

Body shape variation of Kura barb (*Barbus spp.*) in Iranian basins

Yazdan Keivany^{1*}, Amirhosein Tahmasebi²,
Omidvar Farhadian³

1. Associate Professor, Department of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.

2. MSc Graduate in Fisheries, Department of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.

3. Associate Professor, Department of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.

(Received: Feb. 23, 2017 - Accepted: Nov. 17, 2018)

Abstract

The objective of this study was to determine the body shape variation among Kura barb species (*Barbus spp.*) in the Caspian Sea, Urmia and Tigris basins using landmark-based geometric morphometrics. For this purpose, a total of 128 specimens were sampled from the three basins using seine, gill and cast nets. The left side of each specimen was photographed using digital camera and 14 Landmark points were digitized on two-dimensional images using TpsDig2. Landmark data after a Generalized Procrustes were analyzed using Principal Component Analysis (PCA) and Canonical Variate Analysis (CVA) and the patterns of body shape differences among the studied population were illustrated in deformation grids in relation to consensus configuration of all specimens. The Principal Component Analysis could not differentiate the populations, but CVA displayed some differences among the populations. Habitat-associated morphological divergence, phenotypic plasticity and evolutionary process of body shape change among various populations and also, a relationship between the geographical distance and the degree of morphological divergence among populations in response to environmental factors in their habitat were observed. Thus, each population should be considered as separate genetic and morphological stocks.

Keywords: Cyprinidae, Phenotypic plasticity, geometric morphometric, Kura barb.

بررسی تفاوت‌های شکلی گونه‌های ماهی بلیزم (*Barbus spp.*) در حوضه‌های ایران

یزدان کیوانی^{۱*}، امیرحسین طهماسبی^۲، امیدوار فرهادیان^۳

۱. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱ ایران.

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱ ایران.

۳. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱ ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۲۶)

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی تغییرات شکل بدن گونه‌های مختلف بلیزم (*Barbus spp.*) در مناطق پراکنش آن در ایران، یعنی حوضه‌های خزر، ارومیه و دجله با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک است. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند به درک بهتر الگوی تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت این ماهیان در منابع آبی این حوضه‌ها کمک نماید. بدین منظور تعداد ۱۲۸ قطعه ماهی بلیزم از این سه حوضه توسط تورهای پره، دام و پرتابی در تابستان ۱۳۸۹ نمونه‌برداری شد. پس از عکس‌برداری از سمت چپ نمونه‌ها، تعداد ۱۴ نقطه لندمارک بر روی تصاویر دو بعدی حاصل با نرم‌افزار TpsDig2 قرار داده شد. داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست، با روش‌های آماری چندمتغیره آنالیز عوامل اصلی (PCA) و آنالیز متغیرهای کانونی (CVA) تحلیل شدند و سپس الگوهای تغییر شکل هرگونه نسبت به شکل اجماعی (میانگین همه جمعیت‌ها) در شبکه تغییر شکل مصورسازی گردید. در آنالیز PCA تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مورد مطالعه یافت نشد ولی در آنالیز CVA تا حدودی گونه‌ها از یکدیگر تفکیک شدند. جدایی ریختی وابسته به زیستگاه، تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت شکل بدن جمعیت‌های مختلف و تا حدودی ارتباط بین فاصله جغرافیایی و تمایز ریختی بلیزم را تحت تأثیر شرایط محیطی حوضه‌های محل زیست نشان داد. بنابراین، احتمالاً با توجه به مطالعات قبلی، این سه گونه باید به‌عنوان گونه‌های مجزا در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری ریختی، ریخت‌سنجی هندسی، سس ماهی کورا، کپورماهیان.

