

بررسی غلظت عناصر فلزی در بافت ماهی سفید (*Rutilus frisii*) در سواحل جنوب غربی دریای خزر (گیلان)

مسعود ستاری^{*۱}، جاوید ایمانپور نمین^۱، مهدی بی‌باک^۱، محمد فروهر واجارگاه^۱، آرش خسروی^۱

*msattari647@gmail.com

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۲- گروه علوم دریایی، مرکز تحقیقات حوضه دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۷

چکیده

ماهی سفید (*Rutilus frisii*) یکی از ماهیان ساکن دریای خزر با بازارپسندی و ارزش اقتصادی بالاست با توجه به بسته بودن دریای خزر، تمامی آلاینده‌هایی که به آن تخلیه می‌شود، در حوضه دریا انباشته می‌شود. آلودگی رسوبات به فلزات سنگین منجر به مشکلات زیست‌محیطی جدی می‌شود. بدین منظور، تعداد ۳۶ عنصر در بافت‌های کبد، عضله، گناد، پوست و کلیه این ماهی اندازه‌گیری شد و ارتباط آنها با پارامترهای رشد (سن و طول)، شاخص‌های فیزیولوژیک (ضریب چاقی، وزن نسبی، شاخص کبدی) بررسی شد. تعداد ۵۱ عدد ماهی در فصل پاییز ۱۳۹۶ توسط پره‌های ساحلی و دام‌گوش‌گیر صید شدند و اندازه‌گیری فلزات با استفاده از دستگاه ICP-OES انجام شد. بیشترین غلظت فلزات کلسیم، منگنز در بافت عضله، فلزات آلومینیم، باریم، کادمیم، کبالت، آهن، پتاسیم، سدیم، گوگرد، قلع، تنگستن و روی در بافت کلیه، فلزات آرسنیک، نیکل، سرب و روییدوم در بافت گناد، فلزات کروم، لیتیوم، منیزیوم، فسفر، آنتیموان، سیلیکون، استرونیوم، توریوم و تیتانیوم در بافت پوست و فلز مس در بافت کبد بود. همبستگی میزان عناصر در هر بافت موردسنجش قرار گرفت که در این میان پایین‌ترین میزان همبستگی را عناصر استونیوم و نیکل در بافت کبد و پایین‌ترین میزان همبستگی عناصر آنتیموان، منگنز و نیکل در بافت عضله محاسبه شد.

کلمات کلیدی: ICP-OES، فلزات سنگین، پارامترهای رشد، *Rutilus frisii*

*نویسنده مسئول

مقدمه

دریای خزر بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}34'35''$ تا $39^{\circ}13'0''$ و طول جغرافیایی $46^{\circ}38'39''$ E تا $54^{\circ}33'19''$ E قرار دارد. حجم آب آن ۸۰۰۰۰ کیلومتر مکعب است (موسوی، ۱۳۸۰). فلزات سنگین از آلاینده‌های بسیار مهم محیط‌زیست این دریا محسوب می‌شوند. به طور کلی، دو منبع مؤثر در ایجاد آلودگی فلزات سنگین شامل عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی هستند. با توجه به نزدیکی شهرهای ساحلی، جریانات رودخانه‌ای که حاوی پساب، مواد معلق و رسوبات بوده و گاهی حاصل سیلاب‌های مکرر ناشی از عوامل طبیعی هستند، بسیاری از مواد آلاینده از جمله سموم و کودهای شیمیایی باقیمانده در خاک و مواد حاصل از شستشوی زهاب‌های صنایع کوچک و بزرگ شهرها را به دریا تخلیه شده و سبب تجمع عناصر در رسوبات می‌گردند (De Mora et al., 2004).

با توجه به بسته بودن دریای خزر، تمامی آلاینده‌هایی که به آن تخلیه می‌شود، در حوضه دریا انباشته می‌شود. آلودگی رسوبات به فلزات سنگین منجر به مشکلات زیست‌محیطی جدی می‌شود بطوریکه نواحی برخوردار از رسوبات آلوده، همواره خطری حقیقی را برای موجودات زنده منطقه به‌همراه دارند (Dias et al., 2009). بخشی از این آلاینده‌ها به دلیل پایداری بالا در بافت‌های آبزیان مختل، تجمع می‌یابند و با ورود به زنجیره غذایی و انتقال به مصرف‌کنندگان بعدی، در نهایت موجب آسیب به سلامت عمومی افراد مصرف‌کننده از آبزیان منطقه می‌گردند (Zhou et al. 2007).

با توجه به افزایش ورود آلودگی ناشی از فاضلاب‌های صنعتی و شهری به دریای خزر بویژه فلزات سنگین که در بدن ماهی تجمع یافته و بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد، مطالعه و بررسی غلظت این عناصر ضروری بنظر می‌رسد. هدف از انجام این مطالعه بررسی تجمع عناصر $Ca, Bi, Be, Ba, As, Ag, Al, Na, Mo, Mn, Mg, Li, La, K, Fe, Cu, Cr, Co, Ce, Cd, Y, W, V, Ti, Th, Sr, Sn, Si, Pb, S, Sb, Rb, P, Ni$ و Zn در بافت‌های مختلف ماهی سفید و همچنین همبستگی این عناصر در این بافت‌ها و تعیین تجمع هر عنصر در هر بافت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این بررسی تعداد ۵۱ عدد ماهی سفید، در فصل پاییز ۱۳۹۶ از صیدگاه‌های استان گیلان تهیه و در فلاسک‌های یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. ایستگاه‌های نمونه‌برداری شامل:

کیاشهر با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه طول جغرافیایی، ۴۹ درجه و ۹۸ دقیقه بندر انزلی با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۹ دقیقه، آستارا با عرض جغرافیایی ۳۰۱۲۲۶،۳۸ و طول جغرافیایی ۴۸،۱۶۸،۸۸ بود. تعداد نمونه‌های تهیه‌شده از کیاشهر، انزلی و آستارا بترتیب ۲۶، ۲۵ و ۲۷ عدد بود.

هر یک از نمونه‌های جمع‌آوری شده، در یونولیت‌های حاوی یخ جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه بیماری‌های آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان منتقل و تا زمان جداسازی بافت‌های مختلف مانند کبد، عضله، پوست، کلیه و گناد در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه زیست‌سنجی شدند. برای تعیین سن تعدادی فلس از نمونه‌ها جدا شده و بلافاصله برای جداسازی بافت‌های موردنظر تشریح شدند. پس از برداشتن پوست سطح پشتی، عضلات و در نهایت، تمامی بافت‌های عضله، کبد، کلیه، پوست و گناد ماهیان جدا شد. هر یک از بافت‌ها به طور جداگانه به داخل پتری دیش گذاشته شد و در آن ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از آن خارج و برای پایین آمدن دما درون دسیکاتور قرار گرفت. بعد از کاهش دما نمونه‌ها بوسیله هاون چینی به صورت پودر درآورده شد. برای تعیین سن ماهیان تعداد ۱۵-۱۰ عدد فلس از بالای خط جانبی جدا شد. فلس‌ها ابتدا با آب گرم شستشو داده‌شده و برای از بین بردن مواد اضافی و موکوس از آنها و نگهداری طولانی‌تر، از الکل ۹۵٪ برای شستشو استفاده شد. بعد از قرار دادن فلس‌ها در زیر لوپ، سن نمونه‌ها بر اساس حلقه‌های سالانه (Annuli) تعیین شد (رضوی صیاد، ۱۳۶۸) برای هضم شیمیایی نمونه‌ها به منظور آماده شدن برای تعیین فلزات سنگین حدود ۱ گرم از هر نمونه پودر شده و توزین شد. سپس در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و به یک گرم از هر یک از بافت‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد اضافه‌شده و در دمای آزمایشگاه به مدت ۵ ساعت برای هضم مقدماتی نگهداری شد. سپس نمونه‌ها از کاغذ صافی (42- wathman) عبور داده شد و با آب دو بار تقطیر حجم نمونه‌ها در بالن ژوژه به ۲۵ سی‌سی رسانده شد. پس‌ازاین مراحل، غلظت فلزات سنگین نمونه‌های آماده‌شده توسط (ICP- OES) Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy موردسنجش قرار گرفت.

شد. درصد شیوع هر عنصر در هر بافت در نمونه‌های صیدشده نیز محاسبه گردید (جدول ۳).

