

The Morphological Variation of Four Population of Urmia Kingfish (*Alburnus atropatenae*) in Urmia Lake Basin Using Geometric Morphometric Technique

Soheil Eagderi^{1*}, Fatemeh Moshaiedi²,
Manoochehr Nasri³

1. Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box 4314, Karaj, Iran
2. M. A., Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box 4314, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Fisheries Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Lorestan, Iran

(Received: Apr. 29, 2014 - Accepted: Apr. 14, 2019)

بررسی تنوع ریختی چهار جمعیت شاه کولی ارومیه (*Alburnus atropatenae*) در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

سهیل ایگدری^{۱*}، فاطمه مشیدی^۲، منوچهر نصری^۳

۱. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۲. کارشناس ارشد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۵)

Abstract

This study was conducted to survey the morphological variation in four populations of the Urmia kingfish (*Alburnus atropatenae*) using geometric morphometric technique. A total number of 163 specimens were collected from four rivers of the Urmia Lake basin including the Baneh, Saghezchai, Siminehrood and Zarinerood by electrofishing. The left side of specimens were photographed using a digital camera. Then fifteen homologous landmark points were selected and digitized on 2D pictures using tpsDig2 software. Landmark data after GPA, analyzed using PCA, CVA with obtained P-value from permutation test and cluster analysis. The patterns of population's body shape were illustrated in relation to consensus configuration of all specimens. The results showed a significant differences between the body shapes of studied populations. Based on cluster analysis, the studied populations according to their body shape were divided into Baneh clad and Saghezchai, Siminehrood and Zarinerood clade. The Baneh, Saghezchai, and Siminehrood populations have deeper body and are distinguishable due to smaller head, posterior position of eye and shorter base of dorsal fin, respectively and Zarinerood population was differentiable due to a more fusiform body shape and less body depth. These morphological differences can display ongoing evolutionary trends of studied populations as result of environmental conditions of their habitats and geographical isolation.

Keywords: Geometric Morphometrics, Phenotypic Plasticity, Urmia Lake Basin, Urmia Kingfish.

چکیده

مطالعه حاضر به منظور بررسی تنوع ریختی چهار جمعیت شاه کولی ارومیه (*Alburnus atropatenae*)، با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی انجام شد. برای این منظور، تعداد ۱۶۳ نمونه از چهار رودخانه حوضه ارومیه شامل رودخانه‌های بانه، سقزچای، سیمینه‌رود و زرینه‌رود با استفاده از الکتروشوک نمونه‌برداری شدند. برای استخراج داده‌های شکل از سمت چپ نمونه تصاویر دوبعدی تهیه شد. سپس تعداد ۱۵ لندمارک هم‌ساخت تعریف و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی نمونه‌ها رقمی شدند. داده‌های لندمارک پس از روی هم‌گذاری بر اساس آنالیز پروکراست با استفاده از تحلیل‌های PCA، CVA با ارزش P حاصل از Permutation test و Cluster Analysis مورد بررسی قرار گرفتند. میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل، مصورسازی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر شکل بدن بین جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد. بر اساس تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، جمعیت‌های مورد مطالعه بر اساس شکل بدن به دو خوشه شامل خوشه رودخانه بانه و خوشه رودخانه‌های سقزچای، سیمینه‌رود و زرینه‌رود تقسیم شدند. بر این اساس جمعیت‌های بانه، سیمینه‌رود و سقزچای با بدنی پهن و به ترتیب به واسطه سر کوچکتر، موقعیت عقبی چشم‌ها و طول قاعده باله پشتی کمتر و جمعیت زرینه‌رود به واسطه بدنی دوکی‌شکل با عمق کمتر قابل تفکیک باشند. این تفاوت‌های ریختی می‌تواند بیانگر تکامل در حال پیشرفت جمعیت‌های این گونه، تحت تأثیر شرایط محیطی رودخانه‌های محل زیست و جدایی جغرافیایی باشد.

واژه‌های کلیدی: انعطاف‌پذیری ریختی، حوضه ارومیه، ریخت‌سنجی هندسی، شاه کولی ارومیه.

مقدمه

هندسی در مورد برخی ماهیان ایران نیز بخوبی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان به مطالعه اثرات فاکتورهای محیطی بر انعطاف‌پذیری ریختی سس‌ماهی کورا (Radkhah *et al.*, 2015)، مطالعه انعطاف‌پذیری ریختی شاه‌کولی جنوبی (Hasanpoor *et al.*, 2015) و تمایز ریختی ماهیان واسپی در سیستان و بلوچستان (Zamani-Faradonbeh *et al.*, 2014) اشاره کرد.

شاه‌کولی ارومیه (*Alburnus atropatena*)، با داشتن یک کیل شکمی کوتاه و برهنه، از سایر گونه‌های جنس *Alburnus* قابل تمایز است. در این گونه، طول پوزه برابر با طول آرواره بالاست و نسبت آن به قطر چشم طول بیشتری دارد. این گونه همچنین دارای یک فلس زیربغلی در قاعده باله شکمی است و خارهای آبششی آن نوک‌تیز و کوتاه است (کوتاه‌تر از نصف عرض چشم). این گونه، بومی حوزه دریاچه ارومیه بوده و در رودخانه‌های تلخه‌رود، زربینه‌رود، اوزبند، کاظم‌چای و سیمینه‌رود یافت می‌شود (Abdoli, 2016; Keivany *et al.*, 2016). این گونه آب شیرین در قسمت‌های میانی رودخانه‌ها با بستر قله‌سنگی زیست کرده و دمای متوسط ۱۵ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کند. تغذیه این گونه از حشرات آبی، سخت‌پوستان و کرم‌ها و جلبک‌های رشته‌ای بوده و در واقع همه‌چیزخوار است (Coad, 2018).

