

## سنجش مقایسه‌ای تجمع فلزات سنگین (Cd, Pb, Hg, Cu)

در بافت عضله، کبد، پوست و ترکیب اسیدهای چرب

تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*)

در برخی نواحی جنوب دریای مازندران

مسعود هدایتی فرد<sup>۱\*</sup>، ندا ارومی<sup>۲</sup>، مریم خاورپور<sup>۳</sup>

۱. دانشیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۴؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۲۹)

### چکیده

مطالعه مقایسه‌ای تجمع فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، مس و جیوه) در اندام‌های کبد، پوست و عضله و همچنین پروفایل اسیدهای چرب فیله تاسماهی ایرانی در سواحل جنوب شرقی و غربی دریای مازندران (استان‌های مازندران و گلستان) انجام شد. نتایج نشان داد که در عضله نمونه‌های هر دو ناحیه تمام این فلزات سنگین در محدوده مجاز مصرف قرار دارند ( $P > 0.05$ )؛ لیکن غلظت عناصر در کبد بیشتر از پوست و عضله است ( $P < 0.05$ ). در هر دو ناحیه جنوب شرقی و غربی در کبد تاسماهی ایرانی مقادیر سرب ( $2/21$  و  $2/05 \mu\text{g/g}$ ) بالاتر از محدوده مجاز ارزیابی شدند. مقادیر جیوه در پوست و کبد ( $0/46$  تا  $0/47 \mu\text{g/g}$ ) نیز بالاتر از عضله بود. همچنین تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های صیدشده از سواحل جنوب غربی (مازندران) بیشتر از سواحل جنوب شرقی (گلستان) بوده است. الگوی تجمع فلزات سنگین در عضله ماهی با اندام‌های کبد و پوست متفاوت بود. از سوی دیگر، مجموع اسیدهای چرب غیراشباع (UFA) در چربی بافت تاسماهی ایرانی نواحی جنوب غربی و شرقی به ترتیب  $85/54$  و  $77/48 \text{ g}/100\text{g}$  بود ( $P < 0.05$ ). به علاوه مجموع اسیدهای چرب سری امگا-۳ در چربی بافت تاسماهی ایرانی در سواحل مذکور به ترتیب  $14/17$  و  $7/35 \text{ g}/100\text{g}$  بود ( $P < 0.05$ ). همچنین بین میزان عناصر سنگین در اندام‌های مختلف و میزان چربی همبستگی وجود داشت. این همبستگی در بافت‌های کبد، پوست و عضله رابطه مثبتی داشت؛ برعکس ارتباطی بین اسیدهای چرب امگا-۳ فیله و تجمع فلزات سنگین در آن دیده نشد. در بین فلزات مورد بررسی مقدار سرب در بافت کبد تاسماهی ایرانی ناحیه جنوب شرقی از حد استاندارد تعیین شده بیشتر بوده است. مطابق نتایج بافت خوراکی عضله تاسماهی ایرانی در سواحل جنوبی دریای مازندران سالم است.

کلید واژگان: امگا-۳، تاسماهی ایرانی، دریای مازندران، فلزات سنگین

## ۱. مقدمه

تاسماهی ایرانی یا قره برون<sup>۱</sup> از خانواده ماهیان خاویاری<sup>۲</sup> بوده و گونه مهاجر سواحل جنوبی دریای مازندران و به ویژه سواحل ایرانی آن است (Coat, 2016) که به دلیل صید بی‌رویه و سایر عوامل مخرب، ذخایر آن‌ها به شدت کاهش یافته به طوری که مدت‌هاست تکثیر مصنوعی تنها روش موجود، جهت حفظ ذخایر این گونه‌های با ارزش به شمار می‌رود (Keyvanfar *et al.*, 1987). ماهیان خاویاری یا تاسماهیان دسته بسیار مهمی از آبزیان را تشکیل می‌دهند که ۹۰٪ از ذخایر آن‌ها در دریای مازندران یافت می‌شود. مطابق آمار در سال ۱۳۹۲ یا ۲۰۱۳ از جمع ۴ تن خاویار تولیدی، ۲ تن و از مجموع ۵۶ تن گوشت صید شده تاسماهیان، ۳۲ تن یا ۵۷٪ آن به جنس تاسماهی اختصاص داشته است که غالباً تاسماهی ایرانی هستند (سالنامه آماری کشور، ۱۳۹۳)؛ این در حالی است که کل صید تاسماهیان در سال ماقبل آن یعنی ۱۳۹۲ برابر با ۵۶ تن اعلام شده بود. این آبزیان چه به لحاظ خاویار و چه از نظر گوشت دارای ارزش بسیاری هستند (Hedayatifard & Moini, 2004). بافت فیله ماهیان حاوی پروتئین، چربی، مواد معدنی، ویتامین‌ها و اندکی کربوهیدرات و آب هستند و از جمله ترکیبات منحصربه‌فرد در ماهیان می‌توان به اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه امگا-۳ (ω-3) و امگا-۶ (ω-6) اشاره کرد که نقش مهمی را در سلامتی انسان ایفاء می‌کنند (Hedayatifard & Moeini, 2007). اکثر ماهیان از نظر دارا بودن اسیدهای چرب غیراشباع غنی هستند. ماهیان حساسیت به انواع مواد سمی دارند و شاخص‌هایی مانند سن، طول، وزن، جنسیت، عادات غذایی، نیازهای اکولوژیک، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات، زمان اقامت ماهی در محیط آلوده، فصل صید و خواص فیزیکی و فیزیوشیمیایی آب از عوامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماهی هستند

(Leatherland & Woo, 2010; Canli & Atli, 2003).

این حالت ممکن است به تجمع زیستی<sup>۳</sup> منجر شود. فلزات سنگین ابتدا توسط فیتوپلانکتون<sup>۴</sup>، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ارگانسیم‌های کوچک دیگر جذب می‌شوند سپس به ترتیب، توسط موجودات بزرگتر خورده شده و عاقبت وارد بدن انسان می‌شوند.

تغییرات تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهیان آب شیرین می‌تواند وابسته به فصل باشد؛ بنابراین، ترکیب آنالیزهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک، راه مناسبی برای نمایش صحیح شرایط کلی زیست محیطی ماهی است. حتی برخی محققین همانند Ben Salem و همکاران (۲۰۱۴) ماهیانی همانند کلمه (*Rutilus rutilus*) را به‌عنوان اندیکاتور آلودگی آب به فلزات سنگین معرفی کرده‌اند که البته نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش نگرانی از آثار دراز مدت فلزات سنگین به عنوان آلاینده‌های زیست‌محیطی، مطالعات فراوانی پیرامون این آلاینده‌ها صورت پذیرفته است. اثرات مخرب فلزات سنگین منجر به ضایعات آبشش، کبد، کلیه‌ها و خون مورد بررسی قرار گرفته شده است. اظهار شده است که غلظت تجمع فلزات سنگین به ویژه جیوه که خطرناک‌ترین آن‌ها است، به ترتیب در بافت‌های کبد < کلیه > عضله است (Endo *et al.*, 2004). فلزات سنگین با بسیاری از ناهنجاری‌های ماهی در جمعیت‌های طبیعی و در نمونه‌ها مرتبط هستند (Sfakianakis *et al.*, 2015). ناهنجاری‌های عمومی، اثرات مخربی روی جمعیت ماهیان، میزان بقا، راحتی کلی ماهی در محیط، نرخ رشد و شکل ظاهری ماهی می‌تواند تحت تأثیر حضور فلزات سنگین در محیط قرار گیرد (Sfakianakis *et al.*, 2015). همچنین Andreasson و Dave (۲۰۰۴) انتقال فلزات سنگین از

<sup>1</sup> *Acipenser persicus*

<sup>2</sup> Acipenseridae

<sup>3</sup> Bioaccumultion

<sup>4</sup> Phytoplankton

(۲۰۱۵) این فلزات را حتی بر روی لارو ماهیان آب شیرین نیز حائز اثرات آسیب‌زا تشخیص داده‌اند. در جدیدترین تحقیق نیز Kolangi Miandare و همکاران (۲۰۱۶) تاسماهی ایرانی (قره‌برون) را در معرض ترکیبات حاوی کادمیوم قرار دادند و تغییرات پاتولوژیک آن را مطالعه کردند.

