



کاربرد خار باله سینه‌ای اوزون بردن به عنوان شاخص ارزیابی زیستگاهی دریای کaspین

شیما بخشعلی‌زاده^{۱*}، بوتاگوز نسیبولینا^۲، تاتیانا کروچکینا^۳، عطاالله علی^۴

^۱ عضو هیات علمی، گروه علوم دریایی، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

^۲ استادیار، گروه علوم دریایی، دانشکده زمین‌شناسی و چگرایی، مؤسسه طبیعی نوآورانه، دانشگاه دولتی آستاراخان، آستاراخان، روسیه

^۳ استادیار، گروه علوم دریایی، دانشکده ایکتیولوژی، دانشگاه دولتی داغستان، ماخاچکالا، روسیه

^۴ پژوهشگر آزاد، استاد سابق دانشگاه حضرموت، یمن

چکیده

اگرچه استفاده از موجودات شاخص و بافت‌های مختلف آن‌ها به طور متدالو براي ارزیابی آلودگی‌های محیطی به کار می‌رود، اما هنوز نیاز به شناسایی شاخصی غیرکشنده، قابل اعتماد و حساس در محیط‌های آبی به چشم می‌خورد. در این پژوهش از شاخص‌های چند متغیره بر اساس شرایط انباشتی زیستگاهی استفاده شد. بدین-منظور، نسبت عناصر خار باله سینه‌ای امازون بردن به عنوان شاخصی غیرکشنده براي ارزیابی زیستگاه شمال و جنوب دریای کaspین مورد مقایسه قرار گرفتند. بدین منظور برای مقایسه نمونه‌های شمال و جنوب دریای کaspین از تحلیل‌های چند متغیره و در موارد مورد نیاز از آنالیزهای غیر نرم استفاده گردید. نسبت-Nb: Ca Ni: Ca Se: Ca Sn: Ca Ta: Ca Tl: Ca W: Ca های سطوح بالاتری در نمونه‌های جنوبی نسبت به شمالی داشتند که احتمالاً منعکس‌کننده تفاوت میزان در دسترس بودن جذب فلزات نسبت به کلسیم بود. با وجود تفاوت‌های ثبت شده در نسبت عناصر خار باله سینه‌ای امازون بردن بین شمال و جنوب دریای کaspین، همه نتایج چند متغیره نیز این تمایز و تفکیک زیستگاهی را منعکس کرد. این نتایج نشان داد که می‌توان از خار باله سینه‌ای به عنوان یک شاخص خوب غیرکشنده به دلیل ظرفیت انباشت آلاینده‌ها و نیز به عنوان شاخص زیستی تایید شد و لذا می‌توان از آن جهت ارزیابی‌های محیطی استفاده کرد، اگرچه اهمیت نظارت مستمر و اقدامات حفاظتی در کنار ارزیابی‌های مستمر پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:

آثار انسانی، فلز سنگین، ساختارهای کلسیمی، آلودگی، ارزیابی زیستی

نوع مقاله:

پژوهشی اصیل

<https://doi.org/10.22034/jair.11.1.39>

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۰۲/۰۲/۱۰

پذیرش: ۰۲/۰۵/۰۹

نویسنده مسئول مکاتبه:

شیما بخشعلی‌زاده، عضو هیات علمی، گروه علوم دریایی، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

ایمیل: sh.bakhshalizadeh@guilan.ac.ir

۱ مقدمه

برای دستیابی یا حفظ حداقل‌های خوب از منظر آلودگی و نیز بطور غیرمستقیم به لحاظ تنوع زیستی معرفی می‌کند و موید یکی از مهمترین مباحث در مدیریت آبزیان می‌باشد (Carvalho, *et al.* 2019; Gann, *et al.* 2019). در این خصوص استفاده از شاخص‌های زیستی برای رصد و ارزیابی وضعیت اکولوژیکی محیط‌های آبی امری متداول بوده (Zaghoul, *et al.* 2020; Eriksen, *et al.* 2020). و عموماً از موجودات آبزی یه عنوان شاخصی برای ارزیابی کیفیت زیستگاه بهره برده می‌شود که جمع آوری و شناسایی آنها به افراد متخصص نیاز داشته و در عین حال کاری بسیار سخت، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. از طرفی، عدم نظارت بر عناصر کمیاب زمین در کنار عدم درک مکانیزم‌های سمیت آن‌ها از یک سو و توسعه فناوری، پژوهشی و تکنولوژی از سویی دیگر حجم ورودی آلاینده‌ها را به محیط‌های آبی افزوده، و این آثار بر روی موجودات شناخته شده نیست (Malhotra, *et al.* 2020). دریای کaspین به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه دنیا با ویژگی‌های ژئوفیزیکی بسیار متفاوت به لحاظ زیستگاهی مطرح

آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از عناصر سنگین و کمیاب به مشکلی جهانی مبدل شده و تبعات آن سطوح مختلف زنجیره‌های غذایی را درگیر می‌کند (Sonone *et al.* 2020). این موضوع با افزایش فعالیت‌های انسانی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی و عدم تصفیه فاضلاب‌های ناشی از آن‌ها منجر به ورود حجم بالایی از فلزات به محیط‌های آبی شده است که با توجه به حجم بالای این ورودی‌ها در کشورهای در حال توسعه به مشکلی جدی تبدیل شده است (Akhtar *et al.* 2021). افزایش روند صنعتی بدون شکل‌گیری زیرساخت‌های لازم در کنار روند رو به فزوی شهرنشینی در این جوامع به این مشکلات دامن زده و تجزیه‌ناپذیری عناصری غیرضروری و سُمّی منجر به بروز مشکلات عدیده‌ای برای موجوداتی که به‌ویژه در رأس زنجیره غذایی هستند، می‌گردد (Akhtar *et al.* 2021; Feng *et al.* 2020). این موضوع منجر به توسعه استراتژی‌های ملی و یا فراملیتی با هدف حفظ و یا بازیابی کیفیت اکولوژیکی می‌شود که بنیان سیاست‌های پیش رو برای نظارت، حفاظت و ارتقای وضعیت سیستم‌های آبی را

Bath *et al.* 2000; Baby *et al.* 2010 (Campana 2000; Jaishankar *et al.* 2014; Avigilano *et al.*, 2020; Bakhshalizadeh *et al.*, 2021; Bakhshalizadeh *et al.*, 2022; Campana 1999; Clarke *et al.*, 2009; Gillanders *et al.*, 2001; Smith and Whitledge, 2010; Thorrold *et al.*, 2001; Veinott and Evans, 1999).

از آن جا که دریای کaspیین با داشتن ۵ گونه از ماهیان خاویاری یکی از مهمترین محل‌های پراکنش ذخایر این گونه‌های با ارزش به شمار می‌آید (Pourkazemi, 2006) و با توجه به اینکه اوزون‌برون (*Acipenser stellatus persicus*) پس از تاس‌ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) %۵۶ تولید ایران را به خود اختصاص داده‌اند و به لحاظ صید در آبهای شمالی نیز نسبت به سایر گونه‌ها در دسترس‌تر بوده و عمده‌تاً در آبهای ساحلی و قسمت‌های سفلای رودهای شمالی و جنوبی کaspیین پراکنش داشته است (Moghim, 2003; Bakhshalizadeh *et al.*, 2012). برای این پژوهش انتخاب گردید تا با استفاده از خار بار سینه‌ای آن امکان ارزیابی زیستگاهی فلزات محیطی شمال و جنوب کaspیین بررسی شود و امکان‌سنجی تفکیک مکانی این دو زیستگاه به عنوان یک روش جایگزین غیر کشنده مورد بررسی قرار گیرد.