در رابطه با ریخت‌شناسی گونه‌های مختلف جنس *Alburnus* با استفاده از روش‌های سنتی، مطالعات متعددی انجام شده است (Rahmani & Kiabi, 2006; Bagherian & Rahmani, 2007, 2009; Mohadasi *et al.*, 2013). اما تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بین جمعیت‌های مختلف شاه‌کولی ارومیه صورت نگرفته است. با توجه به پراکنش گسترده شاه‌کولی ارومیه در حوضه دریاچه ارومیه، این پرسش مطرح است که آیا شکل بدن جمعیت‌های مختلف آن در توده‌های آبی

ماهیان قادرند برای ادامه حیات با شرایط مختلف محیطی سازگار شوند (Langerhans & Reznick, 2010; Nacua *et al.*, 2010). مطالعه ماهیان پهلوونقره‌ای در سواحل فلوریدا نشان داد که ماهیان ساکن مناطق با شوری‌های متفاوت، هم از نظر ریختی و هم ژنتیکی تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای را کسب می‌کنند (O'leary *et al.*, 2016). یکی از شاخصه‌های مهم که در نتیجه سازگاری بر اثر جدایی زیستگاه در ماهیان به وقوع می‌پیوندد، تفاوت در شکل بدن است (Webb, 1984; Marcil *et al.*, 2006; Langerhans & Reznick, 2010). در واقع شکل بدن نه تنها انعکاس‌دهنده ویژگی‌های ژنتیکی، بلکه منعکس‌کننده وضعیت محیط‌زیست و زیستگاه آنها نیز است (Guill *et al.*, 2003; Bruckerhoff & Magoulick, 2017). بنابراین جمعیت‌های ماهیان یک گونه در نتیجه چنین سازگاری‌هایی می‌توانند دچار تغییرات ریختی متفاوتی شده و از سایر جمعیت‌های آن گونه متمایز شوند (Brown & Ehrlich, 1980; Wootton, 1999; Haas *et al.*, 2010) و ویژگی‌های جمعیتی مستقلی را به نمایش بگذارند (Brown & Ehrlich, 1980; Timi *et al.*, 2014). مطالعه اثرات احداث سدهای منجیل و تاریک بر ریخت سیاه‌ماهیان، مؤید تأثیرپذیری ریخت ماهیان از شرایط زیستگاهی است (Heidari *et al.*, 2013). اثرات انزوا و شرایط خاص محیطی حاکم بر ماهیان کور غارزی ایران نشانگر آن است که شرایط محیطی حتی می‌تواند بر روند تکاملی ماهیان نیز اثرگذار باشد (Mousavi-Sabet & Eagderi, 2016). از این‌رو شناخت جمعیت‌های یک گونه از نظر حفاظت و درک روند تکامل آنها به‌عنوان واحدهای تکاملی مهم است. استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی هندسی امروزه بخوبی در شناسایی و تمایز جمعیت‌های ماهیان کاربرد دارد (Vasconcelos *et al.*, 2018). استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی

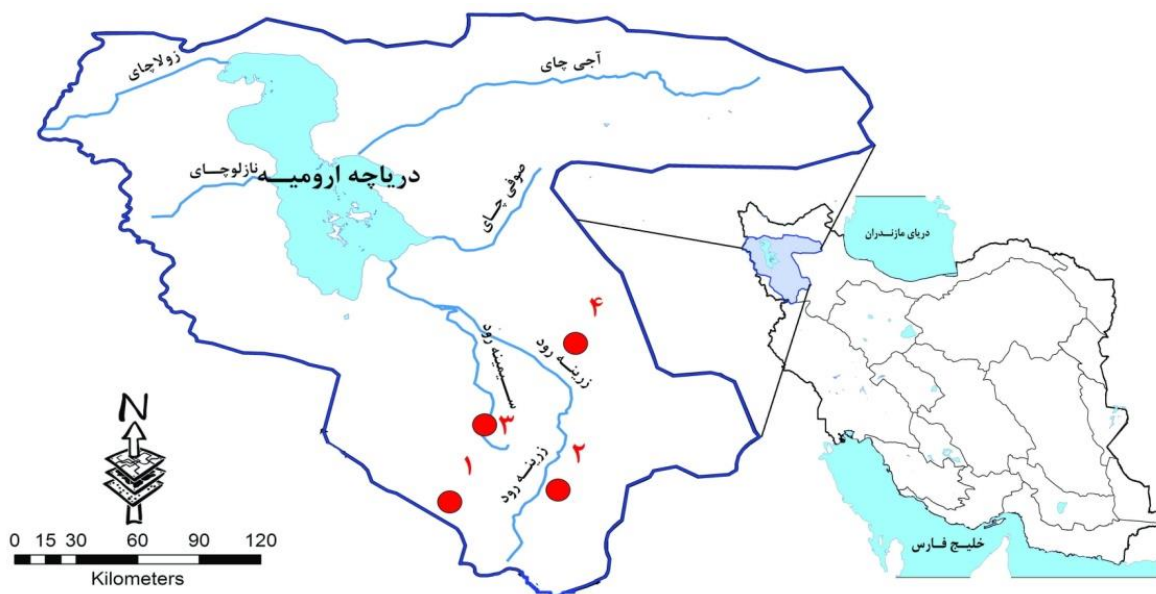
رودخانه بانه (E: 46°01', N: 36°06') متعلق به زیرحوضه زرینه رود-سیمینه رود حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از الکتروشوکر نمونه برداری شدند (شکل ۱). نمونه های صید شده پس از بیهوشی در محلول عصاره گل میخک با غلظت 1 gl^{-1} ، در محلول فرمالین بافری ۴ درصد تثبیت و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل شدند. به منظور حذف اثر رشد آلودگی، تنها نمونه های با طول استاندارد بیش از ۶۰ میلی متر انتخاب شدند.

