

ارزیابی ارتباط بین اسیدهای چرب و تجمع فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، جیوه و مس) در بافت عضله، کبد و پوست ماهی اوزون برون در سواحل جنوب غربی و شرقی دریای مازندران (*Acipenser stellatus*)

• مسعود هدایتی فرد (نویسنده مسئول)

دانشیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

• مریم خاورپور

استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

• ندا ارومی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

تاریخ دریافت: ۲۲-۰۲-۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۱۷-۰۷-۱۳۹۵

Email: hedayati.m@qaemiau.ac.ir



چکیده

در این مطالعه حضور حاد فلزات سنگین کادمیوم، سرب، جیوه و مس در بافت‌های عضله، کبد و پوست ماهیان اوزون برون در سواحل جنوب شرقی و غربی دریای مازندران (استان‌های مازندران و گلستان) بررسی شد. در این پژوهش به بررسی ارتباط تجمع فلزات سنگین و چربی و اسیدهای چرب بافت‌های این گونه‌ی بسیار با ارزش و پرطرفدار از ماهیان خاویاری پرداخته شده است. نتایج نشان داد که در عضله‌ی ماهی، تمام این فلزات سنگین در محدوده‌ی مجاز مصرف قرار دارند و بین فیله‌ی دو ناحیه‌ی مختلفی وجود ندارد ($p < 0/05$)؛ لیکن غلظت عناصر سنگین در کبد بیشتر از پوست و عضله می‌باشد ($p < 0/05$). در هر دو ساحل جنوب شرقی و غربی در بافت کبد ماهی اوزون برون مقادیر کادمیوم ($0/22$ و $0/26$ میکروگرم بر گرم) بالاتر از محدوده‌ی مجاز ارزیابی شدند. مقادیر جیوه در پوست هر دو ساحل جنوب شرقی و غربی بالاتر از سایر اندام‌ها بود، به طوری که در پوست ماهی اوزون برون به ترتیب $0/11$ تا $0/42$ میکروگرم بر گرم بود. همچنین تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های صید شده از سواحل جنوب غربی (مازندران) بیشتر از سواحل جنوب شرقی (گلستان) بوده است. الگوی تجمع فلزات سنگین در عضله‌ی ماهی با اندام‌های کبد و پوست متفاوت بود. از سوی دیگر، مجموع اسیدهای چرب غیراشباع (UFA) در بافت اوزون برون در سواحل جنوب غرب و شرق به ترتیب $89/12$ و $80/84$ گرم بر 100 گرم بود ($0/05$). مجموع اسیدهای چرب سری امگا-۳ در سواحل مذکور به ترتیب $18/45$ و $13/42$ گرم بر 100 گرم بود ($p < 0/05$). همچنین بین میزان عناصر سنگین و میزان اسیدهای چرب غیراشباع در اندام‌های مختلف ماهیان خاویاری همبستگی وجود داشت. این ارتباط در بافت‌های کبد ($R^2 = 0/824$)، پوست ($R^2 = 0/818$) و عضله ($R^2 = 0/627$) ماهیان خاویاری همبستگی مثبتی داشت؛ برعکس با افزایش اسیدهای چرب امگا-۳ در فیله، تجمع فلزات سنگین کاهش یافت ($R^2 = 0/021$). نتایج به دست آمده همچنین بیانگر سالم بودن نسبی ماهیان اوزون برون و عدم آلودگی شدید این ماهیان به عناصر سنگین می‌باشد.

کلمات کلیدی: اوزون برون، اسیدهای چرب، دریای مازندران، فلزات سنگین

- Veterinary Researches & Biological Products No 116 pp: 212-224

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
 By: Hedayatifard, M., (Corresponding Author) Fisheries Department, College of Agriculture and Natural Resources, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, PO Box: 163, Qaemshahr, Iran. Khavarpour, M., Department of Chemistry Engineering, College of Engineering and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. and Oroumi, N., Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Food Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

Email: hedayati.m@qaemiau.ac.ir

Received: 2016-05-11 Accepted: 2016-10-08

Study of acute accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Hg and Cu) in tissues of fillet, liver and skin of stellate sturgeons was done in Southwest (SW) and Southeast (SE) coasts (Mazandaran and Golestan provinces) of Caspian Sea. In this study the relationship between tissues heavy metals accumulation and fatty acids were investigated, in such valuable and popular sturgeon species. The results showed that all measured heavy metals were in standard range and there was no difference between the two area ($p < 0.05$), but heavy metals concentration in fish liver was more than that in fillet and skin ($p < 0.05$). The Cd in the fish liver was higher than the acceptable range in both SE and SW coasts (0.22 and 0.26 $\mu\text{g/g}$, respectively) ($p < 0.05$). Hg amounts were higher in the stellate surgeon skin than in other organs in both SE and SW coasts, (0.11 and 0.42 $\mu\text{g/g}$, respectively). Also, in SW coast samples, the heavy metals accumulation was higher than in SE. The pattern of heavy metals accumulation in the fish fillet was different from liver and skin. On the other hand, total unsaturated fatty acids (UFA) were 89.12 and 80.84 g/100g in samples of SW and SE coasts, respectively ($p < 0.05$). Total omega-3 was 18.45 and 13.42 g/100g, respectively ($p < 0.05$) in the same samples. In addition, there was a specified relationship in different organs between fish fatty acids and amounts of heavy metals. This relationship was a positive correlation in tissues of liver ($R^2 = 0.824$), skin ($R^2 = 0.818$) and fillet ($R^2 = 0.627$) of the sturgeon fish. On the contrary, the heavy metals decreased according to increase in omega-3 fatty acids in sturgeon fillet ($R^2 = 0.021$). The results also indicated that stellate sturgeon had relative safety and non-hyper contamination by heavy metals.

Key words: Caspian Sea, Fatty acids, Heavy Metals, Stellate Sturgeon

غیراشباع به‌ویژه سری امگا-۳ و امگا-۶ اشاره کرد که نقش مهمی را در سلامتی انسان ایفا می‌کنند (۳). اکثر ماهیان از نظر دارا بودن اسیدهای چرب غیراشباع غنی هستند. ماهیان به انواع مواد سمی حساسیت 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 موثر در تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماهی می‌باشند (۴). این حالت ممکن است به تجمع زیستی (Bioaccumulation) منجر شود. فلزات سنگین ابتدا توسط فیتوپلانکتون، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ارگانیسم‌های 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

مقدمه

ماهیان خاویاری (Acipenseridae) دسته‌ی بسیار مهمی از آبزیان را تشکیل می‌دهند که ۹۰ درصد از ذخایر آن‌ها در دریای مازندران یافت می‌شود. این آبزیان چه به لحاظ خاویار و چه از نظر گوشت دارای ارزش بسیاری می‌باشند. ماهیان اوزون برون (*Acipenser stellatus*) از خانواده‌ی ماهیان خاویاری بوده و گونه‌ی مهاجر سواحل جنوبی دریای مازندران و به ویژه سواحل ایرانی آن می‌باشند (۱). کیوانفر و همکاران (۲) طی مطالعات دامنه‌دار بین‌المللی تصریح نموده‌اند به دلیل صید بی‌رویه و سایر عوامل مخرب، ذخایر آن‌ها به شدت کاهش یافته، به طوری که امروزه تکثیر مصنوعی، تنها روش موجود جهت حفظ ذخایر این گونه‌ی با ارزش به شمار می‌رود. بافت فیله‌ی ماهیان حاوی پروتئین، چربی، مواد معدنی، ویتامین‌ها و اندکی کربوهیدرات و آب می‌باشد و از جمله ترکیبات منحصربه‌فرد در ماهیان می‌توان به اسیدهای چرب

جدیدترین تحقیق نیز کلنگی میاندره و همکاران (۱۵) تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) را در معرض ترکیبات حاوی کادمیوم قرار دادند و تغییرات پاتولوژیک آن را مطالعه نمودند.