همبستگی بین عناصر در سطح (۰/۰۱) در بافت کبد محاسبه شد که در این میان پایین‌ترین میزان همبستگی را عنصر Sr و Ni نشان دادند (جدول ۴).

بیشترین همبستگی بین عناصر P و Mg گزارش شد و بیشترین میزان همبستگی را عنصر P با سایر عناصر داشت. همبستگی بین عناصر در سطح (۰/۰۱) در بافت عضله محاسبه شد که در این میان پایین‌ترین میزان همبستگی را عنصر Mn، Ni و Sb نشان دادند (جدول ۵).

میزان همبستگی عناصر در بافت عضله کمتر از بافت کبد گزارش شد. همبستگی بین عناصر در بافت پوست نشان داد که عناصر در این بافت همبستگی کمی با یکدیگر دارند و در بعضی از عناصر همبستگی مشاهده نشد (جدول ۶).

در تحقیق حاضر، همبستگی معکوس عناصر در بافت گناد مشاهده شد (جدول ۷) و در بسیاری از عناصر همبستگی مشاهده نشد. همبستگی بین عناصر در بافت کلیه نشان داد که بیشترین همبستگی عناصر Mg، Mn و Cu با سایر عناصر داشتند و بین عنصر S با سایر عناصر همبستگی مشاهده نشد (جدول ۸).

در این بررسی نمونه‌های ماهی در دامنه سنی ۱+ الی ۳+ سال قرار داشتند. نقره فقط در نمونه‌های ۲ ساله مشاهده شد. آلومینیم در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از سه‌ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین مختلف با تجمع فلز آلومینیم معنی‌دار بود ($p < 0.05$). حضور آرسنیک در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از سه‌ساله‌ها بود و درصد آن در ماهیان ۲ ساله (۹۵/۸۳٪)، ۱ ساله (۸۴/۶۱٪)، ۳ ساله (۶۶/۶۶٪) بود. اختلاف بین سنین مختلف با تجمع فلز آرسنیک معنی‌دار بود ($p < 0.05$). کلسیم در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۳ و ۱ سال بیش از ۲ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع کلسیم معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). کادمیم در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۳ و ۲ سال بیش از ۱ ساله‌ها بود. درصد آن در ماهیان ۲ ساله (۴۳/۷۵٪)، ۳ ساله (۳۳/۳۳٪)، ۱ ساله (۳۰/۷۶٪) بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع کادمیم معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). کبالت در نمونه‌های ۳ ساله مشاهده نشد. در (۴۳/۷۵٪) نمونه‌های ۲ ساله و (۱۵/۳۸٪) نمونه‌های یکساله مشاهده شد.

در این مطالعه تعداد ۵۱ عدد ماهی از ۳ ایستگاه صید شد. تعداد نمونه‌های تهیه‌شده از منطقه آستارا، انزلی و کیشهر بترتیب ۲۵، ۲۷، ۲۶ عدد بود. حداقل و حداکثر طول و وزن کل در کیشهر ۵۰-۲۹/۵ سانتی‌متر و ۱۲۲۰-۲۶۵ گرم (جدول ۱)، آستارا ۴۸-۳۰ سانتی‌متر و ۱۱۹۵-۲۷۵ گرم (جدول ۲)، انزلی ۵۱-۱۶/۵ سانتی‌متر و ۱۵۲۵-۵۰ گرم (جدول ۳) بدست آمد. میانگین طولی و وزنی در ایستگاه کیشهر بیشتر از ایستگاه‌های انزلی و آستارا بود. درصد شیوع آلودگی برابر با تجمع عنصر در هر بافت در تمام نمونه‌های صیدشده است که به‌صورت درصد بیان می‌شود. شاخص‌های فیزیولوژیک بر اساس معادلات ذیل محاسبه شد (Hung et al., 2002).

ضریب چاقی (Condition Factor):

$$CF = \frac{W}{L^3} \times 100$$

CF = ضریب چاقی، W = وزن ماهی (گرم) به گرم و طول ماهی (L) = طول (سانتیمتر)

شاخص کبدی (Hepatosomatic Index (HSI) (Wahli et al., 2002)

$$HSI = \frac{w}{W} \times 100$$

w = وزن کبد (گرم)، W = وزن ماهی (گرم)

نرمال بودن داده‌ها بوسیله آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد آزمون قرار گرفت. برای تعیین رابطه میزان تجمع فلزات سنگین با طول ماهی، سن، ضریب چاقی، وزن نسبی و شاخص کبدی از ضریب همبستگی Pearson استفاده شد. جهت تعیین وجود اختلاف معنی‌دار بین بافت‌ها از نظر غلظت فلزات برای داده‌های نرمال از آزمون ANOVA و داده‌های غیر نرمال از آزمون Kruskal-Wallis استفاده شد. سطح معنی‌دار بودن در این بررسی $p < 0.05$ بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS (version 25), Excel (2013) صورت گرفت.

نتایج

نتایج حاصل از زیست‌سنجی ماهی سفید در جدول ۱ و شاخص‌های زیستی محاسبه شده در جدول ۲ ارائه شده است. تعداد ۳۶ عنصر در ۵ بافت شامل کبد، عضله، گناد، پوست و کلیه در ماهی سفید برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری

جدول ۱: نتایج زیست‌سنجی ماهی سفید در سه ایستگاه (تعداد: ۵۱)

Table 1: Biometry of *Rutilus frisii* in all region (n:51).

مناطق	مقادیر	ضخامت بدن (cm)	ارتفاع بدن (cm)	قطر چشم (cm)	طول پوزه (cm)	طول سر (cm)	طول استاندارد (cm)	طول چنگالی (cm)	طول کل (cm)	وزن کل (gr)
کیاشهر	میانگین	۴/۶۳	۷/۷۷	۱/۲	۲/۱۵	۷/۱۴	۳۴/۸۳	۳۷	۴۰/۰۹	۶۹۷/۱۱
	انحراف معیار	۰/۸۸	۱/۳۴	۰/۰۹	۰/۴۰	۱/۰۴	۵/۱۴	۵/۳۶	۵/۷۹	۲۹۷/۱۳
	حداقل	۳/۲	۵/۷	۰/۹	۱/۶	۵/۵	۲۵/۵	۲۷	۲۹/۵	۲۶۵
	حداکثر	۶/۳	۹/۸	۱/۳	۳	۸/۹	۴۴	۴۷	۵۰	۱۲۲۰
آستارا	میانگین	۴/۹۷	۸/۰۴	۱/۲۱	۲/۰۹	۶/۹۹	۳۴/۴۴	۳۶/۶	۴۰/۱	۶۹۱/۰۸
	انحراف معیار	۰/۸۲	۱/۱۰	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۸۶	۴/۴۷	۴/۵۲	۴/۸۱	۲۳۷/۴۴
	حداقل	۳/۵	۵/۸	۱/۱	۱/۳	۵/۲	۲۵	۲۷	۳۰	۲۷۵
	حداکثر	۶/۷	۱۰/۲	۱/۴	۲/۶	۸/۶	۴۱/۵	۴۴	۴۸	۱۱۹۵
انزلی	میانگین	۴/۴۴	۷/۴۷	۱/۱	۲/۰۳	۶/۷۹	۳۳/۲۴	۳۵/۳۱	۳۸/۴۶	۶۵۴/۲۵
	انحراف معیار	۱/۲۶	۱/۹۹	۰/۱۴	۰/۵۷	۱/۵۶	۸/۲۱	۸/۵	۹/۲۸	۳۷۰/۳۶
	حداقل	۱/۸	۳/۲	۰/۷	۰/۹	۳/۲	۱۳/۵	۱۵	۱۶/۵	۵۰
	حداکثر	۶/۵	۱۱/۵	۱/۳	۳/۱	۹/۵	۴۵	۴۷	۵۱	۱۵۲۵

جدول ۲: میانگین پارامترهای زیستی ماهی سفید

Table 2: Means of Biological Parameters.

مقادیر	سن	ضریب چاقی (CF)	وزن نسبی (WR)	شاخص کبدی (HIS)
میانگین	۱/۸۹	۰/۹۹	۱۰۱/۴۷	۱/۱۷
انحراف معیار	۰/۶۷	۰/۱۷	۱۷/۶۴	۰/۴۱
حداقل	۱	۰/۷۲	۷۵/۱۱	۰/۲۸
حداکثر	۳	۱/۳۷	۱۳۸/۸۴	۲/۰۴

جدول ۳: میانگین±انحراف معیار و شیوع آلودگی در بافت‌ها در ماهی سفید

Table 3: Means±SD and Prevalence of contamination in tissues.