مقدمه

ماهی بلیزم یا سس‌ماهی کورا که قبلاً جمعیت‌های حوضه‌های مختلف یک گونه در نظر گرفته می‌شدند (Barbus lacerta Heckel, 1843) از جمله گونه‌های مهم جنس باربوس است که در حوضه دریای خزر (رودخانه‌های ارس، قره‌سو، آستارا تا اترک، مرداب انزلی، قسمت‌های فوقانی سفیدرود یعنی قزل‌اوزن و شاهرود)، در حوضه دریاچه ارومیه (قسمت‌های میانی و فوقانی تلخه‌رود، نازلوچای، تتاوی و زرینه‌رود) و حوضه دجله (رودخانه کارون و کرخه) پراکنش دارد (Jalili et al., 2015; Coad, 2016; Keivany et al., 2018). اخیراً جمعیت‌های آن در حوضه خزر به‌عنوان یک گونه مستقل *B. cyrii* و در حوضه دجله به‌صورت *B. lacerta* در نظر گرفته شده و احتمال می‌رود جمعیت‌های حوضه ارومیه نیز گونه متفاوتی باشند (Motamedi et al., 2014). بلیزم معمولاً در قسمت‌های فوقانی رودخانه‌ها (در بسیاری از مواقع همراه با قزل‌آلا مشاهده می‌شود) که دارای بستر سنگلاخی، دمای متوسط آب ۱۵-۱۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت آب بیش از یک متر بر ثانیه و غنی از اکسیژن و حشرات آبی است، زیست می‌نماید و در رودخانه‌های با شیب کم، کمتر دیده می‌شود (Abdoli, 2011).

عوامل محیطی به‌عنوان نیروی قدرتمند در شکل‌دهی ریخت موجودات در طی فرآیند فردزایی (تکامل فردی) شناخته شده است (Costa & Cataudella, 2007) و ماهیان قادرند برای ادامه حیات با شرایط مختلف محیطی سازگار شوند (Nacua et al., 2010). شکل بدن شاخصی مهم برای رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه در ماهیان است (Webb, 1982). از این‌رو، شکل بدن نه تنها انعکاس‌دهنده ویژگی‌های ژنتیکی است، بلکه می‌تواند منعکس‌کننده وضعیت محیط زندگی و زیستگاه ماهی نیز باشد (Guill et al., 2003). برای مثال، ماهیانی که در آب جاری مثل رودخانه زیست می‌کنند دارای

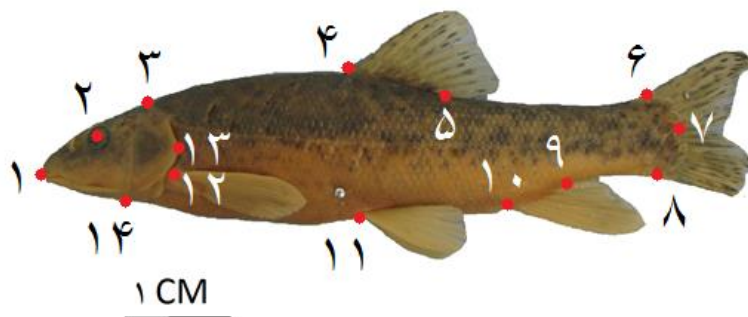
بدنی دوکی شکل و ماهیان آب‌های ساکن دارای بدنی پهن و فشرده از دو طرف هستند (Ostrand et al., 2001; Haas et al., 2011). ماهیان یک گونه به واسطه جداسازی زیستگاه جمعیت‌های متفاوتی را تشکیل می‌دهند. در واقع به‌واسطه ویژگی‌های آن محیط، طی فرآیند سازگاری دچار تغییرات ریختی متفاوتی شده، از سایر جمعیت‌های آن گونه متمایز می‌شوند (Wootton, 1991). چنین وضعیتی ممکن است در مورد ماهیان رودخانه‌های مختلف حوضه‌های دجله، خزر و ارومیه از جمله ماهی بلیزم که از یکدیگر جدا شده‌اند، نیز مشاهده شود. با توجه به وضعیت پراکنش بلیزم در رودخانه‌های مختلف حوضه‌های خزر، دجله و ارومیه، این پرسش مطرح است که آیا شکل بدن گونه‌های مختلف این جنس در توده‌های آبی این حوضه‌ها آنقدر تغییر یافته است که بتواند به عنوان الگویی از تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت، تحت تأثیر عوامل محیطی در نظر گرفته شود. از این‌رو، این بررسی با هدف مقایسه شکل بدن گونه‌های مختلف این ماهی در حوضه‌های دجله، خزر و ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