در سالهای اخیر در مورد تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان خاویاری نیز پژوهش‌هایی صورت گرفته است؛ صادقی‌راد و همکاران (۱۶) فلزات سنگین روی، مس، سرب، کادمیوم و جیوه را در بافت ماهیچه و خاویار تاسماهی ایرانی و اوزون‌برون اندازه‌گیری نمودند. به‌علاوه مقادیر این فلزات در کبد و آبشش اوزون‌برون (۱۷)، کبد و کلیه قره‌برون یا تاسماهی ایرانی (۱۸)؛ عضله‌ی فیلماهی، اوزون‌برون، شیب، تاسماهی ایرانی و تاسماهی روسی (*Acipenser guldenstaedti*) (۱۰)؛ انواع فلزات سنگین و عناصر کمیاب در کبد، آبشش، فیله و رودهی تاسماهی شیب (۱۱)، جیوه در بافت تاسماهی روسی و اوزون‌برون (۱۹) و انواع فلزات سنگین مختلف در کبد و عضله‌ی اوزون‌برون (۲۰) و مورد سنجش قرار گرفته است. همچنین پورنگ و همکاران (۲۲) چگونگی حضور فلزات سنگین را در بخش‌های خوراکی هر پنج گونه از ماهیان خاویاری دریای مازندران 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 (۲۳ و ۲۴) و به همین جهت از جمله با ارزش‌ترین مواد غذایی جهان می‌باشند. بر روی سنجش اسید چرب آبزیان نیز مطالعات متعددی صورت گرفته است، به‌طوری‌که اسیدهای چرب بافت ماهی اوزون‌برون (۳)، تاسماهی ایرانی (۲۵) و سایر ماهیان خاویاری (۲۳) مورد مطالعه قرار گرفته است. از دیگر سو، احتمال وجود ارتباط بین پروفایل اسیدهای چرب ماهی و تجمع فلزات سنگین در جوامع بیولوژیک منطقی به نظر می‌رسد.

با توجه به اکولوژی ماهیان خاویاری که در بستر آب، جایی که فلزات سنگین در اثر وزنشان رسوب می‌نمایند، مهاجرت می‌نمایند، و با توجه به ورود انواع مواد آلاینده به دریای مازندران در حاشیه‌های مختلف آن و اهمیت صید این ماهیان در حوزه‌ی 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 ماهی خاویاری اوزون‌برون و نیز شناسایی کمی و کیفی اسیدهای چرب موجود در بافت این ماهی اقدام گردید.

مواد و روش‌ها

در اردیبهشت ۱۳۹۲ نمونه‌های ماهی اوزون‌برون به طور تصادفی از سواحل جنوبی دریای مازندران در استان‌های غربی مازندران (ناحیه ۵ شیلات شمال) و شرقی گلستان (ناحیه ۴ شیلات شمال) صید و در فاصله‌ی زمانی کوتاه در کیسه‌های پلی‌اتیلنی و فلاسک حاوی یخ (نسبت ۱:۱) به آزمایشگاه کنترل کیفیت مواد غذایی منتقل و در آنجا ماهیان، سرزنی، تخلیه شکمی و استخوان‌گیری شدند و سپس به منظور زدودن امعاء و احشاء و خون با آب شستشو شدند و پس از بیومتری و تعیین جنسیت، جداسازی بافت‌های پوست، کبد و عضله با استفاده از کارد استیل و طبق استاندارد، آنالیز آلاینده‌های اقیانوسی (۲۶) انجام شد. بافت‌های

شیرین می‌تواند وابسته به فصل باشد (۵). بنابراین، ترکیبی از آنالیزهای فیزیکی، فیزیکو شیمیایی و بیولوژیک، راه مناسبی برای نمایش صحیح شرایط کلی محیط زیست ماهی است. حتی برخی محققین همانند بن سالم و همکاران (۵) ماهیانی همانند کلمه (*Rutilus rutilus*) را به‌عنوان اندیکاتور آلودگی آب به فلزات سنگین معرفی نموده‌اند 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 پذیرفته‌است. اثرات مخرب فلزات سنگین منجر به ضایعات آبشش، کبد، کلیه‌ها و خون مورد بررسی قرار گرفته است. اظهار شده است که غلظت فلزات سنگین به ویژه جیوه که خطرناک‌ترین آنهاست، به ترتیب در بافت‌های کبد، کلیه و عضله فراوان است (۶). فلزات سنگین با بسیاری از ناهنجاری‌های ماهی در جمعیت‌های طبیعی و در نمونه‌های پرورشی مرتبط هستند (۷). ناهنجاری‌های عمومی، می‌تواند اثرات مخربی روی جمعیت ماهیان، میزان بقا، راحتی کلی ماهی در محیط، نرخ رشد و شکل ظاهری ماهی تحت تاثیر حضور فلزات سنگین در محیط داشته باشد (۷). همچنین انتقال فلزات سنگین از رسوبات به ماهی نیز امکان‌پذیر بوده، به ویژه فلزات جیوه، سرب و مس سریعتر در اندام‌های ماهی ردیابی می‌شوند.

ماهیان خاویاری دریای مازندران و به‌ویژه ماهی اوزون‌برون، ارزش بیولوژیک و اهمیت غذایی فراوانی دارند. از سوی دیگر سواحل جنوبی دریای مازندران دستخوش آلودگی روزافزون گردیده است؛ به همین دلیل امکان حضور و تجمع انواع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف این ماهی 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 به‌همراه جریان‌های آبی رودخانه‌ها به ویژه رود ولگا در ناحیه شمالی، وارد این دریا می‌شوند (۸). همین امر موجب علاقه‌مندی محققین نسبت به بررسی انواع آلاینده‌ها در این خانواده از ماهیان در سال‌های اخیر شده‌است (۸، ۹ و ۱۰).

یاریچ و همکاران (۱۱) تغییرات فلزات سنگین و مواد معدنی را در بافت‌های آبشش، کبد، روده و عضله‌ی تاسماهی شیب (*Acipenser ruthenus*) بررسی کردند. اونارا و همکاران (۱۲) تجمع زیستی فلزات سنگین را در بافت‌های مختلف کبد، عضله، چربی، گنادها و پوست انواع ماهیان خاویاری در شمال غربی دریای سیاه و پائین‌دست رود دانوب مورد ارزیابی قرار دادند و پولکسیچ و همکاران (۱۳) تاثیرات هیستوپاتولوژیک فلزات سنگین را در آبشش، کبد و پوست تاسماهی شیب مطالعه نموده و تمایز مشخصی میان این سه اندام مشاهده کردند و نهایتاً جمعیت تاسماهی شیب را گونه‌ای ویژه در رابطه با تاثیرپذیری از فلزات سنگین معرفی نمودند. از دیگر سو، لی و همکاران (۱۴) فلزات سنگین موجود در محیط زیست ماهی را بر روی پارامترهای حرکتی اسپرم تاسماهی شیب و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی اسپرم موثر دانسته‌اند. اسفاکیاناکیس و همکاران (۷) حضور این فلزات را حتی بر روی لارو ماهیان آب شیرین نیز دارای اثرات آسیب‌زا تشخیص داده‌اند. در