پیرامون تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان خاویاری ایران نیز پژوهش‌هایی صورت پذیرفته است؛ Sadeghirad و همکاران (۲۰۰۵) نیز فلزات سنگین روی، مس، سرب، کادمیوم و جیوه را در بافت ماهیچه و خاویار تاسماهی ایرانی و اوزون برون اندازه‌گیری کردند. به‌علاوه مقادیر این فلزات در کبد و آبشش اوزون‌برون (Gapeova et al., 1990)، کبد و کلیه تاسماهی ایرانی (Amini Ranjbar et al., 2003)؛ عضله فیل‌ماهی، اوزون برون، شیپ، تاسماهی ایرانی و تاسماهی روسی<sup>۱</sup> (Agusa et al., 2004)؛ انواع فلزات سنگین و عناصر کمیاب در کبد، آبشش، فیله و روده تاسماهی شیپ<sup>۲</sup> (Jaric et al., 2011)، جیوه در عضله، آبشش و خاویار تاسماهی ایرانی (Halimi et al., 2011) و انواع فلزات سنگین مختلف در کبد و عضله اوزون‌برون (Abtahi et al., 2007; Hedayatifard et al., 2017; Heydary et al., 2012) نیز مورد سنجش قرار گرفته است. علاوه بر این Pourang و همکاران (۲۰۰۵) چگونگی حضور فلزات سنگین را در بخش‌های خوراکی ۵ گونه از ماهیان خاویاری مورد مطالعه قرار دادند.

از جمله مهم‌ترین شاخص‌های تغذیه‌ای آبزیان اسیدهای چرب غیراشباع موجود در بافت و اندام‌های مختلف آن‌هاست. مهم‌ترین ویژگی چربی ماهیان خاویاری نیز حضور مقدار بالای اسیدهای چرب غیراشباع در بافت آن‌هاست (Isuyev & Musayev, 1989; Xu et al., 1993). بیشترین میزان غیراشباعیت اسیدهای چرب، در بافت ماهیان دیده شده است (Stansby, 1990) و به همین جهت ماهیان

رسوبات به ماهی را مطالعه کرده و از میان هفت فلز سنگین روی، سرب، نیکل، جیوه، مس، کروم و کادمیوم، تنها سه مورد جیوه، سرب و مس در صفرا متمرکز شد. با توجه به اهمیت ماهیان خاویاری دریای مازندران و به ویژه قره‌برون یا تاسماهی ایرانی به عنوان با ارزش‌ترین ماهیان مصرفی و شرایط آلودگی روز افزون سواحل جنوبی دریای مازندران امکان حضور و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های این گونه با ارزش وجود دارد. پیش از این گزارش‌هایی از احتمال آلودگی بافت‌های ماهیان خاویاری به فلزات سنگین منتشر شده بود اما از آنجایی که دریای مازندران در واقع یک دریاچه بسته‌است، انواع آلاینده‌های صنعتی و نفتی و شهری به همراه جریان‌های آبی رودخانه‌ها به ویژه رود ولگا در ناحیه شمالی، وارد این دریا می‌شوند (Karpinsky, 1992). همین امر موجب شده در سال‌های اخیر محققین نسبت به این خانواده ارزشمند علاقه‌مند شوند (Karpinsky, 1992; Watanabe & Tanabe, 2003; Agusa et al., 2004).

Jarić و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات فلزات سنگین و مواد معدنی را در بافت‌های آبشش، کبد، روده و عضله تاسماهی شیپ *A. ruthenus* بررسی کردند. Onara و همکاران (۲۰۱۳) تجمع زیستی فلزات سنگین را در بافت‌های مختلف کبد، عضله، چربی، گنادها و پوست انواع ماهیان خاویاری در شمال غربی دریای سیاه و پائین دست رود دانوب مورد ارزیابی قرار دادند. Poleksic و همکاران (۲۰۱۰) تأثیرات هیستوپاتولوژیک فلزات سنگین را در آبشش، کبد و پوست تاسماهی شیپ بررسی کردند و تمایز مشخصی میان این سه اندام مشاهده کردند و جمعیت تاسماهی شیپ را گونه‌ای ویژه در رابطه با تأثیرپذیری از فلزات سنگین معرفی کردند. از دیگر سو، Li و همکاران (۲۰۱۰) فلزات سنگین موجود در محیط زیست ماهی را بر روی پارامترهای حرکتی اسپرم تاسماهی شیپ و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانتی بین اسپرم و این فلزات را مؤثر دانسته‌اند. Sfakianakis و همکاران

<sup>۱</sup> *Acipenser guldenstaedti*

<sup>۲</sup> *Acipenser ruthenus*

کیسه‌های پلی‌اتیلنی و فلاسک حاوی یخ (نسبت ۱:۱) به آزمایشگاه آنالیز خوراک مازندران (ساری، مازندران) منتقل و همراه با برچسب در کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد ذخیره شدند. به منظور به حداقل رساندن خطا در اندازه‌گیری و آلودگی به فلزات سنگین تمامی ظروف آزمایشگاهی ابتدا توسط مواد شوینده شسته و به مدت ۲۴ ساعت داخل ظرف محتوی اسید نیتریک ۱۵٪ قرار داده شدند و قبل از استفاده با آب مقطر دوبار شسته و خشک شدند (MOOPAM, 1983). کلیه مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

## ۱.۲. روش سنجش فلزات سنگین

پس از آماده‌سازی ظروف آزمایشگاهی نمونه‌های عضله، پوست و کبد هر ماهی از حالت انجماد خارج و سپس در دمای ۸۵ °C به مدت ۱۵ ساعت توسط آون خشک شدند (MOOPAM, 1983). سپس هر یک جداگانه در یک ظرف چینی به وسیله هاون پودر شدند. یک گرم از هر یک از نمونه‌های پودر شده عضله، پوست و کبد هر نمونه جداگانه با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱) وزن و داخل ظرف پلاستیکی درب‌دار ریخته و به هر کدام از نمونه‌های عضله و کبد، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک، ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و ۱ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک و به نمونه‌های پوست نیز ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک، ۱ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و ۴ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آبی ۱۰۰ °C قرار داده شدند (AOAC, 2005).

پس از هضم کامل نمونه‌ها آن‌ها را در بالن ژوژه و با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد و پس از عبور از کاغذ صافی نمونه‌ها در داخل ظروف درب‌دار پلاستیکی جهت تزریق به دستگاه جذب اتمی نگهداری شدند. به همراه هر یک از نمونه‌ها یک نمونه شاهد اسیدی تهیه و همراه با دیگر نمونه آنالیز شد که فلزات در آن شناسائی نشد.

جهت آماده‌سازی دستگاه، پس از تنظیمات مربوط به

از جمله با ارزشترین مواد غذایی جهان هستند. پیرامون سنجش اسید چرب آبزیان نیز مطالعات متعددی صورت گرفته است به طوری که اسیدهای چرب بافت ماهی اوزون‌برون (Hedayatifard & Yousefian, 2007; Hedayatifard & Moeini, 2007)، تاسماهی ایرانی (Hedayatifard & Moeini, 2004) و سایر ماهیان خاویاری (Isuyev & Musayev, 1989; Xu et.al, 1993) مورد مطالعه قرار گرفته است. از دیگر سو، بین پروفایل اسیدهای چرب ماهی و تجمع فلزات سنگین در جوامع بیولوژیک روابط منطقی وجود دارد.

با توجه به اکولوژی ماهیان خاویاری که در بستر آب مهاجرت می‌نمایند، جایی که فلزات سنگین در اثر وزنشان ته‌نشین می‌شوند و با عنایت به ورود انواع مواد آلاینده به دریای مازندران در حاشیه‌های مختلف آن و با توجه به اهمیت صید این ماهیان در حوزه جنوبی این دریا در استان‌های مازندران و گلستان، در پژوهش حاضر به استخراج و شناسایی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، جیوه و مس در اندام‌های ذخیره‌ای بدن تاسماهی ایرانی و نیز شناسایی کمی و کیفی اسیدهای چرب موجود در بافت آن‌ها اقدام گردید.