طی تیر، مرداد و شهریورماه ۱۳۸۸ و تیر و مردادماه ۱۳۸۹ تعداد ۱۲۸ قطعه بلیزم شامل ۵۵ قطعه از حوضه دجله، ۳۹ قطعه از حوضه ارومیه و ۳۴ قطعه از حوضه خزر با استفاده تورهای پرتابی، پره و دام صید شد. نمونه‌های صید شده پس از بیهوشی در محلول گل میخک، در فرمالین ۱۰٪ تثبیت و سپس برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه ماهی‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند. این نمونه‌ها به شماره در موزه ماهی‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان ثبت شده‌اند. روش ریخت‌سنجی هندسی، روشی بر پایه مختصات لندمارک‌هاست که برای بررسی تغییرات شکل نمونه‌های مطالعه شده، استفاده می‌گردد (Adams et

که حداکثر تغییرات و جنبه‌های مخفی تفاوت‌های شکلی احتمالی بین دو گروه مورد مطالعه را نشان دهند، از روش PCA استفاده شد. مؤلفه‌های اصلی حاصله از این روش در واقع ترکیبات خطی متغیرهای اولیه هستند (Hammer, 2012). با استفاده از آنالیز پروکراست (Zelditch, 2004)، تغییرات غیر شکلی (اندازه، جهت و موقعیت) لندمارک‌ها حذف شد. سپس داده‌های به دست آمده از شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیزهای چندمتغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تجزیه همبستگی کانونی (CVA) با استفاده از نرم‌افزار PAST نسخه ۲/۱۷ تحلیل شدند. مصورسازی تغییرات شکل بدن میانگین جمعیت‌ها نسبت به شکل میانگین کل (Consensus Configuration)، با نرم‌افزار TpsSpline نسخه ۱/۱۸، در شبکه تغییر شکل انجام شد. در این مطالعه برای ترسیم شکل‌های گرافیکی از نرم‌افزار MorphoJ نسخه ۱/۰۲ استفاده شد. این مقایسه بر اساس فاصله پروکراست است که سنجش استاندارد در بررسی تفاوت شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی است (Rohlf, 2001). شبکه تغییر شکل برای توصیف تغییرات شکل میان فرم‌های زیستی بوده، که در آن یک شکل مرجع مطابق با شکل هدف تغییر می‌کند (Adams et al., 2004).

al., 2004). به‌طور معمول، در مطالعات ریخت‌سنجی سنتی آنالیزهای آماری چندمتغیره برای بررسی مجموعه‌ای از داده‌های فاصله‌ای از قبیل طول، عرض و ارتفاع به‌کار برده می‌شود. ولی در روش ریخت‌سنجی هندسی داده‌های حاصل، مختصات لندمارک‌هاست که برای استخراج داده‌های شکل استفاده می‌شوند. این داده‌های شکل می‌توانند در یک شبکه تغییر شکل (Deformation grid) مصورسازی گردند (Adams et al., 2004). از نیم‌رخ چپ تمامی ماهیان با استفاده از دوربین دیجیتال مدل SI50 Canon با قدرت تفکیک‌پذیری هشت مگاپیکسل نصب‌شده بر روی پایه مخصوص، عکس‌برداری به‌عمل آمد. برای استخراج داده‌های شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی تعداد ۱۴ لندمارک هم‌ساخت بر روی نمونه‌ها انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 (Rohlf, 2010) بر روی تصاویر دوبعدی قرار داده و رقمی‌سازی شده و فایل‌های tps از آن‌ها تهیه گردید (شکل ۱). روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست (Generalised Procrustes Analysis) و حذف تغییرات غیرشکل (شامل مقیاس، جهت و موقعیت) با نرم‌افزار TpsRelw انجام شد (Zelditch, 2004). به‌منظور یافتن متغیرهای فرضی (مؤلفه‌های اصلی)



شکل ۱. لندمارک‌های تعیین شده بر روی نمونه ماهیان: ۱- جلوترین بخش فک بالا، ۲- مرکز حدقه چشم، ۳- انتهای سر فراپس‌سری، ۴- ابتدای باله پشتی، ۵- انتهای باله پشتی، ۶- لبه بالایی قاعده باله دم، ۷- انتهای خط جانبی، ۸- لبه پایینی قاعده باله دم، ۹- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۰- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۱- ابتدای باله شکمی، ۱۲- ابتدای قاعده باله سینه‌ای، ۱۳- انتهای خلفی سرپوش آبششی، ۱۴- انتهای زیرین سرپوش آبششی