چرب نمونه‌ها توسط GC انجام شد و هلیوم به عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت. طی یک برنامه حرارتی درجه حرارت تزریق ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد، ردیاب ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، ستون ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و حجم تزریق یک میکرولیتر در نظر گرفته شد. دمای ستون ابتدا به مدت پنج دقیقه در ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بود و سپس طی پنج دقیقه دمای ستون به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد رسیده، ۱۰ دقیقه در این دما ثابت ماند و طی پنج دقیقه دما به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید و پس از یک دقیقه به دمای ۲۲۰ درجه رسید و پنج دقیقه نیز در این دما نگه داشته شد تا تمام ترکیبات خارج گردند. سرعت گاز حامل ۵۰ میلی‌لیتر در دقیقه، مقدار تزریق یک میکرولیتر و نرخ شکافت (Split ratio) ۱:۱۰ بود. متیل‌استرهای اسید چرب با استفاده از استانداردهای معرف (Merk, Germany) و برحسب گرم در ۱۰۰ گرم تعیین شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم افزار Spss^{۱۹} انجام گرفت. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد و برای مقایسه‌ی میانگین داده‌ها از تجزیه واریانس یک طرفه ANOVA و آزمون جداساز 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. برای رسم نمودارها و جدول‌ها از نرم افزار Excel^{۲۰۰۷} استفاده شد.

نتایج

استخراج و شناسایی فلزات سنگین

میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت فیله، کبد و پوست ماهی اوزون‌برون به ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. نتایج اختلاف معنی داری را بین فیله‌ی ماهیان دو استان مازندران و گلستان نشان نداد. در کل نیز گستره‌ی مقدار کادمیوم بین ۰/۱۳ تا ۰/۲۶ میکروگرم در گرم، سرب بین ۰/۱۲ تا ۱/۲۲ میکروگرم در گرم، جیوه بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۲ میکروگرم در گرم و مس بین ۱/۲۸ تا ۳/۰۵ میکروگرم در گرم اندازه گیری شد.

پروفایل اسیدهای چرب

مقادیر چربی بافت ماهیان اوزون‌برون به ترتیب ۱۱/۰۵ و ۱۰/۶۱ درصد در سواحل مازندران و گلستان تعیین شد. پروفایل مقایسه‌ای اسیدهای چرب بافت فیله‌ی ماهی اوزون‌برون 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 ۳ نمودار روابط همبستگی بین چربی بافت فیله (درصد) و مجموع فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) موجود در عضله، کبد و پوست ماهیان خاویاری اوزون‌برون جنوب دریای مازندران نشان داده شده است.

طبق نتایج جدول‌های ۴ و ۵ در بین اسیدهای چرب ماهی اوزون‌برون سواحل مازندران و گلستان، اولئیک اسید (C_{18:1}) با میزان به ترتیب

جدا شده همراه با برچسب در کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری 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 درصد قرار داده شدند و قبل از استفاده، با آب مقطر دوبار تقطیر شسته و خشک شدند (۲۶). تمام مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

روش سنجش فلزات سنگین

پس از آماده سازی ظروف آزمایشگاهی نمونه های عضله، پوست و کبد هر ماهی از حالت انجماد خارج و سپس در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ ساعت در آون خشک شدند (۲۶). سپس هر یک جداگانه در یک ظرف چینی به وسیله هاون پودر شدند. یک گرم از هر یک از نمونه‌های پودر شده‌ی عضله، پوست و کبد جداگانه با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱) وزن و داخل ظرف پلاستیکی درب‌دار ریخته شد و به هرکدام از نمونه‌های عضله و کبد، پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک، ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و یک میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک و به نمونه‌های پوست نیز دو میلی‌لیتر اسید نیتریک، یک میلی‌لیتر اسید-سولفوریک و چهار میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آبی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

پس از فرآیند هضم کامل، نمونه‌ها در بالن ژوژه قرار گرفته و با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. نمونه‌ها پس از عبور از کاغذ صافی داخل ظروف درب‌دار پلاستیکی جهت تزریق به دستگاه جذب اتمی نگهداری شدند. به همراه هر یک از نمونه‌ها یک نمونه‌ی شاهد اسیدی تهیه و همراه با دیگر نمونه‌ی آنالیز شد که فلزات در آن شناسائی نشدند.

جهت آماده سازی دستگاه، پس از تنظیمات مربوط به لامپ، جهت کشیدن خط کالیبراسیون، از محلول‌های استاندارد با غلظت‌های مختلف که از محلول استاندارد مادر با غلظت ۱۰۰۰ قسمت در میلیون (ppm) تهیه شده بودند، استفاده شد. برای ارزیابی صحت داده‌ها نیز از مواد استاندارد SRM استفاده گردید. سپس نمونه‌های هضم و آماده سازی شده به وسیله دستگاه جذب اتمی اسپکتروفتومتر مدل Varian مورد قرائت قرار گرفت و در نهایت در فرمول ذیل محاسبه و میزان غلظت بر مبنای قسمت در میلیون یا میکروگرم در گرم ($\mu\text{g/g}$) مشخص شد (۱۳ و ۲۶).

$$Cr = C_i V/m$$

که در آن: Cr: غلظت نمونه؛ C_i: غلظت دستگاه؛ V: حجم نهائی نمونه و m: وزن خشک ماده انتخاب شده می‌باشد.

روش سنجش اسید چرب

شناسایی پروفایل و ترکیب اسیدهای چرب به وسیله‌ی دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent Technol ۷۸۹۰-GC, A) با دتکتور یونش شعله‌ای (FID) با لوله‌ی موئینه و ستون ۵۰ متر × ۰/۲۵ میلی‌متر × ۰/۲ میکرومتر صورت گرفت (۲۴). به طوری که پس از استخراج و محاسبه‌ی چربی، متیل‌استرهای اسید چرب توسط استری شدن و آنالیز اسیدهای

۵/۴۱ درصد) در بافت نمونه‌های ناحیه گلستان به دست آمد. رابطه‌ی ترتیبی $SFA > PUFA > MUFA > UFA$ در هر دو منطقه برقرار بوده است. مطابق نمودارهای ۱ تا ۳، مطالعه‌ی روابط همبستگی و رگرسیون بین مجموع فلزات سنگین کادمیوم، سرب، جیوه و مس (میکروگرم در گرم) در بافت‌های عضله، کبد و نیز پوست ماهیان اوزون‌برون با ترکیبات چربی ماهی (درصد) نشان داد که رابطه‌ی همبستگی بالایی بین شاخص‌های فوق وجود دارد، درحالی‌که این ارتباط با اسیدهای چرب گروه امگا-۳ این چنین نبود (شکل ۴).

۴۵/۰۲ و ۳۹/۸۵ درصد و آراشیدونیک اسید (۲۰:۴C) به ترتیب با میزان ۱/۰۹ و ۰/۵۵ درصد کمترین مقدار اسیدهای چرب را تشکیل داده اند. پالمیتیک اسید (C۱۶:۰) در هر دو استان بالاترین میزان اسید اشباع را به خود اختصاص داد.

