Archive of SID

بررسی تنوع جمعیتی سیاه‌ماهی هراتی (*Capoeta heratensis*) در حوضه‌های آبریز هریرود و دشت کویر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

سهیل ایگدری*[1]، سعید کلاری ابراهیمی[2]، سهراب اشرفی[3]، پریا جلیلی[1]

[1]گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[2]گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[3]گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول: soheil.eagderi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۷

چکیده

در این مطالعه تنوع جمعیتی سیاه ماهی هراتی *Capoeta heratensis* در حوضه های آبریز هریرود **و دشت کویر** ایران با استفاده از روش ریخت-سنجی هندسی مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور سه جمعیت از گونه سیاه ماهی هراتی از روخانه‌های آل، هریرود و بیدواز در مجموع به تعداد حدود ۳۰ عدد از هرگونه نمونه‌برداری گردید. نمونه پس از بیهوشی فرمالین بافری تثبیت و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از عکسبرداری از نیمرخ چپ ماهیان با استفاده از یک دوربین دیجیتال، تعداد ۱۵ لندمارک بر روی تصاویر با استفاده از نرم افزار TpsDig2 قرار داده شد. داده‌های مختصات حاصل از لندمارک‌گذاری نمونه‌ها پس از آنالیز پروکراست، با استفاده از روش آماری چند متغیره PCA، CVA، Manova و آنالیز خوشه‌ای توسط نرم افزار Past و MorphoJ مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز CVA تفاوت معنی‌داری را بین اشکال این سه جمعیت نشان داد. براساس نتایج جمعیت بیدواز از لحاظ ریختی دارای بیشترین تفاوت با دو جمعیت دیگر بود. تفاوت‌های مشاهده شده را می‌توان به وجود تنوع در زیستگاه و عادات تغذیه‌ای و همچنین جدایی جغرافیایی جمعیت‌های مورد مطالعه نسبت داد.

واژگان کلیدی: *Capoeta heratensis*، سیاه ماهی هراتی، حوضه هریرود، ریخت‌سنجی.

مقدمه

ماهی‌ها قابلیت بالایی در سازگاری با فاکتورهای محیطی پیرامون خود دارند (Nacua *et al*., 2010) و این فاکتورها به‌عنوان یک نیروی قدرتمند در شکل-دهی ریخت آن‌ها شناخته شده است (Costa and Cataudella, 2007). شکل بدن، یک شاخص مهم برای رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه در ماهی‌ها می‌باشد (Webb, 1982)، از این‌رو شکل بدن نه تنها انعکاس دهنده ویژگی‌های ژنتیکی، بلکه منعکس کننده وضعیت محیط زندگی و زیستگاه ماهی می-باشد (Guill *et al*., 2003). مطالعه انعطاف‌پذیری ویژگی‌های ریخت‌شناختی جمعیت‌های یک گونه که در محیط‌های متفاوت از نظر خصوصیات زیستگاهی هستند، امکان درک بهتر تغییرات در ویژگی‌های جمعیتی را در مقابل تغییرات محیطی فراهم می-نماید. به علاوه انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های یک گونه، در محیط‌های متنوع، پدیده‌ای است که در نتیجه اثر فاکتورهای محیطی بر روی اجداد جمعیت-های یک گونه در راستای پدیده سازش و گونه‌زایی حاصل می‌گردد (Adams *et al*., 1998).

از جمله ابزارها در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی، روش ریخت‌سنجی است که در بسیاری از مطالعات جهت بررسی شباهت‌ها، تفاوت‌ها و تنوع‌های ریختی ناشی از فرآیند انعطاف‌پذیری ریختی جانداران به‌کار گرفته شده است (Bookstein, 1991; Rohlf, 1998; Zelditch *et al*., 2004). روش‌های تحلیل ریخت‌سنجی به دو گروه سنتی و هندسی تقسیم می‌شوند (Rohlf and Marcus, 1993; Bookstein, 1991). روش‌های ریخت‌سنجی هندسی ابزار مناسبی جهت آنالیز اشکال هندسی می‌باشد که استخراج اطلاعات جایگاه فضایی متغیرهای ریختی و آنالیز آن‌ها را با استفاده از