از نیمرخ چپ تمامی نمونه ها با استفاده از دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل تصاویر دیجیتالی دو بعدی تهیه شد. پس از تعریف تعداد ۱۵ لندمارک هم ساخت بر روی بدن ماهیان به منظور استخراج داده های شکل بدن در روش ریخت سنجی هندسی، با استفاده از نرم افزارهای tpsUtil (Rohlf, 2013) از تصاویر دیجیتالی فایل tps تهیه و تعداد ۱۵ لندمارک تعریف و با استفاده از نرم افزار tpsDig2 (Rohlf, 2010) رقمی شدند (شکل ۲). سپس آزمون همبستگی فواصل پروکراست و تانژانت با استفاده از نرم افزار (tpsSmall 1.20) برای بررسی تناسب داده ها برای انجام تجزیه و تحلیل های آماری انجام شد.

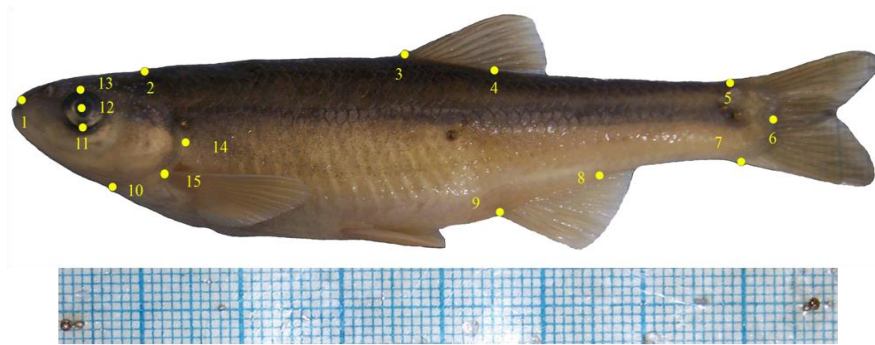
این حوضه تغییر یافته است تا بتواند به عنوان الگوی از تغییر پذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت تحت تأثیر عوامل محیطی در نظر گرفته شود. از این رو، این تحقیق، با هدف پاسخ به این سؤال با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی با نمونه برداری از جمعیت های مختلف این گونه در زیرحوضه زرینه رود- سیمینه رود به عنوان یک سیستم رودخانه ای حوضه دریاچه ارومیه به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق می تواند به درک بهتر پاسخ های ریختی این گونه به شرایط اکولوژیکی زیستگاه آنها کمک کند. به علاوه وجود تمایزهای ریختی در بین جمعیت های مختلف یک گونه می تواند بیانگر تکامل در حال وقوع باشد و همچنین مطالعه این تنوع ریختی بین گونه ای به درک ذخایر قابل تمایز یک گونه در برنامه های مدیریت شیلاتی کمک کند.

مواد و روش ها

برای این مطالعه، چهار جمعیت شاه کولی ارومیه ای شامل ۵۰ قطعه از رودخانه سقزچای (E: 46°17', N: 36°02')، ۳۱ قطعه از رودخانه سیمینه رود (E: 46°10', N: 36°28')، ۳۰ قطعه از رودخانه زرینه رود (E: 46°33', N: 36°39') و ۵۲ قطعه از



شکل ۱. جایگاه های نمونه برداری جمعیت های گونه شاه کولی ارومیه *Alburnus atropatense* در حوضه ارومیه



شکل ۲. لندمارک‌های تعریف‌شده بر روی گونه شاه‌کولی ارومیه (*Alburnus atropatense*) به منظور استخراج داده‌های شکل بدن. ۱- ابتدایی‌ترین بخش فک بالا، ۲- محل اتصال سر به تنه، ۳- ابتدای قاعده باله پشتی، ۴- انتهای قاعده باله پشتی، ۵- لبه بالایی محل اتصال باله دم به دم، ۶- انتهای خط جانبی در قاعده باله دم، ۷- لبه پایینی محل اتصال باله دم به دم، ۸- انتهای قاعده باله مخرجی، ۹- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۰- بخش پایینی شکاف آبششی (لبه پایینی بدن)، ۱۱- لبه پایینی چشم، ۱۲- مرکز چشم، ۱۳- لبه بالایی چشم، ۱۴- انتهای‌ترین بخش سرپوش آبششی، ۱۵- ابتدای قاعده باله سینه‌ای.

