Archive of SID

فصلنامه علمی ـ پژوهشی دورهٔ ۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۳، صفحه ۹۱- ۹۵

مقاله کوتاه:

انعطاف‌پذیری ریختی بدن جمعیت‌های سس‌ماهی کورا (*Barbus lacerta*, Heckel 1834) در حوضه‌های سفیدرود با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

مظاهر زمانی فرادنبه[۱]، سهیل ایگدری*[۲]، هادی پور باقر[۲]، هادی اسدی[۳]

۱ـ دانشجوی کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبزیان، گروه شیلات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج
۲ـ استادیار، گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج
۳ـ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۳

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

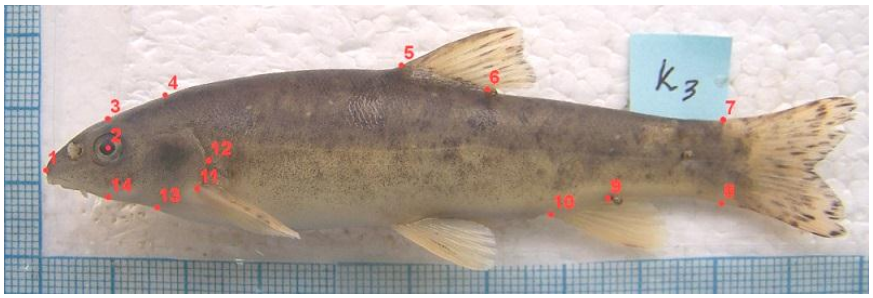
ماهیان، زیستگاه‌های آبی متفاوتی را اشغال کرده و این امر به‌واسطه توانایی بالای آن‌ها در سازگاری به محیط زیست‌شان با توجه به فرایند انعطاف‌پذیری ریختی است (Hutchings, 1996). در نتیجه تنوع ریختی ناشی از این فرایند جمعیت‌های مختلف یک گونه می‌توانند از یکدیگر جدا شوند (Torres-Dowdall et al., 2012). بنابراین شکل بدن به‌عنوان بخشی از ریخت یک ماهی، نه تنها ویژگی‌های ژنتیکی بلکه ویژگی‌های زیستگاه ماهی را نیز نشان می‌دهد (Guill et al., 2003). از جمله روش‌های مطالعه انعطاف‌پذیری ریختی و تفکیک جمعیت‌های مختلف ماهیان، بررسی ویژگی‌های ریخت‌سنجی است (Wootton, 1990). روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه برای آنالیز تغییرات شکل نمونه‌های مورد مطالعه از مختصات، به‌عنوان داده‌های شکلی استفاده می‌شود (Benitez et al., 2012) که بررسی تأثیرهای محیط‌زیست و پاسخ‌های انعطاف‌پذیری ریختی در ماهیان را امکان‌پذیر می‌کند (Walker, 1996; Demandt and Bergek, 2009).

سس ماهی کورا (*Barbus lacerta*) از جمله گونه‌های خانواده کپور ماهیان ایران است که در حوضه‌های دریای خزر، دریاچه ارومیه و دجله یافت می‌شود (Abdoli, 2000; Coad, 2014). با توجه به پراکنش بالای این گونه، این پرسش مطرح است که آیا ویژگی‌های ریختی این گونه در جمعیت‌های مختلف آن در حدی تکامل یافته که بتوان آن‌ها را از یکدیگر متمایز کرد و به‌عنوان الگویی از تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت تحت تأثیر عوامل محیطی مدنظر قرار داد. مطالعه حاضر برای بررسی تفاوت شکلی بین جمعیت‌های مختلف این گونه در حوضه رودخانه سفیدرود به اجرا درآمد.