نتایج

شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰ و ۱۱ مشاهده شد. تغییرات شکل در طول محور متغیر کانونی دوم از افراد انتهایی منفی محور به سمت افراد انتهایی مثبت مؤلفه اول نشان‌دهنده کوچک‌تر شدن طول سر می‌باشد. بیشترین جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک‌ها در متغیر کانونی دوم نسبت به شکل میانگین در لندمارک‌های شماره ۱، ۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ مشاهده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی حاضر نشان داد که شکل بدن جمعیت‌های مطالعه‌شده تغییر یافته است و این امر جدایی ریختی وابسته به زیستگاه را در جمعیت‌های بلیزم در حوضه‌های دجله، خزر و ارومیه آشکار ساخت. در بسیاری از مطالعات نیز سازگاری به زیستگاه‌های متفاوت دلیل تفاوت شکل بدن بیان شده است (Hendry *et al.*, 2002; Robinson & Wilson 1994; Langerhans *et al.*, 2010; McGuigan *et al.*, 2003; Nacua *et al.*, 2010; Haas *et al.*, 2001). نتایج همچنین، تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت شکل بدن جمعیت‌های مختلف بلیزم را تحت تأثیر شرایط محیطی رودخانه‌های محل زیست در حوضه‌های خزر، ارومیه و دجله نشان داد و نشان می‌دهد که ویژگی‌های زیستگاهی همراه با جدایی جغرافیایی از عوامل تعیین‌کننده تغییرات تکاملی است که منجر به تغییر ویژگی‌های ریختی ماهیان موجود در آن می‌شود. تفاوت‌های ریختی در موجودات چنانچه بتواند به صورت یک عملکرد در نتیجه سازگاری تفسیر گردد، می‌تواند با اهمیت باشد. در اکوسیستم‌های آبی چنین سازگاری‌هایی در نتیجه نیاز به سازش با نیروهای هیدرودینامیکی برای حفظ انرژی طی رفتارهای زیستی مرتبط است (Vogel, 1994; Nacua *et al.*, 2010).

بلیزم در آب‌های با جریان زیاد زیست می‌کند و در چنین آب‌هایی برای برآوردن نیازهای زیستی خود نیازمند شنای فعال است (Lusk, 1949; Huet,

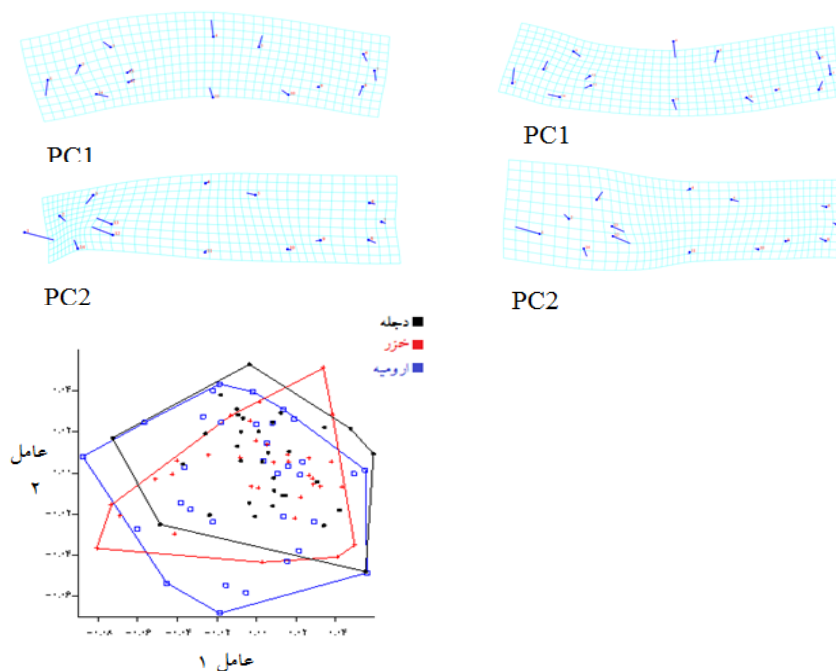
تحلیل داده‌ها به مؤلفه‌های اصلی (PCA) منجر به استخراج دو مؤلفه اصلی شد. دو مؤلفه اول و دوم ۶۰/۹۶٪ واریانس کل را تشکیل می‌دهند (به ترتیب ۳۷/۶۸٪ و ۲۳/۲۸٪). هم‌پوشانی زیادی بین جمعیت‌های ماهی بلیزم در سه حوضه وجود داشته (شکل ۲) و قابل تفکیک نیستند. در طول محور مؤلفه اول بیشترین تغییرات مشاهده شده در نوک پوزه، طول باله پشتی و طول باله مخرجی بود. بیشترین جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک‌ها نسبت به شکل میانگین در لندمارک‌های شماره ۱، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۱ مشاهده شد. در طول محور مؤلفه دوم بیشترین تغییرات شکل در سر ماهی و موقعیت باله سینه‌ای بود. از انتهایی منفی به سمت انتهایی مثبت محور مؤلفه دوم اندازه سر بزرگ‌تر می‌شود. بیشترین جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک‌ها نسبت به شکل میانگین در لندمارک‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ مشاهده شد.