از طرفی نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در بافت اوزون‌برون مازندران و گلستان را به ترتیب ۴/۰۱ و ۲/۴۸ درصد نشان داده شد. بیشترین مقدار مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ (با ۱۸/۴۵ درصد) در بافت اوزون‌برون ناحیه مازندران و بالاترین مجموع اسیدهای چرب امگا-۶ (با

جدول ۱- میزان فلزات سنگین در وزن خشک بافت فیله‌ی ماهی خاویاری اوزون‌برون دریای مازندران (میکروگرم در گرم)

اندام ماهی	منطقه جغرافیایی	کادمیوم		سرب		جیوه		مس	
		Mean	±SD	Mean	±SD	Mean	±SD	Mean	±SD
فیله اوزون‌برون	گلستان	۰/۱۳ a	۰/۰۱	۰/۱۲ a	۰/۰۱	۰/۱۵ a	۰/۰۶	۱/۲۸ a	۰/۰۴
	مازندران	۰/۱۴ a	۰/۰۳	۰/۱۶ a	۰/۰۳	۰/۱۸ a	۰/۰۹	۱/۸۵ a	۰/۱۴

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم وجود تفاوت معنی دار آماری است ($P < ۰/۰۵$).

جدول ۲- میزان فلزات سنگین در وزن خشک بافت کبد ماهی خاویاری اوزون‌برون دریای مازندران (میکروگرم در گرم)

اندام ماهی	منطقه جغرافیایی	کادمیوم		سرب		جیوه		مس	
		Mean	±SD	Mean	±SD	Mean	±SD	Mean	±SD
کبد اوزون‌برون	گلستان	۰/۲۲ a	۰/۰۶	۰/۳۱ a	۰/۰۱	۰/۲۶ a	۰/۰۲	۲/۳۱ a	۰/۲۲
	مازندران	۰/۲۶ a	۰/۱۰	۱/۲۲ b	۰/۰۶	۰/۳۱ a	۰/۰۲	۳/۰۵ a	۰/۱۳

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم وجود تفاوت معنی دار آماری است ($P < ۰/۰۵$).

جدول ۳- میزان فلزات سنگین در وزن خشک پوست ماهی خاویاری اوزون‌برون دریای مازندران (میکروگرم در گرم)

اندام ماهی	منطقه جغرافیایی	کادمیوم		سرب		جیوه		مس	
		Mean	±SD	Mean	±SD	Mean	±SD	Mean	±SD
پوست اوزون‌برون	گلستان	۰/۰۱ a	۰/۰۰	۰/۳۷ a	۰/۰۲	۰/۱۱ a	۰/۰۰	۲/۵۱ a	۰/۱۷
	مازندران	۰/۱۹ b	۰/۰۱	۱/۰۹ b	۰/۰۵	۰/۴۲ b	۰/۰۵	۲/۸۵ a	۰/۰۹

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم وجود تفاوت معنی دار آماری است ($P < ۰/۰۵$).

است. با توجه به محدوده‌ی استاندارد، میزان این چهار فلز در بافت فیله از حد استاندارد بالاتر نبوده‌است.

غلظت مس اندازه‌گیری شده در بافت عضله‌ی اوزون‌برون در پژوهش کنونی، از مقادیر به‌دست آمده در ماهیانی نظیر تاسماهی ایرانی و اوزون‌برون (۱۶) کمتر بوده‌است. شایان توجه است که میزان به‌دست آمده برای عنصر مس (Cu) در تحقیق حاضر که بالاترین میزان تجمع در تمام بافت‌های ماهیان خاویاری را داشت، از مقادیر مطالعه شده در بافت عضله‌ی ماهیان دریای مدیترانه نظیر ماهی ساری اطلس *Scomberesox saurus*، ساردین پیلچارد *Sardina pilchardus*، ماهی تریگلا *Trigla cuculus*، گل‌آذین ماهی *Atherina hepsetus*، سیم دریایی *Sparus auratus* و کفال خاکستری *Mugil cephalus* توسط جانالی و آتلی (۴) نیز کمتر بوده‌است.

با توجه به نتایج موجود در این بررسی بافت عضله به عنوان اصلی‌ترین بخش خوراکی ماهی دارای کمترین تجمع فلزات سنگین می‌باشد. بنابراین حداقل میزان جذب و تجمع فلزات سنگین در عضله آبیان دیده می‌شود. محققانی همانند آگوسا و همکاران (۱۰)، یاریچ و

بحث

بررسی میزان فلزات سنگین در بافت فیله

در مقایسه‌ی میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت فیله‌ی اوزون‌برون، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های دو ساحل جنوب غرب (مازندران) و جنوب شرق (گلستان) مشاهده نشد ($p < 0/05$). با توجه به نتایج، میزان فلزات سنگین در بافت فیله‌ی اوزون‌برون در دو ناحیه‌ی صید با هم اختلاف معنی‌داری ($p < 0/05$) نداشتند. بیشترین میزان فلز به‌دست آمده در بافت فیله، مربوط به فلز مس با میزان ۱/۸۵ و کمترین آن سرب با میزان ۰/۱۲ میکروگرم در گرم بود ($p < 0/05$). حد مجاز فلز مس برای مصرف گوشت ماهیان طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۱۰ قسمت در میلیون (۲۷) می‌باشد. علی‌رغم این‌که فلز مس در نمونه‌های هر دو ساحل بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده، با این حال میزان آن در بافت فیله از حد استاندارد تعیین شده کمتر بوده‌است. محدوده‌ی مجاز حضور فلزات سنگین مواد غذایی برای مصرف انسانی مطابق توصیه WHO (۲۷) برای فلز کادمیوم ۰/۲، جیوه ۰/۵، مس ۱۰ میکروگرم در گرم و برای سرب نیز عدم حضور تا ۲ میکروگرم در گرم

جدول ۴- اسیدهای چرب نمونه‌های بافت فیله‌ی ماهی اوزون برون (گرم در ۱۰۰ گرم) در سواحل جنوب شرق و غرب دریای مازندران

اوزون برون <i>Acipenser stellatus</i>				نوع و سری اسید چرب	
گلستان		مازندران			
Mean	±SD	Mean	±SD		
۲/۰۵ a	۰/۲۱	۱/۷۵ b	۰/۰۳	سری اشباع	C۱۴:۰
۸/۲۱ a	۱/۴۱	۷/۴۱ b	۱/۷۵		C۱۶:۰
۱/۶۵ a	۰/۲۲	۱/۳۸ b	۱/۰۵		C۱۸:۰
۲۲/۱۶ a	۲/۴۱	۲۱/۰۵ a	۰/۵۵	سری تک غیراشباع	۷-ω C۱۶:۱
۳۹/۸۵ b	۳/۰۵	۴۵/۰۲ a	۲/۰۲		۹-ω C۱۸:۱
۴/۸۶ a	۱/۶۵	۳/۵۱ b	۰/۲۵	سری ω-۶	۶-ω C۱۸:۲
۰/۵۵ a	۰/۰۲	۱/۰۹ b	۰/۱۱		۶-ω C۲۰:۴
۷/۳۶ a	۱/۲۵	۸/۵۷ a	۱/۰۳	سری ω-۳	۳-ω C۱۸:۳
۳/۲۵ a	۰/۵۲	۴/۶۸ a	۱/۲۵		۳-ω C۲۰:۵
۲/۸۱ a	۰/۳۳	۵/۲۰ b	۰/۵۵		۳-ω C۲۲:۶
۹۲/۷۵		۹۹/۶۶		مجموع اسیدهای چرب شناخته شده	

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری است ($p < 0/05$).

روند تجمع فلز مس در بافت‌های مختلف ماهیان اوزون‌برون به صورت "کبد < پوست < فیله" بوده است. الگوی کلی تجمع فلزات سنگین در بافت کبد بصورت "مس > سرب > جیوه > کادمیوم" می‌باشد. از طرف دیگر، بیشترین غلظت فلز کادمیوم در بافت کبد مشاهده گردید که با نتایج به دست آمده در تحقیقات یاریچ و همکاران (۱۱) از بافت کبد گونه‌ی تاسماهی شیپ و ابطی و همکاران (۲۰) روی بافت کبد گونه‌ی اوزون برون هم‌خوانی دارد.