www.SID.ir

Archive of SID

آزمون‌های آماری چند متغیره امکان‌پذیر می‌سازد و بر خلاف ریخت‌سنجی سنتی که براساس اندازه‌گیری فواصل مانند طول، عرض و ارتفاع استوار است، ریخت‌سنجی هندسی کاملاً مبتنی بر استخراج داده-های شکل و حذف داده‌های غیرشکل مانند اندازه می‌باشد (Zelditch *et al.*, 2004). همچنین این روش توانایی بسیار بالایی در استفاده از ابزارهای آماری چند متغیره براساس مختصات نقاط لندمارک و مصورسازی این تغییرات شکل در شبکه‌های تغییر شکل (Deformation grid) را دارا است (Zelditch *et al.*, 2004).

جنس سیاه ماهی (*Capoeta*) از خانواده کپور ماهیان (*Cyprinidae*) در جنوب غربی آسیا گسترش داشته و دارای ۲۵ گونه می‌باشد که ۱۸ گونه از آن در ایران گزارش شده است (Esmaeili *et al.*, 2018). این جنس پیوستگی خویشاوندی مشخصی با جنس‌های *Cyprinion* و *Barbus* داشته (Howes, 1982; Krupp, 1985; Banarescu, 1992) و به سه گروه اصلی بین-النهرین، آناتولی و آرال-خزر تقسیم می‌شود (Coad, 2018). اعضای این جنس دارای بدنی فشرده و دوکی شکل، فلس‌های ریز یا نسبتا" درشت، دهان مورب و زیرین، دندان حلقی سه ردیفی و صفاق تیره می‌باشند (Coad, 2018). در بین اعضای گروه آرال-خزر، گونه سیاه ماهی هراتی *C. heratensis* در شرق ایران یعنی حوضه‌های آبریز هریرود و کویر نمک یافت می-شود (Coad, 2018). این گونه دارای باله پشتی با ۴-۳ شعاع غیرمنشعب و ۸ شعاع منشعب، باله مخرجی با ۳ شعاع غیرمنشعب و ۴ شعاع منشعب، ۵۰ فلس بر روی خط جانبی، دو جفت سبیلک، باله پشتی بدون لبه، اولین خارپشتی دندانه‌دار، حدود ۲۵ خار آبششی کوچک و ضعیف بر روی اولین کمان آبششی، طول استاندارد ۴/۵-۴ برابر ارتفاع بدن و لکه‌های تیره به‌صورت پراکنده با شکل‌های نامنظم بر روی بدن شناخته می‌شود. در این گونه همچنین قدامی‌ترین سبیلک کوچک بوده و به حاشیه قدامی حدقه چشم نمی‌رسد و دومین سبیلک تا بخش میانی حدقه چشم امتداد دارد. اندازه طول استاندارد این گونه به‌طور میانگین ۳۰ سانتی‌متر بوده و بیشتر از حشرات آبزی و جلبک‌ها تغذیه می‌کند (Coad, 2018).