## ۲. مواد و روش‌ها

در فصل بهار ۱۳۹۲ نمونه‌های تاسماهی ایرانی به طور تصادفی از سواحل جنوبی دریای مازندران در استان‌های مازندران (ناحیه ۵ صیادی، بندر نوشهر) و گلستان (ناحیه ۴ صیادی، بندر ترکمن) صید و در فاصله زمانی کوتاه به کرپی صیدگاه هر ناحیه منتقل و در آنجا ماهیان، سرزنی، تخلیه شکمی و استخوان‌گیری شدند و سپس به منظور زدودن امعاء و احشاء و خون با آب شستشو شده و پس از بیومتری و تعیین جنسیت، جداسازی بافت‌های پوست، کبد و عضله (بخش پشتی گرده ماهی) با استفاده از کارد استیل طبق استاندارد (MOOPAM, 1983) انجام شد. در ادامه نمونه‌های بافت‌های جدا شده به وزن تقریبی ۱۰۰ گرم در

دمای ۲۲۰ درجه رسید و ۵ دقیقه نیز در این دما نگه داشته شد تا تمام ترکیبات خارج گردند. سرعت گاز حامل ۰/۵، مقدار تزریق ۱ میکرو متر و نرخ شکافت (Split ratio) ۱:۱۰ بود. متیل استرهای اسید چرب با استفاده از استانداردهای معرف (Merk, Germany) و برحسب g/100g (گرم در ۱۰۰ گرم چربی) تعیین شدند (Stansby, 1990).

### ۳.۲. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم افزار SPSS19 انجام گرفت. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از تجزیه واریانس یک طرفه ANOVA و آزمون دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. ضریب همبستگی پیرسون و آنالیز رگرسیون خطی، جهت بررسی ارتباط میزان تجمع فلزات سنگین با اسید چرب و آزمون آماری Independent T-test در خصوص تعیین ارتباط بین داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. رسم نمودارها و جدول‌ها و همچنین مقایسه دو گروه اسیدهای چرب توسط آزمون T-Test با نرم‌افزار Excle 2007 انجام شد.

## ۳. نتایج

### ۱.۳. استخراج و شناسایی فلزات سنگین

میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت فیله، کبد و پوست گونه‌های مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. نتایج اختلاف معنی‌داری را بین نمونه‌های دو استان مازندران و گلستان در برخی اندام‌ها نشان می‌دهد. مقدار کادمیوم بین ۰/۱۳ تا ۰/۱۶  $\mu\text{g/g}$ ، سرب بین ۰/۲۳ تا ۲/۲۱  $\mu\text{g/g}$ ، جیوه بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۷  $\mu\text{g/g}$  و مس بین ۲/۳۷ تا ۶/۵۱  $\mu\text{g/g}$  اندازه‌گیری شد.

لامپ، جهت کشیدن خط کالیبراسیون، از محلول‌های استاندارد با غلظت‌های مختلف که از محلول استاندارد مادر با غلظت ۱۰۰۰ ppm تهیه شده بودند، استفاده شد. برای تضمین صحت داده‌ها نیز از مواد استاندارد برای (Standard Reference Material) SRM استفاده گردید (Burger & Gochfeld, 2005). سپس نمونه‌های هضم و آماده‌سازی شده به وسیله دستگاه جذب اتمی اسپکترومتر مدل Varian مورد قرائت قرار گرفته و در نهایت در فرمول ذیل محاسبه و میزان غلظت بر مبنای ppm یا  $\mu\text{g/g}$  مشخص شد (Poleksic et al., 2010):

$$C_r = C_i V/m$$

که در آن:  $C_r$ : غلظت نمونه؛  $C_i$ : غلظت خواننده شده توسط دستگاه؛  $V$ : حجم نهائی نمونه؛  $m$ : وزن خشک ماده انتخاب شده

### ۲.۲. روش سنجش اسید چرب

شناسایی پروفایل و ترکیب اسیدهای چرب به وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-7890 A, Agilent Technol) با دتکتور یونش شعله‌ای (FID) با لوله موئینه و ستون ۵۰ متر  $\times$  ۰/۲۵ میلی‌متر صورت گرفت (Stansby, 1990). به طوری که پس از استخراج چربی و محاسبه چربی (Kirk & Sawyer, 1991)، متیل استرهای اسیدچرب توسط استری شدن و آنالیز اسیدهای چرب نمونه‌ها توسط GC انجام شده، هلیوم به عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت. طی یک برنامه حرارتی درجه حرارت تزریق  $240^\circ\text{C}$ ، ردیاب  $280^\circ\text{C}$ ، ستون  $160^\circ\text{C}$ ، حجم تزریق ۱ میکرو لیتر، دمای ستون ابتدا به مدت ۵ دقیقه در  $160^\circ\text{C}$  درجه سلسیوس ثابت بود و سپس طی ۵ دقیقه دمای ستون به  $180^\circ\text{C}$  درجه سلسیوس رسیده، ۱۰ دقیقه در این دما ثابت ماند و طی ۵ دقیقه دما به  $200^\circ\text{C}$  درجه سلسیوس رسید و پس از یک دقیقه به

جدول ۱. میزان فلزات سنگین در وزن خشک بافت عضله تاسماهی ایرانی جنوب دریای مازندران ( $\mu\text{g/g}$ )

مس		جیوه		سرب		کادمیوم		منطقه جغرافیایی
Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	
۲/۳۷ <sup>b</sup>	۰/۱۷	۰/۲۵ <sup>a</sup>	۰/۰۵	۰/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۰۵	۰/۱۳ <sup>a</sup>	۰/۰۰	جنوب شرق (گلستان)
۳/۶۲ <sup>b</sup>	۰/۲۱	۰/۳۱ <sup>b</sup>	۰/۱۱	۰/۲۶ <sup>b</sup>	۰/۰۲	۰/۱۶ <sup>a</sup>	۰/۰۱	جنوب غرب (مازندران)

حروف مختلف در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی دار آماری است ( $P<0.05$ )

جدول ۲. میزان فلزات سنگین در وزن خشک بافت کبد تاسماهی ایرانی جنوب دریای مازندران ( $\mu\text{g/g}$ )

مس		جیوه		سرب		کادمیوم		منطقه جغرافیایی
Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	
۶/۲۲ <sup>b</sup>	۱/۱۴	۰/۴۷ <sup>b</sup>	۰/۱۲	۲/۲۱ <sup>c</sup>	۰/۱۷	۰/۱۹ <sup>a</sup>	۰/۰۳	جنوب شرق (گلستان)
۸/۷۴ <sup>c</sup>	۱/۳۳	۰/۴۰ <sup>b</sup>	۰/۰۹	۲/۰۵ <sup>d</sup>	۰/۲۳	۰/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۰۱	جنوب غرب (مازندران)

حروف مختلف در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی دار آماری است ( $P<0.05$ )

جدول ۳. میزان فلزات سنگین در وزن خشک پوست تاسماهی ایرانی جنوب دریای مازندران ( $\mu\text{g/g}$ )

مس		جیوه		سرب		کادمیوم		منطقه جغرافیایی
Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	Mean	$\pm\text{SD}$	
۵/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۶۵	۰/۲۹ <sup>b</sup>	۰/۰۳	۱/۱۲ <sup>b</sup>	۰/۱۱	۰/۰۱ <sup>a</sup>	۰/۰۰	جنوب شرق (گلستان)
۶/۵۱ <sup>b</sup>	۱/۰۸	۰/۴۶ <sup>b</sup>	۰/۰۵	۱/۸۹ <sup>c</sup>	۰/۲۱	۰/۱۸ <sup>b</sup>	۰/۰۲	جنوب غرب (مازندران)

حروف مختلف در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی دار آماری است ( $P<0.05$ )

### ۲.۳. پروفایل اسیدهای چرب

مقادیر چربی بافت فیله تاسماهی ایرانی به ترتیب ۹/۰۱ و ۹/۰۳ g/100g در سواحل مازندران و گلستان محاسبه شدند ( $P<0.05$ ). پروفایل مقایسه‌ای اسیدهای چرب بافت فیله تاسماهی ایرانی و همچنین ترکیب سری‌های اسیدهای چرب این گونه در سواحل جنوبی دریای مازندران در استان‌های مازندران و گلستان در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همچنین در شکل‌های ۱ تا ۴ نمودار روابط همبستگی بین چربی بافت فیله (g/100g) و مجموع فلزات سنگین ( $\mu\text{g/g}$ ) موجود در عضله، کبد و پوست ماهیان خاویار ی جنوب دریای مازندران نشان داده شده است. طبق نتایج در بین