همچنین در این پژوهش کمترین میزان تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت عضله‌ی ماهیان و بیشترین تجمع آن در بافت کبد مشاهده شد. جیوه نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($p < 0/05$). روند الگوی تجمع سرب در اوزون برون در اندام‌های مختلف به صورت "کبد < پوست < فیله" بوده است.

نکته مهم این است که نتایج حاصل از این تحقیق پیرامون بافت کبد ماهی اوزون برون دریای مازندران نشان داد که میانگین غلظت فلز

همکاران (۱۱)؛ حیدری و همکاران (۲۱) و اونارا و همکاران (۱۲) چنین نتیجه‌ای را در ماهیان خاویاری دیگر گزارش نموده‌بودند.

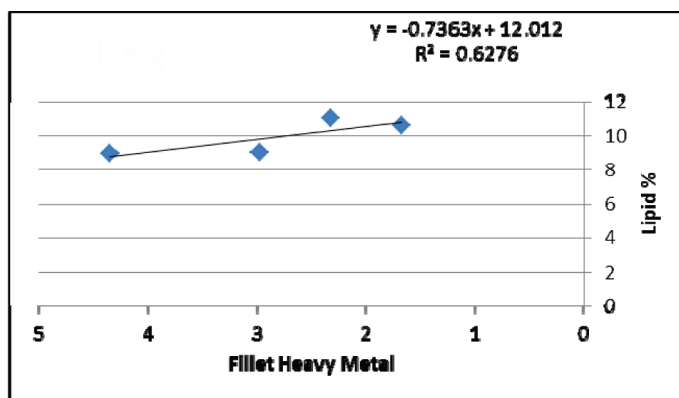
بررسی میزان فلزات سنگین در بافت کبد

بافت کبد ماهی شاخص خوبی از لحاظ در معرض قرار گرفتن طولانی مدت با فلزات سنگین محسوب می‌شود (۶). دلیل این امر این است که اندام کبد جایگاه متابولیسم فلزات بوده و می‌تواند نشان‌گر خوبی برای آلودگی محیط زیست ماهی به فلزات سنگین باشد. در پژوهش حاضر، عضو کبد به دلیل اینکه اندام اصلی در سوخت و ساز بدن است و صدمات اصلی را تحمل می‌کند، به عنوان اندام هدف انتخاب شد. بر اساس نتایج، میزان سرب در بافت کبد اختلاف معنی‌داری را بین دو ساحل جنوب غربی و جنوب شرقی نشان داده است ($p < 0/05$). بالاترین میزان مربوط به غلظت فلز مس (Cu) بوده که در کبد ماهی اوزون‌برون سواحل مازندران به ۳/۰۵ میکروگرم در گرم رسید.

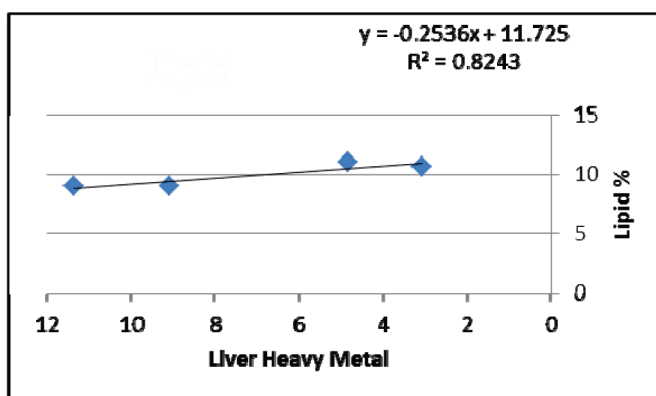
جدول ۵- ترکیب گروه‌های اسید چرب نمونه بافت فیله‌ی ماهیان اوزون برون (گرم در ۱۰۰ گرم) در سواحل جنوب شرق و غرب دریای مازندران

اوزون برون Acipenser stellatus				نوع و سری اسید چرب	
گلستان		مازندران			
Mean	±SD	Mean	±SD		
۱۱/۹۱	۱/۰۵	۱۰/۵۴	۱/۵۵	SFA	مجموع اشباع
۶۲/۰۱	۱/۵۴	۶۶/۰۷	۲/۰۶	MUFA	مجموع تک غیراشباع
۸۰/۸۴	۳/۰۳	۸۹/۱۲	۲/۰۵	UFA	مجموع غیراشباع*
۱۸/۸۳	۲/۱۲	۲۳/۰۵	۱/۳۳	PUFA	مجموع چند غیراشباع
۱/۵۸	۰/۱۰	۲/۱۸	۰/۰۹	PUFA/SFA	نسبت چند غیراشباع به اشباع*
۶/۷۸	۰/۲۱	۸/۴۵	۰/۵۵	UFA/SFA	نسبت غیراشباع به اشباع*
۱۳/۴۲	۱/۳۴	۱۸/۴۵	۱/۲۱	۳-ω	مجموع امگا-۳*
۵/۴۱	۰/۶۴	۴/۶۰	۰/۳۳	۶-ω	مجموع امگا-۶
۶/۰۶	۱/۰۵	۹/۸۸	۱/۱۵	EPA+DHA	مجموع EPA و DHA*
۰/۸۶	۰/۰۵	۱/۱۱	۰/۰۸	DHA/EPA	نسبت DHA به EPA*
۲/۴۸	۰/۴۵	۴/۰۱	۰/۲۵	۶-ω/۳-ω	نسبت امگا-۳ به امگا-۶*
۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۰۱	DHA+EPA / C۱۶	شاخص پلی ان*
۹۲/۷۵		۹۹/۶۶		مجموع اسیدهای چرب شناخته شده	

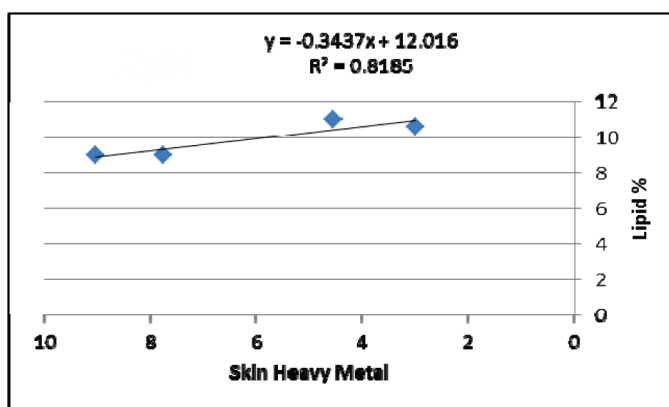
* بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری در هر ردیف است ($p < 0/05$).



شکل ۱- نمودار رابطه‌ی همبستگی بین چربی بافت فیله (درصد) و مجموع فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) عضله ماهیان خاویاری



شکل ۲- نمودار رابطه‌ی همبستگی بین چربی بافت فیله (درصد) و مجموع فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) کبد ماهیان خاویاری



شکل ۳- نمودار رابطه‌ی همبستگی بین چربی بافت فیله (درصد) و مجموع فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) پوست ماهیان خاویاری

و در اعماق مختلف نیز همین الگو صدق می‌کند (۲۸). گستردگی منابع سرب و مس و فراوانی شاخه‌های استفاده از این عنصر در صنعت رنگ سازی، پتروشیمی، رادیوژی، سوخت های فسیلی و ... سبب گردیده تا این عناصر از پراکنش بسیار بالایی در تمامی اکوسیستم‌ها برخوردار باشند. تفاوت غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف می‌تواند ناشی از متغیر بودن فلزات سنگین در زمینه غلبه بر پیوندهای فلزی پروتئین‌ها باشد (۶). بین تجمع فلزات در بافت‌های مختلف با گونه‌ی ماهی نیز رابطه وجود دارد که ممکن است مرتبط با عادات غذایی آن‌ها و ظرفیت تجمع زیستی هرگونه باشد (۱۱).

