسیستم‌های آبی میزان آنها در بدن ماهی افزایش یابد و در نتیجه با مصرف آن توسط انسان خطر سرطان‌زایی نیز افزایش یابد. امید است که در آینده پژوهش‌های جامعی در این زمینه انجام شود.

منابع

1. Karpinsky, M. G., Shiganova, T. A., & Katunin, D. N. (2005). Introduced species. *The Caspian Sea Environment*, 175-190.
2. Korshenko, A., & Gul, A. G. (2005). Pollution of the Caspian Sea. The Caspian Sea Environment, 109-142.
3. Zonn, I. S. (2005). Economic and international legal dimensions. The Caspian Sea Environment, 243-256.
4. Ermolin, I., & Svolkinas, L. (2016). Who owns Sturgeon in the Caspian? New theoretical model of social responses towards state conservation policy. Biodiversity and Conservation, 25, 2929-2945.
5. Farhangi, M. (2016). The effects of sturgeon culture in confined waters on water quality and benthic communities in the breeding area (Gorgan Bay). PhD thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. (In Persian)
6. Mirhashemi-Rostami, S. A., Amini, K., Khani, F., & Kolangi-Miandareh, H. (2015). Proliferation of immature Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) using plant LHRH-A hormone. *Utilization and Cultivation of Aquatics*, 4(2): 63-78. (In Persian)
7. Raeisi, H., Moradi-Nasab, A. A., Patimar, R., Kamrani, E., & Haghparast, S. (2019). Population dynamic of *Acipenser persicus* by Monte Carlo simulation model and Bootstrap method in the southern Caspian Sea (Case study: Guilan province). *Journal of Applied Ichthyological Research*, 7(3): 31-44. (In Persian)
8. Shokouhinia, M. (2018). Analysis of feeding types for sturgeon fish. The First National Conference on Sustainable Development in Agriculture and Natural Resources, Focusing on Environmental Culture. Tehran. *International Center for Conferences and Seminars on Sustainable Development of Islamic World Sciences*. (In Persian)
9. Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., Garcia, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human–induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*, 1(5): e1400253
10. Jalali, M. A., Ierodiaconou, D., Monk, J., Gorfine, H., & Rattray, A. (2015). Predictive mapping of abalone fishing grounds using remotely-sensed LiDAR and commercial catch data. *Fisheries research*, 169: 26-36.
11. Moghim, M. (2003). Stock assessment and population dynamics of *Acipenser persicus* in the southern Caspian Sea (Iranian waters). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 11(4): 98-117. (In Persian)
12. Tavakoli, M., Parafkande Haghighi, F., & Behrouz Khoshqalb, M. (2012). Sturgeon Stock Assessment in the Iranian Waters of the Caspian Sea Using Swept area Method (2009-2010). *Fisheries*, 66(3):271-282. (In Persian)
13. Sumaila, U. R., Lam, V., Le Manach, F., Swartz, W., & Pauly, D. (2016). Global fisheries subsidies: An updated estimate. *Marine Policy*, 69: 189-193.
14. Bronzi, P., & Rosenthal, H. (2014). Present and future sturgeon and caviar production and marketing: a global market overview. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(6): 1536-1546.
15. Pourkazemi, M. (2006). Caspian Sea sturgeon conservation and fisheries: past present and future. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(1): 12-16.
16. IFSY (Iranian Fishery StatisticsYearbook). (2008). Sturgeons fishing statistic insouthwest Caspian Sea. *Statistic and Informatics office Iranian fishery, Tehran*, 60P. (In Persian)
17. Aghilinejad, M. (2016). Evaluation of factors affecting the occurrence of illegal fishing in the southern part of the Caspian Sea. PhD thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. (In Persian)

18. IUCN. (2015). International Union for Conservation of Nature. https://www.iucn. Org/content/sturgeon-more-critically-endangered-any-other-group-species.
19. McCarthy, M. A. (1996). Red kangaroo (*Macropus rufus*) dynamics: effects of rainfall, density dependence, harvesting and environmenta1 stochasticity. *Journal of Applied Ecology*, 33: 45-53.
20. Fazli, H., Tavakoli, M., Khoshghalb, M. R., Moghim, M., & Valinasab, T. (2020). Population dynamics and the risk of stock extinction of Persian sturgeon (Borodin) in the Caspian Sea. *Fisheries and Aquatic life*, 28(2): 62-72.
21. Laplanche, C., Elger, A., Santoul, F., Thiede, G. P., & Budy, P. (2018). Modeling the fish community population dynamics and forecasting the eradication success of an exotic fish from an alpine stream. *Biological Conservation*, 223: 34-46.
22. Dick, E. J., & MacCall, A. D. (2011). Depletion-Based Stock Reduction Analysis: A catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks. *Fisheries Research*, 110(2): 331-341.
23. Ye, Y. & Valbo-Jorgensen, J. (2012). Effects of IUU fishing and stock enhancement on and restoration strategies for the stellate sturgeon fishery in the Caspian Sea. *Fisheries Research*, 131-133: 21-29.
24. Sweka, J. A., Neuenhoff, R., Withers, J., & Davis, L. (2018). Application of a Depletion-Based Stock Reduction Analysis (DB-SRA) to lake sturgeon in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research*, 44(2): 311-318.
25. Mirrasooli, E., Ghorbani, R., Gorgin, S., M, Jalali, & Aghilinejad, S. M. (2020). Identification study of Factors affecting the Reduction of Sturgeon Stocks in the southern Caspian Sea Based on Fishermen's Viewpoints Using Smart Pls Structural Equation. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 29(5): 89 - 98.
26. Kazemi Darsenaki, R., & Naimi, A. S. (1401). Heavy metal contamination in water and sediments of the Persian Gulf coast: a narrative review. *Sea Medicine*, 4(4): 198-205. https://sid.ir/paper/1095499/fa

Assessing the Risk of Heavy Metals in *Alosa braschnikowi* and *Sander lucioperca* in the Caspian Sea

Heavy metal contamination in ecosystems is a significant environmental concern that requires attention. The purpose of this study was to assess the health risks associated with heavy metals in two species of fish, perch, and zalon, found along the southern coast of the Caspian

Sea. The accumulation of heavy metals was measured using the atomic absorption method. Health indicators, such as daily and weekly intake estimates, non-carcinogenic potential, and carcinogenic potential, were determined. The daily and weekly intake estimates were found to be below the permissible limit in all samples. The non-carcinogenic potential was less than one, indicating that there is no significant risk. However, some samples showed a carcinogenic risk potential above the acceptable range. Based on the evaluation results of daily and weekly consumption and the non-carcinogenic risk potential of these species, they are considered safe for consumption. However, long-term consumption of heavy metals such as lead, cadmium, cobalt, arsenic, and chromium can increase the risk of cancer. The estimated daily intake for an adult weighing 70 kg was 7.4 for lead and 0.05 for cadmium. The estimated weekly intake was 51.82 for lead and 0.35 for cadmium, respectively.

Keywords: Caspian Sea, Heavy Metals, Biological Accumulation, Zalon, Perch