تحلیل متغیرهای کانونی فرض جدا بودن جمعیت‌های مورد مطالعه، با کاهش واریانس درون گروهی و افزایش واریانس بین گروه‌ها، ارتباط بین جمعیت‌های مورد مطالعه و میزان تفاوت آنها را بهتر نشان داد. پراکنش نقاط جمعیت‌های مورد مطالعه بر روی CV1 و CV2 در شکل ۳ نشان داده شده است. این دو متغیر کانونی در مجموع ۵۹/۶۳٪ درصد را شامل می‌شوند که از این میان ۳۶/۵۹٪ متعلق به CV1 و ۲۳/۰۴ درصد متعلق به CV2 بود. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود جمعیت‌های هر سه حوضه تا حدود زیادی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. تغییرات شکل در طول محور متغیر کانونی اول از افراد انتهایی منفی محور به سمت افراد انتهایی مثبت مؤلفه اول نشان‌دهنده کمتر شدن ارتفاع بدن، کوتاه‌تر شدن باله مخرجی و کوتاه شدن باله پشتی بود. بیشترین جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک‌ها در متغیر کانونی اول نسبت به شکل میانگین در لندمارک‌های

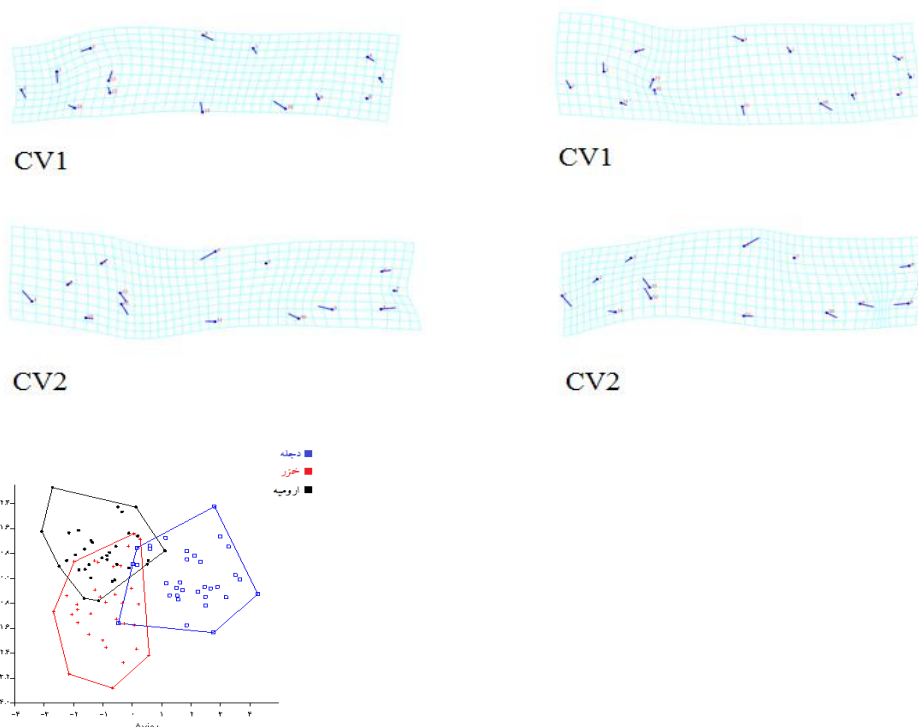
حدودی ارتباط بین فاصله جغرافیایی و تمایز ریختی را نشان داد. تفاوت ریختی به واسطه سازگاری‌های محیطی می‌تواند نیازمند انعکاس در ژن نباشد بلکه این تغییرات ممکن است در نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی و رفتاری باشد (Dynes *et al.*, 1999). چنین فرآیندی می‌تواند به ظهور یک زیرجمعیت از جمعیت اصلی منجر گردد (Booke, 1981).