جایگاه لندمارک‌های ۱، ۲، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ مربوط به ناحیه سر، موقعیت باله سینه‌ای و سرپوش آبششی و مؤلفه دوم، مربوط به تغییر جایگاه لندمارک‌های ۱، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مرتبط با ناحیه سر، دم و عرض بدن بودند (شکل ۳).

تحلیل همبستگی کانونیک بر اساس ارزش P حاصل از Permutation test، نشان داد که بین جمعیت‌های مورد مطالعه از نظر شکل بدن، تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) وجود دارد (شکل ۳). نمودار CVA همپوشانی بین جمعیت‌های رودخانه‌های سقزچای و سیمینه‌رود را نشان داد و جمعیت‌های رودخانه‌های زرینه‌رود و بانه کاملاً از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۴).

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های شکلی جمعیت‌های مورد مطالعه را در دو خوشه دسته‌بندی کرد (شکل ۵). جمعیت بانه در ۱۰۰ درصد درخت‌های احتمالی در یک گروه جداگانه نسبت به سایر جمعیت‌ها قرار گرفت. مهمترین صفات متمایزکننده این جمعیت شامل کوچک بودن سر، موقعیت عقبی چشم‌ها و افزایش ارتفاع بدن بود. سایر جمعیت‌ها در ۵۹ درصد درخت‌های احتمالی در یک گروه قرار گرفتند که با پشتیبانی ۹۴ درصد درخت‌های ممکن جمعیت‌های

داده‌های حاصل، پس از روی هم‌گذاری بر اساس روش پروکراست (Generlized Procrustus Analysis) برای حذف اثرات اندازه، جهت و موقعیت با استفاده از تحلیل‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونیک (CVA) با ارزش P حاصل از Permutation test با ده هزار تکرار و آنالیز خوشه‌ای داده‌ها بر اساس هزار بار بازنمونه‌گیری در نرم‌افزارهای PAST (Hammer, 2012) و MorphoJ (Klingenberg, 2011) مورد تحلیل قرار گرفتند. میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل اجماع تمامی جمعیت‌ها با استفاده از شبکه تغییر شکل مصورسازی و در مقابل تصاویر نمونه جمعیت‌ها ارائه شد.

نتایج

تحلیل مؤلفه‌های اصلی به منظور بررسی الگوهای متفاوت بالقوه بین جمعیت‌های مورد مطالعه در مجموع تعداد پنج مؤلفه اصلی مؤثر استخراج شد که در مجموع ۷۱/۵ درصد از تغییرات شکل بدن را نشان دادند (جدول ۱). دو مؤلفه اول با مجموع واریانس ۴۰/۴۸ بیشترین درصد بار عاملی را به خود اختصاص دادند. بر این اساس، مؤلفه اصلی اول، مربوط به تغییر

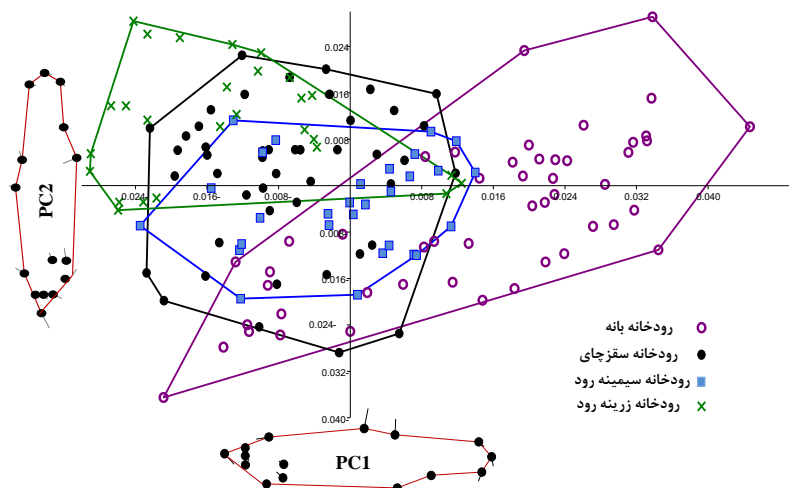
بودن قاعده باله پشتی بود. جمعیت رودخانه زربینه رود بر اساس ارتفاع بدن کمتر، سر بزرگتر، باله خلفی تر و قاعده باله پشتی درازتر متمایز شد (شکل ۶).

سیمینه رود و سقزچای در یک زیرگروه قرار گرفتند. مهمترین صفات متمایزکننده جمعیت‌های سیمینه رود و سقزچای شامل موقعیت شکمی باله سینه‌ای و کوچک‌تر

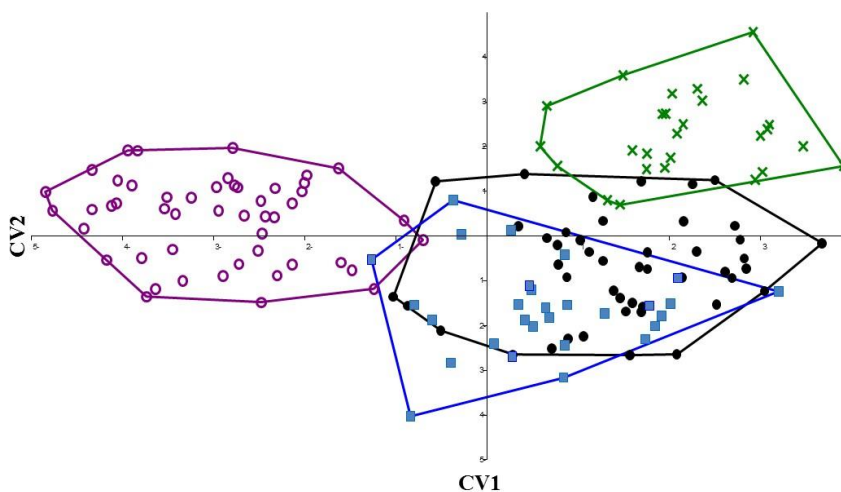
جدول ۱. مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از داده‌های شکل بدن