بافت	کبد	ماهیچه
	میانگین±انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)
Ag	ND	۰/۱±۰
Al	۰/۳۹±۰/۲۳b	۱۰۰
As	۰/۰۳±۰/۰۲b	۸۰/۹۵
Ba	ND	۰/۰۱±۰ b,c
Be	ND	ND
Bi	ND	ND
Ca	۷/۹۲±۴/۵۷b	۱۸/۹۱±۹/۷۷a
Cd	۰/۰۲±۰/۰۱b	۴۷/۶۱
Ce	ND	ND
Co	۰/۰۱±۰ b,c	۱۹/۰۴

بافت	کبد		ماهیچه	
	میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)	میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)
Cr	$0.02 \pm 0.01b$	۱۰۰	$0.02 \pm 0.01b$	۱۰۰
Cu	$0.51 \pm 0.50a$	۱۰۰	$0.02 \pm 0.01b$	۸۰/۹۵
Fe	$4.70 \pm 4.24a$	۱۰۰	$0.41 \pm 0.32b$	۹۵/۲۳
K	74.90 ± 69.19	۱۰۰	125.87 ± 124.97	۱۰۰
La	ND		ND	
Li	ND		ND	
Mg	6.00 ± 4.55	۱۰۰	10.59 ± 8.83	۱۰۰
Mn	0.06 ± 0.04	۹۰/۴۷	0.18 ± 0.044	۴۲/۸۵
Mo	$0.01 \pm 0.01b$	۴۲/۸۵	$0.01 \pm 0.01b$	۹۵/۲۳
Na	$33.59 \pm 28.50b$	۱۰۰	$20.60 \pm 14.64b$	۱۰۰
Ni	$0.01 \pm 0.01b$	۳۸/۰۹	$0.01 \pm 0.006b$	۴۷/۶۱
P	84.20 ± 71.98	۱۰۰	109.77 ± 90.79	۱۰۰
Pb	$0.07 \pm 0.01c$	۴۲/۸۵	$0.04 \pm 0.02c$	۴۲/۸۵
Rb	0.51 ± 0.41	۶۶/۶۶	0.44 ± 0.35	۶۶/۶۶
S	$40.75, 38 \pm 49.92, 22b$	۱۰۰	$4110.79 \pm 4961.15b$	۱۰۰
Sb	$0.01 \pm 0.004b$	۶۱/۹	$0.01 \pm 0.002b$	۸۵/۷۱
SC	ND		ND	
Si	0.16 ± 0.16	۱۰۰	0.17 ± 0.16	۹۵/۲۳
Sn	$0.05 \pm 0.03b$	۵۷/۱۴	$0.07 \pm 0.03b$	۴۲/۸۵
Sr	$0.07 \pm 0.06c$	۱۰۰	$0.22 \pm 0.13b$	۱۰۰
Th	$0.05 \pm 0.02c$	۴۲/۸۵	$0.06 \pm 0.01b,c$	۴۲/۸۵
Ti	$0.01 \pm 0.003c$	۴۲/۸۵	$0.01 \pm 0.005c$	۴۲/۸۵
V	ND		ND	
W	$0.01 \pm 0.003a,b$	۳۳/۳۳	ND	
Y	ND		ND	
Zn	$0.85 \pm 0.74b,c$	۱۰۰	$0.30 \pm 0.21c$	۹۵/۲۳

ادامه جدول ۳: میانگین $\pm$ انحراف معیار و شیوع آلودگی در بافت‌ها در ماهی سفیدContinue of Table 3: Means $\pm$ SD and Prevalence of contamination in tissues.

بافت	گناد		پوست		کلیه	
	میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)	میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)	میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)
Ag			ND		ND	
Al	$0.49 \pm 0.15b$	۱۰۰	$10.9 \pm 0.40a$	۱۰۰	$1.20 \pm 0.90a$	۱۰۰
As	$0.08 \pm 0.04a$	۱۰۰	$0.06 \pm 0.01a$	۱۰۰	$0.05 \pm 0.01a,b$	۱۰۰
Ba			$0.01 \pm 0.004a$	۵۵/۵۵	$0.01 \pm 0.005a,b$	۴۴/۴۴
Be	ND		ND		ND	
Bi	ND		ND		ND	
Ca	$7.65 \pm 3.14b$	۱۰۰	$14.16 \pm 5.22a,b$	۱۰۰	$12.05 \pm 3.34a,b$	۱۰۰
Cd	$0.01 \pm 0.01b$	۲۸/۵۷	$0.01 \pm 0.01b$	۳۳/۳۳	$0.05 \pm 0.01a$	۱۰۰
Ce	ND		ND		ND	
Co	$0.01 \pm 0.01b,c$	۴۲/۸۵	$0.01 \pm 0.01b$	۶۶/۶۶	$0.01 \pm 0.007a$	۱۰۰
Cr	$0.04 \pm 0.007a$	۱۰۰	$0.04 \pm 0.008a$	۱۰۰	$0.04 \pm 0.007a$	۱۰۰
Cu	$0.12 \pm 0.05b$	۱۰۰	$0.04 \pm 0.01b$	۱۰۰	$0.08 \pm 0.004b$	۱۰۰
Fe	$1.46 \pm 0.54b$	۱۰۰	$1.26 \pm 0.48b$	۱۰۰	$6.40 \pm 1.92a$	۱۰۰
K	84.62 ± 33.54	۱۰۰	93.92 ± 22.41	۱۰۰	140.85 ± 27.26	۱۰۰
La	ND		ND		ND	

بافت	گناد	پوست	کلیه	بافت
میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)	میانگین $\pm$ انحراف معیار	شیوع آلودگی (%)	میانگین $\pm$ انحراف معیار
ND	ND	ND	ND	ND
Li	ND	ND	ND	ND
Mg	6/49 $\pm$ 3/71	12/61 $\pm$ 5/57	9/36 $\pm$ 2/97	100
Mn	0/11 $\pm$ 0/09	0/09 $\pm$ 0/07	0/06 $\pm$ 0/02	100
Mo	0/01 $\pm$ 0/0a	0/01 $\pm$ 0/0b	0/01 $\pm$ 0/0a	100
Na	18/21 $\pm$ 7/04b	28/04 $\pm$ 5/59b	65/87 $\pm$ 19/54a	100
Ni	0/05 $\pm$ 0/05 a,b	0/01 $\pm$ 0/07 a,b	0/02 $\pm$ 0/01a	100
P	98/35 $\pm$ 54/45	169/84 $\pm$ 110/35	126/91 $\pm$ 24/40	100
Pb	0/08 $\pm$ 0/02a	0/04 $\pm$ 0/02 b,c	0/06 $\pm$ 0/03 a,b	100
Rb	0/73 $\pm$ 0/26	0/70 $\pm$ 0/16	0/72 $\pm$ 0/12	100
S	10/137/03 $\pm$ 3498/20a	9600/97 $\pm$ 263/82a	11324/48 $\pm$ 2687/59a	100
Sb	0/01 $\pm$ 0/02b	0/04 $\pm$ 0/04a	0/01 $\pm$ 0/00ab	66/66
SC	ND	ND	ND	ND
Si	0/24 $\pm$ 0/11	0/30 $\pm$ 0/15	0/22 $\pm$ 0/12	100
Sn	0/07 $\pm$ 0/03 a,b	0/05 $\pm$ 0/03 a,b	0/08 $\pm$ 0/04a	100
Sr	0/04 $\pm$ 0/01c	0/38 $\pm$ 0/17 a	0/14 $\pm$ 0/09 b,c	100
Th	0/05 $\pm$ 0/01 a,b	0/07 $\pm$ 0/01a	0/06 $\pm$ 0/02a	100
Ti	0/01 $\pm$ 0/004 b,c	0/03 $\pm$ 0/02a	0/02 $\pm$ 0/02 a,b	100
V	ND	ND	ND	ND
W	0/01 $\pm$ 0/004a	0/01 $\pm$ 0/00 a,b	0/01 $\pm$ 0/01a	66/66
Y	ND	ND	ND	ND
Zn	1/48 $\pm$ 0/32 b,c	0/99 $\pm$ 0/49 a,b	1/55 $\pm$ 0/81a	100

جدول ۴: بررسی میزان همبستگی بین عناصر در بافت کبد ماهی سفید

Table 4: Correlation between elements in liver.