تجمع فلزات سنگین در بافت نمونه‌های استان مازندران بیشتر از گلستان بوده است که این امر می‌تواند ناشی از ساختار زمین-شناسی منطقه یا وجود منابع آلاینده حاصل از فعالیت‌های انسانی نظیر تخلیه فاضلاب‌های 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 مولفین علاوه بر خشکسالی‌های اخیر، تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی را علت اصلی آن می‌دانند. گونه‌های مختلف آبزیان به لحاظ ترکیبات متفاوت در بافتشان، پتانسیل جذب مقادیر مختلف عناصر سنگین را دارند.

فلزات سنگین به علت وزن بالا بیشتر در اعماق آب‌ها و در بستر دریا رسوب می‌کنند به این علت احتمال تجمع فلزات در آبزیانی همانند ماهیان خاویاری که نزدیک بستر دریا تغذیه می‌کنند، بیشتر می‌باشد. بنابراین بررسی فلزات سنگین در این گونه‌ها ضرورت بیشتری دارد و از آنجایی که ماهیان خاویاری از دسته ماهیان با ارزش از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای می‌باشند، 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 (۶).

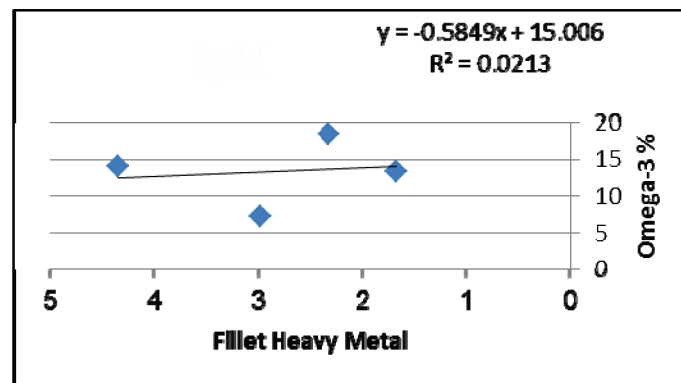
کادمیوم (۰/۲۲ و ۰/۲۶ میکروگرم در گرم) از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بیشتر بوده است. MacDonald و همکاران (۹) در کبد تاسماهی سفید نیز مقادیر بالایی از تجمع سرب یافتند که به مراتب آلوده‌تر بود (جدول ۶).

نتایج تحقیقات مختلف روی گونه‌های مختلف نظیر ماهیان خاویاری اوزون برون (۸، ۲۰ و ۲۱) و تاسماهی سفید (۹) 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. 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 می‌باشد و با آنها اختلاف معنی‌داری دارد.

بررسی میزان فلزات سنگین در پوست

بر اساس نتایج، فلز مس در پوست ماهی اوزون برون بیشترین غلظت را نسبت به فلزات دیگر داشته است ولی از لحاظ کمی حضور مس کمتر از کبد و بیشتر از عضله ماهی بوده‌است. تجمع جیوه در بافت پوست اوزون برون مازندران بیشتر از اوزون برون گلستان بوده ($p < 0.05$) ولی از حد استاندارد جهانی (۲۷) کمتر بوده است. میانگین غلظت فلز سرب در بافت پوست اوزون برون مازندران بیشتر از اوزون برون گلستان بوده است. میانگین غلظت فلز کادمیوم در بافت پوست قره‌برون مازندران بیشتر از قره‌برون گلستان مشاهده شد.

به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میانگین غلظت فلزات مس و سرب نسبت به کادمیوم و جیوه در بافت‌های پوست و کبد اوزون برون در هر دو ناحیه بیشتر است و اختلاف معنی‌داری نسبت به هم دارند ($p < 0.05$). زیرا سرب و مس بیشترین کمیّت را در میان عناصر سنگین محیط زیست دریای مازندران به خود اختصاص داده‌اند



شکل ۴- نمودار رابطه همبستگی بین اسیدهای چرب امگا-۳ (درصد) و مجموع فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) فیله ماهیان خاویاری

مازندران و گلستان ۹/۸۸ و ۶/۰۶ گرم در ۱۰۰ گرم بوده است که با مطالعه‌ی هدایتی فرد و معینی (۲۵) روی ماهی قره‌برون و هدایتی فرد و یوسفیان (۳) بر روی گونه‌ی اوزون‌برون مطابقت دارد.

نسبت مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ (۳-۳) در گوشت ماهی اوزون‌برون و قره‌برون صید شده در استان مازندران بیشتر از استان گلستان می‌باشد. نسبت مناسب اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ (۳-۳) از نظر تغذیه‌ای باید کمتر از چهار به یک باشد. این نسبت در نمونه‌های بافت اوزون‌برون مورد مطالعه به مراتب در محدوده ارزشمندتری قرار دارد. نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در محدوده ۴/۰۱ و ۲/۴۸ گرم در ۱۰۰ گرم به ترتیب برای اوزون‌برون سواحل مازندران و گلستان بوده است. مجموع اسید چرب غیراشباع (UFA) و مجموع امگا-۳ در نمونه‌های سواحل جنوب غربی (مازندران) بیشتر بوده و دارای اختلاف معنی‌دار بوده‌اند ($p < 0/05$).

ارتباط تجمع فلزات سنگین با اسیدهای چرب

با مطالعه ضرایب همبستگی این نتیجه حاصل شد که رابطه مثبت معنی‌داری بین میزان تجمع فلزات سنگین با چربی بافت فیله وجود دارد (شکل‌های ۱ تا ۴). بررسی اسیدهای چرب فیله‌ی ماهیان در رابطه با تجمع فلزات سنگین در بافت‌های کبد ($R^2 = 0/824$)، پوست ($R^2 = 0/818$) و عضله ($R^2 = 0/627$) ماهیان خاویاری نشان داد که رابطه همبستگی مثبت و بالایی بین اسیدهای چرب گروه غیراشباع (UFA) و غیراشباع با چند پیوند دوگانه (PUFA) به ویژه در گروه امگا-۶ وجود دارد. همچنین همبستگی مثبتی بین میزان اسیدهای چرب امگا-۶ فیله ($R^2 = 0/716$) با غلظت فلزات سنگین دیده‌شد، اما در اسیدهای چرب امگا-۳ فیله این ارتباط دیده نشد ($R^2 = 0/021$) (شکل ۴) این مسئله حاکی از این است که هرچه میزان اسیدهای چرب غیراشباع و گروه امگا-۶ در بافت ماهی اوزون‌برون بیشتر باشد، امکان تجمع فلزات سنگین در این بافت‌ها بیشتر می‌شود، و به عبارت بهتر، با افزایش گروه امگا-۳ در چربی ماهیان خاویاری، احتمال کاسته‌شدن از شدت تجمع فلزات سنگین در بافت‌های بدن وجود دارد. بنابراین با دانستن مقادیر چربی و اسیدهای چرب امگا-۶ و امگا-۳ می‌توان احتمالاتی پیرامون آلوده بودن بافت خوراکی ماهیان خاویاری به فلزات سنگین را بیان کرد که نزدیک به واقعیت باشد. میزان چربی بافت‌ها عامل مهمی در تجمع آلاینده‌ها در اندام‌های مختلف می‌باشد (۴). از سوی دیگر تحقیقات پولکسیچ و همکاران (۱۳) تایید کرد که تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماهیان خاویاری در واقع پاسخی به حضور این فلزات در محیط بوده و تاثیر گذاری آن بر جمعیت تاسماهیان، خود ناشی از تاثیر فلزات سنگین روی یکدیگر و نیز سایر آلاینده‌ها می‌باشد. حتی جریان‌های آبی دریای مازندران می‌توانند آلاینده‌های معدنی و آلی مختلف را از بخش‌های شمالی به مناطق جنوبی منتقل نمایند. بنابراین پایش مستمر آب، آبزیان و رسوبات منطقه جهت بررسی میزان آلاینده‌های مختلف و همچنین اطمینان از سالم بودن ماهیان جهت مصرف ضروری است. با توجه به ارزش ماهیان خاویاری از نظر چربی و تغذیه‌ای، این گونه‌ها باید در محیط سالم‌تری زندگی کنند، چراکه آلودگی محیط زیست دریای مازندران به فلزات سنگین می‌تواند آنها را بیش از سایر آبزیان آلوده کند.