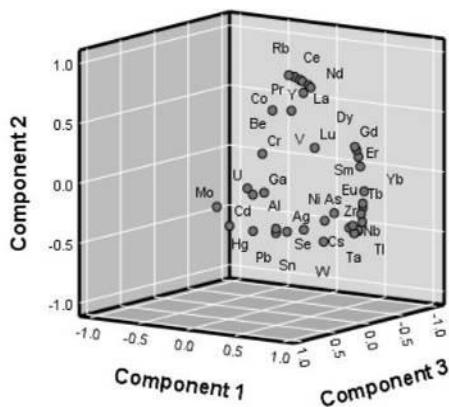
۲ | مواد و روش‌ها

مجموعاً از ۲۰ نمونه ماهی اوزون‌برون شمال و ۲۰ نمونه ماهی اوزون‌برون جنوب کaspیین به ترتیب با میانگین وزن‌های $۰/۴۰ \pm ۰/۰۶$ و $۰/۵۷ \pm ۰/۰۳$ که برای برنامه بازسازی ذخایر شمال و جنوب دریای کaspیین صید شده بودند نمونه‌برداری شد (شکل ۱). میانگین وزن نمونه‌های شمال و جنوب فاقد اختلاف معنی‌داری بودند. پس از زیست‌سنگی ماهیان، بخش بالایی خار باره سینه‌ای که عموماً جهت تعیین سن ماهیان خاویاری به کار برد می‌شد، با اره مویینه جدا گردید تا آسیبی به ماهی وارد نگردد. نمونه‌های جمع‌آوری شده با آب دوبار تقطیر گرم و سپس با اسید نیتریک خالص شستشو و نهایتاً در اسید نیتریک خالص ۱۰ درصد برای هضم قرار داده شد تا برای آنالیز دستگاهی آماده شود (Prohaska *et al.*, 2002). عناصر نقره، آلومنیوم، آرسنیک، کادمیم، سریم، دیسپروزیم، اربیم، یوروپیم، گالیم، گادولینیم، جیوه، لانتانیم، لوتسیم، مولیبدن، نئوپیم، سرب، پرازمیدیم، ساماریم، قلع، تانتال، تربیم، تلوریم، توریم، تولیم، اورانیوم، تنگستن، ایتریم، ایتریم، نیکل، وانادیم و زیرکونیم با استفاده از طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ELAN DRC II, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA) اندازه‌گیری عناصر به وسیله کالیبراسیون خارجی (ICP-MS multi-element standard solution, Merck, USA) با استفاده از ایندیوم (ICP-MS single-element standard solution, Merck, USA) برای نرمال‌سازی سیگنال‌ها انجام شد. صحّت محاسبات با استفاده از استانداردهای کنترل کیفی کالیبره شد.

می‌باشد که می‌تواند بر نسبت عناصر انباشت شده در ساختارهای استخوانی آبزیان با توجه به گستره وسیع جغرافیایی اثر گذار باشد و Allen *et al.*, 2009; Avigliano *et al.*, 2020; Bakhshalizadeh *et al.*, 2021 طرفی این دریای پهن‌اور توسط پنج کشور در حال توسعه احاطه می‌شود که متأسفانه دست‌یابی به محیط زیست پایدار در چشم‌انداز توسعه آن‌ها بسیار کمرنگ می‌باشد (Ramazanova *et al.* 2022). لذا، بسته بودن این دریای بزرگ باعث افزایش شدت‌پذیری آثار آلاینده‌ها در زنجیره این زیست بوم آبی گسترده می‌شود که رصد آن برای ارزیابی و مدیریت پایدار ضروری به نظر می‌رسد.

اگرچه آبزیان به عنوان شاخص زیستی پایش آلاینده‌های آبی مطرح می‌باشد، اما شناسایی نمونه‌های حساس که طول عمر بالای دارند، برای رصد آلاینده‌های زیست محیطی در درازمدت مطلوب و مورد نیازند (Malhotra *et al.* 2020; Filipović Marijić *et al.* 2022). در این بین ساختارهای کلسیفیکه ماهیان دائماً در معرض فلزات قرار دارند و به لحاظ ارزیابی آلاینده‌ها به مانند جعبه سیاه عمل می‌کنند (Filipović Marijić *et al.* 2022). مقایسه با اتوتیت، در سطح بدن و در تماس با محیط آبی بوده و از طرفی دست‌یابی به آن آسان و بدون آسیب به ماهی صورت می‌گیرد (Bakhshalizadeh *et al.* 2021). این مسئله به ویژه در مورد ماهیانی با عمر طولانی مانند ماهیان خاویاری که در معرض خطر انقراض و در لیست قرمز (CITES) (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) هستند و به لحاظ اکولوژیکی و زیستی در رأس زنجیره غذایی محیط‌های آبی قرار دارند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و رکورد خوبی از طول عمر ماهی در این مسئله ارائه می‌دهد. تا به امروز، بافت‌های سخت ماهی بیشتر برای تمايز ذخایر، (Bakhshalizadeh *et al.* 2018; Longmore *et al.* 2013; Bakhshalizadeh *et al.* 2011)، تفاوت‌های ریختی (Bakhshalizadeh *et al.* 2012), مطالعه تاریخچه زندگی (Meija *et al.* 2016; 2015; 2017)، مطالعات حرکتی و اکوفنوتیپی (Bakhshalizadeh *et al.* 2018; 2022) و به میزان کمتری به عنوان شاخص‌های زیست‌محیطی آلدگی (Søndergaard *et al.* 2015; Ranaldi and Gagnon 2010) استفاده می‌شند که برای این امر عمده‌تاً بافت‌های نرم ماهی مانند کبد، آبشش و ماهیچه مورد بررسی قرار می‌گرفتند (Bakhshalizadeh *et al.* 2022; Mansouri *et al.* 2016).

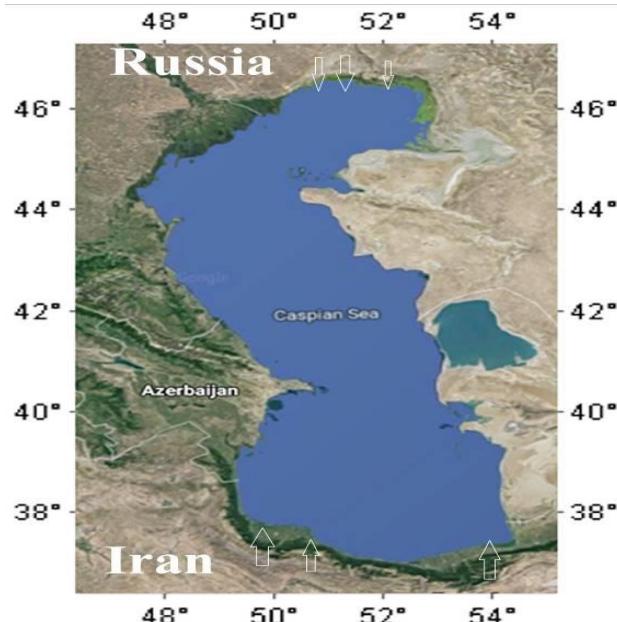
از آن جایی که ساختارهای کلسیفیکه در ماهیان از نظر متابولیکی بی اثر هستند، هر عنصری که در سطح آن‌ها قرار می‌گیرد به طور دائم حفظ می‌شود و معکس کنده شرایط زیستگاهی اطراف خود هستند (Allen *et al.*, 2009; Campana 1999; Clarke *et al.*, 2009; Gillanders *et al.*, 2001; Thorrold *et al.*, 2001) در حالی که در بافت‌های نرم، جدا از شرایط محیطی، تأثیر فیزیولوژی ماهی، مکانیسم‌های حذف فلزات بالقوه سُمی و بازسازی بافت ممکن می‌باشد که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر سطوح فلزی داشته و نیاز به نظارت



شکل ۲- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) نسبت‌های عناصر خار باله سینه‌ای اوزونبرون شمال و جنوب دریای کاسپین. نمودار ابر نقاط امتیازهای خار باله سینه‌ای هر ماهی را برای $1PC$ در برابر $2PC$ در برابر $3PC$ در برابر $2PC$ در برابر $3PC$ نشان می‌دهد که 73% درصد کل واریانس را توجیه می‌کند.