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	S	Sn	Sr	Zn
Al	1																
As	0/740	1															
Cd	0/886	0/668	1														
Cr	0/768	0/818	0/745	1													
Cu	0/776	0/890	0/746	0/840	1												
Fe	0/755	0/948	0/740	0/818	0/966	1											
Mg	0/817	0/852	0/845	0/842	0/940	0/912	1										
Mn	0/822	0/882	0/820	0/839	0/905	0/912	0/977	1									
Mo	0/842	0/929	0/795	0/937	0/935	0/930	0/924	0/931	1								
Ni	0/328	0/355	0/342	0/406	0/414	0/402	0/576	0/541	0/431	1							
P	0/802	0/828	0/851	0/837	0/933	0/904	0/995	0/978	0/916	0/553	1						
Pb	0/888	0/821	0/861	0/870	0/845	0/855	0/902	0/901	0/931	0/594	0/888	1					
Rb	0/732	0/934	0/697	0/887	0/875	0/923	0/799	0/827	0/945	0/229	0/793	0/841	1				
S	0/782	0/848	0/775	0/886	0/881	0/866	0/949	0/976	0/945	0/544	0/956	0/897	0/838	1			
Sn	0/887	0/738	0/712	0/773	0/782	0/70666	0/831	0/833	0/857	0/466	0/808	0/844	0/684	0/851	1		
Sr	0/455	0/479	0/565	0/172	0/376	0/451	0/387	0/401	0/354	0/266	0/382	0/299	0/41	0/279	0/272	1	
Zn	0/820	0/916	0/810	0/854	0/989	0/972	0/965	0/943	0/956	0/423	0/959	0/879	0/890	0/912	0/803	0/442	1

جدول ۵: بررسی میزان همبستگی بین عناصر در بافت عضله ماهی سفید

Table 5: Correlation between elements in muscle.

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	P	Pb	S	Sb	Si	Sr	Zn
Al	1														
As	-.۰۶۲۱۳	۱													
Cr	-.۰۷۳۱۵	-.۰۹۴۵۲	۱												
Cu	-.۰۷۵۰۶	-.۰۸۹۶۵	-.۰۹۲۷۶	۱											
Fe	-.۰۷۷۶۳	-.۰۸۸۷۱	-.۰۹۷۰۴	-.۰۹۳۵۶	۱										
Mg	-.۰۷۰۳۳	-.۰۹۵۱۵	-.۰۹۵۰۵	-.۰۹۲۴۰	-.۰۹۱۳۷	۱									
Mn	-.۰۱۲۶۸	-.۰۴۰۶۳	-.۰۴۸۴۰	-.۰۳۳۷۲	-.۰۴۱۷۱	-.۰۳۵۳۵	۱								
Ni	-.۰۷۳۲۵	-.۰۱۰۸۵	-.۰۲۴۸۱	-.۰۳۶۴۲	-.۰۳۳۶۵	-.۰۲۳۱۵	-.۰۱۷۶۷	۱							
P	-.۰۶۹۳۴	-.۰۹۴۹۲	-.۰۹۴۱۲	-.۰۹۰۵۱	-.۰۸۹۸۴	-.۰۹۹۳۴	-.۰۳۱۶۴	-.۰۲۰۹۰	۱						
Pb	-.۰۶۹۴۴	-.۰۶۹۵۵	-.۰۷۶۸۰	-.۰۸۷۷۵	-.۰۸۳۱۶	-.۰۷۴۱۸	-.۰۵۹۱۰	-.۰۴۶۲۰	-.۰۷۴۶۹	۱					
S	-.۰۷۵۱۹	-.۰۹۲۶۶	-.۰۹۳۳۰	-.۰۹۱۸۶	-.۰۸۸۹۹	-.۰۹۷۷۲	-.۰۲۶۶۷	-.۰۳۰۳۱	-.۰۹۶۶۷	-.۰۷۴۵۲	۱				
Sb	-.۰۴۴۰	-.۰۱۲۴۲	-.۰۰۲۴۲	-.۰۰۸۵۷	-.۰۰۹۵۱	-.۰۰۴۶۲	-.۰۰۴۳۰۳	-.۰۰۰۶۷	-.۰۰۰۱۶	-.۰۰۱۱۹	-.۰۰۳۶۵	۱			
Si	-.۰۶۳۲۴	-.۰۸۴۲۲	-.۰۸۴۶۶	-.۰۸۴۴۹	-.۰۸۱۳۲	-.۰۷۹۹۹	-.۰۳۲۱۱	-.۰۱۵۷۸	-.۰۸۲۴۰	-.۰۷۸۸۶	-.۰۷۸۷۳	-.۰۰۱۳۹	۱		
Sr	-.۰۷۲۱۹	-.۰۷۸۸۸	-.۰۸۰۳۳	-.۰۷۴۳۷	-.۰۷۴۰۹	-.۰۸۰۹۶	-.۰۲۴۰۷	-.۰۲۲۲۰	-.۰۸۳۷۷	-.۰۶۰۸۴	-.۰۸۰۸۵	-.۰۲۰۲۶	-.۰۷۸۴۳	۱	
Zn	-.۰۷۲۱۹	-.۰۹۳۴۲	-.۰۹۴۸۸	-.۰۸۸۹۷	-.۰۹۳۷۳	-.۰۹۲۵۷	-.۰۲۴۹۰	-.۰۲۹۷۳	-.۰۹۲۹۷	-.۰۸۰۰۷	-.۰۹۱۵۴	-.۰۱۴۵۷	-.۰۸۳۰۸	-.۰۷۷۸۸	۱

جدول ۶: بررسی میزان همبستگی بین عناصر در بافت پوست ماهی سفید

Table 6: Correlation between elements in skin.

	Al	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	P	Pb	Rb	S
Al	۱												
As	-.۰۱۵۸	۱											
Co	-.۰۵۰۱۴	-.۰۱۳۸۶	۱										
Cr	-.۰۴۸۰۴	-.۰۳۴۰۶	-.۰۱۸۸۹	۱									
Cu	-.۰۷۴۳۲	-.۰۰۵۶۶	-.۰۲۰۴۱	-.۰۱۵۴۳	۱								
Fe	-.۰۸۸۰۵	-.۰۰۷۸۸	-.۰۴۸۳۴	-.۰۵۸۲۵	-.۰۷۷۸۳	۱							
Mg	-.۰۶۸۱۲	-.۰۰۵۹۴	-.۰۵۲۸۲	-.۰۵۶۶۸	-.۰۱۳۶۹	-.۰۵۹۹۲	۱						
Mn	-.۰۷۹۰۰	-.۰۰۹۳۲	-.۰۱۶۵۹	-.۰۶۲۰۸	-.۰۴۳۳۵	-.۰۷۱۹۲	-.۰۷۸۸۶	۱					
Ni	-.۰۲۶۱۷	-.۰۱۰۳۴	-.۰۴۲۶۴	-.۰۸۰۵۸	-.۰۰۸۷۰	-.۰۵۵۳۴	-.۰۳۹۲۱	-.۰۳۳۹۶	۱				
P	-.۰۵۷۰۴	-.۰۱۰۹۷	-.۰۵۱۷۰	-.۰۵۷۳۰	-.۰۰۴۰۲	-.۰۵۰۵۳	-.۰۹۷۲۸	-.۰۷۴۸۹	-.۰۴۳۲۹	۱			
Pb	-.۰۰۲۱۱	-.۰۱۹۰۶	-.۰۲۶۰۱	-.۰۰۱۴۰۴	-.۰۵۳۱۰	-.۰۲۵۰۲	-.۰۳۷۴۵	-.۰۳۹۹۶	-.۰۱۸۲۲	-.۰۳۸۴۳	۱		
Rb	-.۰۳۸۲۴	-.۰۰۴۱۸۸	-.۰۲۹۹۰	-.۰۰۴۳۵۲	-.۰۰۱۴۰۴	-.۰۰۱۴۷۲	-.۰۰۲۰۶۷	-.۰۰۳۴۷۳	-.۰۱۲۷۵	-.۰۰۹۳۱	-.۰۳۶۴۵	۱	
S	-.۰۱۱۱۰	-.۰۳۰۸۷	-.۰۰۶۵۲۰	-.۰۳۵۴۳	-.۰۰۶۲۱	-.۰۰۶۲۵	-.۰۰۷۴۶	-.۰۲۶۴۷	-.۰۰۱۹۰۲	-.۰۰۱۱۹۹	-.۰۰۳۸۵۸	-.۰۰۸۷۸۸	۱
Zn	-.۰۷۵۵۲	-.۰۱۳۷۷	-.۰۳۲۴۲	-.۰۶۹۶۱	-.۰۳۱۴۴	-.۰۶۴۷۳	-.۰۵۸۵۶	-.۰۷۰۳۸	-.۰۳۹۷۵	-.۰۵۰۳۱	-.۰۰۳۵۹۶	-.۰۰۵۷۷۶	-.۰۳۶۵۴

ساله (۰/۸۴/۶۱) بود. اختلاف بین سنین از نظر میانگین تجمع مس معنی‌دار بود ($p < 0.05$). آهن در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر میزان تجمع آهن معنی‌دار بود ($p < 0.05$). پتاسیم در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود.