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

علی‌رغم گذشت حدود ۱۰ سال از پژوهش صادقی‌راد و همکاران (۱۶)، همچنان مقادیر کادمیوم در ماهیان خاویاری دریای مازندران تثبیت شده‌است. اما طبق اظهارات آگوسا و همکاران (۱۰)، میانگین غلظت فلز جیوه در عضله‌ی قره‌برون و اوزون‌برون دریای مازندران به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۰۶ میکروگرم در گرم می‌باشد. این مقدار در بافت اوزون‌برون کمتر از بررسی حاضر بوده است. همچنین در بافت عضله‌ی ماهی اوزون‌برون در سواحل گلستان مقادیر ۰/۱۵ میکروگرم در گرم جیوه و ۱/۲۸ میکروگرم در گرم مس سنجش شد، در حالیکه حیدری و همکاران (۲۱) همین شرایط را در همین منطقه به ترتیب ۰/۳۸۴ و ۱/۷۸ میکروگرم در گرم برآورد نمودند و ابطی و همکاران (۲۰) مقدار فلز مس را در کبد اوزون‌برون در سواحل گلستان ۲۴/۴۱ میکروگرم در گرم یا به عبارتی ۰/۰۰۰۲ میکروگرم در گرم در وزن تر محاسبه نمودند و با توجه به مشخص‌نبودن درصد رطوبت کبد در پژوهش مذکور، امکان مقایسه با نتایج کنونی مهیا نیست. گفتنی است پورنگ و همکاران (۲۲) در بخش‌های خوراکی هر پنج گونه‌ی ماهی خاویاری دریای مازندران، فلزات سنگین سرب، مس، روی و کادمیوم را پایین‌تر از محدوده‌ی مجاز معرفی شده توسط نهادهای بین‌المللی برآورد نمودند. ماهیانی که دارای رژیم غذایی بنتوزخواری یا تغذیه از کف می‌باشند، استعداد تجمع مقادیر زیادی از فلزات سنگین را در خود دارا می‌باشند، این فرآیند در ماهی خاویاری اوزون‌برون نیز مشاهده شده است.

برای حذف فلزات سنگین از محیط آب، علاوه بر خواص عملکردی برخی مواد شیمیایی، دسته‌ای از مواد طبیعی و برخی گیاهان نیز موثر هستند (۲۹).

ارزیابی ترکیب اسیدهای چرب

محتوای چربی و ترکیب اسیدهای چرب موجود در اندام‌های مختلف بدن ماهیان تحت تاثیر 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 منتشر شده اوزون‌برون توسط هدایتی فرد و یوسفیان (۳) مطابقت دارد. در مطالعه‌ی کنونی اسیدهای چرب غیراشباع (UFA) برای همه‌ی 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 چن و همکاران (۳۰)؛ عیسایف و موسایف (۲۳) و همچنین هدایتی فرد و یوسفیان (۳) گزارش شده است. در سال‌های اخیر مطالعاتی پیرامون اسیدهای چرب انواع ماهیان خاویاری به ویژه جنس تاسماهی یا Acipenser نیز منتشر شده است (۳۱) و (۳۲).

مقدار مجموع اسیدهای چرب ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک (DHA) به ترتیب در نمونه‌ی اوزون‌برون سواحل

جدول ۶- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) در بافت گونه‌های مختلف ماهی خاویاری در حوزه دریای مازندران

گونه مورد مطالعه	بافت	Pb	Cu	Cd	Hg	منابع
قره‌برون	عضله	۰/۰۱۲	۱/۷۲	۰/۰۰۶	-	Pourang et al (۲۲)*
تاسماهی شیپ	عضله	۰/۰۰۴	۱/۶۵	۰/۰۰۱	-	Pourang et al (۲۲)*
تاسماهی روسی	عضله	۰/۰۰۸	۱/۹۱	۰/۰۰۵	-	Pourang et al (۲۲)*
اوزون‌برون	عضله	۰/۰۳۷	۱/۲۲	۰/۰۰۲	-	Pourang et al (۲۲)*
فیل‌ماهی	عضله	۰/۰۱۱	۱/۷۷	۰/۰۰۲	-	Pourang et al (۲۲)*
قره‌برون	عضله	۰/۶۱	۱/۸	۰/۰۶	۰/۰۵	Sadeghirad et al (۱۶)*
اوزون‌برون	عضله	۰/۴۸	۱/۶۴	۰/۰۵۹	۰/۰۶	Sadeghirad et al (۱۶)*
اوزون‌برون	عضله	۰/۰۱۳	۱/۵۰	۰/۰۰۱	۰/۰۶	Agusa et al (۱۰)
فیل‌ماهی	عضله	۰/۰۲۲	۱/۴۲	۰/۰۰۱	۱/۴۰	Agusa et al (۱۰)
قره‌برون	عضله	۰/۰۰۶	۱/۷۴	۰/۰۰۲	۰/۳۳	Agusa et al (۱۰)
تاسماهی روسی	عضله	۰/۰۰۵	۱/۷۳	۰/۰۰۲	۰/۳۲	Agusa et al (۱۰)
تاسماهی شیپ	عضله	۰/۰۰۲	۲/۱۲	۰/۰۰۱	۰/۶۷	Agusa et al (۱۰)
اوزون‌برون	کبد	۰/۵۲۴	۲۰/۸۹	۰/۴۲۸	-	Abtahi et al (۲۰)
اوزون‌برون	کبد	۰/۶۸	۷/۵۲	۰/۱۸	-	Golovin et al (۸)*
اوزون‌برون	عضله	۰/۶۷	-	۰/۰۶	۰/۷۱	Golovin et al (۸)*
اوزون‌برون گیلان	عضله	-	۰/۵۵	-	۲/۱۸	Heidary et al (۲۱)
اوزون‌برون گیلان	کبد	-	۱/۶۶	-	۱/۱۳	Heidary et al (۲۱)
اوزون‌برون گلستان	عضله	-	۰/۳۸	-	۱/۷۸	Heidary et al (۲۱)
تاسماهی سفید	عضله	-	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۵۷۵	MacDonald et al (۹)
تاسماهی سفید	کبد	-	۲۶/۹	۱/۰۹	۱/۳۷	MacDonald et al (۹)
تاسماهی شیپ	عضله	-	-	۰/۰۸۵	۰/۹۷۶	Jarić et al (۱۱)
تاسماهی شیپ	کبد	-	-	۲/۸۲۶	۱۰۴/۰۱	Jarić et al (۱۱)
اوزون‌برون گلستان	عضله	۰/۱۲	۱/۲۸	۰/۱۳	۰/۱۵	تحقیق حاضر
اوزون‌برون مازندران	عضله	۰/۱۶	۱/۸۵	۰/۱۴	۰/۱۸	تحقیق حاضر
اوزون‌برون گلستان	کبد	۰/۳۱	۲/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۶	تحقیق حاضر
اوزون‌برون مازندران	کبد	۱/۲۲	۳/۰۵	۰/۲۶	۰/۳۱	تحقیق حاضر

* ارقام ستاره‌دار حاصل از وزن تر می‌باشند.