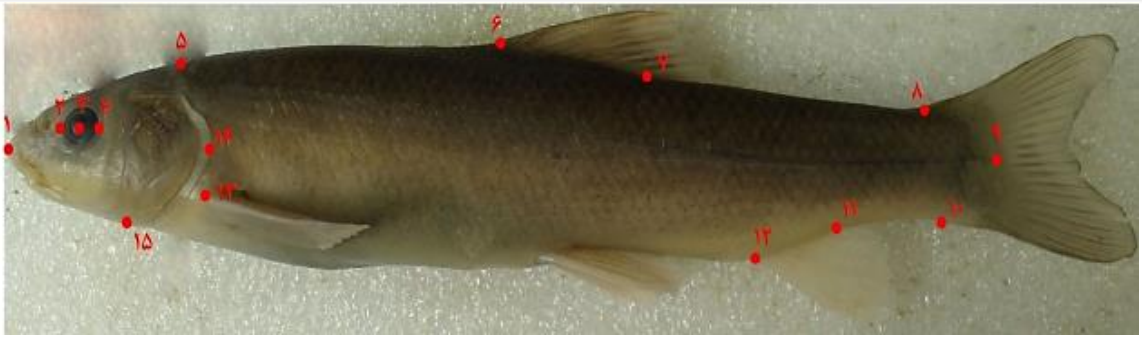
با توجه به قابلیت‌های بالای روش ریخت سنجی-هندسی در جداسازی اشکال زیستی، این تحقیق با هدف بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های سیاه ماهی هراتی در حوضه‌های آبریز هریرود و کویر نمک با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات بیشتری در مورد ویژگی‌های زیست‌شناختی این گونه به ویژه در رودخانه‌های مرزی فراهم آورد و همچنین سبب شناسایی بهتر جمعیت‌های آن شده و درک بهتری از تغییرات ریختی بر اساس جدایی زیستگاهی ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری: در مجموع تعداد ۹۰ نمونه سیاه ماهی هراتی (۳۰ عدد از هر جمعیت) از سه رودخانه آل، هریرود و بیدواز واقع در حوضه‌های آبریز هریرود و کویر نمک با استفاده از دستگاه الکتروشوکر و تور سالیک صید گردیدند. نمونه‌های صید شده بلافاصله در محلول گل میخک بیهوش و سپس در فرمالین ۱۰ درصد بافری تثبیت شدند و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل گردیدند. به‌منظور کاهش تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بالغ و بزرگ‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر انتخاب شدند. به‌علاوه تمامی نمونه‌های مورد بررسی فاقد بدشکلی غیر معمول از جمله شکم برآمده بودند. با توجه به این‌که مطالعات قبلی (Anvarifar *et al.*, 2011; Heidari *et al.*, 2013) برروی گونه‌های جنس *Capoeta*، ویژگی‌های ریخت‌سنجی جنس-های نر و ماده را مشابه اعلام کرده بودند و همچنین از آن‌جایی‌که تفاوت ریخت‌سنجی بین دو جنس در سیاه ماهی هراتی گزارش نشده بود، بنابراین نمونه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ - لندمارک‌های تعیین شده بر روی نمونه‌های مورد مطالعه. ۱- ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا، ۲- ابتدای چشم، ۳- نقطه وسط چشم، ۴- انتهای چشم، ۵- محل اتصال سر به تنه در قسمت فوقانی بدن، ۶- ابتدای قاعده‌ی باله پشتی، ۷- انتهای قاعده‌ی باله پشتی، ۸- کم‌عرض‌ترین ساقه‌ی دمی در قسمت بالایی، ۹- انتهای ساقه‌ی دمی، ۱۰- کم‌عرض‌ترین ساقه‌ی دمی در قسمت پایینی، ۱۱- انتهای قاعده‌ی باله ی مخرجی، ۱۲- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۳- ابتدایی‌ترین نقطه‌ی قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای، ۱۴- انتهایی‌ترین قسمت سرپوش آبششی و ۱۵- محل اتصال سر به تنه در قسمت تحتانی.

براساس جنسیت از یکدیگر تفکیک نشدند.

روش مورد استفاده: برای استخراج داده‌های شکل در روش ریخت سنجی هندسی، ابتداء از نیمرخ چپ نمونه‌ها با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال Sony با قدرت تفکیک شش مگاپیکسل عکسبرداری گردید و سپس تعداد ۱۵ نقطه لندمارک تعیین با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 برروی تصاویر دو بعدی رقومی گردید (شکل ۱). رویهم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها به‌منظور حذف تغییرات غیرشکل (شامل مقیاس، جهت و موقعیت) با استفاده از آنالیز پروکراست (Generalised Procrustes Analysis) (Rohlf, 2001) انجام شد.