شکل بدن جمعیت‌های مطالعه‌شده در سه حوضه خزر، ارومیه و دجله تغییراتی یافته است و این امر احتمالاً جدایی ریختی وابسته به زیستگاه را در جمعیت‌های بلیزم نشان می‌دهد. این تغییرات همچنین می‌تواند تا حدودی ناشی از فاصله جغرافیایی بوده و انعکاس ژن نباشد بلکه در نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی و رفتاری باشد. چنین فرآیندی می‌تواند به ظهور یک زیرجمعیت از جمعیت اصلی منجر گردد. از این رو نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که هر یک از سه جمعیت این گونه باید به‌عنوان یک ذخیره مجزا که فرآیند تکاملی در آن در جریان است، در نظر گرفته شود.

شکل بدن همچنین می‌تواند در موفقیت تغذیه و اجتناب از شکارچی نیز مؤثر باشد (Langerhans & Reznick, 2010). از این رو تفاوت شکل سر و ساختارهای آن و تغییر جایگاه باله سینه‌ای در نمونه‌ها احتمالاً مربوط به رفتار و نوع تغذیه است. Abdoli (2000) بیان نمود که بلیزم از حشراتی مانند پلکوپتر، افمروپترا و شیرونومیدها تغذیه می‌کند ولی Banarescu *et al.* (2003) بیان کرد که بلیزم از جلبک تغذیه می‌کند. از این رو این احتمال وجود دارد که راهکار تغذیه‌ای جمعیت‌های مختلف متفاوت باشد. Hendry *et al.* (2002) علت تفاوت در اندازه سر و موقعیت چشم در ماهی سه خار (*Gasterosteus aculeatus*) را در تفاوت نحوه تغذیه بیان نمودند. همچنین در این ماهیان تغییر جایگاه باله سینه‌ای ممکن است برای افزایش قدرت مانور در مسیر جریان آب باشد. به هر حال بررسی ارتباط حضور شکارچیان و نحوه تغذیه با شکل بدن جمعیت‌های بلیزم در حوضه‌های مختلف در پژوهش‌های آتی توصیه می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر همان‌طور که Langerhans *et al.* (2003) پیشنهاد نمودند، تا



شکل ۲. شکل گرافیکی مؤلفه‌های اول و دوم و پراکنش عامل اول به عامل دوم



شکل ۳. شکل گرافیکی متغیرهای کانونی اول و دوم و پراکنش متغیر کانونی اول به متغیر کانونی دوم

مهندس علی میرزایی که در نمونه‌برداری ما را یاری نمودند و از سرکار خانم مهندس الهام حقیقی که در اجرای این مطالعه به ما کمک کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این پژوهش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان، تأمین شده است. همچنین از آقایان مهندس منوچهر نصری، مهندس ابوالفضل روزدار و