میانگین آن در سنین ۱ سال بیش از ۲ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع کبالت معنی‌دار بود ($p < 0.05$). کروم در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۳ و ۲ سال بیش از ۱ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع کروم معنی‌دار بود ($p < 0.05$). مس در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. درصد آن در ماهیان ۳ ساله (۰/۱۰۰٪)، ۲ ساله (۰/۹۷/۹۱)، ۱

جدول ۷: بررسی میزان همبستگی بین عناصر در بافت گناد ماهی سفید

Table 7: Correlation between elements in gonad.

	Al	As	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	P	Pb	Rb	S	Sn	Zn
Al	۱														
As	-.۳۹۹۳	۱													
Ca	-.۷۳۸۹	-.۸۱۶۲	۱												
Cr	-.۰۹۱۶	-.۴۶۸۵	-.۵۳۵۰	۱											
Cu	-.۷۳۰۰	-.۱۵۹۴	-.۱۳۲۶	-.۰۳۱۹	۱										
Fe	-.۹۵۷۳	-.۴۱۹۷	-.۷۶۷۸	-.۳۰۳۶	-.۲۹۸۳	۱									
Mg	-.۴۷۳۹	-.۹۵۵۰	-.۹۰۷۸	-.۵۲۰۰	-.۰۳۴۰	-.۵۱۲۹	۱								
Mn	-.۱۹۲۳	-.۷۸۹۰	-.۴۱۱۳	-.۳۲۲۹	-.۲۵۳۳	-.۱۶۹۷	-.۷۴۵۲	۱							
Na	-.۹۲۳۷	-.۶۲۶۹	-.۸۹۴۹	-.۴۱۳۰	-.۲۳۱۸	-.۹۵۹۷	-.۷۱۸۵	-.۰۹۰۹	۱						
P	-.۳۰۰۴	-.۹۳۰۶	-.۷۸۲۷	-.۶۱۵۳	-.۱۲۱۹	-.۳۹۵۳	-.۹۵۴۴	-.۸۱۳۴	-.۶۱۲۵	۱					
Pb	-.۵۳۰۰	-.۰۳۹۸	-.۵۳۰۹	-.۱۹۱۲	-.۰۲۰۳	-.۵۲۰۷	-.۲۳۷۸	-.۲۳۷۷	-.۴۸۲۶	-.۰۵۷۰	۱				
Rb	-.۱۶۶۸	-.۳۲۵۲	-.۰۰۶۷	-.۵۲۹۲	-.۱۸۱۹	-.۰۲۶۸	-.۱۶۹۲	-.۲۷۶۱	-.۰۷۰۹	-.۱۳۱۳	-.۵۸۱۱	۱			
S	-.۳۳۴۶	-.۲۳۲۷	-.۲۴۱۲	-.۷۱۲۷	-.۲۶۲۴	-.۲۱۳۱	-.۳۱۱۸	-.۴۱۴۴	-.۰۸۰۲	-.۳۴۸۱	-.۰۷۸۲	-.۴۸۸۹	۱		
Sn	-.۰۷۳۱	-.۴۲۲۲	-.۴۷۳۲	-.۳۹۵۶	-.۱۵۵۷	-.۰۲۶۳	-.۵۲۳۶	-.۵۳۱۶	-.۱۱۰۸	-.۴۶۷۱	-.۵۸۰۱	-.۴۶۱۴	-.۵۱۵۳	۱	
Zn	-.۴۳۸۴	-.۵۰۶۹	-.۱۴۷۷	-.۶۵۹۹	-.۰۲۰۶۴	-.۲۶۳۸	-.۴۵۱۱	-.۷۴۷۹	-.۰۸۰۲	-.۶۴۵۷	-.۴۵۳۹	-.۰۳۴۱	-.۶۶۳۱	-.۲۸۳۷	۱

جدول ۸: بررسی میزان همبستگی بین عناصر در بافت کلیه ماهی سفید

Table 8: Correlation between elements in kidney.

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	Rb	S	Sn
Al	۱															
As	-.۰۹۹۵	۱														
Cd	-.۵۱۹۵	-.۶۸۶۹	۱													
Co	-.۳۷۸۰	-.۰۴۶۳	-.۱۲۵۷	۱												
Cr	-.۷۸۱۶	۱/۷۳۲E	-.۵۹۴۰	-.۱۲۷۰	۱											
Cu	-.۸۹۴۷	-.۲۴۵۷	-.۸۰۷۵	-.۱۵۰۸	-.۸۷۰۹	۱										
Fe	-.۰۷۶۸	-.۵۵۱۴	-.۴۶۰۱	-.۲۲۰۲	-.۴۵۱۷	-.۲۷۵۸	۱									
Mg	-.۸۴۰۹	-.۱۴۴۶	-.۷۵۶۰	-.۱۲۳۴	-.۷۵۹۴	-.۹۲۸۸	-.۱۵۳۷	۱								
Mn	-.۹۰۹۹	-.۲۴۳۷	-.۷۶۱۵	-.۲۶۶۳	-.۷۹۴۵	-.۹۵۸۷	-.۱۲۵۱	-.۸۸۵۶	۱							
Na	-.۳۸۰۰	-.۶۵۳۱	-.۷۹۸۴	-.۱۰۰۲	-.۵۷۳۰	-.۷۱۵۷	-.۷۰۶۴	-.۶۶۸۳	-.۵۸۳۷	۱						
Ni	-.۴۱۲۳	-.۱۳۰۹	-.۰۲۳۶	-.۶۳۷۵	-.۴۷۸۰	-.۲۷۴۴	-.۰۸۷۸	-.۰۴۵۷	-.۴۱۷۸	-.۱۰۸۶	۱					
P	-.۰۶۴۸	-.۶۸۹۲	-.۸۰۲۹	-.۳۹۳۳	-.۴۱۹۷	-.۴۹۲۸	-.۷۴۹۷	-.۴۹۷۹	-.۳۴۵۱	-.۸۵۶۰	-.۳۱۶۱	۱				
Pb	-.۰۵۸۱	-.۴۷۲۰	-.۵۸۳۶	-.۷۷۴۹	-.۲۵۸۵	-.۲۶۶۱	-.۶۸۳۵	-.۳۶۸۶	-.۰۷۵۵	-.۶۳۶۶	-.۵۰۶۷	-.۸۳۵۱	۱			
Rb	-.۰۵۵۶	-.۴۴۶۸	-.۴۸۱۹	-.۲۴۶۵	-.۳۹۳۸	-.۲۶۸۴	-.۶۶۱۹	-.۲۸۳۹	-.۲۷۶۲	-.۴۸۸۵	-.۱۹۸۳	-.۶۷۳۱	-.۴۵۵۳	۱		
S	-.۱۰۸۱	-.۱۸۱۱	-.۰۲۵۷	-.۱۳۱۵	-.۶۳۷۸	-.۲۰۵۹	-.۵۷۱۳	-.۰۵۲۰	-.۱۴۹۱	-.۱۲۸۱	-.۶۰۱۱	-.۱۸۹۹	-.۰۸۰۹	-.۵۵۵۵	۱	
Sn	-.۴۹۳۸	-.۰۷۶۸	-.۲۰۰۷	-.۲۹۶۳	-.۷۴۵۸	-.۵۰۴۲	-.۴۰۶۵	-.۳۸۸۶	-.۵۵۷۹	-.۲۷۶۳	-.۸۱۸۳	-.۰۹۲۳	-.۰۹۶۹	-.۵۶۴۴	-.۷۷۵۰	۱
Zn	-.۳۲۴۴	-.۲۵۸۴	-.۳۷۰۵	-.۸۹۳۴	-.۰۴۸۴	-.۰۳۶۹	-.۴۷۲۲	-.۱۲۴۵	-.۲۰۷۳	-.۲۶۵۱	-.۷۰۲۹	-.۶۹۴۳	-.۹۲۹۲	-.۲۵۲۷	-.۰۷۵۱	-.۳۵۸۱