اسیدهای چرب تاسماهی ایرانی به ترتیب در سواحل مازندران و گلستان، اولئیک اسید (۱:۱۸C) با مقادیر ۴۶/۲۳ و ۴۴/۶۵ g/100g ( $P>0.05$ ) بیشترین و میریستیک اسید (۰:۱۴C) با مقادیر ۱/۸۰ و ۲/۰۱ g/100g کمترین مقدار اسیدهای چرب را تشکیل داده‌اند و آلفا-لینولنیک اسید (۳:۱۸C) با میزان ۲/۰۵ g/100g در سواحل گلستان نیز در زمره کمترین میزان اسیدهای چرب قرار گرفت. همچنین اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه (پلی‌ئن) PUFA در تاسماهی ایرانی سواحل مازندران و گلستان به ترتیب به میزان ۲۲/۹۹ و ۱۵/۷۸ g/100g رسید ( $P<0.05$ ). نسبت اسید چرب امگا-۳ به امگا-۶ (۶-3/۶-6) را در تاسماهی ایرانی

سواحل مازندران و گلستان به ترتیب ۱/۶ و ۰/۸ g/100g SFA>PUFA>MUFA>UFA در هر دو ناحیه دریا برقرار بوده است. (P<0.05). همچنین رابطه‌ی ترتیبی

جدول ۴. اسیدهای چرب فیله تاسماهی ایرانی (g/100g) در سواحل جنوب شرق و غرب دریای مازندران

تاسماهی ایرانی <i>Acipenser persicus</i>				نوع و سری اسید چرب		
جنوب شرق (گلستان)		جنوب غرب (مازندران)		سری اشباع	میریستیک	C14:0
Mean	±SD	Mean	±SD			
۲/۰۱	۰/۰۷	۱/۸۰	۰/۰۵	سری اشباع	پالمیتیک	C16:0
۸/۳۵	۲/۰۵	۷/۵۵	۱/۳۳		استئاریک	C18:0 *
۲/۵۵	۰/۳۵	۲/۰۵	۰/۲۱		سری تک غیراشباع	پالمیتولنیک
۱۷/۰۵	۲/۵۲	۱۶/۳۲	۱/۶۶	اولنیک		C18:1 ω-9
۴۴/۶۵	۲/۰۸	۴۶/۲۳	۳/۰۶	سری ω-6		لینولنیک
۵/۰۵	۱/۱۵	۴/۳۱	۱/۰۵		آراشیدونیک	C20:4 ω-6 *
۳/۳۸	۱/۱۲	۴/۵۱	۱/۰۲		سری ω-3	آلفا-لینولنیک
۲/۰۵	۰/۶۵	۳/۶۸	۱/۰۳	ایکوزاپنتانویک		C20:5 ω-3 *
۳/۱۱	۰/۰۹	۵/۹۴	۱/۲۱	دوکوزاهگزانویک		C22:6 ω-3 *
۲/۱۹	۰/۳۵	۴/۵۵	۱/۰۹	مجموع اسیدهای چرب شناخته شده		
۹۰/۳۹		۹۶/۹۴				

اسیدهای چرب ستاره‌دار (\*) هر ردیف بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری است (P<0.05).

جدول ۵. ترکیب گروه‌های اسید چرب فیله ماهیان تاسماهی ایرانی (g/100g) در سواحل جنوب شرق و غرب دریای مازندران

تاسماهی ایرانی <i>Acipenser persicus</i>				نوع و سری اسید چرب	
جنوب شرق (گلستان)		جنوب غرب (مازندران)		SFA	مجموع اشباع
Mean	±SD	Mean	±SD		
۱۲/۹۱	۰/۹۸	۱۱/۴۰	۱/۰۲	MUFA	مجموع تک غیراشباع
۶۱/۷۰	۱/۵۵	۶۲/۵۵	۲/۰۵	UFA	مجموع غیراشباع *
۷۷/۴۸	۲/۵۵	۸۵/۵۴	۳/۱۱	PUFA	مجموع چند غیراشباع *
۱۵/۷۸	۱/۴۱	۲۲/۹۹	۲/۰۸	PUFA/SFA	نسبت چند غیراشباع به اشباع
۱/۲۲	۰/۰۵	۲/۰۱	۰/۰۵	UFA/SFA	نسبت غیراشباع به اشباع
۶/۰۰	۱/۰۲	۷/۵۰	۱/۱۸	ω-3	مجموع امگا-۳ *
۷/۳۵	۱/۳۵	۱۴/۱۷	۱/۰۳	ω-6	مجموع امگا-۶ *
۸/۴۳	۱/۰۲	۸/۸۲	۱/۰۳	EPA+DHA	مجموع EPA و DHA
۵/۳۰	۱/۰۱	۱۰/۴۹	۰/۹۵	DHA/EPA	نسبت DHA به EPA
۰/۷۰	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۰۳	ω-3/ω-6	نسبت امگا-۳ به امگا-۶ *
۰/۸۷	۰/۰۵	۱/۶۰	۰/۰۶	DHA+EPA / C16	شاخص پلی ن * *
۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۰۲		

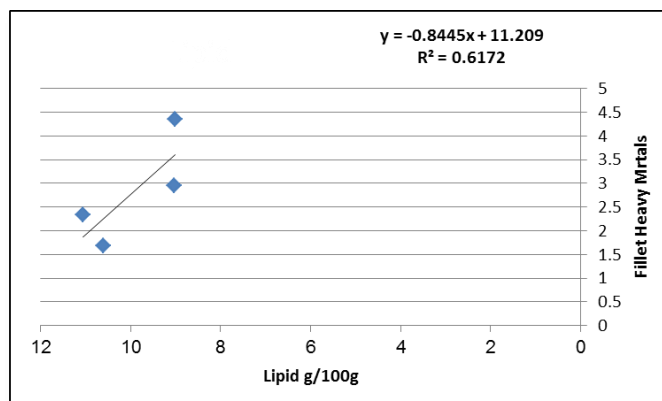
سری‌های ستاره‌دار (\*) هر ردیف بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری است (P<0.05).

جیوه، مس (μg/g) در بافت‌های عضله، کبد و نیز پوست این ماهیان با ترکیبات چربی ماهیان خاویاری (g/100g)

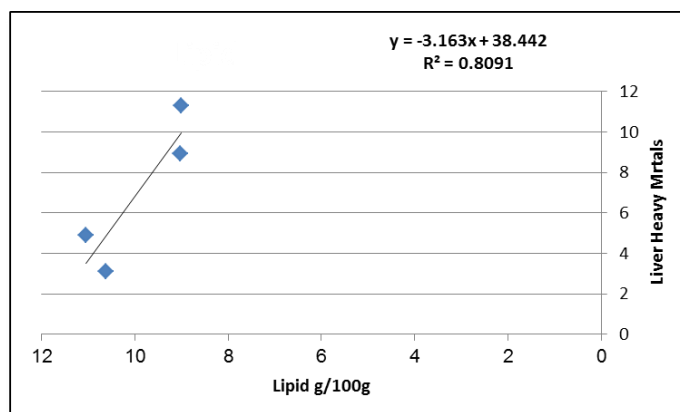
مطابق نمودارهای ۱ تا ۴، در مطالعه روابط همبستگی و رگرسیون بین مجموع فلزات سنگین کادمیوم، سرب،

گروه امگا-۳ مثبت نبود (شکل ۴).