مؤلفه‌های اصلی	مقدار ویژه	درصد تغییرات
*۱	۰/۰۰۰۲۹	۲۲/۸۸
*۲	۰/۰۰۰۲۱	۱۷/۶۰
۳	۰/۰۰۰۰۱۳	۱۱/۴۱
۴	۰/۰۰۰۰۱۰	۸/۷۵
۵	۰/۰۰۰۰۸۰	۶/۹۱

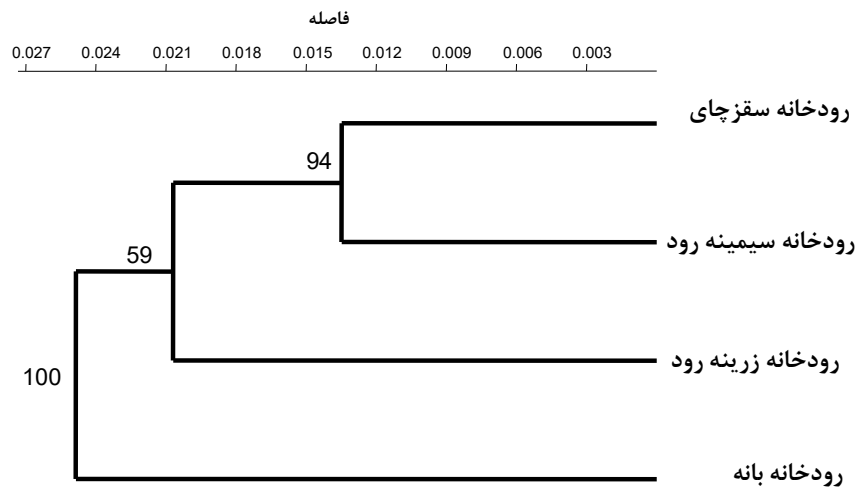
* نشان‌دهنده عوامل معنی‌دار است.



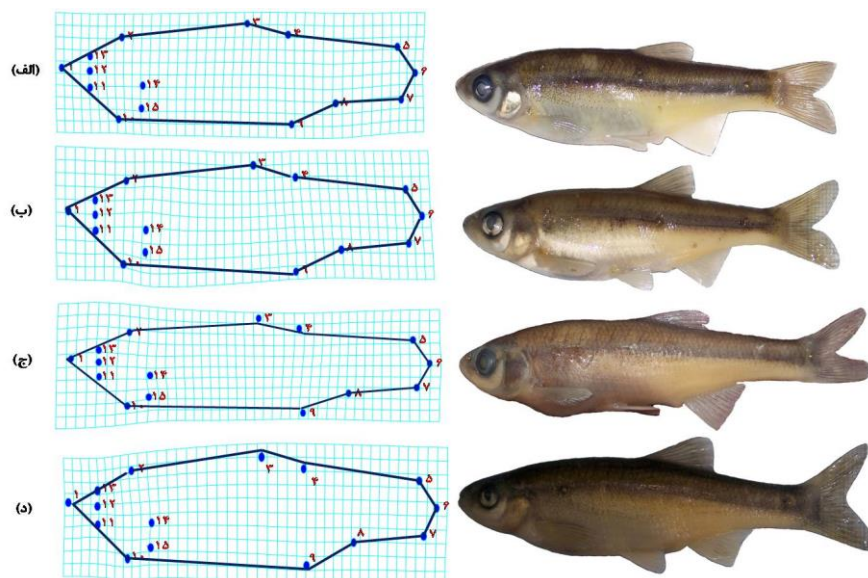
شکل ۳. نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس دو مؤلفه اصلی اول بر اساس شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه شاه کولی ارومیه (نمودارهای Lollipop بیانگر تغییرات مربوط به مؤلفه‌های اول و دوم است).



شکل ۴. نمودار تجزیه همبستگی کانونیک (CVA) جمعیت‌های مورد مطالعه شاه کولی ارومیه بر اساس شکل بدن



شکل ۵. نمودار آنالیز خوشه‌ای جمعیت‌های شاه‌کولی ارومیه مورد مطالعه (۱۰۰۰ بار باز نمونه‌گیری)



شکل ۶. میانگین شکل جمعیت‌های مورد بررسی شاه‌کولی ارومیه نسبت به شکل اجماع تمامی جمعیت‌ها در شبکه تغییر شکل به همراه تصاویر جمعیت‌ها- (الف) سیمینه‌رود، (ب) سقزچای، (ج) زرینه‌رود و (د) بانه.