آنالیز مولفه‌های اصلی PCA ($PC1=43\%$, $PC2=21\%$, and $PC3=7\%$) تغییر در نسبت عناصر را به سه مولفه اصلی کاهش داد (شکل ۲ و جدول ۲) و نشان داد که 73% درصد کل تغییرات مربوط به Tb : Ca, Sm : Ca, Nb : Ca, Gd : Ca, Eu : Ca, Er : Ca, Dy : Ca, Ce : Ca, Zr : Ca, Yb : Ca, Tm : Ca, Er : Ca, Th : Ca, Te : Ca, Mo : Ca, Cd : Ca, Rb : Ca, Pr : Ca تخصیص یافته در هر مولفه را نشان می‌دهد (شکل ۲); اولین مولفه Tb : Sm : Ca, Nb : Ca, Gd : Ca, Eu : Ca, Er : Ca, Th : Ca, Te : Ca, Ca , Zr : Ca, Yb : Ca, Tm : Ca, Er : Ca, Th : Ca, Te : Ca, Ca , Cd : Ca, Rb : Ca, Pr : Ca, Ce : Ca, Mo : Ca, Ca بوده در حالی که بیشترین مقادیر در $PC3$ با نسبت Mo : Ca, Cd : Ca اتفاق افتاد (شکل ۲ و جدول ۲).

برای نرمال‌سازی و تشبیت داخلی پیش از تجزیه و تحلیل، مقدار عناصر نسبت به کلسیم در تمامی نمونه‌ها محاسبه شد. همه داده‌ها از نظر نرمال بودن و همگنی واریانس بررسی شدند و در صورت لزوم تبدیل داده‌ها انجام شد. نسبت عناصر خار باله اوزونبرون صید شده در آبهای ساحلی شمالی نسبت به بخش جنوبی دریای کاسپین با استفاده از آزمون t -استیووند مستقل مقایسه شد. از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای کاهش تعداد متغیرها بدون از دست دادن اطلاعات استفاده شد. نمودار سنگریزهای (مقادیر ارزش بردار در برابر تعداد مؤلفه‌های اصلی) و مقادیر واریانس تجمعی برای شناسایی مولفه‌های اصلی ایجاد شد که بخش مهمی از تغییرات نسبت عناصر را توجیه می‌کرد. از تجزیه و تحلیلتابع تشخیص (DFA) برای محاسبه درصد مناطقی که به طور صحیح طبق توزیع جغرافیایی طبقه‌بندی شده بودند، استفاده شد و از طریق cross-validation مقادیر خطای واقعی مورد انتظار توابع طبقه‌بندی انجام گردید. علاوه بر این، رابطه درون-گروهی برای دندروگرام خوش‌های با استفاده از فواصل اقلیدسی استخراج گردید. از ضریب همبستگی اسپیرمن برای ارزیابی پیوستگی میان نسبت عناصر خار باله سینه‌ای استفاده گردید. تمامی تجزیه و تحلیل-های آماری با نرم‌افزار SPSS Inc., Chicago, (SPSS Inc., Chicago, IL) و سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. از نرم‌افزار Excel (Version 2016) برای رسم نمودار استفاده گردید.



شکل ۱: نقشه مناطق مختلف نمونه‌برداری. فلش‌ها نماینگر محل‌های صید نمونه‌های اوزونبرون در شمال و جنوب دریای کاسپین می‌باشد.

۳ | نتایج

نسبت‌های عناصر خارهای باله سینه‌ای اوزونبرون شمال و جنوب دریای کاسپین دارای تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) بود (جدول ۱). به گونه‌ای که میزان آن‌ها در همه موارد مذکور در مناطق جنوبی کاسپین بالاتر از مناطق شمالی بود (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه نسبت‌های عناصر خارجی سینه‌ای اوزون برون صید شده از آبهای ساحلی شمال و جنوب دریای کاسپین.

عنصر	p مقدار	منطقة	تعداد	بيانات معيار
Ag/Ca	.033	شمال كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٣٢٥٦٩٩٣٠٣١
		جنوب كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٣٨٢٠٧٦٨٧٨٠
Al/Ca	.040	شمال كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٣٩٤٣٤٨٣٩٢٢٩
		جنوب كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٣٤٧٣٣٤٧١٨٠
As/Ca	.042	شمال كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٤٣١٨٦٨٥٩٨
		جنوب كاسپین	٢٠	٠٠٠٠١٧٨٣٨١٢٢٥٥
Be/Ca	.020	شمال كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٣١٥٨٩٧٣٣٥
		جنوب كاسپین	٢٠	٠٠٠٠٢٠٤٧١٩٨١
Cd/Ca	.081	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٦٦٦٦٥٩٩٩
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٦٦٧٣١٩٣٤
Ce/Ca	.048	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٧٩٦٠٥٧٦
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٧٧٩٤٨١٩٧
Cr/Ca	.096	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٢٨٦٧٧٧٧٢١
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٤٢٤٨١٢٣٩
Dy/Ca	.051	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٢٢١٢٥٧٧٧٤
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٣٩٦٩٣٠١٩٩
Cs/Ca	.009	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٥١٨٢٠٩٨
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٦٥٥٤١٨٩٠
Eu/Ca	.031	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٩١٠٣٩٢٤٧
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٣٨٧٠٩٣٨٣
Ga/Ca	.013	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٧٠١٢٣١٥٧
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٤٢٥٧٧٥١٩٤
Hg/Ca	.023	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٥١٢٥٣٤٦١
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٤٢٧٧٧٥١٩٤
Lu/Ca	.006	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٩١٠٧٨٧٨٥٤٦
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٧٩٤٥٤٥٢٥
Mo/Ca	.046	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٠٢٥٧٣٤٦١
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٤٢٧٧٥١٩٤
Nb/Ca	.003	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٥١٩٩٥٢٢١٤
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٤٩٥٨٧٨١٩٤
Nd/Ca	.060	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٢٥٤٩٨٣٧٦
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٥١٩٩٠٣٥١
Ni/Ca	.001	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٥٢١١٥٣٢
Pb/Ca	.021	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٣٢٣٥٢١٥٨٨٤٢
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٥٩٧١٣٨٩٩
Pr/Ca	.041	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٨٧٩٨٣٤٩٤
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٩٦٣١٣٠
Rb/Ca	.080	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١١٤٣٢٩١٧٩٣
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠٢٤٩٨٦٧٧٢١
Se/Ca	.042	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٥٦٧٢٧٤٧٩
		جنوب كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٩٩٨٠٥٣٢٤٣
Sm/Ca	.063	شمال كاسپين	٢٠	٠٠٠٠١٠٥٩١٣٣٣