($p < 0.05$)، منگنز در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. درصد آن در ماهیان ۳ ساله (۱۰۰٪)، ۲ ساله (۸۹/۵۸٪)، ۱ ساله (۵۳/۸۴٪) بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع منگنز معنی بود ($p < 0.05$)، سدیم در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت

اختلاف بین سنین از نظر تجمع پتاسیم معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، لیتیوم فقط در نمونه‌های ۲ ساله مشاهده شد. منیزیوم در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع منیزیوم معنی‌دار بود

لیتیوم، منیزیوم، منگنز، مولیبدن، نیکل، فسفر، سرب، روبیدیوم، گوگرد، آنتیموان، سیلیکون، قلع، استرونیسم، تنگستن و روی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$) ولی در بقیه عناصر اندازه‌گیری شده دارای ارتباط معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0.05$). بیشترین غلظت فلزات کلسیم، منگنز در بافت عضله، فلزات آلومینیم، باریم، کادمیم، کبالت، آهن، پتاسیم، سدیم، گوگرد، قلع، تنگستن و روی در بافت کلیه، فلزات آرسنیک، نیکل، سرب و روبیدیوم در بافت گناد، فلزات کروم، لیتیوم، منیزیوم، فسفر، آنتیموان، سیلیکون، استرونیسم، توریوم و تیتانیوم در بافت پوست، فلزات مس و اورانیوم در بافت کبد بود. کمترین غلظت فلزات باریم، مس، آهن، سرب، روبیدیوم، آنتیموان و روی در بافت عضله، فلزات آلومینیم، آرسنیک، پتاسیم، منیزیوم، منگنز، نیکل، فسفر، گوگرد، سیلیکون، قلع، توریوم و تیتانیوم در بافت کبد، فلزات کلسیم، کادمیم، سدیم و استرونیسم در بافت گناد و فلز تنگستن در پوست بدست آمد.

بحث

در مطالعه حاضر، بررسی ارتباط غلظت فلزات در بافت‌ها با اندازه ماهیان نشان داد که با افزایش طول و سن ماهی بر تجمع فلزات روی و کادمیوم افزوده می‌شود که با نتایج Al-Yousuf و همکاران (۲۰۰۰) که بر ماهی *Lethrinus lentjan* انجام شد، مطابقت دارد. Farkas و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای بر ماهی سیم (*Abramis brama*) گزارش کردند که بین مقدار کادمیوم و طول ماهی رابطه مثبت وجود دارد و همچنین این رابطه در مورد فلز روی منفی بود. نتایج آنها در مورد فلز کادمیم با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت و در مورد فلز روی همخوانی ندارد. این ارتباط احتمالاً می‌تواند به دلیل تغییر در رژیم غذایی ماهیان با افزایش سن و روش تغذیه benthopelagic نیز باشد. طی بررسی بهروز (۱۳۹۷) رژیم غذایی ماهی سفید شامل دوکفه‌ای‌ها، خرچنگ‌ها، تخم ماهی و رشته‌ای جلبکی بود و از آنجایی که برخی از گروه‌های گیاهی و جانوری مانند نرم‌تنان و سخت‌پوستان قابلیت بالایی برای تجمع فلزات و سایر آلاینده‌ها دارند، لذا می‌تواند به عنوان مواد غذایی حامل سبب انتقال فلزات سنگین به بدن ماهیان شوند (دوستدار، ۱۳۹۷).

Henry و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که بین غلظت فلزات مس و سرب در بافت کبد و اندازه ماهی ارتباطی وجود ندارد که با مطالعه حاضر همخوانی ندارد. آنها دلیل این مسئله را ناشی از عوامل مختلفی همچون تفاوت در متابولیسم فلزات در گونه‌های

شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر میزان تجمع سدیم معنی‌دار بود ($p < 0.05$). نیکل در نمونه‌های ۳ ساله مشاهده نشد. در (۶۶/۶۶٪) نمونه‌های ۲ ساله و (۳۸/۴۶٪) نمونه‌های یکساله مشاهده شد. میانگین آن در سنین ۲ سال بیش از ۱ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع نیکل معنی‌دار بود ($p < 0.05$). فسفر در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع فسفر معنی‌دار بود ($p < 0.05$). گوگرد در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع گوگرد معنی‌دار بود ($p < 0.05$). آنتیموان در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. درصد آن در ماهیان ۱ ساله (۸۴/۶۱٪)، ۲ ساله (۷۵٪)، ۳ ساله (۶۶/۶۶٪) بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع آنتیموان معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). سیلیکون در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن بترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع سیلیکون معنی‌دار بود ($p < 0.05$). قلع در نمونه‌های ۳ ساله مشاهده نشد. در ۸۱/۲۵٪ نمونه‌های دوساله و ۵۳/۸۴٪ نمونه‌های یکساله مشاهده شد. میانگین آن در سنین ۲ سال بیش از ۱ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع سرب معنی‌دار بود ($p < 0.05$). استرونیسم در تمام سنین و تمام (۱۰۰٪) نمونه‌ها یافت شد، اما میانگین آن به ترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع استرونیسم معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). توریوم در نمونه‌های ۳ ساله مشاهده نشد. در ۷۹/۱۶٪ نمونه‌های دوساله و ۳۸/۴۶٪ نمونه‌های یکساله مشاهده شد. میانگین آن در سنین ۱ سال بیش از ۲ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع توریوم معنی‌دار بود ($p < 0.05$). تیتانیوم در نمونه‌های ۳ ساله مشاهده نشد. در ۷۹/۱۶٪ نمونه‌های دوساله و ۳۸/۴۶٪ نمونه‌های یکساله مشاهده شد. میانگین آن در سنین ۲ سال بیش از ۱ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع تیتانیوم معنی‌دار بود ($p < 0.05$). روی در تمام سنین یافت شد، اما میانگین آن به ترتیب در سنین ۲ و ۱ سال بیش از ۳ ساله‌ها بود. اختلاف بین سنین از نظر تجمع روی معنی‌دار بود ($p < 0.05$). غلظت همه عناصر با طول ماهی رابطه معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). ارتباط ضریب چاقی با غلظت عناصر آرسنیک، کلسیم، کروم، پتاسیم،