با جدایی جغرافیایی از عوامل تعیین‌کننده تغییرات تکاملی هستند که به تغییر ویژگی‌های ریختی ماهیان منجر می‌شوند (Eagderi *et al.*, 2013). جدایی جغرافیایی به‌واسطه انعطاف‌پذیری ریختی و تفاوت ژنتیکی می‌تواند منجر به تمایز ریختی بین جمعیت‌های محلی در یک سیستم رودخانه‌ای شود (Hänfling & Brandl, 1998). از این‌رو، وجود تفاوت‌های ریختی در بین جمعیت‌های شاه‌کولی ارومیه می‌تواند بیانگر تکامل در حال پیشرفت در شکل بدن جمعیت‌های این گونه تحت

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری دارند. ساختار جمعیت ماهیان آب شیرین به‌واسطه محدودیت پراکنش و جدایی جغرافیایی در رودخانه‌های مختلف، چرخه‌های حیاتی مختلفی را به نمایش می‌گذارند (Jerry & Cairns, 1998; Langerhans *et al.*, 2003; Helfman *et al.*, 2009). ارتباط فاصله جغرافیایی و تمایز ریختی در ماهیان را گزارش کرده‌اند. ویژگی‌های زیستگاهی همراه

هیدرولوژیکی آنها بود و در این بین رودخانه زرینه رود دارای شدت جریان بیشتری در مقایسه با سه رودخانه دیگر است. بنابراین، ویژگی ریختی ماهیان رودخانه زرینه رود احتمالاً میزان مصرف انرژی را در جریان آب کاهش داده و به ثابت ماندن آن در جریان رودخانه کمک می‌کند. ماهیان رودخانه‌های بانه، سقزچای و سیمینه رود دارای بدنی پهن‌تر هستند. بدن پهن‌تر به منظور مانور سریع برای شنای مداوم مثل یافتن غذا در محیط‌های با جریان کمتر، مفید است (Spoljaric & Reimchen, 2008; Haas et al., 2010). شکل و جایگاه باله‌ها می‌تواند بیانگر تفاوت در توانایی مانور در مسیر جریان آب باشد (Hendry et al., 2002; Nasri et al., 2013; Nasri et al., 2018). از این رو، تفاوت در باله وضعیت باله‌های جمعیت سقزچای می‌تواند ناشی از تفاوت در رفتار شنا و تغذیه‌ای باشد. جمعیت‌های رودخانه‌های زرینه رود و بانه به ترتیب دارای سر بزرگتر و کوچکتر بودند. تغییر شکل در ناحیه سر عمدتاً منعکس کننده تفاوت در تغذیه شامل نوع و جهت تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده است (Langerhans et al., 2003).

نتایج تحقیق حاضر ارتباط بین فاصله جغرافیایی و تمایز ریختی را در یک سیستم رودخانه‌ای نشان داد. تفاوت ریختی به واسطه سازگاری محیطی می‌تواند در نتیجه تغییرات فیزیولوژیک و رفتاری در طی فرایند انعطاف‌پذیری ریختی باشد (Dynes et al., 1999). از آنجایی که چهار جمعیت مورد مطالعه از نظر جغرافیایی مجزا بودند و احتمال جریان ژنی بین آنها اندک است، بنابراین انشقاق آنها می‌تواند به واسطه دریافت ژنی و سایر عوامل مرتبط با انتخاب طبیعی باشد (Samaee & Patzner, 2011). چنین فرایندی می‌تواند به ظهور یک زیر جمعیت از جمعیت اصلی منجر شود (Booke, 1981). از این رو، بر اساس نتایج این تحقیق هر یک از جمعیت‌های این گونه باید به‌عنوان یک ذخیره مجزا که فرایندی تکاملی در آن در جریان است، در نظر گرفته شود.

تأثیر شرایط محیطی رودخانه‌های محل زیست و جدایی جغرافیایی باشد.

از آنجایی که یکی از اهداف این تحقیق، بررسی و مقایسه شکل بدن جمعیت‌های شاه کولی ارومیه در سیستم رودخانه‌ای زرینه رود- سیمینه رود به منظور بررسی تنوع ریختی آنها بود، نتایج توانست تنوع ریختی جمعیت‌های مورد بررسی این گونه را آشکار کند. بر این اساس، جمعیت‌های بانه، سیمینه رود و سقزچای با بدنی پهن و به ترتیب به واسطه سر کوچکتر، موقعیت عقبی چشم‌ها و قاعده باله پشتی کمتر و جمعیت زرینه رود، به واسطه بدنی دوکی شکل با عمق کمتر قابل تفکیک هستند.

شکل بدن علاوه بر این که بیانگر خصوصیات ژنتیکی موجودات است، منعکس کننده شرایط زیستگاهی و پاسخ‌های سازشی موجود زنده با آنها نیز می‌باشد (Vogel, 1994). وجود تفاوت‌های ریختی در ماهیان حتی در یک زیستگاه خاص، می‌تواند نشان دهنده کارایی بیشتر یک ساختار خاص باشد (Elliott et al., 1995; Jerry & Cairns, 1998). عکس این مسئله نیز می‌تواند صادق باشد؛ یعنی برخی ساختارهای خاص در شرایطی ممکن است به دلیل بلااستفاده بودن، حذف شوند مانند ماهیان کور غارزی (Mousavi-Sabet & Eagderi, 2016). تفاوت‌های ریختی بین جانداران چنانچه بتواند به صورت یک عملکرد در نتیجه سازگاری ترجمه شود، می‌تواند اهمیت عملکردی آن ساختار را نشان دهد. ماهیان رودخانه زرینه رود دارای بدنی دوکی شکل و سر بزرگتر هستند. طبق تئوری هیدرودینامیک، بدن دوکی شکل‌تر میزان مصرف انرژی را در جریان آب کاهش می‌دهد و به ثابت ماندن بدن در جریان رودخانه‌ها کمک می‌کند (Webb, 1984; Vogel, 1994). مطالعه Cyprinion های ایران نیز مؤید این موضوع است (Nasri et al., 2016). تمامی اکوسیستم‌های مورد بررسی، سیستم‌های رودخانه‌ای بودند و تفاوت آنها در شدت جریان و شرایط