ادامه جدول -۱

عنصر	p مقدار	منطقه	تعداد	میانگین	انحراف معیار
		جنوب کاسپین	۲۰	۶۹.۰۲۲۴۸۷	۰/۰۰۰۰۰۱۷۱۶۸۹۸۰۰
		شمال کاسپین	۲۰	۳۶۹۷۲۶۶۴۹۱	۰/۰۰۰۰۰۱۱۱۳۲۶۵۲۴۵
		جنوب کاسپین	۲۰	۴۳۲۸۶۲۰۴۰	۰/۰۰۰۰۰۶۱۷۲۵۴۰۹
		شمال کاسپین	۲۰	۲۵۱۰۳۱۴۷	۰/۰۰۰۰۰۱۳۶۵۴۳۳۰
		جنوب کاسپین	۲۰	۷۵.۰۷۴۴۲	۰/۰۰۰۰۰۸۴۶۰۱۴۴۴
		شمال کاسپین	۲۰	۱۹۵۴۹۷۱	۰/۰۰۰۰۰۱۲۰۵۹۲۴۰
		جنوب کاسپین	۲۰	۴۳۵۸۳۲۳۵۹	۰/۰۰۰۰۰۱۰۶۵۴۳۹۹۸
		شمال کاسپین	۲۰	۹۹.۰۶۹۳۰۹۳	۰/۰۰۰۰۰۶۲۸۴۷۷۶۲۵
		جنوب کاسپین	۲۰	۶۳۲۶۶۱۹۲۶۱	۰/۰۰۰۰۰۱۱۰۳۵۸۴۹۲۰۵
		شمال کاسپین	۲۰	۱۰۱.۰۶۲۷۶۶۴	۰/۰۰۰۰۰۴۸۱۴۶۰۵۰
		جنوب کاسپین	۲۰	۶۷۷۶۷۶۰۹۷	۰/۰۰۰۰۰۱۵۸۱۳۰۴۴۷۶
		شمال کاسپین	۲۰	۳۴۱۹۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۶۷۶۴۰۰۲۱
		جنوب کاسپین	۲۰	۴۷۳۹۶۳۷۳	۰/۰۰۰۰۰۶۸۲۰۱۱۷
		شمال کاسپین	۲۰	۱۷۲۹۵۶۴۴	۰/۰۰۰۰۰۶۹۶۷۰۶۷۵
		جنوب کاسپین	۲۰	۳۳۵۵۶۲۹۳	۰/۰۰۰۰۰۷۲۶۷۶۳۹۰
		شمال کاسپین	۲۰	۱۲۷۱۶۹۲۲۰	۰/۰۰۰۰۰۴۱۳۳۹۵۳۴۲
		جنوب کاسپین	۲۰	۹۲۲۶۱۳۹۱۴	۰/۰۰۰۰۰۵۷۷۶۰۸۵۶۵۸
		شمال کاسپین	۲۰	۷۶۳۶۸۴۷۹۲۱	۰/۰۰۰۰۰۳۲۱۳۱۳۵۹۲
		جنوب کاسپین	۲۰	۸۸۹۳۸۲۱۱۰	۰/۰۰۰۰۰۴۳۵۸۱۱۲۸
		شمال کاسپین	۲۰	۷۹۶۵۳۳۰۷۴	۰/۰۰۰۰۰۴۹۵۹۶۵۵۷۹
		جنوب کاسپین	۲۰	۱۰۹۳۷۸۷۶۸۶	۰/۰۰۰۰۰۶۳۴۱۲۲۰۰
		شمال کاسپین	۲۰	۲۶۵۹۰۰۲۴۴	۰/۰۰۰۰۰۱۲۲۸۰۸۱
		جنوب کاسپین	۲۰	۱۷۰.۹۹۳۶۲۹	۰/۰۰۰۰۰۲۷۲۸۷۹۳۳
		شمال کاسپین	۲۰	۲۴۳۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۰۹۸۷۱۶۵۹۳
		جنوب کاسپین	۲۰	۴۴۹۹۷۳۴۲	۰/۰۰۰۰۰۲۳۹۲۴۰۰
		شمال کاسپین	۲۰	۵۱۱۱۹۴۸۰۰	۰/۰۰۰۰۰۱۰.۷۳۱۳۷۲۶۵
		جنوب کاسپین	۲۰	۷۰.۹۴۷۲۳۸۲	

زیرگروه‌ها، نمونه‌های مناطق شمالی و جنوبی تقریباً در دو زیرگروه مجزا قرار گرفتند. همبستگی معنی‌داری بین نسبت عناصر خار باله سینه‌ای دیده شد ($P<0.05$) (جدول ۳) که نشان می‌دهد تغییرات نسبت‌های عناصر با La/Ca , Ce/Ca , Nd/Ca , Nb/Ca , Nd/Ca با Ca , Tb/Ca , Ti/Ca , Tb/Ca , Nb/Ca , La/Ca , Tb/Ca با Yb/Ca و Tb/Ca با Tm/Ca و Tb/Ca با Dy/Ca همبستگی قوی با هم دارند ($P<0.05$). (جدول ۳).

اختلاف ترکیب خطی متغیرها در مناطق شمالی و جنوبی معنی‌دار بوده ($\lambda=0.078$, $\chi^2=65.213.171$, $d.f.=25$, $p<0.05$) و لذا با یکتابع تشخیص (DF1) توصیف شدند که ۱۰۰ درصد تغییرپذیری آن‌ها را توجیه می‌کند. تمایز به دست آمده از طبقه‌بندی cross - validated این دو منطقه، دارای صحت بالایی بود، و نشان داد که ۸۰ درصد نمونه‌ها در گروه خود به درستی طبقه‌بندی شدند. نمودار خوش‌های نمونه‌های مناطق شمالی و جنوبی دریای کاسپین را به دو زیرگروه اصلی تقسیم کرد (شکل ۳). با وجود اختلاف عناصر در

جدول ۲ - اعداد به دست آمده در PC1, PC2 و PC3 حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نسبت‌های عناصر خار باله سینه‌ای اوزونبرون شمال و جنوب دریای کاسپین