REFERENCES

- Abdoli, A.; (2000). The inland water fishes of Iran: Tehran; Nature and Wildlife Museum of Iran; (In Persian).
- Adams, DC.; Rohlf, FJ. Slice, DE.; (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Ital J Zool*; 71: 5-16.
- Banarescu, PM.; Bogutskaya, NG. (Eds.); (2003). The Freshwater Fishes of Europe. Volume 5/II. Cyprinidae 2. Part II: *Barbus*: Wiebelsheim, AULA-Verlag.
- Booke, HE.; (1981). The conundrum of the stock concept-Are nature and nurture definable in fishery science? *Canad J Fish Aqua Sci*; 38: 1479-1480.
- Coad, BW.; (2018). Freshwater fishes of Iran. Retrieved from <http://www.briancoad.com>. On: 10 November 2018.
- Costa, C.; Cataudella, S.; (2007). Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central tyrrhenian Sea). *Env Biol Fish*; 78: 115-123.
- Dynes, J.; Magnan, P.; Bernatchez, L.; Rodriguez, MA.; (1999). Genetic and morphological variation between two forms of lacustrine brook charr. *J Fish Biol*; 54: 955-972.
- Guill, JM.; Hood, CS.; Heins, DC.; (2003). Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). *Ecol Freshw Fish*; 12: 134-140.
- Haas, TC.; Blum, MJ.; Heins, DC.;

- (2011). Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biol Let*; 6: 803-806.
- Hammer, Q.; (2012). PAST: Paleontological Statistics: Oslo, Natural History Museum University of Oslo.
- Hendry, AP.; Taylor, EB.; McPhail, JD.; (2002). Adaptive divergence and the balance between selection and gene flow: lake and stream stickleback in the misty system. *Evolution*; 56: 1199-1216.
- Huet, M.; (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizer Zeits fur Hydrol*; 11: 332-351.
- Jalili, P.; Eagderi, S.; Nikmehr, N.; Keivany, Y.; (2015). Descriptive osteology of *Barbus cyri* (Teleostei: Cyprinidae) from southern Caspian Sea basin. *Iran J Ichthyol*; 2(2): 105-112
- Keivany, Y.; Nasri, M.; Abbasi, K.; Abdoli, A.; (2016). Atlas of Inland Water Fishes of Iran: Tehran, Iran Department of Environment.
- Langerhans, RB.; Reznick, DN.; (2010). Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. In: Fish locomotion: an ecoethological perspective (eds. Domenici P, Kapoor BG) Enfield, Science Publishers Inc; 200-248.
- Langerhans, RB.; Layman, CA.; Langerhans, AK.; DeWitt, TJ.; (2003). Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biol J Lin Soc*; 80: 689-698.
- Lusk, S.; (1995). Influence of valley dams on the changes in fish communities inhabiting streams in the Dyje drainage area. *Fol Zool*; 44: 45-56.
- McGuigan, K.; Franklin, CE.; Moritz, C.; Blows, MW.; (2003). Adaptation of rainbow fish to lake and stream habitats. *Evolution*; 57: 104-118.
- Motamedi, M.; Madjdzadeh, SM.; Teimori, A.; Esmaeili, HR.; Mohsenzadeh, S.; (2014). Morphological and Molecular Perspective on Geographical Differentiation of *Barbus* Populations (Actinopterygii; Cyprinidae) within Iranian Freshwater Drainages. *Turk J Fish Aquat Sci*; 14: 339-351.
- Nacua, SS.; Dorado, EL.; Torres, MAJ.; Demayo, CG.; (2010). Body shape variation between two populations of the white goby, *Glossogobius giuris*. *Res J Fish Hydrobiol*; 5: 44-51.
- Ostrand, KG.; Wilde, GR.; Strauss, RE.; Young, RR.; (2001). Sexual dimorphism in plains minnow, *Hybognathus placitus*. *Copeia*; 2: 563-565.
- Robinson, BW.; Wilson, DS.; (1994). Character release and displacement in fishes: a neglected literature. *Am Nat*; 144: 596-627.
- Rohlf, FJ.; (2001). Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric interpretations. *Evolution*; 55: 2143-2160.
- Vogel, S.; (1994). Life in moving fluids, 2nd ed.: Princeton, Princeton University Press.
- Webb, PW.; (1982). Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. *Am Zool*; 22: 329-342.
- Wootton, R.J.; (1991). Ecology of teleost fishes: London, Chapman and Hall Ltd.
- Zelditch, M.; (2004). Geometric morphometrics for biologists: a primer. New York, Academic Press.