از آن‌جایی‌که داده‌های حاصل از مختصات لندمارک‌ها از هندسه اقلیدسی تبعیت نمی‌نماید، بنابراین برای تحلیل‌های آماری مختصات پروکراست استخراج و سپس آزمون همبستگی آنها با مختصات تانژانت معادل با استفاده از نرم‌افزار tpsSmall 1.20 اجرا و تناسب فواصل پروکراست و تانژانت تأیید گردید (Bookstein, 1991). بنابراین با توجه به همبستگی به‌دست آمده، ماتریس حاصل از فواصل پروکراست مستخرج از داده‌های مختصاتی مربوط به شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده تحلیل‌های چندمتغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونی (CVA) براساس ارزش عدد P حاصل از Permutation test با ده هزار تکرار و آنالیز خوشه‌ای (CA) با انتخاب الگوریتم Paired group توسط نرم‌افزارهای PAST و MorphoJ مورد تحلیل قرار گرفتند. به‌علاوه برای نشان دادن درجه شباهت بین گروه‌های مورد مطالعه، فاصله Mahalanobis بین گروه‌ها در آنالیز CVA استخراج گردید. مصورسازی تغییرات شکل بدن براساس میانگین شکل جمعیت‌ها نسبت به شکل میانگین کل (Consensus configuration) با استفاده شبکه تغییر شکل در نرم‌افزار MorphoJ صورت پذیرفت.

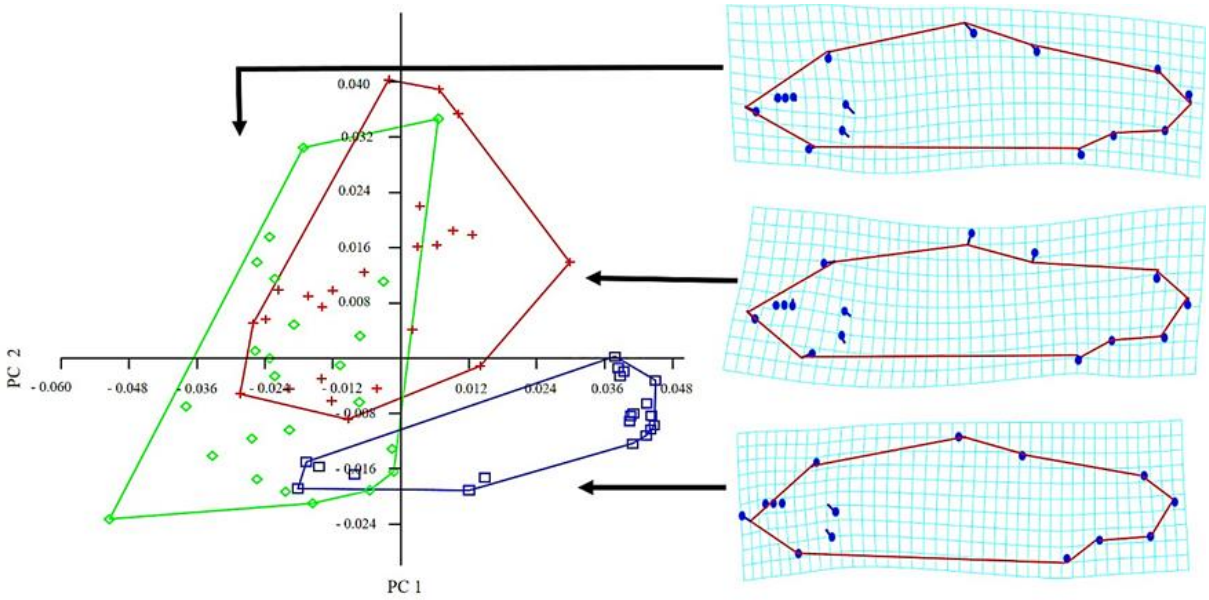
نتایج

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به منظور بررسی الگوهای متفاوت بالقوه بین جمعیت‌های مورد مطالعه، در مجموع تعداد ۳ مولفه اصلی موثر را بر اساس مقدار جدا کننده (Jollieffe cut off) استخراج نمود که در مجموع ۷۰ درصد از تغییرات شکل بدن را نشان دادند (٪ ۴۶/۱۹۸-PC_1 ، ٪ ۱۶/۷۲۴-PC_2 ، ٪ ۸/۶۰۳۵-PC_3). دو مولفه اول با مجموع واریانس ۶۲ درصد بیشترین بار عاملی را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). تحلیل PCA نشان داد که از بین سه جمعیت مورد مطالعه جمعیت‌های آل و هریرود دارای تنوع ریختی بالاتری نسبت به جمعیت بیدواز می‌باشد (شکل ۲).