REFERENCES

- Abdoli, A. (2016). *The inlandwater fishes of Iran*, 1. Iran-Shenasi. Tehran.
- Bagherian, A.; Rahmani, H. (2007). Morphological differentiation between two populations of the Shemaya, *Chalcalburnus chalcoides*: a geometrical morphometric approach. *Zoology in the Middle East*; 40: 53-62.
- Bagherian, A.; Rahmani, H. (2009). Morphological discrimination between two populations of shemaya, *Chalcalburnus chalcoides* (Actinopterygii, Cyprinidae) using a truss network. *Animal Biodiversity and Conservation*; 32(1): 1-8.
- Booke, H. E. (1981). The Conundrum of the Stock Concept-Are Nature and Nurture Definable in Fishery Science? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*; 38(2): 1479-1480.
- Brown, I.L.; Ehrlich, P.R. (1980). Population biology of the checkerspot butterfly, *Euphydryas chalcedona* structure of the Jasper Ridge colony. *Oecologia*; 47(2): 239-251.
- Bruckerhoff, L.A.; Magoulick, D.D. (2017). Hydrologic regimes as potential drivers of morphologic divergence in fish. *Evolutionary Ecology*; 31(4): 517-531.
- Coad, B.W. (2018). *Freshwater fishes of Iran*. www.briancoad.com. accessed (23 Feb) 2018.
- Dynes, J.; Magnan, P.; Bernatchez, L.; Rodriguez, M.A. (1999). Genetic and morphological variation between two forms of lacustrine brook charr. *Journal of Fish Biology*; 54(5): 955-972.
- Eagderi, S.; Esmaeilzadegan, E.; Maddah, A. (2013). Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. *Taxonomy and Biosystematics*; 5(14): 1-8 (in Farsi with an English abstract).
- Elliott, N.G.; Haskard, K.; Koslow, J.A. (1995). Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of southern Australia. *Journal of Fish Biology*; 46(2): 202-220.
- Guill, M.J.; Hood, C.S.; Heins, D.C. (2003). Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). *Ecology of Freshwater Fish*; 12(2): 134-140.
- Haas, T.C.; Blum, M.J.; Heins, D.C. (2010). Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biology Letters*: 1-4.
- Hammer, Ø. (2012). *PAST: Paleontological Statistics*. Natural History Museum University of Oslo. Oslo.
- Hänfling, B.; Brandl, R. (1998). Genetic and morphological variation in a common European cyprinid, *Leuciscus cephalus* within and across Central European drainages. *Journal of Fish Biology*; 52: 706-715.
- Hasanpoor, S.; Eagderi, S.; Nasri, M.; Roshan, S.J. (2015). Phenotype plasticity analysis of *Alburnus mossulensis* Heckel, 1843 from Tigris basin using Geometric morphometrics. *Journal of Fisheries*; 9(1): 63-73 (in Persian).
- Heidari, A.; Mousavi-Sabet, H.; Khoshkholgh, M.; Esmaeili, H.R.; Eagderi, S. (2013). The impact of Manjil and Tarik dams (Sefidroud River, southern Caspian Sea basin) on morphological traits of Siah Mahi *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae). *International Journal of Aquatic Biology*; 1(4): 195-201.
- Helfman, G.S.; Collette, B.B.; Facey, D.E.; Bowen, B.W. (2009). *The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology*, 2. Wiley-Blackwell. .
- Hendry, A.P.; Taylor, E.B.; McPhail, J.D. (2002). Adaptive divergence and the balance between selection and gene flow: lake and stream stickleback in the Misty system. *Evolution*; 56(6): 1199-1216.
- Jerry, D.R.; Cairns, S.C. (1998). Morphological variation in the catadromous Australian bass, from