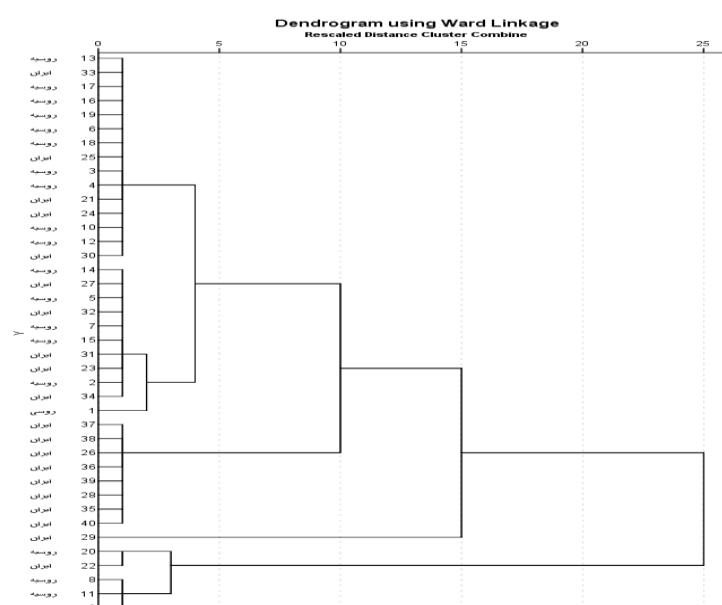
مؤلفه‌های اصلی

متغیر	PC1	PC2	PC3
Ag/Ca	۰/۵۲۳	-۰/۳۴۵	۰/۳۷۵
Al/Ca	۰/۲۸۲	-۰/۰۴۴	۰/۳۶۹
As/Ca	۰/۶۱۳	-۰/۲۶۴	-۰/۱۹۶
Be/Ca	۰/۰۹۶	۰/۵۶۷	-۰/۰۲۱
Cd/Ca	۰/۲۱۷	-۰/۲۶۹	۰/۷۸۸
Ce/Ca	۰/۴۵۵	۰/۸۷۵	۰/۰۹۰
Co/Ca	۰/۵۱۶	۰/۷۷۷	۰/۱۲۲
Cr/Ca	۰/۰۴۴	۰/۲۱۱	۰/۰۵۴
Cs/Ca	۰/۸۱۹	-۰/۳۵۶	-۰/۱۲۶
Dy/Ca	۰/۹۳۱	۰/۳۱۳	-۰/۰۷۲

ادامه جدول -۲

مولفه‌های اصلی	متغیر		
PC3	PC2	PC1	
-۰/۰۸۶	-۰/۱۷۶	-۰/۹۶۱	Er/Ca
-۰/۱۳۸	-۰/۱۴۱	-۰/۹۴۹	Eu/Ca
-۰/۴۹۵	-۰/۰۴۶	-۰/۲۵۵	Ga/Ca
-۰/۰۵۲	-۰/۳۴۳	-۰/۹۲۸	Gd/Ca
-۰/۶۶۶	-۰/۳۱۳	-۰/۳۷۶	Hg/Ca
-۰/۰۸۹	-۰/۸۳۴	-۰/۵۳۱	La/Ca
-۰/۰۹۳	-۰/۳۲۳	-۰/۶۱۳	Lu/Ca
+۰/۷۵۴	-۰/۱۳۰	-۰/۰۶۳	Mo/Ca
-۰/۱۳۹	-۰/۳۷۴	-۰/۹۰۲	Nb/Ca
-۰/۰۷۱	-۰/۸۱۸	-۰/۵۵۶	Nd/Ca
-۰/۱۲۵	-۰/۳۲۲	-۰/۵۶۴	Ni/Ca
-۰/۴۷۸	-۰/۳۱۱	-۰/۴۷۹	Pb/Ca
-۰/۱۱۵	-۰/۹۰۷	-۰/۳۶۰	Pr/Ca
-۰/۰۴۹	-۰/۸۸۶	-۰/۳۷۳	Rb/Ca
-۰/۰۶۷	-۰/۳۷۷	-۰/۴۸۲	Se/Ca
-۰/۰۸۰	-۰/۲۵۵	-۰/۹۴۴	Sm/Ca
-۰/۲۲۳	-۰/۳۹۸	-۰/۳۱۰	Sn/Ca
-۰/۱۱۱	-۰/۳۹۲	-۰/۸۸۰	Ta/Ca
-۰/۱۵۹	-۰/۱۸۲	-۰/۹۲۴	Tb/Ca
-۰/۱۳۶	-۰/۳۶۵	-۰/۹۰۴	Te/Ca
-۰/۱۶۳	-۰/۳۰۲	-۰/۹۲۶	Th/Ca
-۰/۱۶۷	-۰/۳۹۹	-۰/۸۳۹	Tl/Ca
-۰/۱۴۰	-۰/۲۲۹	-۰/۹۳۰	Tm/Ca
-۰/۰۴۲	-۰/۰۰۲	-۰/۲۰۲	U/Ca
-۰/۰۷۸	-۰/۶۰۶	-۰/۳۶۰	V/Ca
-۰/۱۰۴	-۰/۴۴۹	-۰/۷۱۳	W/Ca
-۰/۰۸۱	-۰/۸۶۴	-۰/۴۷۷	Y/Ca
-۰/۱۳۶	-۰/۰۳۷	-۰/۹۶۶	Yb/Ca
-۰/۰۲۲	-۰/۳۱۲	-۰/۹۲۶	Zr/Ca

جدول ۳- ضریب همیستگی اسپیر من نسبت عناصر خاریله سینه‌ای اوزون پرون شمال و جنوب دریای کاسپیین



شکل، ۳- نمودار خوشباد، حاصل، از تجزیه به و تحلیل، نسبت عناصر خارج باله سینه‌ای، اوزون، برون، شمال، (دوسیه) و جنوب (ایران) در بیان، کاسینی.

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

ثبت نوسانات ژئوشیمیایی و انتشار آلاینده‌های محیطی در زیستگاه‌های ماهی یاد کردند (Avigliano *et al.* 2021; Wang *et al.* 2016; Reis-Santos *et al.* 2023; Luque *et al.* 2022). آب‌های این دو منطقه جغرافیایی از چند نظر مثل جریان‌های ورودی آب شیرین، گل آلودگی، و کاربری زمین‌های مجاور دریا با هم متفاوت بودند که همگی بر عناصر موجود در آب و اثر میزان تغییرات Surge and Lohmann (Surge and Lohmann, 2006 Elsdon and Gillanders, 2006) به نظر می‌رسد به خاطر کمبود آب شیرین و تبخیر زیاد آب در سمت جنوبی دریای کاسپین، این تغییرات و افزایش محسوس‌تر است. به طور مثال بالا بودن غلظت سلیمی در آب به دمای محیط بستگی داشته و در مناطقی که دمای بالاتری دارند این دست از آلاینده‌ها که حاصل فعالیت‌های انسانی هستند، نمود بیشتری پیدا می‌نمایند (Förstner and Wittmann, 2012) که در مطالعه حاضر نیز چنین نتایجی به دست آمده است. مقادیر نسبت عناصر کم مقدار به کلسیم در نمونه‌های جنوبی ناشی از آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی است و بروز آن‌ها در نزدیکی پالایشگاه نفتی بیشتر دیده می‌شود (Zhuang *et al.*, 2017). تولید نفت در نزدیکی دریای کاسپین، و جهت جریان غالب این دریا منجر به در برگرفتن مناطق وسیعی از سواحل جنوبی می‌شود (Madani *et al.*, 2022) که بالاتر بودن مقادیر نسبت عناصر کم مقدار به کلسیم را توضیح می‌دهد. با این حال، تخلیه فرآورده‌های نفتی به رودخانه‌ها نیز می‌تواند یکی دیگر از منابع مهم آلودگی باشد، زیرا سالانه ۷۵۰۰۰ تن از این فرآورده‌ها به رودخانه‌هایی که به دریای کاسپین می‌رسند، ریخته می‌شود (Ramazanova *et al.*, 2022). در ضمن، همبستگی مثبت و معنی‌دار برای ترکیب‌های مختلف جفت‌های فلزی وجود داشت که در مطالعات مشابه نیز دیده شده است (Wang *et al.*, 2016; Avigliano *et al.*, 2021; Reis-Santos *et al.*, 2023, Luque *et al.*, 2022). بنابراین، می‌توانیم مطمئن باشیم که همزمان با افزایش غلظت یک فلز خاص، غلظت فلز دیگر نیز افزایش می‌یابد. این روابط مثبت در خار باله سینه‌ای می‌تواند به عنوان یک نشانگر زیستی از حضور و در دسترس بودن فلزات هم در محیط آبی و هم در رسوبات مناطق نمونه‌برداری شده باشد و توزیع‌های مشابهی از آن‌ها را نمایان می‌کند که عمدها به دلیل ورودی‌های خارجی می‌باشد (Adani *et al.*, 2022). بنابراین تجزیه و تحلیل خار باله سینه‌ای اوزون‌برون می‌تواند به عنوان ابزار غیرکشند و مناسب در دستور کار برنامه‌های پایشی برای ارزیابی‌های محیطی مطرح باشد و می‌تواند به عنوان آغازی برای پژوهش‌هایی که به درک چگونگی اثرگذاری عواملی چون استرس، دما در کنار ویژگی‌های تبارشناصی، رشد و سایر عوامل موثر بر نحوه رقابت عناصر مختلف به کلسیم و تغییرات آنها در طول جذب و بیومربنالیزاسیون مطرح گردد.

یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که ویژگی‌های خار باله سینه‌ای ماهی اوزون‌برون به گونه‌ای می‌باشد که امکان ارزیابی محیطی را ممکن می‌کند. در میان آبزیان، ماهیان بهدلیل قرارگرفتن در بالای زنجیره غذایی، شاخص زیستی مناسبی برای آلودگی فلزات هستند (Solgi and Galangashi, 2018) و این موضوع در مورد ماهی اوزون‌برون که از عمر طولانی‌تری نسبت به ماهیان استخوانی دریایی کاسپین برخوردار است بیشتر به چشم می‌خورد (El-Moselhy *et al.*, 2014). از آن جا که دست‌یابی خار باله نیازی به کشتن ماهی ندارد، برای جمعیت‌های در معرض خطر ماهیان خاویاری از اهمیت زیادی برخوردار است (Bakhshalizadeh *et al.*, 2021). تغییرپذیری زیاد در ترکیب شیمیایی ساختار کلسیمی ماهیان مختلف ناشی از زیستگاه‌های است (Smith and Whitledge, 2011; Lastra *et al.* 2021) که به لحاظ موقعیت جغرافیایی متفاوت بوده‌اند (Whitledge, 2011). لذا، تفاوت دیده شده در نسبت عناصر نمونه‌های شمال و جنوب کاسپین قابل پیش‌بینی بود و به خوبی نمونه‌ها در این ارزیابی در جایگاه واقعی خود قرار گرفتند. *Acipenser transmontanus* مطالعات مشابهی بر روی گونه‌های نظیر (Allen *et al.*,) *Acipenser medirostris* (Veinott and Evans, 1999) (Balazik *et al.*, 2012) *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* 2009 Jarić et (Huso huso (Phelps *et al.* 2012) *Scaphirhynchus albus* (Arai *et al.* 2002) *Acipenser gueldenstaedtii*, (al. 2011) با استفاده از اطلاعات ترکیب شیمیایی عناصر خار آنها برای مطالعه تاریخچه زندگی‌شان و شناسایی زیستگاهی انجام گرفته است. منابع و مسیرهای ورود عناصر به شعاع و خار روندی مشابه با ماهیان استخوانی دارد (Clarke *et al.*, 2009; Gillanders 2001) هر چند میزان تفکیک-پذیری و تفاوت در جذب و بازجذب عناصر در این ساختارها هنوز به خوبی شناخته نشده است (Gillanders 2001). از سوی دیگر، ترکیبات شیمیایی در خار با سنگریزه شنوازی ماهیان (*Thymallus arcticus*) Arctic grayling (*Parma microlepis*) به ویژه برای استرانسیم و باریم همبستگی مشتبی دارند که نشان می-دهد این ساختارها می‌توانند همانند سنگریزه شنوازی برآورد مناسبی از ساختار ذخایر را فراهم سازند (Clarke *et al.*, 2009; Gillanders 2001) از ریز ترکیبات شیمی خار باله سینه‌ای به طور موقیت‌آمیزی برای بررسی حرکت و ساختار ذخایر چندگونه از ماهیان خاویاری استفاده شده است (Arai *et al.* 2002; Jarić et Allen *et al.* 2009) (al. 2011; Phelps *et al.* 2012; Veinott and Evans 1999) همچنین از تجزیه و تحلیل نسبت عناصر در مقاطع شعاع باله و یا فلس برای بازسازی تاریخچه زندگی گونه‌های دیگر نظیر *Genidens Dentex tumifrons barbus* (Avigliano *et al.* 2020) (Wang *et al.* 2016) استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده در این مطالعات استفاده از این ساختارها را به عنوان شاخص‌های زیستی که قابلیت ثبت انتشار آلاینده‌های محیطی را دارد مطرح و از آن‌ها به عنوان برچسب‌های بیوژئوشیمیایی و نیز شاخص‌های زیستی برای

۵ | تشكير و قدردانی

از روابط بین الملل، دفتر ارتباط با صنعت و معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه گیلان و دانشگاه آستانه اسلامیه که شرایط لازم برای امکان این پژوهش را فراهم نمودند، نهایت سپاسگزاری و قدردانی را داریم. لازم به ذکر است که این تحقیق با حمایت پژوهشکده حوضه آبی دریای کaspیین دانشگاه گیلان، رشت، ایران (قرارداد مورخ ۱۴۰۰/۸/۳ به شماره ۸۹۱۲۲ / پ ۱۵۰) و با حمایت دانشگاه آستانه اسلامیه (قرارداد ۲۶۱۱۲۰۲۰) انجام گرفته است.

پست الکترونیک نویسندها

شیما بخشعلیزاده: sh.bakhshalizadeh@guilan.ac.ir
 بوتاگوز نسیپولیان: bellanasib@yandex.ru
 شیما باز: shima.ba83@gmail.com
 عطاالله علی: atta_mh@yahoo.com