E.H., and L.D. Kyrilanova, 1990. Saderkhaniye nekotorigh khimicheshkikh elementob i khlororganicheskikh pectisidov ve mishikh j vnootrenikh organakh ruskogo osetra, V. kn: Physiologo-biokhimi-cheskni status Volgo-Caspiskikh osetrovikh v norme i pri raslojeni mishechnoi takani (*Kumulyativinii palitoksikos*), *Ribinsk* 1190: 52-54.

9. MacDonald, D.D., Ikononou, M.G., Rantalaine, A.L., Rogers, I.H., Sutherland, D., and J.V. Oostdam, 1997. Contaminants in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) from the upper Fraser River, British Columbia, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 479-490.

10. Agusa T, Kunito T, Tanabe S, Pourkazemi M, and D.G. Aubrey, 2004. Concentrations of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. *Journal of Marine Pollution Bulletin* 49: 789-800.

11. Jarić, I., Višnjić-Jeftić, Ž., Cvijanović, G., Gačić, Z., Jovanović, L., Skorić, S., and M. Lenhardt, 2011. Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES, *Microchemical Journal* (98) 1: 77-81.

12. Onara, D.F., Radu, S., Holostenco, D., and T. Dana, 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.

13. Poleksic, V., Lenhardt, M., Jarić, I., Djordjevic, D., Gacic, Z., Cvijanovic, G., and B. Raskovic, 2010. Liver, gills, and skin histopathology and heavy metal content of the Danube sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758), *Environmental Toxicology Chemistry* 29(3): 515-21.

14. Li, Zh., Li, P., Dzyuba, B., and T. Randak, 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.

15. Kolangi Miandare, H., Niknejad, M., Shabani, A., and R. Safari, 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.

16. Sadeghirad, M., Amini Ranjbar, Gh., Arshad, A., and H. Joshideh, 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]

17. Gapeova, A.L., M.A. Tselmovich and V. Shirakov, 1990. Heavy metals in sturgeons of Volga River downstream, *Research Report, GosNIORKh*. [In Russian]

نتیجه‌گیری نهایی

طی این بررسی مشخص شد که غلظت عناصر سنگین در بافت کبد بیشتر از پوست و عضله بوده‌است. در بین چهار فلز سنگین بررسی شده، غلظت کادمیوم در بافت کبد ماهی اوزون‌برون از حد مجاز بیشتر بوده است، که البته بخش خوراکی محسوب نمی‌شود. همچنین تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های صیدشده از سواحل جنوب غربی (مازندران) بیشتر از جنوب شرقی (گلستان) بوده‌است. بیشترین تجمع فلزات سنگین در بافت‌های کبد و پوست به ترتیب مربوط به فلزات مس، سرب، جیوه و کادمیوم و در بافت فیله به ترتیب مربوط به مس، جیوه، سرب و کادمیوم بوده است. از طرف دیگر، با توجه به روابط همبستگی، تجمع فلزات سنگین در حضور اسیدهای چرب غیراشباع و امگا-۶ بیشتر از اسیدهای چرب امگا-۳ فیله بوده‌است. همچنین اسیدهای چرب غیراشباع بیشترین میزان را در بافت فیله تشکیل داده‌اند و نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ در گوشت ماهی اوزون‌برون صیدشده در سواحل جنوب غربی دریای مازندران بیشتر از سواحل جنوب شرقی بوده‌است. نتایج به‌دست آمده بیانگر سالم بودن نسبی ماهیان اوزون‌برون و عدم آلودگی شدید این ماهیان به عناصر سنگین می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Coad, B., 2016. Review of the Pikes of Iran (Family Esocidae). *Iranian Journal of Ichthyology* 3(3):161-180.
2. Keyvanfar, A., Rochu, D., Marneux, M., Herance, N., and J.M. Fine, 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., *Academy Sciences of Paris* 304 (III), 9: 191-193.
3. Hedayatifard, M., and M. 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.
4. Canli, M. and G. Atli, 2003. The relationships between heavy metal (cd,cr,cu,fe,pb,zn) levels and size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution* 121: 129-136.
5. Ben Salem, Z., Capelli, N., Laffray, X., Elise, G., Ayadi, H., and L. Aleya, 2014. Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etuefont, France), *Ecological Engineering* 69: 25-37.
6. Endo T, araguchi K, Cipriano F, Simmonds M P, Hotla Y, and M. Sakata, 2004. Contamination by mercury and cadmium in the cetacean products from Japanese market. *Journal of Chemosphere* 54:1653-62.
7. Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., and A.M. Tsatsakis, 2015. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review, *Environmental Research* 137: 246-255.
8. Golovin, A.H., Krichenko, C.G., Galutva, O.A., Konisheva,

18. Amini Ranjbar, Gh., Bahmani, M., Farshchi, P., and F. Shariat, 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]
19. Parvaneh, V., 1996. Surveying of mercury amounts in Caspian Sea Fish, *Journal of Veterinary, Tehran University* 20: 28-35. [In Persian]
20. Abtahi, B., Shojaii M.G., Esmaili-Sari A., Rahnema M., Sharifpour, I., Bahmani, 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.
21. 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.
22. Pourang, N., Tanabe, S., Rezvani, S. 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.
23. Isuyev, A.P and B.S. Musayev, 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.
24. 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.
25. Hedayatifard, M. and S. Moeini, 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]
26. MOOPAM, 1999. Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analysis Methods, 3rd ed, Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait.
27. WHO, 2007. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen O, Denmark, 130p.
28. Nasrollahzadeh Saravi, H, Najafpour, S, Rezaei, M. and A. Solaimaniroudi, 2014. Temporal and spatial of heavy metals concentrations (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd and Hg) in Iranian coastal waters of the Southern Caspian Sea, *Journal of Marine Biology* 6 (1) :1-12. [In Persian]
29. Repo, E., Warchoř, J.K., Bhatnagar, A., Mudhoo, A., and M. Sillanpää, 2013. Aminopolycarboxylic acid functionalized adsorbents for heavy metals removal from water, *Water Research* (47) 14: 4812-4832.
30. Chen, I.-C., Chapman, F.A., Wei, C.-I., Portier, K.M., and S.F.J. O'Keefe, 1995. Differentiation of cultured and wild sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) based on fatty acid composition, *Food Science* 60:631-635.
31. Luo, L., Ai, L., Li, T., Xuem M., Wang, J., Li, W., Wu, X., and X. Liang, 2015. The impact of dietary DHA/EPA ratio on spawning performance, egg and offspring quality in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*), *Aquaculture* 437: 140-145.
32. Nieminen, P., Westenius, E., Halonen, T. and A. Mustonen, 2014. Fatty acid composition in tissues of the farmed Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), *Food Chemistry* 159: 80-84.