مختلف ماهیان و بافت مورد بررسی، رقابت، اثرات متقابل بین سن و رشد اندامها و همچنین میزان در دسترس بودن فلزات در محیط دانستند. اما بر اساس نظر Gašpić و همکاران (۲۰۰۲) به طور کلی، در گونه‌هایی از ماهیان که دارای اندازه‌های کوچک یا متوسط هستند، افزایش اندازه ماهی غالباً تأثیری در غلظت فلزات در بافت‌ها ندارد. نتایج مطالعه Anan و همکاران (۲۰۰۵) بر ماهیان استخوانی دریای خزر نشان داد که با افزایش اندازه در ماهیان از مقدار تجمع فلزات کاسته می‌شود. اما در تحقیق حاضر رابطه‌ای میزان تجمع فلزات و طول ماهی وجود نداشت. نتایج مطالعات Canli و همکاران (۲۰۰۳) نیز در دریای مدیترانه بر ۶ گونه ماهی نشان داد که بین طول و وزن ماهیان با تجمع فلزات (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb) رابطه معکوس وجود دارد. Nussey و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان دادند که با افزایش طول ماهی *Labeo umbratus* تجمع فلزات (Cr, Mn, Ni, Pb) کاهش می‌یابد. Anan و همکاران (۲۰۰۵) این رابطه را تحت تأثیر پدیده رقیق‌شدگی فلزات یا نرخ متابولیسم بدن در اثر رشد ماهی می‌دانند. Widianarko و همکاران (۲۰۰۰) نیز معتقدند که ماهیان جوان فعالیت متابولیسمی بالاتری نسبت به ماهیان مسن‌تر دارند بطوریکه اگر میزان غلظت فلزات در آب افزایش یابد، نه تنها کاهش فعالیت متابولیک بدن و کاهش غلظت فلزات در بافت‌های مختلف بواسطه رشد ماهی مشاهده نمی‌شود، بلکه این تجمع در بافت‌های مختلف ادامه می‌یابد و بین غلظت فلزات در بافت با اندازه ماهی رابطه معنی‌داری برقرار می‌شود (Canli et al., 2003). در صورتی که اگر نرخ رشد ارگانسیم سریع‌تر از میزان تجمع فلزات باشد، حتی اگر آلودگی با افزایش وزن و سن در محیط افزایش یابد، مقدار فلزات در بدن ماهی کاهش می‌یابد (Gašpić et al., 2002). در بررسی حاضر، همبستگی منفی بین فلزات کادمیم، نیکل، تیتانیوم، تنگستن، توریم و اورانیوم با شاخص کبدی (HSI) ماهیان وجود داشت و در سایر فلزات همبستگی مثبت بود بطوریکه با افزایش شاخص کبدی غلظت فلزات افزایش یافت. ارتباط منفی معنی‌دار بین شاخص کبدی و تجمع کادمیم در بافت کبد می‌تواند احتمالاً ناشی از سم‌زدایی فلز کادمیم در کبد از طریق ایجاد پیوند Metallothionein با کادمیم و تشکیل کمپلکس CdMt باشد (Yujing et al., 2005). Fernandes و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که افزایش برخی فلزات از جمله کروم (Cr) سبب کاهش شاخص کبدی می‌شود، زیرا اثرات سمی این نوع فلز منجر به کاهش اندازه کبد به دلیل از دست دادن ذخایر چربی و یا گلیکوژن

می‌شود. علاوه بر این، نوع فلزات، زمان قرارگیری ماهی در معرض آلاینده‌های مختلف و مقدار آلودگی می‌تواند پاسخ‌های متفاوتی را به اثرات سمی فلزات در گونه‌های مختلف ماهیان در پی داشته باشد. اگرچه در مطالعه حاضر، همبستگی منفی بین کادمیم با شاخص کبدی وجود داشت، اما van Dyk و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که یکی از اثرات آلودگی‌های فلزی بویژه کادمیم در کبد، تغییر در وضعیت سلول‌های کبدی، از جمله افزایش حجم این سلول‌هاست که می‌تواند به علت اختلال در فعالیت آنزیم ATPase و تغییر در تنظیمات یونی سلول‌ها در اثر قرار گرفتن در معرض کادمیم باشد. در چنین شرایطی با افزایش غلظت کادمیم، وزن کبد نیز افزایش می‌یابد. عوامل متعددی بخصوص فصول مختلف، موقعیت جغرافیایی، آب و هوا، تغذیه و توسعه گنادها ممکن است ضریب چاقی یک ماهی را تحت تأثیر قرار دهند (Froese, 2006). در بررسی حاضر بین غلظت فلز کادمیم در بافت‌ها و ضریب چاقی رابطه مثبت مشاهده شد که بر خلاف نتایج Farkas و همکاران (۲۰۰۳) بود. آنها بین ضریب چاقی و تجمع فلزات در بافت‌های ماهی سیم رابطه منفی مشاهده کردند و دلیل این امر را وجود محتویات چربی بافت‌ها و اثرات حاصل از آن بر رقیق کردن مقدار فلزات بیان کردند. در مطالعه حاضر، بیشترین میزان همبستگی بین عناصر در بافت کبد و سپس در بافت عضله مشاهده شد و عناصر مختلف در سایر بافت‌ها همبستگی کم یا فاقد همبستگی بودند. Raeisi و همکاران (۲۰۱۴) غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم، روی و مس را در ماهی سفید در اندام‌های مختلف شامل آبشش، عضله، کلیه و کبد در خلیج گرگان مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه آنها بیشترین مقدار فلز مس مربوط به بافت کبد و پس از آن عضله بود و بالاترین غلظت سرب در کبد و کلیه و بیشترین غلظت کادمیم در کبد و کلیه و بالاترین غلظت روی در ماهیچه و کبد بود. در حالیکه در مطالعه حاضر بیشترین مقدار فلز کادمیم در کلیه، مس در کبد، سرب در گناد، روی در کلیه بدست آمد که با مقادیر گزارش‌شده مشابه نمی‌باشد که اختلاف احتمالاً در اثر تفاوت بودن مکان نمونه‌برداری و همچنین میزان آلودگی متفاوت آن مناطق است. الصاق (۱۳۸۹) میانگین غلظت فلزات سنگین روی، کادمیم، آهن و مس در بافت خوراکی ماهی سفید بررسی کردند و غلظت فلزات سنگین در عضله ماهی سفید بدین ترتیب بدست آمد (آهن < روی < مس < کادمیم) در صورتی که در مطالعه حاضر میزان غلظت فلزات مس آهن، کادمیم و روی در بافت عضله بترتیب 0.1 ± 0.05 ، 0.11 ± 0.06 ، 2.05 ± 0.1 ،

کفال طلایی (*Liza aurata*) در منطقه آستارا و انزلی گزارش کردند که نتایج آن با مطالعه حاضر متفاوت بوده است (جدول ۹).

۰/۱±۰/۱، ۱/۵±۱/۵ بدست آمد که با بررسی الصاق (۱۳۸۹) همخوانی ندارد. نوروزی و همکاران (۱۳۹۵) غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم، کروم، آرسنیک را در بافت‌های ماهی

جدول ۹: مقایسه برخی از عناصر در ماهیچه ماهی سفید در مطالعه حاضر با سایر مطالعات

Table 9: Comparison of some elements in muscle in the present study with other studies

منابع	As	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Zn	عناصر	گونه ماهی
	میانگین								
Anan 2005		۱/۰۱		۰/۴۵			۱۷/۲	R. kutum	
Foroughi Fard et al 2008		۲/۷					۲۲/۳	R. kutum	
Monsefrad et al 2012							۱۵/۴	R. kutum	
Fallah et al 2011					۰/۵۲			R. kutum	
Eslami et al 2011		۱/۶۸		۰/۷۸	۲/۵۶	۵/۶	۰/۶۳	R. kutum	
Varedi 2011		۰/۰۱۳				۰/۰۸	۰/۴	R. kutum	
Mirzajani et al 2016			۰/۲۲	۲/۶	۰/۸۱	۱۴۰/۱	۲۶/۸	R. kutum	
Present study	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۳	R. kutum	

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت ماهیان بخصوص ماهی سفید در سبد غذایی خانواده‌ها بررسی میزان عناصر بخصوص عناصر با عنوان فلزات سنگین یا عناصر سمی در بافت‌های مختلف این ماهیان بسیار مهم است. با توجه به مناطق نمونه‌برداری، میزان آلودگی هر منطقه، روش آنالیز متفاوت نمونه‌ها در آزمایشگاه و رژیم غذایی متنوع این ماهیان ممکن است در نتایج بدست‌آمده در تحقیقات مختلف اختلاف‌هایی وجود داشته باشد. از سویی، اثر آنتاگونیستی عناصر ممکن است در حضور و فقدان این عناصر در بافت‌های مختلف نقش داشته باشد. در واقع، این تحقیق گزارش جدیدی از میزان این عناصر در بافت‌های مختلف این ماهی است که می‌تواند در زمینه بهداشتی برای مصرف انسانی و نیز بررسی میزان آلودگی مناطق نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی با حمایت پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر-دانشگاه گیلان با شماره طرح ۲۱۱۹۵۱۷۰ می‌باشد.