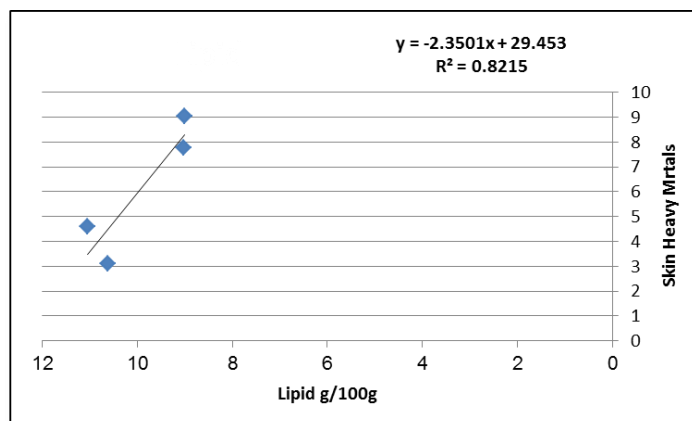
نشان داد که رابطه همبستگی بالایی بین شاخص‌های فوق وجود دارد، درحالی‌که این ارتباط با اسیدهای چرب



شکل ۱. نمودار رابطه همبستگی بین چربی (g/100g) و مجموع فلزات سنگین (μg/g) عضله تاسماهی ایرانی

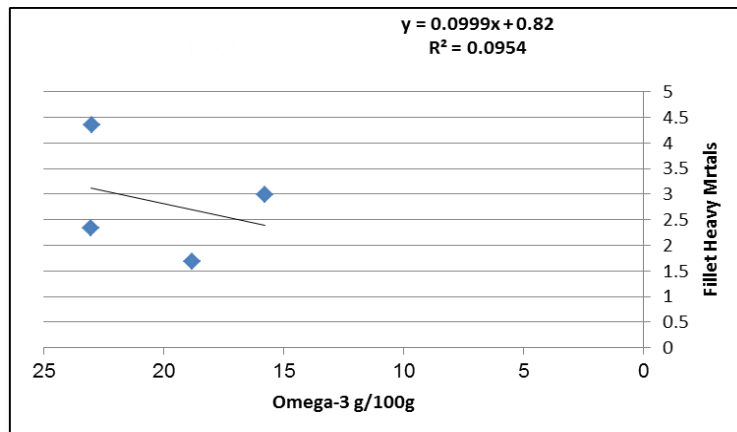


شکل ۲. نمودار رابطه همبستگی بین چربی بافت فیله (g/100g) و مجموع فلزات سنگین (μg/g) کبد تاسماهی ایرانی



شکل ۳. نمودار رابطه همبستگی بین چربی بافت فیله (g/100g) و مجموع فلزات سنگین (μg/g) پوست تاسماهی ایرانی





شکل ۴. نمودار رابطه همبستگی بین اسیدهای چرب امگا-۳ (g/100g) و مجموع فلزات سنگین (µg/g) فیله تاسماهی ایرانی

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

### ۴.۱. بررسی میزان فلزات سنگین در بافت فیله

در مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت فیله تاسماهی ایرانی، نتایج اختلاف معنی‌داری را بین نمونه‌های دو استان مازندران و گلستان نشان نمی‌دهد. با توجه به نتایج میزان فلزات سنگین در بافت فیله تاسماهی ایرانی، فقط در میزان جیوه با هم اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) دارند. بیشترین میزان فلز به‌دست آمده در بافت فیله، مربوط به فلز مس است که مقدار آن بین ۲/۳۷ تا ۳/۶۲ µg/g متغیر بوده است، همچنین میزان جیوه در تاسماهی ایرانی در سواحل مازندران (با ۰/۳۱ µg/g) بیشتر از نمونه مشابه در سواحل گلستان (با ۰/۲۵ µg/g) بوده است ( $P < 0.05$ ). علی‌رغم اینکه فلز مس در همه نمونه‌ها بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده، با این حال میزان آن در بافت فیله از حد استاندارد تعیین شده کمتر بوده است. حد مجاز فلز مس برای مصرف گوشت ماهیان طبق استاندارد جهانی ۱۰ ppm (WHO, 2007) است. حداکثر غلظت مجاز فلز سرب، کادمیوم و جیوه طبق استاندارد جهانی (WHO, 2007) به ترتیب برابر ۲ ppm، ۰/۲ و ۰/۵ است. با توجه به استاندارد میزان این چهار فلز در بافت فیله از حد

استاندارد بالاتر نبوده است. همچنین در این تحقیق کمترین میزان تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت عضله ماهیان مشاهده شد. غلظت مس اندازه‌گیری شده در بافت عضله تاسماهی ایرانی در پژوهش کنونی، از مقادیر به‌دست آمده در ماهیان مشابهی نظیر تاسماهی ایرانی و اوزون برون (Sadeghirad et al., 2005) کمتر بوده است. با توجه به نتایج موجود در این بررسی بافت عضله به عنوان اصلی‌ترین بخش خوراکی ماهی دارای کمترین تجمع فلزات سنگین است. چنین نتیجه‌گیری، یعنی حداقل میزان جذب و تجمع فلزات سنگین در عضله آبزیان دیده می‌شود. محققانی همانند Agusa و همکاران (۲۰۰۴)، Jarić و همکاران (۲۰۱۱)؛ Heidary و همکاران (۲۰۱۲) و Onara و همکاران (۲۰۱۳) چنین نتیجه‌ای را در ماهیان دیگر گزارش نموده‌بودند.

شایان توجه است که میزان به‌دست آمده برای عنصر مس (Cu) در تحقیق حاضر که بالاترین میزان تجمع در تمام بافت‌های تاسماهی ایرانی داشته‌است، از مقادیر مطالعه شده در بافت عضله ماهیان دریای مدیترانه نظیر ماهی ساری اطلس *Scomberesox saurus*، ساردین پیلچارد *Sardina pilchardus*، ماهی *Trigla cuculus*، گل‌آذین ماهی *Atherina hepsetus* سیم دریایی *Mugil cephalus* و کفال خاکستری *Sparus auratus*

توسط (Canali & Atli, 2003) نیز کمتر بوده است.

#### ۲.۴. بررسی میزان فلزات سنگین در بافت کبد

اندام کبد جایگاه متابولیسم فلزات بوده و می‌تواند نشانگر خوبی برای آلودگی محیط زیست ماهی به فلزات سنگین باشد. کبد اندام اصلی در سوخت و ساز بدن است و صدمات اصلی را تحمل می‌کند (Leatherland & Woo, 2010). از همین رو بافت کبد شاخص خوبی از لحاظ در معرض قرار گرفتن طولانی مدت با فلزات سنگین محسوب می‌شود (Krishnamurti & Nair, 1999).

بر اساس نتایج، میزان فلزات سنگین در بافت کبد اختلاف معنی‌داری را نشان داده است ( $p < 0.05$ ). بالاترین میزان مربوط به غلظت فلز مس (Cu) بوده که در کبد ماهی تاسماهی ایرانی سواحل مازندران به  $8/74 \mu\text{g/g}$  رسید. روند تجمع فلز مس در بافت‌های مختلف تاسماهی ایرانی در هر دو ساحل مازندران و گلستان به صورت "کبد < پوست < فیله" بوده است.

جیوه در کبد بدون اختلاف معنی‌دار از  $0/40$  تا  $0/47 \mu\text{g/g}$  متغیر بوده است. بیشترین میانگین غلظت فلز جیوه در نمونه‌های مورد بررسی مربوط به نمونه کبد تاسماهی ایرانی خصوصاً در سواحل استان گلستان بوده است. روند تجمع سرب در تاسماهی ایرانی مازندران و گلستان در اندام‌های مختلف به صورت کبد < پوست < فیله بوده است. سرب نیز در کبد تاسماهی سواحل جنوب غربی بیشتر از جنوب شرقی بود ( $P < 0.05$ ). این در حالی است که تجمع فلز سنگین کادمیوم در کبد اختلاف معنی‌داری را بین دو ناحیه نشان نداده است. ترتیب میانگین غلظت فلزات در بافت کبد به ترتیب "مس < سرب < جیوه < کادمیوم" بوده است.