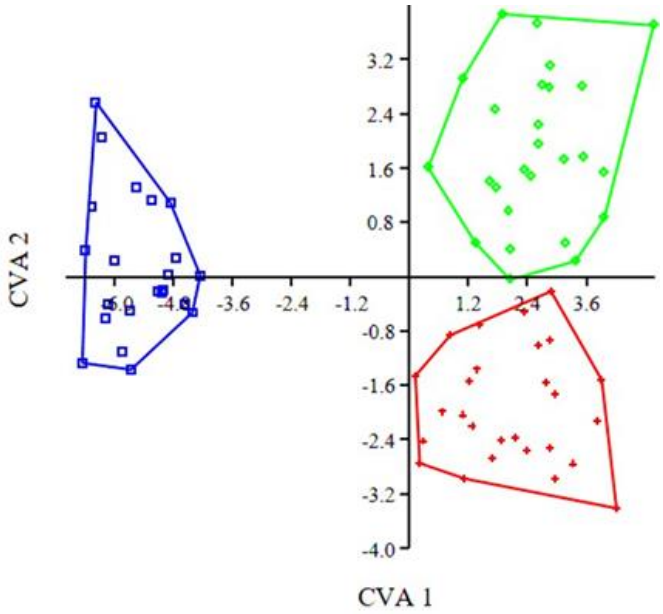
براساس الگوی جابه‌جایی لندمارک‌ها، جمعیت متعلق به رودخانه هریرود دارای بدن پهن‌تر و نوک پوزه بالاتر، جمعیت متعلق به رودخانه آل دارای بدن

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ – نمودار آنالیز تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) تمایز سه جمعیت مورد مطالعه سیاه ماهی هراتی *Capoeta heratensis* بر اساس دو مؤلفه اصلی اول (قرمز (علامت بعلاوه)= آل، سبز (علامت لوزی)= هریرود و آبی (علامت مربع)= بیدواز).



شکل ۳ – نمودار تحلیل تحلیل همبستگی کانونیک (CVA) شکل بدن سه جمعیت مورد مطالعه سیاه ماهی هراتی *Capoeta heratensis* (قرمز (علامت بعلاوه)= آل، سبز (علامت لوزی)= هریرود و آبی (علامت مربع)= بیدواز).

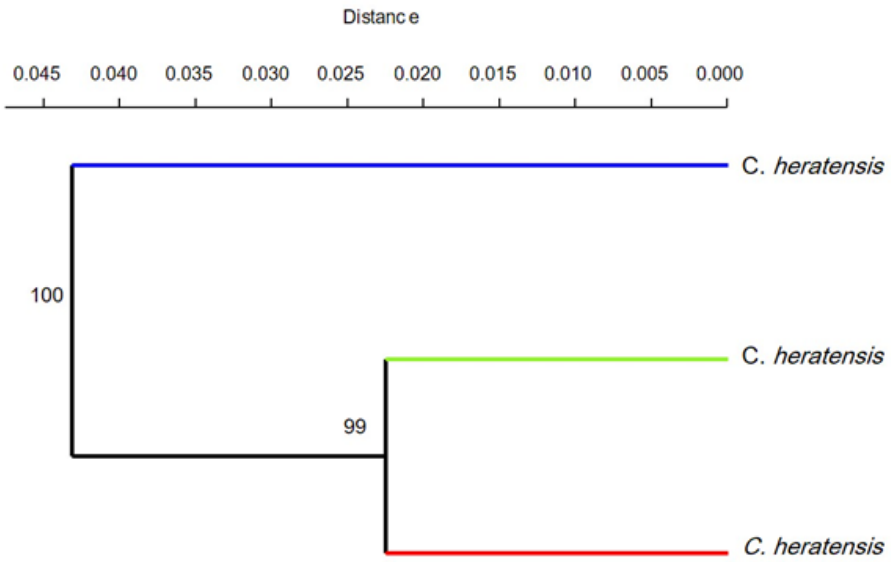
باریک‌تر، جمعیت متعلق به رودخانه بیدواز نوک پوزه پایین‌تر و باله سینه‌ای در موقعیت جلوتر نسبت به حالت میانگین می‌باشند (شکل ۲).