منابع

- الصاق، ا. ۱۳۸۹. سنجش میزان تجمع فلزات سنگین در ماهیان سفید (*Rutilus frisii kutum*) و کپور (*Cyprinus carpio*) دریای خزر. مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۵ (۲): ۹۱-۱۰۰
- بهروز م، نوروزی م. ۱۳۹۷. بررسی برخی عناصر فلزی (Al, V, Ni, Zn, Tl, Sn) در بافت‌های مختلف ماهی کفال طلایی (*Liza aurata*) و ارتباط آن با جنسیت و شاخص وزن و طولی. مجله علمی شیلات ایران. ۲۷ (۴): ۳۷-۴۶. URL: <http://isfj.ir/article-1-1725-fa-html>
- دوستدار، م، رامین، م، نصرالله زاده، ح، افرایی، م، رحمتی، ر. ۱۳۹۷. بررسی و تعیین میزان برخی عناصر فلزی در ماهیان رودخانه ارس در محدوده استان آذربایجان شرقی (۹۵-۱۳۹۴). مجله علمی شیلات ایران. ۲۷ (۳): ۴۱-۴۹. URL: <http://isfj.ir/article-1-1877-fa-html>
- رضوی صیاد، ب. ۱۳۶۸. روش‌های تعیین سن و ارزیابی اقتصادی. مرکز تحقیقات شیلات بندر انزلی. ۵۸ صفحه.
- موسوی، ر. ۱۳۸۰. زمین‌شناسی دریای خزر؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- Al-Yousuf , M.H., El-Shahawi, M.S. and Al-Ghais, S.M., 2000.** Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *Science of the total environment*, 256(2-3): 87-94. DOI:10.1016/S0048-9697(99)00363-0
- Anan, Y., Kunito, T., Tanabe, S., Mitrofanov, I.G. and Aubrey, D., 2005.** Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 51(8-12): 882-888. DOI:10.1016/j.marpolbul.2005.06.038
- Canli, M. and Atli, G., 2003.** The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121,129-105,276-284. DOI:10.1016/S0269-7491(02)00194-X
- De Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Wyse, E., Azemard, S. and Cassi, R., 2004.** An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 61-77. DOI:10.1016/S0025-326X(03)00285-6
- Dias, J.F., Fernandez, W.S., Boufleur, L.A., dos Santos, C.E.I., Amaral, L., Yoneama, M.L. and Dias J.F., 2009.** Biomonitoring study of seasonal anthropogenic influence at the Itamambuca beach (SP, Brazil), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 267: 1960-1964. DOI:10.1016/j.nimb.2009.03.100
- Eslami, S., Moghaddam, A.H., Jafari, N., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M. and Ebrahimzadeh, M.A., 2011.** Trace element level in different tissues of *Rutilus frisii kutum* collected from Tajan River, Iran. *Biological Trace Element Research*, 143, 965-973. DOI:10.1007/s12011-010-8885-9
- Fallah, A.A., Zeynali, F., SaeiDehkordi, S.S., Rahnama, M. and Jafari, T., 2011.** Seasonal bioaccumulation of toxic trace elements in economically important fish species from the Caspian Sea using GFAAS. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 6, 367-374. DOI:10.1007/s00003-011-0666-7
- Farkas, A., Salánki, J. and Specziár, A., 2003.** Age- and size-specific patterns of heavy metal in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated site. *Water research*, 37, 959- 964. DOI:10.1016/S0043-1354(02)00447-5
- Fernandes, D., Bebianno, M.J. and Porte, C., 2008.** Hepatic levels of metal and metallothioneins in two commercial fish species of the Northern Iberian shelf. *Science of the total environment*, 391, 159-167. DOI:10.1016/j.scitotenv.2007.10.057
- Foroughi Fard, R., Esmaeli Sari, A. and Ghasempouri, S.M., 2008.** The correlation of length and weight of Kutum (*Rutilus frisii kutum*) in the central south of Caspian Sea with copper and zinc concentration in muscle and liver tissues. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16 (4), 121-128.
- Froese, R., 2006.** Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, metaanalysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 241-251. DOI:10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x.
- Gašpić, Z.K., Zvonarić, T., Vrgoč, N., Odžak, N. and Barić, A., 2002.** Cadmium and lead in

- selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic Sea. *Water Research*, 36, 5023-5028. DOI:10.1016/S0043-1354(02)00111-2.
- Henry, F., Amara, R., Courcot, L., Lacouture, D., and Bertho, M.L. 2004.** Heavy metals in four fish species from the French coast of the Eastern English Channel and Southern Bight of the North Sea. *Environment International*, 30(5), 675-683. DOI:10.1016/j.envint.2003.12.007
- Hung, S.S.O. and Deng, D.F., 2002.** Sturgeon, *Acipenser* spp. In: Webster, C.D. Lim, C (Eds), Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. *CABI Publishing, Wallingford, UK*: 344-357.
- Mirzajani, A.R., Hamidian, A.H., Karami, M., 2016.** Metal bioaccumulation in representative organisms from different trophic levels of the Caspian Sea, *Iranian Fisheries Research Organization*, 15(3): 1027- 1043.
- Monsef Rad, S.F., Imanpour Namin, J., Heidary, S., Mohammadi, M. and Hosseini, S.M., 2012.** Interaction of essential and nonessential metals in tissues of *Rutilus frisii kutum* from southwestern basins of the Caspian Sea *Journal of Fisheries, Iranian Journal of Natural Resources*, Vol. 65, No. 1, pp.79-87.
- Nussey, G., Van Vuren, J.H.J. and du Preez, H.H., 2000.** Bioaccumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissues of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank dam, Mpumalanga. *Water Sea*, 26, 269-284.
- Raeisi, S., Sharifi Rad, J., Sharifi Rad, M. and Zakariaei, H., 2014.** Analysis of heavy metals content in water, sediments and fish from the Gorgan bay, southeastern Caspian sea, Iran. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(6): 2162-2172.
- Van Dyk, J.C., Pieterse, G.M. and van Vuren, J.H.J., 2007.** Review: Histological changes in the liver of *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae) after exposure to cadmium and zinc. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 432-440. DOI:10.1016/j.ecoenv.2005.10.012
- Varedi, S.E., 2011.** Survey on environmental pollutants (heavy metals, hydrocarbons, surfactant and chlorinated pesticides) in southern part of the Caspian Sea. *Iranian Fisheries research organization, Caspian Sea Ecology Research Center, Sari*, 200P.
- Wahli, T., 2002.** Approaches to investigate environmental impacts on fish health *Bull. Europ. Association of Fish Pathology*, 22:126-132.
- Widianarko, B., Van Gestel, C.A.M., Verweij, R.A. and Van Straalen, N.M., 2000.** Associations between trace metals in sediment, water, and guppy, *Poecilia reticulata* (Peters), from urban streams of Semarang, Indonesia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 46, 101-107. DOI:10.1006/eesa.1999.1879
- Yujing, C., Guan, Y., Zhai, R. and Huang, Y., 2005.** Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China. *Environment International*, 31:784-790. DOI:10.1016/j.envint.2005.05.025
- Zhou, F., Gou, H. and Hao, Z., 2007.** Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: A GIS-based chemo metric approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 1372-1384. DOI:10.1016/j.marpolbul.2007.05.017

Investigation of metal element concentrations in tissue of *Rutilus frisii* in the Southwest Caspian Sea

Sattari M.^{1, 2*}; Imanpour Namin J.¹; Bibak M.¹; Forouhar Vajargajh M.¹; Kosravi A.¹

*msattari@guilan.ac.ir

- 1- Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.
- 2- Department of Marine Sciences, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

Abstract

Caspian kutum, *Rutilus frisii* Kamensky 1901, is a commercially important fish species in the southern part of the Caspian Sea. All of the metal entered in the Caspian Sea. The pollution of this metal cause To create environmental problem. To address the issue, some 51 *R. frisii* specimens were caught at five different fishing regions (including Astara, Anzali, Kiashahr,) of the southern shoreline of the Caspian Sea from September 2017 through January 2018. An inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) was used to measure heavy metals concentrations in fish tissues. The highest concentrations of calcium, manganese in muscle tissue, aluminum, barium, cadmium, cobalt, iron, potassium, sodium, sulfur, tin, tungsten and zinc in kidney tissues, arsenic, nickel, lead and rubidium in gonads, chromium, lithium, Magnesium, phosphorus, antimony, silicon, strontium, thorium and titanium in skin tissue, copper and uranium in liver tissue. The lowest correlation between Ni and Sr with the other elements reported in liver tissue and the lowest correlation between Sb, Ni and Mn with another elements reported in liver tissue.

Keywords: *Rutilus frisii*, Growth factors, Heavy metals, ICP-OES

*Corresponding author