نکته مهم این است که نتایج حاصل از این تحقیق پیرامون بافت کبد ماهی تاسماهی ایرانی دریای مازندران نشان داد که میانگین غلظت فلزات سرب بیشتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بیشتر بوده است. در

پژوهش MacDonald و همکاران (۱۹۹۷) در کبد تاسماهی سفید نیز این آلودگی با شدت بیشتر گزارش شده بود (جدول ۶). بیشترین غلظت فلز کادمیوم در بافت کبد تاسماهی ایرانی مشاهده گردید که با نتایج به‌دست آمده در تحقیقات Jaric و همکاران (۲۰۱۱) به روی بافت کبدگونه تاسماهی شیپ *Acipenser ruthenus* و *Abtahi* و همکاران (۲۰۰۷) و *Hedayatifard* و همکاران (۲۰۱۷) روی بافت کبدگونه آوزون‌برون *Acipenser stellatus* همخوانی دارد. همچنین نتایج تحقیقات مختلف روی گونه‌های مختلف نظیر ماهیان خاویاری آوزون‌برون (Heidary et al., 2012; Abthi et al., 2007;) و تاسماهی سفید (Golovin et al., 1990) و تاسماهی سفید (MacDonald et al., 1997) میزان سرب (Pb) و مس (Cu) را در بافت کبد بالاتر از جیوه (Hg) و کادمیوم (Cd) نشان می‌دهد، مگر این‌که آب به دلیل خاصی دچار آلودگی شدید با جیوه یا کادمیوم شده باشد. مطالعه تحقیقات مختلف در گونه‌های متفاوت ماهی نشان می‌دهد که غلظت عناصر سنگین گاهی در آبشش و گاهی در کبد حداکثر میزان را دارند ولی تقریباً در تمامی تحقیقات، غلظت عناصر سنگین در کبد و آبشش بیشتر از عضله است و با آنها اختلاف معنی‌داری دارد.

#### ۳.۴. بررسی میزان فلزات سنگین در پوست

بر اساس نتایج، میانگین غلظت فلز مس در پوست تاسماهی ایرانی بالاترین میزان را نسبت به فلزات دیگر داشته است. تجمع فلزات کادمیوم و سرب در پوست تاسماهی ایرانی سواحل جنوب غربی بیشتر از جنوب شرقی بوده است ( $P < 0.05$ ). فلزات جیوه و مس در دوناحیه صیادی اختلافی نداشتند. به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میانگین غلظت فلزات مس و سرب نسبت به کادمیوم و جیوه در بافت‌های پوست و کبد تاسماهی ایرانی در هر دو ناحیه بیشتر است چراکه سرب و مس بیشترین کمیت را در میان عناصر سنگین محیط زیست به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج پژوهش کنونی مبین این است که حتی در یک محیط آبی و یک ناحیه معین از اکوسیستم، میزان عناصر سنگین در اندام‌های مختلف دو گونه ماهی، متفاوت از یکدیگر است. در جدول ۶ تجمع فلزات سنگین در بافت‌های چند گونه ماهی مشابه اکوسیستم دریای مازندران با نتایج حاصل از بررسی حاضر مقایسه شده است.

از زمان پژوهش Sadeghirad و همکاران (۲۰۰۵) تا کنون، مقادیر کادمیوم در تاسماهی ایرانی دریای مازندران تثبیت شده‌است؛ اما طبق اظهارات Agusa و همکاران (۲۰۰۴) میانگین غلظت فلز جیوه در عضله تاسماهی ایرانی جنوب غرب و شرق دریای مازندران به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۲۵  $\mu\text{g/g}$  است؛ همچنین در بافت عضله تاسماهی ایرانی در سواحل مازندران مقادیر ۰/۳۱  $\mu\text{g/g}$  جیوه و ۳/۶۲  $\mu\text{g/g}$  مس سنجش شد که با نمونه‌های ناحیه گلستان نیز بدون اختلاف بود، در حالی که Agusa و همکاران (۲۰۰۴) همین شرایط را در همین منطقه به ترتیب ۰/۳۳ و ۱/۷۴  $\mu\text{g/g}$  برآورد کردند. گفتنی است Pourang و همکاران (۲۰۰۵) در بخش‌های خوراکی هر ۵ گونه ماهی حوزه خاویاری دریای مازندران، فلزات سنگین سرب، مس، روی و کادمیوم را پایین‌تر از محدوده مجاز معرفی شده توسط نهادهای بین‌المللی برآورد کردند.

برای حذف فلزات سنگین از محیط آب، Repo و همکارانش (۲۰۱۳) خواص عملکردی موادی همچون اسید آمینوپلی کربوکسیلیک را پیشنهاد نموده‌اند و آن را بسیار امیدوارکننده یافته‌اند. از طرفی Naghipour و همکاران (۲۰۱۵) نیز گیاه عدسک آبی را برای حذف این فلزات از محیط‌های آبی مناسب تشخیص داده‌اند.

روند تغییرات غلظت فلزات سرب، کادمیوم، مس و جیوه در بافت‌های پوست، کبد و فیله تاسماهی ایرانی در این تحقیق به صورت "کبد < پوست < فیله" بوده است. تفاوت غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف می‌تواند ناشی از متغیر بودن فلزات سنگین در زمینه غلبه بر پیوندهای فلزی پروتئین‌ها باشد (Endo *et al.*, 2004). بین تجمع فلزات در بافت‌های مختلف با گونه ماهی نیز رابطه وجود دارد که ممکن است مرتبط با عادات غذایی آن‌ها و ظرفیت تجمع زیستی هر گونه باشد (Gheorghiu *et al.*, 2010). تجمع فلزات سنگین دریافت نمونه‌های استان مازندران بیشتر از گلستان بوده است که این امر می‌تواند ناشی از ساختار زمین‌شناسی منطقه یا وجود منابع آلاینده حاصل از فعالیت‌های انسانی نظیر تخلیه فضلاب‌های شهری، صنعتی و همچنین تردد قایق‌های صیادی - تفریحی، کشتی‌های تجاری و... باشد. رودخانه‌های منتهی به دریاچه مازندران در سال‌های اخیر با کاهش کیفیت آبی چشمگیری روبرو شده‌اند که محققین تخلیه فضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی را علت اصلی آن می‌دانند. گونه‌های مختلف آبیان به لحاظ ترکیبات متفاوت در بافتشان، پتانسیل جذب مقادیر مختلف عناصر سنگین را دارند (Endo *et al.*, 2004). فلزات سنگین به علت وزن بالا بیشتر در اعماق آب‌ها و در بستردریا رسوب می‌کنند. به این علت احتمال تجمع فلزات در کفزیانی مانند ماهیان خاویاری بیشتر است؛ بنابراین بررسی فلزات سنگین در این گونه‌ها ضرورت بیشتری دارد و از آنجائی که ماهیان خاویاری از دسته ماهیان با ارزش از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای هستند باید در محیط‌های سالم‌تری قرار گیرند.

گزارش شده‌است که حداکثر تجمع و ذخیره فلزات سنگین در ماهیان کفزی خوار، پلانکتون‌خوارها و گوشتخواران سطح‌زی رخ می‌دهد (Endo *et al.*, 2004).

جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین ( $\mu\text{g/g}$ ) در بافت گونه‌های مختلف ماهی خاویاری در حوزه دریای مازندران