تحلیل همبستگی کانونیک (CVA) براساس ارزش عدد P حاصل از Permutation test با ده هزار تکرار، تفاوت معنی‌داری را بین شکل بدن سه جمعیت مورد مطالعه نشان داد ($P<۰/۰۰۰۱$) (شکل ۳). بیشترین تفاوت بین جمعیت اسفراین و جمعیت‌های هریرود و آل به ترتیب با فاصله مهالانوبیس ۸/۴۸۹۳ و ۷/۳۳۹۲ و کمترین فاصله بین دو جمعیت پل خاتون و آل با مهالانوبیس ۴/۲۸۰۲ بود.

براساس نمودار آنالیز خوشه‌ای، جمعیت‌های گونه *C. hertensis* براساس ریخت به دو گروه قابل تقسیم می‌باشند. گروه اول جمعیت‌ها آل و هریرود بوده و گروه دوم مربوط به جمعیت بیدواز می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴ – نمودار آنالیز خوشه‌ای سه جمعیت مورد مطالعه سیاه ماهی هراتی *Capoeta heratensis* (قرمز (علامت بعلاوه)= آل، سبز (علامت لوزی)= هریرود و آبی (علامت مربع)= بیدواز).

جمعیت رودخانه بیدواز از لحاظ ریختی با پشتیبانی ۱۰۰ درصد از دو جمعیت آل و هریرود جدا شد (شکل ۴).

بحث

مقایسه ساختارهای ریختی، یک عنصر کلیدی در زیست‌شناسی تکاملی است که هم در آرایه‌شناسی و هم در درک تنوع موجودات کاربرد دارد (Dean *et al.*, 2004). ویژگی‌های ریختی مشاهده شده در بین سه جمعیت مورد مطالعه می‌تواند به‌واسطه‌ی انعطاف‌پذیری ریختی تحت تاثیر فاکتورهای محیطی یا *تفاوت‌های ژنتیکی* در طی فرآیند تکامل آن‌ها حاصل شده باشد (Guill *et al.*, 2003; Eagderi *et al., 2013*). بنابراین با توجه به این‌که شرایط زیستگاهی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ریخت ماهیان جمعیت‌های مختلف یک گونه دارد (Schluter and McPhail, 1992)، تفاوت‌های مشاهده شده را می‌توان به وجود تنوع در زیستگاه و تغذیه جمعیت‌های مورد مطالعه نسبت داد.

تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت شکل بدن گونه‌های مختلف ماهیان تحت تأثیر شرایط محیطی رودخانه‌های محل زیست درحوضه های مختلف آبریز مختلف غالباً نشان دهنده ویژگی‌های خاص زیستگاهی همراه با جدایی جغرافیایی است که به تغییر ویژگی‌های ریختی ماهیان موجود در آن منجر می‌شود (Wimberger, 1992; Valentin *et al.*, 2008). تفاوت‌های ریختی در موجودات چنان‌چه بتواند به‌صورت یک عملکرد در نتیجه سازگار ترجمه گردد، می‌تواند با اهمیت باشد (Mérigoux and Ponton, 1998). شکل بدن می‌تواند در موفقیت تغذیه و اجتناب از شکارچی مؤثر باشد داد (Haas *et al.*, 2010)، از این‌رو، تفاوت‌های شکل سر و ساختارهای آن و تغییرجایگاه باله‌ها در مقایسه میانگین شکل بدن با میانگین اجماع جمعیت‌های مورد سیاه ماهی هراتی مورد مطالعه را می‌توان به رفتار و نوع تغذیه آن‌ها نسبت داد، چراکه تفاوت‌های شکل سر و ساختارهای آن و تغییرجایگاه باله‌ها می‌تواند به‌عنوان سازگاری به ویژگی‌های زیستگاهی تلقی گردد (Haas *et al.*, 2010).