www.SID.ir

Archive of SID

طی فصل پاییز ۱۳۹۲، تعداد ۹۵ قطعه سس ماهی کورا از سه زیر حوضه سفیدرود واقع در خزر جنوبی شامل ۳۵ قطعه از رودخانه طالقان، ۳۰ قطعه از رودخانه توتکابن و ۳۰ قطعه از رودخانه کلورز با استفاده از الکتروشوکر (Samus Mp750) نمونه‌برداری شد. انتخاب رودخانه‌ها براساس فاصله جغرافیایی و تفاوت در ویژگی‌های زیستگاهی بود. رودخانه طالقان شاخه اصلی رودخانه سفیدرود در بالا دست، رودخانه توتکابن سرشاخه فرعی در میانه حوضه سفیدرود و رودخانه کلورز یک نهر جنگلی-کوهستانی فرعی با عرض یک متر (که در بخش-هایی از سال ارتباط آن با رودخانه سفیدرود به دلیل مصرف آب رودخانه در پایین دست قطع می‌شود) می‌باشند. نمونه‌ها پس از بیهوشی در محلول عصاره گل میخک، در فرمالین ۱۰ درصد بافری تثبیت و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل شدند. برای کاهش اثر تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بزرگ‌تر از ٦٠ میلی‌متر (طول کل) انتخاب شدند. سپس، از نیمرخ چپ تمامی ماهیان با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری و تعداد ١٤ لندمارک هم‌ساخت تعریف شده بر روی نمونه‌ها (شکل ۱) با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 (Rohlf, 2001)، رقومی‌سازی شدند. داده‌های مختصات حاصل پس از آزمون پروکراست (Generalised Procrustes Analysis) برای حذف تغییرات غیر شکل (شامل اندازه، موقعیت و جهت) روی هم قرار داده شدند (Zelditch et al., 2012). سپس داده‌های حاصل براساس آزمون‌های تجزیه به مؤلفه-های اصلی (PCA) و تحلیل همبستگی کانونی (CVA) بر اساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت (Permutation test) با ده هزار بار تکرار و آنالیز خوشه‌ای با نرم‌افزار PAST (Hammer et al., 2001) (نسخه ۲/۱۰) براساس انتخاب الگوریتم Paired group و مقیاس Euclidean square distance تحلیل شدند. مصورسازی میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل با استفاده از نرم‌افزارهای tpsSpline2.10 و MorphoJ (Klingenberg, 2011) به‌صورت شبکه تغییر شکل انجام شد.



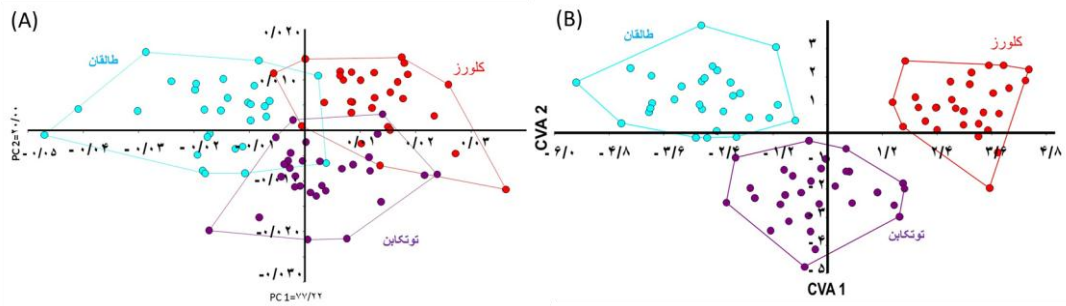
شکل ۱ لندمارک‌های تعیین شده بر روی نمونه ماهیان برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی: ۱- جلوترین بخش فک بالا، ۲- مرکز حدقه چشم، ۳- محل تقاطع امتداد خط عمود بر لندمارک شماره ۲ در لبه بالای سر (لندمارک کاذب نوع ۲)، ٤- انتهای سر یا ابتدای تنه، ٥- ابتدای قاعدهٔ بالهٔ پشتی، ٦- انتهای قاعدهٔ بالهٔ پشتی، ۷- لبه بالایی قاعدهٔ باله دمی، ۸- لبه پایینی قاعدهٔ باله دمی، ۹- انتهای قاعدهٔ بالهٔ مخرجی، ۱۰- ابتدای قاعدهٔ بالهٔ مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعدهٔ بالهٔ سینه‌ای، ۱۲- انتهای سرپوش آبششی، ۱۳- امتداد شکاف آبششی در سطح شکمی، ١٤- محل تقاطع امتداد خط عمود بر لندمارک شماره ۲ در لبه پایینی سر (لندمارک کاذب نوع ۲).

براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شش عامل اصلی مجموع ٧٤/٧٤ درصد واریانس را به خود

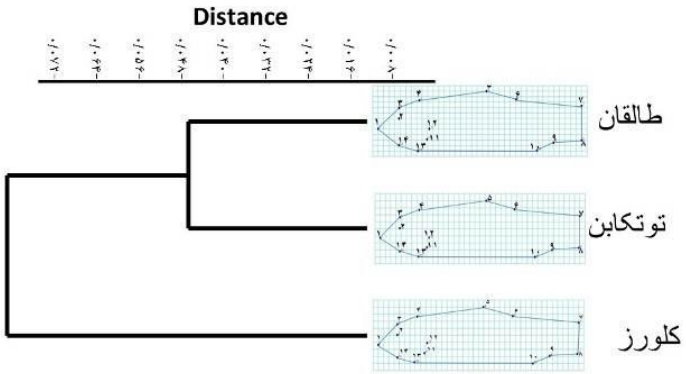
www.SID.ir

Archive of SID

اختصاص دادند. در نمودار PCA، تفاوت شکل بدن جمعیت‌ها بر اساس دو مؤلفه اول اصلی با مجموع ۴۲/۷۷ درصد ارائه شده است (شکل 2A). تحلیل همبستگی کانونیک (CVA) بر اساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت نشان داد که تفاوت معناداری ($p<0/005$) (Wilks lambada=۰/۰۴۵۴) بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد (شکل 2B). نتایج مصورسازی میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل اجماع جمعیت‌ها در شبکه تغییر شکل نشان داد که تفاوت‌های شکل بدن سه جمعیت مورد مطالعه مربوط به موقعیت لندمارک‌ها نواحی سر، موقعیت باله‌های پشتی و مخرجی است (شکل ۳). بر این اساس جمعیت رودخانه کلورز دارای پوزه کوتاه‌تر و در نتیجه سر کوچک‌تر و باله پشتی در موقعیت بالاتر است (شکل ۳). نمونه‌های جمعیت رودخانه طالقان دارای پوزه و سر کشیده‌تر و ارتفاع بدن کمتر در نتیجه بدنی دوکی شکل بودند. نمونه‌های جمعیت رودخانه توتکابن نسبت به شکل میانگین نمونه‌ها دارای ارتفاع بدنی بیشتر و ساقه دمی کمی اندکی عمیق‌تر بودند و همچنین در جمعیت توتکابن باله سینه‌ای نیز موقعیت شکمی‌تر داشت (شکل ۳). نتایج آنالیز خوشه‌ای نیز جمعیت‌های رودخانه توتکابن و طالقان را در یک شاخه و جمعیت رودخانه کلورز را در شاخه دیگری از دو جمعیت تفکیک نمود (شکل ۳).



شکل ۲ نمودار (A) تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و (B) تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن نمونه‌های سه جمعیت‌های سس ماهی کورا (*B. lacerta*) سه رودخانه کلورز، طالقان و توتکابن.



شکل ۳ تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های مورد مطالعه سس ماهی کورا (*B. lacerta*) در سه رودخانه کلورز، طالقان و توتکابن.