منابع	Hg	Cd	Cu	Pb	بافت	گونه مورد مطالعه
Pourang <i>et al</i> , 2005*	-	۰/۰۰۶	۱/۷۲	۰/۰۱۲	عضله	تاسماهی ایرانی
Sadeghirad <i>et al.</i> , 2005*	۰/۰۵	۰/۰۶	۱/۸	۰/۶۱	عضله	تاسماهی ایرانی
Agusa <i>et a l</i> , 2004	۰/۳۳	۰/۰۰۲	۱/۷۴	۰/۰۰۶	عضله	تاسماهی ایرانی
تحقیق حاضر	۰/۲۵	۰/۱۳	۲/۳۷	۰/۲۳	عضله	تاسماهی ایرانی گلستان
تحقیق حاضر	۰/۳۱	۰/۱۶	۳/۶۲	۰/۲۶	عضله	تاسماهی ایرانی مازندران
Pourang <i>et al</i> , 2005*	-	۰/۰۰۱	۱/۶۵	۰/۰۰۴	عضله	تاسماهی شیپ
Agusa <i>et a l</i> , 2004	۰/۶۷	۰/۰۰۱	۲/۱۲	۰/۰۰۲	عضله	تاسماهی شیپ
Jarić <i>et al.</i> , 2011	۰/۹۷۶	۰/۰۸۵	-	-	عضله	تاسماهی شیپ
Pourang <i>et al</i> , 2005*	-	۰/۰۰۵	۱/۹۱	۰/۰۰۸	عضله	تاسماهی روسی
Agusa <i>et a l</i> , 2004	۰/۳۲	۰/۰۰۲	۱/۷۳	۰/۰۰۵	عضله	تاسماهی روسی
Pourang <i>et al</i> , 2005*	-	۰/۰۰۲	۱/۲۲	۰/۰۳۷	عضله	اوزون برون
Hedayatifard <i>et al.</i> , 2017	۰/۱۵	۰/۱۳	۱/۲۸	۰/۱۲	عضله	اوزون برون گلستان
Hedayatifard <i>et al.</i> , 2017	۰/۱۸	۰/۱۴	۱/۸۵	۰/۱۶	عضله	اوزون برون مازندران
Sadeghirad <i>et al.</i> , 2005*	۰/۰۶	۰/۰۵۹	۱/۶۴	۰/۴۸	عضله	اوزون برون
Agusa <i>et a l</i> , 2004	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۱/۵۰	۰/۰۱۳	عضله	اوزون برون
Golovin <i>et al.</i> , 1990*	۰/۷۱	۰/۰۶	-	۰/۶۷	عضله	اوزون برون
Heidary <i>et al.</i> , 2012	۲/۱۸	-	۰/۵۵	-	عضله	اوزون برون گیلان
Heidary <i>et al.</i> , 2012	۱/۷۸	-	۰/۳۸	-	عضله	اوزون برون گلستان
Agusa <i>et a l</i> , 2004	۱/۴۰	۰/۰۰۱	۱/۴۲	۰/۰۲۲	عضله	فیل ماهی
Pourang <i>et al</i> , 2005*	-	۰/۰۰۲	۱/۷۷	۰/۰۱۱	عضله	فیل ماهی
Abthi <i>et al.</i> , 2007	-	۰/۴۲۸	۲۰/۸۹	۰/۵۲۴	کبد	اوزون برون
Hedayatifard <i>et al.</i> , 2017	۰/۲۶	۰/۲۲	۲/۳۱	۰/۳۱	کبد	اوزون برون گلستان
Hedayatifard <i>et al.</i> , 2017	۰/۳۱	۰/۲۶	۳/۰۵	۱/۲۲	کبد	اوزون برون مازندران
Golovin <i>et al.</i> , 1990*	-	۰/۱۸	۷/۵۲	۰/۶۸	کبد	اوزون برون
Heidary <i>et al.</i> , 2012	۱/۱۳	-	۱/۶۶	-	کبد	اوزون برون گیلان
Jarić <i>et al.</i> , 2011	۱۰۴/۰۱	۲/۸۲۶	-	-	کبد	تاسماهی شیپ
تحقیق حاضر	۰/۴۷	۰/۱۹	۶/۲۲	۲/۲۱	کبد	تاسماهی ایرانی گلستان
تحقیق حاضر	۰/۴۰	۰/۱۷	۸/۷۴	۲/۰۵	کبد	تاسماهی ایرانی مازندران

\* ارقام ستاره‌دار حاصل از وزن تر می‌باشند.

#### ۴.۴. ارزیابی ترکیب اسیدهای چرب

محتوای چربی و ترکیب اسیدهای چرب موجود در اندام‌های مختلف بدن ماهیان تحت تأثیر گونه، جنس، سن، دمای آب، میزان آلودگی و وضعیت تغذیه در فصول

مختلف قرار می‌گیرد. ترکیب کلی اسیدهای چرب ماهیان خاویاری مورد مطالعه تا حد زیادی با پروفایل‌های منتشرشده تاسماهی ایرانی توسط (Hedayatifard & Moini., 2004) مطابقت دارد.

در مطالعه کنونی اسیدهای چرب غیراشباع (UFA) برای همه نمونه‌ها بیشترین گروه اسیدچرب را تشکیل داده‌اند و بعد آن اسیدهای چرب تک غیر اشباع (MUFA)، چندغیراشباع (PUFA) و اشباع (SFA) قرار داشتند. الگوی مشابهی در مطالعات Xu و همکاران (۱۹۹۳)؛ Chen و همکاران (۱۹۹۵)؛ Isuyev و Musayev (۱۹۸۹) و Hedayatifard و Moeini (۲۰۰۷) گزارش شده است. در سال‌های اخیر مطالعاتی پیرامون اسیدهای چرب انواع ماهیان خاویاری به ویژه جنس *Acipenser* نیز منتشر شده است (Luo *et al.*, 2015; Nieminen *et al.*, 2014; Geraylou *et al.*, 2012).

مقدار مجموع اسیدهای چرب ایکوزاپنتانویک (EPA) و دوکوزاهگزانویک (DHA) به ترتیب در نمونه تاسماهی ایرانی سواحل جنوب غرب (مازندران) ۱۰/۴۹ و در جنوب شرق (گلستان) ۵/۳۰ گرم در ۱۰۰ گرم بوده است که با مطالعه Hedayatifard و Moeini (۲۰۰۷) روی ماهی تاسماهی ایرانی مطابقت دارد.

نسبت مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ در تاسماهی ایرانی صید شده در سواحل استان مازندران بیشتر از استان گلستان است. نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ (ω-3/ω-6) در نمونه‌های سواحل جنوب غربی یا مازندران بالاتر از سواحل جنوب شرقی بود ( $P < 0.05$ ). مجموع اسید چرب غیراشباع و مجموع امگا-۳ در نمونه مازندران به مراتب بیشتر بوده و دارای اختلاف معنی‌دار بوده است ( $P < 0.05$ ).

#### ۵.۴. ارتباط تجمع فلزات سنگین با اسیدهای

##### چرب

با استفاده و مطالعه ضریب همبستگی پیرسون این نتیجه حاصل شد که رابطه مثبت معنی‌داری بین میزان تجمع فلزات سنگین با چربی بافت وجود دارد (شکل‌های ۱ تا ۴). بررسی اسیدهای چرب فیله تاسماهیان ایرانی در رابطه با تجمع فلزات سنگین در بافت‌های کبد ( $R^2 = 0.809$ )، پوست ( $R^2 = 0.821$ ) و عضله

## References

- Abtahi, B., Shojaii M.G., Esmaili-Sari A., Rahnama M., Sharifpour, I., Bahmni, M., Kazemi, R., Hallajian, A., 2007. Concentration of some heavy metals in tissues of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) in the South Caspian Sea. *Journal of Environ*, 3: 77-8.
- Agusa, T, Kunito T, Tanabe S, Pourkazemi M, Aubrey DG. 2004. Concentrations of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 49: 789-800.
- Amini Ranjbar, Gh., Bahmani, M., Farshchi, P., and Shariat, F., 2003. Coefficient correlation of Heavy metals (Cu, Cd, Zn, Pb) in Persian Sturgeon's liver and kidney (*Acipenser persicus*) and in the sediments of the Southern coast of the Caspian Sea, *Journal of Environmental Science and Technology*, 17: 48-61 [In Persian].
- Andreasson , M. , and Dave, G., 2004. Transfer of heavy Metals from sediment to fish , and their biliary excretion , *Journal of Aquatic Ecosystem stress and Recovery*, *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, (Formerly: *Journal of Aquatic Ecosystem Health*) , 4(4) : 221- 230.
- Burger J, Gochfeld M. 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environ Res.*, 99(3): 403–412.
- Ben Salem, Z., Capelli, N., Laffray, X., Elise, G., Ayadi, H., and Aleya, L., 2014. Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etueffont, France), *Ecological Engineering*, 69: 25–37.
- Canli M, Atli G. 2003. The relationships between heavy metal (cd,cr,cu,fe,pb,zn) levels and size of six Mediterranean fish species. *Journal of Environm pollution*, 121: 129-136.
- Chen, I.-C., Chapman, F.A., Wei, C.-I., Portier, K.M., O'Keefe, S.F.J., 1995. Differentiation of cultured and wild sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) based on fatty acid composition, *Food Science*, 60, 631–635.
- Coad, B., 2016. Freshwater fish of Iran, Esocidae, *Esox lucius*. [www.briancoad.com](http://www.briancoad.com), Accessed on 1 May 2016..
- Endo T, Araguchi K, Cipriano F, Simmonds M P, Hotla Y, Sakata M. 2004. Contamination by mercury and cadmium in the cetacean products from Japanese market. *Journal of Chemosphere*, 54:1653-62.
- Gapeeva, A.L., M.A. Tselmovich and V. Shirakov, 1990. Heavy metals in sturgeons of Volga River down stream, *Research Report, GosNIORKh*. (In Russian)
- Gheorghiu C, Smith D S, Al-Reasi H A, McGeer J C, Wilkie M. 2010. Influence of natural organic matter (NOM) quality on Cu- gill binding in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) *Journal of Aquatic Toxicology* ,97: 343-352.
- Geraylou, Z., Souffreau, C., Rurangwa, E., D'Hondt, S., Callewaert, L., Courtin, C.M., Delcour, J.A., Buyse, J., and Ollevier, F., 2012. Effects of arabinoxylan-oligosaccharides (AXOS) on juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) performance, immune responses and gastrointestinal microbial community, *Fish & Shellfish Immunology*, 33(4): 718–724.
- Golovin, A.H., Krichenko, C.G., Galutva, O.A., Konisheva, E.H., and Kyranova, L.D., 1990, *Saderkhaniye nekotorykh khimicheskikh elementov i khlororganicheskikh pectisidov ve mishikh j vnootrenikh organakh ruskogo osetra*, V. kn: *Physiologo-biokhimicheskni status Volgo-Caspiskikh osetrovikh v norme i pri rasloyeni mishechnoi takani (Kumulyativinii palitoksikos)*, Ribinisk 1190, pp: 52-54.
- Halimi, J., Alimohammadi, R., and Emtiazjoo, M., 2011. Surveying of Hg in muscle, liver, gill and caviar of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*), *Journal of Modern Veterinary Research*, 2(4): 41-50 [In Persian].
- Hedayatifard, M., Khavarpour, M., and Oroumi, N., 2017. Evaluation of Relationship between Fatty acids and Heavy Metals Accumulation (Cd, Pb, Hg, Cu) in Fillet, Liver and Skin Tissues of Stellet Sturgeon (*Acipenser stellatus*) in Southwest and Southeast of Caspian Sea, *Veterinary Researches and Biological Products [Former Veterinary Journal]*, 30(3): 212-224. [In Persian]
- Hedayatifard M, Moeini S. 2007. Loss of omega-3 fatty acids of sturgeon (*Acipenser stellatus*) during cold storage . *International Journal of Agriculture and Biology*, 4:598-601.
- Hedayatifard, M. and Moeini, S. 2004. Quantitative and qualitative identification of the fatty acids in Persian sturgeon tissue (*Acipenser persicus*) and effect of long term freezing on them, *Journal of Food Research (Former Agricultural Science)*, 14(3):123-132. [In Persian]