REFERENCES

- Bath G.E., Thorrold S.R., Jones C.M., Campana S.E., McLaren J.W., Lam J.W. 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(10): 1705-1714.
- Balazik M.T., McIninch, S.P., Garman, G.C., Fine M.L., Smith CB. 2012. Using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Microchemistry to Infer Migratory Life History of Atlantic Sturgeon. *Environmental Biology of Fishes*, 95(2): 191-194.
- Campana S.E. 1999. Chemistry and Composition of Fish variation of Persian sturgeon *Acipenser persicus*. *Marine Ecology*, 39(5): e12516.
- Bakhshalizadeh S., Abdolmalaki S., Bani A. 2012. Aspects of the life history of *Acipenserstellatus* (Acipenseriformes, Acipenseridae), the starry sturgeon, in Iranian waters of the Caspian Sea. *Aqua: International Journal of Ichthyology*, 18(2): 103-113.
- Bakhshalizadeh S., Bani A., Abdolmalaki S. 2013. Comparative morphology of the pectoral fin spine of the Persian sturgeon *Acipenser persicus*, the Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*, and the Starry sturgeon *Acipenserstellatus* in Iranian waters of the Caspian Sea. *Acta Zoologica*, 94(4): 471-477.
- Bakhshalizadeh S., Bani A., Abdolmalaki S. 2013. Morphometric features in the pectoral fin spine of the great sturgeon (*Huso huso*) and the ship sturgeon (*Acipenser nudi*ventris, Lovetsky, 1828). *Journal of Applied Ichthyology*, 29(4): 730-732.
- Bakhshalizadeh S., Bani A., Abdolmalaki S. 2015. Growth traits of two sturgeon species, *Acipenser gueldenstaedtii* and *Acipenser nudi*ventris, in the Iranian waters of the Caspian Sea. *Aqua: International Journal of Ichthyology*, 21: 154-165.
- Bakhshalizadeh S., Bani A., Abdolmalaki S., Nahrevar R., Rastin R. 2011. Age, growth and mortality of the Persian Sturgeon, *Acipenser persicus*, in the Iranian waters of the Caspian Sea. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 9(2): 159-167.
- Bakhshalizadeh S., Liyafoyi AR., Saoca C., Piccione G., Cecchini S., Fazio F. 2022. Nickel and cadmium tissue bioaccumulation and blood parameters in Chelon auratus and Mugil cephalus from Anzali free zone in the south Caspian Sea (Iran) and Faro Lake (Italy): A comparative analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 72: 126999.
- Bakhshalizadeh S., Nasibulina B.M., Kurochkina T.F., Muhsin Ali A., Sodagar M., Zykov LA. 2022. Spatial variability in strontium to calcium in the Caspian Sea: Recognition of starry sturgeon stocks from the pectoral fin spine chemistry. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20 (1): 101-106.
- Bakhshalizadeh S., Tchaikovsky A., Bani A., Prohaska T., Zitek A. 2021. Using fin ray chemistry to discriminate hatchery reared juvenile age-0 Persian sturgeons by their origin in the Southern Caspian Sea region using split stream ICP-MS/MC ICP-MS. *Fisheries Research*, 243: 106093.
- Adani P., Sawale A.A., Nandhagopal G. 2022. Bioaccumulation of heavy metals in the food components from water and sediments in the coastal waters of Kalpakkam, Southeast coast of India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17: 100627.
- Akhtar N., Syakir Ishak M.I., Bhawani S.A., Umar K. 2021. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*, 13(19): 2660.
- Allen P.J., Hobbs, J.A., Cech J.J., Jr., Van Eenennaam J.P., Doroshov S.I. 2009. Using Trace Elements in Pectoral Fin Rays to Assess Life History Movements in Sturgeon: Estimating Age at Initial Seawater Entry in Klamath River Green Sturgeon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 138(2): 240-250.
- Arai T., Levin A., Boltunov A., Miyazaki N. 2002. Migratory History of the Russian Sturgeon *Acipenser guldenstadti* in the Caspian Sea, as Revealed by Pectoral Fin Spine Sr: Ca Ratios. *Marine Biology*, 141(2): 315-319.
- Avigliano E., Miller N., de Carvalho B.M., Gironde S.C., Tombari A., Volpedo A.V. 2020. Fin spine metals by LA-ICP-MS as a method for fish stock discrimination of Genidens barbus in anthropized estuaries. *Fisheries Research*, 230: 105625.
- Avigliano E., Pisonero J., Bouchez J., Pouilly M., Domanico A., Sánchez S., Volpedo A.V. 2021. Otolith Sr/Ca ratio complements Sr isotopes to reveal fish migration in large basins with heterogeneous geochemical landscapes. *Environmental Biology of Fishes*, 104: 277-292.
- Bakhshalizadeh S., Bani A. 2017. Use of geometric morphometrics to identify ecophenotypic variation of juvenile Persian sturgeon *Acipenser persicus*. *Scientia Marina*, 81(2): 187-193.
- Bakhshalizadeh S., Bani A. 2018. Morphological analysis of pectoral fin spine for identifying ecophenotypic

- Otoliths: Pathways, Mechanisms and Applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188: 263-297.
- Campana S.E., Chouinard G.A., Hanson J.M., Frechet A., Brattey J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research*, 46(1-3): 343-357.
- Carvalho L., Mackay E.B., Cardoso A.C., Baattrup-Pedersen A., Birk S., Blackstock K.L., Borics G., Borja A., Feld C.K., Ferreira M.T., Globenvik L. 2019. Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 658: 1228-1238.
- Clarke A., Telmer K., Mark Shrimpton J. 2007. Elemental Analysis of Otoliths, Fin Rays and Scales: A Comparison of Bony Structures to Provide Population and Life History Information for the Arctic Grayling (*Thymallus arcticus*). *Ecology of Freshwater Fish*, 16(3): 354-361.
- Clarke L.M., Walther B.D., Munch S.B., Thorrold S.R., Conover D.O. 2009. Chemical Signatures in the Otoliths of a Coastal Marine Fish, *Menidia menidia*, from the Northeastern United States: Spatial and Temporal Differences. *Marine Ecology Progress Series*, 384: 261-271.
- El-Moselhy K.M., Othman A.I., Abd El-Azem H., El-Metwally M.E.A. 2014. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2): 97-105.
- Elsdon T.S., Gillanders B.M. 2006. Temporal variability in strontium, calcium, barium, and manganese in estuaries: implications for reconstructing environmental histories of fish from chemicals in calcified structures. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1-2): 147-156.
- Eriksen T.E., Brittain J.E., Søli G., Jacobsen D., Goethals P., Friberg N. 2021. A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia. *Ecological Indicators*, 126: 107609.
- Feng S., Lu H., Tian P., Xue Y., Lu J., Tang M., Feng W. 2020. Analysis of microplastics in a remote region of the Tibetan Plateau: Implications for natural environmental response to human activities. *Science of the Total Environment*, 739: 140087.
- Filipović Marijić V., Mijošek T., Dragun Z., Retzmann A., Zitek A., Prohaska T., Erk M. 2022. Application of Calcified Structures in Fish as Indicators of Metal Exposure in Freshwater Ecosystems. *Environments*, 9(2): 1-14.
- Förstner U., Wittmann G.T. 2012. Metal pollution in the aquatic environment. Springer Science & Business Media.
- Gann G.D., McDonald T., Walder B., Aronson J., Nelson C.R., Jonson J., Hallett J.G., Eisenberg C., Guariguata M.R., Liu J., Hua F. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27: (S1: S1-S46).
- Gillanders B. 2001. Trace Metals in Four Structures of Fish and Their Use for Estimates of Stock Structure. *Fishery Bulletin*, 99(3): 410-419.
- Jarić I., Lenhardt M., Pallon J., Elfman M., Kalauzi A., Suciu R., Cvijanović G., Ebenhard T. 2011. Insight into Danube Sturgeon Life History: Trace Element Assessment in Pectoral Fin Rays. *Environmental Biology of Fishes*, 90(2): 171-181.
- Lastra Luque P., Artetxe Arrate I., Sakai S., Claverie F., Péchéyran C., Fraile Ugalde I., Arrizabalaga de Mingo H. 2021. Chemical signatures in fin spine edge of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) can serve as habitat markers of geographically distinct marine environments. *Heliyon*, 8(11): e11757.
- Longmore C., Trueman C.N., Neat F., O'Gorman E.J., Milton J.A., Mariani S. 2011. Otolith geochemistry indicates life-long spatial population structuring in a deep-sea fish, *Coryphaenoides rupestris*. *Marine Ecology Progress Series*, 435: 209-224.
- Luque P.L., Artetxe-Arrate I., Bidegain G., Sakai S., Claverie F., Péchéyran C., Arrizabalaga H. 2022. Chemical signatures in fin spine edge of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) can serve as habitat markers of geographically distinct marine environments. *Heliyon*, 8(11).
- Madani S.A.M., Harami S.R.M., Rezaee P., Naji A. 2022. Distribution, risk assessment, and source identification of trace metal pollution along the Babolsar coastal area, Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(59): 89121-89131.
- Malhotra N., Hsu H.S., Liang S.T., Roldan M.J.M., Lee J.S., Ger T.R., Hsiao C.D. 2020. An updated review of toxicity effect of the rare earth elements (REEs) on aquatic organisms. *Animals*, 10(9): 1663.
- Mansouri B., Maleki A., Davari B., Karimi J., Momeneh V. 2016. Bioaccumulation of cadmium, lead, chromium, copper, and zinc in freshwater fish species in Gharasou river in Kermanshah province, Iran, 2014. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(137): 150-158.
- Meija J., Coplen T.B., Berglund M., Brand W.A., De Bièvre P., Gröning M., Prohaska T. 2016. Isotopic compositions of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 88(3): 293-306.
- Phelps Q.E., Whitledge G.W., Tripp S.J., Smith K.T., Garvey JE., Herzog DP., Ostendorf DE., Ridings JW., Crites JW., Hrabik RA. 2012. Identifying River of Origin for Age-0 Scaphirhynchus Sturgeons in the Missouri and Mississippi Rivers Using Fin Ray Microchemistry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(5): 930-941.
- Ramazanova E., Bahetur Y., Yessenbayeva K., Lee S.H., Lee W. 2022. Spatiotemporal evaluation of water quality and risk assessment of heavy metals in the northern Caspian Sea bounded by Kazakhstan. *Marine Pollution Bulletin*, 181: 113879.
- Ranaldi M.M., Gagnon M.M. 2010. Trace metal incorporation in otoliths of pink snapper (*Pagrus auratus*) as an environmental monitor. *Comparative*

- Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 152(3): 248-255.
- Reis-Santos P., Gillanders B.M., Sturrock A.M., Izzo C., Oxman DS., Lueders-Dumont JA., Walther BD. 2023. Reading the biomineralized book of life: expanding otolith biogeochemical research and applications for fisheries and ecosystem-based management. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 33(2): 411-449.
- Smith KT., Whitledge G. 2010. Fin Ray Chemistry as a Potential Natural Tag for Smallmouth Bass in Northern Illinois Rivers. *Journal of Freshwater Ecology*, 25(4): 627-635.
- Smith KT., Whitledge G. 2011. Trace element and stable isotopic signatures in otoliths and pectoral spines as potential indicators of catfish environmental history. In Catfish 2010: Proceedings of the 2nd International Catfish Symposium.
- Solgi E., Galangashi MM. 2018. Assessing the health of marine and lacustrine wetland using measurement of heavy metals in fish species: Case study from two Iranian international wetland (Gomishan and Zarivar). *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 10: 73-78.
- Søndergaard J., Halden N., Bach L., Gustavson K., Sonne C., Mosbech A. 2015. Otolith chemistry of common sculpins (*Myoxocephalus scorpius*) in a mining polluted Greenlandic fiord (Black Angel lead-zinc mine, West Greenland). *Water, Air, & Soil Pollution*, 226: 1-12.
- Sonone SS., Jadhav S., Sankhla MS., Kumar R. 2020. Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food Chain. *Letters of Applied Nano BioScience*, 10(2): 2148-2166.
- Surge DM., Lohmann KC. 2002. Temporal and spatial differences in salinity and water chemistry in SW Florida estuaries: effects of human-impacted watersheds. *Estuaries*, 25: 393-408.
- Thorrold SR., Latkoczy C., Swart PK., Jones CM. 2001. Natal Homing in a Marine Fish Metapopulation. *Science*, 291(5502): 297-299.
- Veinott GI., Evans RD. 1999. An Examination of Elemental Stability in the Fin Ray of the White Sturgeon with Laser Ablation Sampling–Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (LAS-ICP-MS). *Transactions of the American Fisheries Society*, 128(2): 352-361.
- Wang T., Lai YC., Chiang CC., Cheng YR., Hsieh YK., Wang CF. 2016. Element distribution over the surface of fish scales and its connection to the geochemical environment of habitats: a potential biogeochemical tag. *Environmental monitoring and assessment*, 188: 1-12.
- Wells BK., Thorrold SR., Jones CM. 2000. Geographic variation in trace element composition of juvenile weakfish scales. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(4): 889-900.
- Zhuang M., Zhao J., Li S., Liu D., Wang K., Xiao P., Yu L., Jiang Y., Song J., Zhou J. 2017. Concentrations and Health Risk Assessment of Rare Earth Elements in Vegetables from Mining Area in Shandong, China. *Chemosphere*, 168: 578-582.
- Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Awad F. 2020. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1): 1-11.

نحوه استناد به این مقاله:

بخشلیزاده ش., نسیبولینا ب., کروچکینات., علی ع. کاربرد خار باله سینه‌ای ماهی اوزون بردن به عنوان شاخص ارزیابی زیستگاهی دریای کالپن. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گیبدکاووس. ۱۴۰۲، ۳۹-۵۰. ۱۱(۱): ۳۹-۵۰.

Bakhshalizadeh S., Nasibulina B.M., Kurochkina T.F., Attaala A. Application of pectoral fin spine of starry sturgeon fish as an indicator of the habitat evaluation in the Caspian Sea. *Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous*. 2023, 11(1): 39-50.

Application of pectoral fin spine of starry sturgeon fish as an indicator of the habitat evaluation in the Caspian Sea

Bakhshalizadeh S^{1*}, Nasibulina B.M², Kurochkina T.F³, Attaala A⁴.

¹ Faculty member, Dept. of Marine Science, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

² Assistant prof., Faculty of Geology & Geography, Innovative Natural Institute, Astrakhan State University, Astrakhan, Russia.

³ Assistant prof., Faculty of Ichthyology, Dagestan State University, Makhachkala, Russia.

⁴ Independent Researcher, Former Prof., of Hadhramout University, Yemen.

Type:

Original Research Paper

<https://doi.org/10.22034/jair.11.1.39>

Paper History:

Received: 30-04-2023

Accepted: 31-07- 2023

Corresponding author:

Bakhshalizadeh S. Assistant prof., Dept. of Marine Science, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

Email: sh.bakhshalizadeh@guilan.ac.ir

Abstract

Although the use of indicator organisms and their different tissues is commonly used to evaluate environmental pollution, there is still a need to identify a non-lethal, reliable and sensitive indicator in aquatic environments. In this research, multivariate indices were used based on habitat accumulation conditions. For this purpose, the ratio of elements of pectoral fin spines of ozone-exposed fish were compared as a non-lethal index to evaluate the habitat of the north and south of the Caspian Sea. For this purpose, multivariate analyzes and non-normal analyzes were used in the required cases to compare the samples of North and South Caspian Sea. The ratios of W: Ca, Ti: Ca, Ta: Ca, Sn: Ca, Se: Ca, Ni: Ca, Nb: Ca were higher in the southern samples than in the northern ones, which probably reflected the difference in the availability of metal absorption compared to calcium. Despite the recorded differences in the proportion of pectoral fin spine elements of ozone-exposed fish between the norths and south of the Caspian Sea, all the multivariate results also reflected this habitat differentiation. These results showed that the pectoral fin spine can be confirmed as a good non-lethal indicator due to its capacity to accumulate pollutants and also as a biological indicator, and therefore it can be used for environmental evaluations, although the importance of continuous monitoring and protective measures is suggested along with continuous evaluations.

Keywords: Anthropogenic impact, heavy metal, calcium structures, pollution, biological assessment.