www.SID.ir

Archive of SID

براساس نتایج تفاوت‌های ریختی بین سه جمعیت مورد مطالعه مربوط به نواحی سر، عمق بدن و موقعیت باله‌های فرد البته با درجه کم بود که می‌تواند به ویژگی‌های رژیم غذایی و قابلیت شناگری آن‌ها مرتبط باشد. تغییر در ریخت، حتی تغییرات اندک در اندازه، می‌تواند سبب بروز عملکردهای جدیدی شود، اگرچه تغییرات ریختی می‌تواند بدون بروز عملکرد جدید به‌وقوع بپیوندد (Kerfoot and Schaefer, 2006; Chapman et al., 2008). انعطاف‌پذیری ریختی امکان بقای جمعیت‌های یک گونه را در محیط‌های متنوع تسهیل کرده و می‌تواند به‌واسطه پاسخ تکاملی در راستای بهره‌برداری از منابع محیطی، سبب تفکیک جمعیت‌ها شود (Chapman et al., 2008). سس ماهی کورا، گونه‌ای دوکی شکل است که شکل بدنی مشابه سیاه-ماهی تویتی دارد (*Capoeta damascina*) وبه‌عنوان یک گونه عام‌گراست (Razavipour, 2014). اساساً ماهیانی از قبیل سس ماهی که در محیط‌های متغیر مثل رودخانه زیست می‌کنند، تغییرات ریختی در آن‌ها مشابه موجودات تخصص‌گرا ولی با درجه کمتر ایجاد می‌شود (Kassen and Bell, 1998; Razavipour, 2014) و این امر می‌تواند دلیل درجه کمتر تفاوت بین جمعیت‌های مورد مطالعه باشد.

نتایج نشان داد که جمعیت ساکن در یک نهر با سرعت بسیار پایین آب مثل رودخانه کلورز، دارای بدنی پهن‌تر و سری کوچک‌تر نسبت به دو جمعیت دیگر که ساکن در آب‌هایی با شدت جریان بیشتر هستند، می‌باشند. اعضای جمعیت رودخانه طالقان دارای بدنی دوکی شکل هستند که این حالت بدن برای زیست در رودخانه‌ای با جریان بیشتر آب و اجتناب از شسته شدن مناسب است (Klingenberg et al., 2003).

نتایج همچنین رابطه بین جدایی جغرافیایی و تمایز ریختی بین جمعیت‌های مختلف مورد مطالعه سس ماهی کورا را نشان داد. جدایی جغرافیایی اساساً می‌تواند سبب جدایی ریختی جمعیت‌های ماهیان گردد. در دهه‌های اخیر، جوامع ماهیان رودخانه‌زی به‌واسطه فعالیت‌های انسانی که منجر به تغییر خصوصیات هیدرولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی آن‌هاست، به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته است (Ferreira, 2007). از آنجایی‌که جمعیت‌های مورد مطالعه در یک زیر حوضه که به‌وسیله عوامل انسانی یعنی سدسازی از یکدیگر مجزا شده‌اند، از این‌رو احتمال جریان ژنی حداقل در فاصله زمانی چند دهه گذشته اندک است. بنابراین، تفاوت‌های ریختی مشاهده شده نمی‌تواند تنها به‌واسطه رانش ژنی و یا همچنین دیگر عوامل مرتبط با انتخاب طبیعی باشد (Samaee and Patzner, 2011)، بنابراین علاوه بر انعطاف‌پذیری ریختی، جدایی جغرافیایی نیز می‌تواند حاصل شده باشد.

منابع

Abdoli, A. 2000. The Inland water fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife. (In Persian)

Benítez, H. A., Vidal, M., Briones, R. and Jerez, V. 2012. Sexual dimorphism and morphological variation in populations of *Ceroglossus chilensis* (Eschscholtz, 1829)(Coleoptera, Carabidae). *Journal of the Entomological Research Society*, 12(2): 87-95.

Chapman, L., Albert, J. and Galis, F. 2008. Developmental plasticity, genetic differentiation, and hypoxia-induced trade-offs in an African cichlid fish. *The Open Evolution Journal*, 2: 75-88.

Coad, B. W. 2014. Freshwater Fishes of Iran. Retrives from www.briancoad.com at5/6/2014.

Demandt, M.H. and Bergek, S. 2009. Identification of cyprinid hybrids by using geometric morphometrics and microsatellites. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(6): 695-701.

www.SID.ir

Archive of SID

in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution*, 66(11): 3432-3443.