- Hedayatifard, M., and Yousefian. 2007. Investigation on the Shelf Life and Changes of Lipid and Fatty Acid Composition of Sturgeon (*Acipenser stellatus*) in Frozen Storage, *Fishery Technology*, 44(2): 193-198.
- Heidary, S., Imanpour Namin J., and Monsefrad, F., 2012. Bioaccumulation of heavy metals Cu, Zn, and Hg in muscles and liver of the stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) in the Caspian Sea and their correlation with growth parameters, *Iranian Journal of Fisheries Sciences (Eng)*, 11(2) 325-337.
- Jarić, I., Višnjić-Jeftić, Ž., Cvijanović, G., Gačić, Z., Jovanović, L., Skorić, S., and Lenhardt, M., 2011. Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES, *Microchemical Journal*, (98) 1: 77–81.
- Isuyev, A.P and Musayev, B.S., 1989. Comparison of the Fatty Acid Composition of Lipids during Various Stages of Ontogeny in carp, Bighead, Salmon Trout and Russian Sturgeon - *Journal of Ichthyology*, 29 (6): 128-131.
- Karpinsky, M.G., 1992. Aspects of the Caspian Sea benthic ecosystem. *Marine Pollution Bulletin* 24, 389–394.
- Keyvanfar, A., Rochu, D., Marneux, M., Herance, N. and Fine, J.M. 1987. Différenciation par focalisation isoélectrique des protéines de caviar de quatre espèces et d'une sous-espèce d'esturgeon anadrome de la mer Caspienne. *C.R. Acad. Sc. Paris* 304 (III), 9, 191–193.
- Kirk, R. S Sawyer, R., 1991. *Pearson's Chemical Analysis of Foods*. (9th Ed.) Longman Scientific and Technical. Harlow, Essex, UK.
- Kolangi Miandare, H., Niknejad, M., Shabani, A., and Safari, R., 2016. Exposure of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) to cadmium results in biochemical, histological and transcriptional alterations, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 181–182: 1–8.
- Krishnamurti A J, Nair V R. 1999. Concentration of metals in fishes from Thane and Bassein creeks of Bomloay. *Journal of India* ,28: 39-44.
- Leatherland J.F. and Woo, P.T.K. (eds.), 2010. *Fish Diseases and Disorders, Volume 2: Non-infectious Disorders*, 2nd edition, CABI, U.K., 416 pages.
- Li, Zh., Li, P., Dzyuba, B., and Randak, T., 2010. Influence of environmental related concentrations of heavy metals on motility parameters and antioxidant responses in sturgeon sperm, *Chemico-Biological Interactions*, (188) 3: 473–477.
- Luo, L., Ai, L., Li, T., Xuem M., Wang, J., Li, W., Wu, X., and Liang, X., 2015. The impact of dietary DHA/EPA ratio on spawning performance, egg and offspring quality in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*), *Aquaculture*, 437: 140–145.
- MacDonald, D.D., Ikonou, M.G., Rantalaine, A.-L., Rogers, I.H., Sutherland, D., Oostdam, J.V., 1997. Contaminants in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) from the upper Fraser River, British Columbia, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 479–490.
- MOOPAM .1983. *Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analysis Methods*, Kuwait.
- Naghipour D, Taghavi K, Sedaghatoor S, Vaezzadeh M., 2015. Study of efficiency of duckweed (*Lemna minor*) in removing of heavy metals in aqueous solutions, *Journal of Wetland Ecobiology*, 7 (1): 49-56. [In Persian]
- Nieminen, P., Westenius, E., Halonen, T., and Mustonen, A., 2014. Fatty acid composition in tissues of the farmed Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), *Food Chemistry*, 159: 80–84.
- Pourang, N., S. Tanabe, S. Rezvani and J.H. Dennis, 2005. Trace elements accumulation in edible tissues of five sturgeon species from the Caspian Sea. *Environmental Monitoring and assessment*, (100) 1-3: 89-108.
- Poleksic, V., Lenhardt, M., Jaric, I., Djordjevic, D., Gacic, Z., Cvijanovic, G., and Raskovic, B., 2010. Liver, gills, and skin histopathology and heavy metal content of the Danube sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758), *Environ Toxicol Chem*. 2010 Mar; 29(3):515-21.
- Onara, D.F., Radu, S., Holostenco, D., and Dana, T., 2013. Heavy metal bio-accumulation in tissues of sturgeon species of the Lower Danube River, Romania, *Scientific Annals of the Danube Delta Institute*, 19: 87-94.
- Repo, E., Warchoń, J.K., Bhatnagar, A., Mudhoo, A., and Sillanpää, M., 2013. Aminopolycarboxylic acid functionalized adsorbents for heavy metals removal from water, *Water Research*, (47) 14: 4812–4832.

- Sadeghirad, M., Amini Ranjbar, Gh., Arshad, A., and Joshideh, H., 2005. Assessing Heavy metal content of muscle tissue and caviar of *Acipenser persicus* and *Acipenser stellatus* in Southern Caspian Sea, Iranian Scientific Fisheries Journal, 14(3): 79-100. [In Persian]
- Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., and Tsatsakis, A.M., 2015. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review, *Environmental Research*, 137: 246–255.
- Stansby, M.E., 1990. Fatty acid composition of fish, in: *Fish Oils In Nutrition*, (ed. M.E. Stansby) VAN Nostrand Reinhold. N.Y. pp 6-39.
- Statistical Center of Iran, 2014. Annual Statistics 2013, Chapter 5: Agriculture, Forestry, Fisheries, Statistical Center of Iran, Tehran, 260p.
- Watanabe, I., Tanabe, S., 2003. Trace element accumulation in 20 species of fishes from Lake Baikal, Caspian Sea, Black Sea and Japanese coastal water. *Journal of Environmental Chemistry* 13, 31–40 (in Japanese).
- WHO, 2007. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen O, Denmark, 130p.
- Xu. R., Hung S.S.O., and German, J.B. , 1993. White Sturgeon Tissue Fatty Acid Compositions are affected by Dietary Lipids, *Journal of Nutrition*, 123 (10): 1685-1692.