- seven geographically distinct riverine drainages. *Journal of Fish Biology*; 52(4): 829-843.
- Keivany, Y.; Nasri, M.; Abbasi, K.; Abdoli, A. (2016). *Atlas of Inland Water Fishes of Iran*, 1. Iran Department of Environment, (in Persian).
- Klingenberg, C.P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*; 11: 353-357.
- Langerhans, R.B.; Layman, C.A.; Langerhans, A.K.; Dewitt, T.J. (2003). Habitat-associated morphological divergence in two neotropical fish species. *Biological journal of the Linnean Society*; 80(4): 689-698.
- Langerhans, R.B.; Reznick, D.N. (2010). Ecology and Evolution of Swimming Performance in Fishes: Predicting Evolution with Biomechanics. In: Domenici, P and Kapoor, BG (eds.), *Fish Locomotion: An Etho-Ecological Perspective*, Science Publishers, pp. 200-248.
- Marcil, J.; Swain, D.P.; Hutchings, J.A. (2006). Genetic and environmental components of phenotypic variation in body shape among populations of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Biological Journal of the Linnean Society*; 88(3): 351-365.
- Mohadasi, M.; Shabanipour, N.; Eagderi, S. (2013). Habitat-associated morphological divergence in four Shemaya, *Alburnus chalcoides* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in the southern Caspian Sea using geometric morphometrics analysis. *International Journal of Aquatic Biology*; 1(2): 82-92.
- Mousavi-Sabet, H.; Eagderi, S. (2016). *Garra lorestanensis*, a new cave fish from the Tigris River drainage with remarks on the subterranean fishes in Iran (Teleostei: Cyprinidae). *FishTaxa*; 1(1): 45-54.
- Nacua, S.S.; Dorado, E.L.; Torres, M.A.J.; Demayo, C.G. (2010). Body Shape Variation between Two Populations of the White Goby, *Glossogobius giuris* (Hamilton and Buchanan). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*; 5(1): 44-51.
- Nasri, M.; Eagderi, S.; Farahmand, H. (2016). Descriptive and comparative osteology of Bighead Lotak, *Cyprinion milesi* (Cyprinidae: Cypriniformes) from southeastern Iran. *Vertebrate Zoology*; 66(3): 251-260.
- Nasri, M.; Eagderi, S.; Farahmand, H.; Hashemzade-SegharLoo, I. (2013). Body shape comparison of *Cyprinion macrostomum* (Heckel, 1843) and *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) using geometric morphometric method. *International Journal of Aquatic Biology*; 1(5): 240-244.
- Nasri, M.; Eagderi, S.; Keivany, Y.; Farahmand, H.; Dorafshan, S.; Nezhadheydari, H. (2018). Morphological diversity of *Cyprinion* Heckel, 1843 species (Teleostei: Cyprinidae) in Iran. *Iranian Journal of Ichthyology*; 5(2): 96-108.
- O'leary, S.J.; Martinez, C.M.; Baumann, H.; Abercrombie, D.L.; Poulakis, G.R.; Murray, C.H.; Feldheim, K.A.; Chapman, D.D. (2016). Population genetics and geometric morphometrics of the Key silverside, *Menidia conchorum*, a marine fish in a highly fragmented, inland habitat. *Bulletin of Marine Science*; 92(1): 1-19.
- Radkhah, A.; Poorbagher, H.; Eagderi, S.; Nasri, M. (2015). The environmental factors influencing the phenotypic plasticity of *Barbus lacerata* (Heckel, 1843) in the Zarrineh River, the Urmia Lake basin. *Journal of Fisheries (Iranian Journal of Natural Resources)*; 68(4): 521-531 (in Persian).
- Rahmani, H.; Kiabi, B.H. (2006). Inter-Population Morphological Diversity in *Chalcalburnus chalcoides* (Gueldenstaedt, 1772) in Haraz and Gzafrud Rivers. *Journal of Environmental Sciences*; 10(4): 21-34 (in Persian).
- Rohlf, F.J. (2010). TpsDig2–Thin Plate

- Spline Digitise. 2.16. New York. State University of New York.
- Rohlf, F.J. (2013). tpsUtil (tps utility program). 1.58. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Samaee, S-M.; Patzner, R.A. (2011). Morphometric differences among populations of *Tu ini*, *Capoeta damascina* (Teleostei: Cyprinidae), in the interior basins of Iran. *Journal of Applied Ichthyology*; 27: 928-933 (English).
- Spoljaric, M.A.; Reimchen, T.E. (2008). Habitat-dependent reduction of sexual dimorphism in geometric body shape of *Haida Gwaii* threespine stickleback. *Biological Journal of the Linnean Society*; 95: 505-516.
- Timi, J.T.; Paoletti, M.; Cimmaruta, R.; Lanfranchi, A.L.; Alarcos, A.J.; Garbin, L.; George-Nascimento, M.; Rodríguez, D.H.; Giardino, G.V.; Mattiucci, S. (2014). Molecular identification, morphological characterization and new insights into the ecology of larval *Pseudoterranovacattani* in fishes from the Argentine coast with its differentiation from the Antarctic species, *P. decipiens* sp. E (Nematoda: Anisakidae). *Veterinary Parasitology*, 199(1-2): 59-72.
- Vasconcelos, J.; Vieira, A.R.; Sequeira, V.; González, J.A.; Kaufmann, M.; Gordo, L.S. (2018). Identifying populations of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the Northeast Atlantic by using geometric morphometrics and otolith shape analysis. *Fishery Bulletin*; 116(1): 81-92.
- Vogel, S. (1994). *Life in Moving Fluids: The Physical Biology of Flow*, 2nd. Princeton University Press. New Jersey.
- Webb, P.W. (1984). Body Form, Locomotion and Foraging in Aquatic Vertebrates. *American Zoologist*; 24(1): 107-120.
- Wootton, R.J. (1999). *Ecology of Teleost Fishes*, 2. Springer. London.
- Zamani-Faradonbeh, M.; Eagderi, S.; Nasri, M. (2014). Geometric morphometric comparison of populations of *Waspia Cabdio morar* (Hamilton, 1822) in Mashkil and Mokran Basins. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*; 23(2): 72-61. (in Persian)