ماهیان رودخانه های آل و بیدواز دارای سر کوچک‌تر و ساقه دمی درازتر، بدنی کشیده و دوکی شکل‌تر بودند و این شکل بدن اصطکاک و شسته شدن در طی شنای آزاد در جریان‌های سریع نهرهای کم عمق رودخانه را همانند رودخانه آل کاهش می-

www.SID.ir

Archive of SID

دهد (Haas *et al*., 2010). بدن پهن‌تر جمعیت متعلق به رودخانه هریرود با سر بزرگ احتمالا" ناشی از سازگاری برای افزایش قابلیت مانور سریع است و این شکل بدن در شنای مداوم مثلاً برای یافتن غذا در محل‌های با جریان کمتر مؤثر هستند.

به علاوه جمعیت‌های مربوط به رودخانه‌های هریرود و آل در اصل متعلق به یک مجموعه رودخانه‌های مرتبط به هم می‌باشند که تشابه شکل بدن آن‌ها می‌تواند بیان‌گر نزدیکی ژنتیکی باشد (Wimberger, 1992; Valentin *et al*., 2008) و چراکه سیاه ماهی هراتی که در شاخه اصلی رودخانه هریرود که از کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد برای تخم‌ریزی به سرشاخه‌ها مهاجرت می‌نماید. با توجه به جدایی جمعیت‌ها به‌واسطه سدسازی‌های متعدد در مسیر سرشاخه‌های رودخانه هریرود و به‌دلیل قطعه قطعه شدن زیستگاه، جدایی جمعیت‌های مختلف و در نتیجه کاهش انتقال ژن منجر به تفاوت‌هایی در ویژگی‌های شکل بدن آنها شده است (Guill *et al*., 2003; Eagderi *et al*., *2013*). جمعیت رودخانه بیدواز که کاملا" از حوضه اصلی رودخانه هری‌رود جدا شده (جدایی ویکارین) دارای ویژگی‌های ریختی بسیار متفاوت است. از این‌رو احتمالاً این جمعیت از گونه سیاه ماهی هراتی توانسته باشد یک آرایه کاملاً متفاوتی را شکل داده باشد چراکه ویژگی‌های ریختی آن نسبت به دو جمعیت دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد ولی اثبات این امر به مطالعات بیشتر ویژگی‌های ژنتیکی و استخوان‌شناسی دارد.

منابع

Adams N.S., Rondorf D.W., Evans S.D., Kelly J.E., Perry R.W. 1998. Effects of surgically and gastrically implanted radio transmitters on swimming performance and predator avoidance of juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55(4), 781-787.

Anvarifar H., Khyabani A., Farahmand H., Vatandoust S., Anvarifar H., Jahageerdar S. 2011. Detection of morphometric differentiation between isolated up- and downstream populations of Siah Mahi (*Capoeta capoeta gracilis*) (Pisces: Cyprinidae) in the Tajan River (Iran). *Hydrobiologia*, 673, 41-52.

Bănărescu P.M. 1992. A critical updated checklist of Gobioninae (Pisces, Cyprinidae). *Travaux du Muséum d'Histoire naturelle "Grigore Antipa", Bucarest* 32, 303-330.

Bookstein F.L. 1991. Thin-plate splines and the atlas problem for biomedical images. In Biennial International Conference on Information Processing in Medical Imaging, Springer, Berlin, Heidelberg. pp: 326-342. https://doi.org/10.1007/BFb0033763

Coad B.W. 2018. Fresh water fishes of Iran. Available at. http://www.briancoad.com.