Walker, C. 1996. Signs of the Wild. Struik press, 216p.

Wootton, R. J. 1990. Ecology of teleost fishes: Chapman & Hall, 404p.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L. and Sheets, H. D. 2012. Geometric morphometrics for biologists: a primer: *Academic Press*, 416p.

Ferreira, K.M. 2007. Biology and ecomorphology of stream fishes from the rio Mogi-Guaçu basin, Southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 5(3): 311-326

Guill, J., Hood, C. and Heins, D. 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). *Ecology of Freshwater Fish*, 12(2): 134-40.

Hammer, Ø., Harper, D. and Ryan, P. 2001. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9 available at: pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Hutchings, J.A. 1996. Adaptive phenotypic plasticity in brook trout, *Salvelinus fontinalis*, life histories. *Ecoscience Sainte-Foy*. 3(1): 25-32.

Kassen, R. and Bell, G. 1998. Experimental evolution in Chlamydomonas. IV. Selection in environments that vary through time at different scales. *Heredity*, 80(6): 732-741.

Kerfoot, Jr J.R. and Schaefer, J.F. 2006. Ecomorphology and habitat utilization of *Cottus* species. *Environmental Biology of Fishes*, 76(1): 1-13.

Klingenberg, C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2): 353-7.

Klingenberg, C. P., Barluenga, M. and Meyer, A. 2003. Body shape variation in cichlid fishes of the Amphilophus citrinellus species complex. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80(3): 397-408.

Razavipour, P. 2014. Taxonomy of *Capoeta damascina* in Iranian inland waters based on morphological characters. M.Sc Thesis, Aquatic Ecology, University of Tehran, Iran. 105p. (Abstract in English)

Rohlf, F.J. 2001. Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric interpretations. *Evolution*. 55(11): 2143-60.

Samaee, S. M., and Patzner, R. A. 2011. Morphometric differences among populations of Tu'inti, *Capoeta damascina* (Teleostei: Cyprinidae), in the interior basins of Iran. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(3): 928-933.

Torres-Dowdall, J., Handelsman, C. A., Reznick, D. N., and Ghalambor, C. K. 2012. Local adaptation and the evolution of phenotypic plasticity

www.SID.ir

Archive of SID

Fisheries Science & Technology
TMU
Scientific - Research Journal Vol. 3, No. 3, Autumn 2014

Short Communication:

Phenotypic plasticity of body shape in populations of Kura barbel (*Barbus lacerta*, Heckel 1834) in Sefidrud basin using geometric morphometrics technique

Mazaher Zamani Faradonbeh[1], Soheil Eagderi*[2], Hadi Pourbagher[2], Hadi Asadi[3]

1- M.Sc. Student of Fisheries, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Department of Fisheries, Karaj.

2- Assistant Professor, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Department of Fisheries, Karaj.

3- M.Sc. Student of Fisheries, University of Guilan, Faculty of Natural Resources, Some-e Sara.

Received: 28/5/2014 Accepted: 25/8/2014

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

Abstract

The geometric morphometrics method was applied to study the morphological differences in 95 specimens of Kura barbel (*Barbus lacerta*, Heckel 1834) collected from three riverine ecosystems of the Sefidrud basin, viz. Taleghan, Totkabon and Kloraz Rivers. For this purpose, the left sides of the specimens were photographed. Then, 14 Landmark-points were defined and digitized on 2D pictures using Tpsdig2 software. The landmark data, after generalized Procrustes analyzing, were analyzed by PCA, CVA with p-value obtained from permutation test and cluster analysis. The results showed a significant differences between the populations in terms of body shape ($P<0.005$). The population of Klorez River bears higher body depth and shorter body length, while the population of Taleghan River possesses a longer head and fusiform body shape and that from Totkabon has a body shape intermediate between the two formers. Therefore, the observed morphological differences can be as result of phenotypic plasticity in response to the environmental condition of habitats and geographical isolation.

Keywords: Morphological variation, *Barbus*, Taleghan, Totkabon, Kloraz.

www.SID.ir