Costa C., Cataudella S. 2007. Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian Sea). *Environmental Biology of Fishes*, 78(2), 115-123.

Dean C.A., Rholf F.J. Dennis E.S. 2004. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the revolution. *Italian Journal of Zoology* 71, 5-16.

Eagderi S., Esmaeilzadegan, E., Madah A. 2013. Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. *Journal of Taxonomy and Biosystematics* 5(4), 1-8.

Esmaeili H.R., Sayyadzadeh G., Eagderi S., Abbasi K. 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa* 3(3), 1-95

Guill J.M., 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. Biological Letters 6, 803-806.

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).

www.SID.ir

Archive of SID

International Journal of Aquatic Biology, 1(4), 195-201.

Howes G.J. 1982. Anatomy and evolution of the jaws in the semiplotine carps with a review of the genus *Cyprinion* Heckel, 1843 (Teleostei: Cyprinidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology* 42(4), 299-335.

Krupp F. 1985. Systematik und Zoogeographie der Süßwasserfische des levantinischen Grabenbruchsystems und der Ostküste des Mittelmeeres. Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften" am Fachbereich Biologie der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz. 215 pp., Anhang: Abbildungen, Karten, Tabellen. 169 p.

Mérigoux S., Ponton D. 1998. Body shape, diet and ontogenetic diet shifts in young fish of the Sinnamary River, French Guiana, South America. *Journal of Fish Biology*, 52(3), 556-569.

Nacua S., Torres J., Demayo G. 2010. Landmark-based geometric morphometrics in visualizing body shape dimorphism in the endemic cyprinid, *Puntius tumba* (Herre, 1924), from Lake Lanao, Philippines. International Conference on Environmental Engineering and Applications. pp: 86-90.

Rohlf F.J. 1998. On applications of geometric morphometrics to studies of ontogeny and phylogeny. *Systematic Biology* 47(1), 147-158.

Rohlf F.J., Marcus L.F. 1993. A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8(4), 129-132.

Schluter D., McPhail J.D. 1992. Ecological Character Displacement and Speciation in Sticklebacks. *The*

Valentin A. E., Penin X., Chanut J. P., Sévigny J. M., Rohlf F.J. 2008. Arching effect on fish body shape in geometric morphometric studies. *Journal of Fish Biology*, 73(3), 623-638.

Webb P.W. 1982. Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. *American Zoologist*, 22(2), 329-342.

Wimberger P. H. 1992. Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of Geophagus (Pisces: Cichlidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 45(3), 197-218.

Zelditch M. L., Lundrigan B.L., Garland T. 2004. Developmental regulation of skull morphology. I. Ontogenetic dynamics of variance. *Evolution and Development* 6(3), 194-206.

www.SID.ir

Archive of SID

Population variation of *Capoeta heratensis* in Hari River and Dasht-e Kavir basins using geometric morphometric technique

Soheil Eagderi[*1], Saeed Kelary Ebrahimi[2], Sohrab Ashrafi[3], Parya Jalili[1]

[1]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
[2]Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[3]Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding author: soheil.eagderi@ut.ac.ir

Received: 2017/5/26 Accepted: 2018/9/8

Abstract

This study was conducted to survey population variation of *Capoeta heratensis* in Hari River and Dasht-e Kavir basins of Iran using geometric morphometric technique. For this purpose, 3 populations of *C. heratensis*, with 30 specimens for each population, were collected from the Aal, Hari and Bidvaz rivers. The specimens were fixed into buffered formalin after anaesthetizing and transported to the laboratory. The left side of each specimen was photographed using digital camera and fifteen landmark points were digitized on 2D images using TpsDig2. The landmark data after generalised procrustes analysis were analyzed using PCA, CVA and cluster analysis using Past and MorphoJ softwares. CVA analysis displayed significant differences among three studied populations. Based on the results, Bidvaz population showed greater differences compared to two other populations. The observed differences can be attributed to the diversity of habitat and feeding habits of the studied populations as well as geographical separation.

Keywords: *Capoeta heratensis*, Siah mahi Harati, Hari River basin, Morphometric.

www.SID.ir