Nova Biologica Reperta 6(4): 382-390 (2020)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.6.4.382

یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۶، شماره ۴، صفحات ۳۸۲الی ۳۹۰(۱۳۹۸)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

مقایسه شکل بدن کپور سرگنده و ریخت‌گروه‌های کپور نقره‌ای با تکنیک ریخت‌سنجی هندسی

فریبرز قجقی[۱] و منوچهر نصری[۲]

[۱]گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر، ایران؛ [۲]گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

مسئول مکاتبات: منوچهر نصری، nasri.m@lu.ac.ir

چکیده. به‌منظور بررسی تفاوت‌های شکلی کپور سرگنده و دو ریخت‌گروه معروف از ماهی‌های فیتوفاگ با استفاده از تکنیک ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۳۰ قطعه ماهی از هر گروه با میانگین طول استاندارد ۳±۲۵ سانتی‌متر تهیه گردید. پس از بیهوشی ماهیان در عصاره پودر گل میخک ۱ درصد و تثبیت آن‌ها در فرمالین بافری ۴٪، تصاویر رقومی با کیفیت ۶ مگاپیکسل از نیمرخ چپ نمونه‌ها تهیه گردید. جهت نمایش شکل هندسی نمونه‌ها، تعداد ۱۷ لندمارک هم‌ساخت انتخاب و به کمک نرم‌افزار TPSdig2 رقومی شده و فایل‌های tps تهیه گردید. پیش از تجزیه‌وتحلیل‌های آماری، تمامی داده‌های غیر شکلی شامل اندازه و جهت با استفاده از تکنیک روی‌هم‌گذاری عمومی حذف گردید. مختصات داده‌های روی‌هم‌گذاری شده پس از تائید همبستگی بین فضای شکل و فضای تانژانت، مورد تجزیه‌وتحلیل آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونی (CVA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) قرار گرفتند. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزارهای PAST و مجموعه TPS انجام شد. بر اساس نتایج حاصله، بزرگ‌تر بودن طول و ارتفاع سر، طول قاعده باله‌های پشتی و فاصله پیش‌باله شکمی و ارتفاع ساقه دمی در محل اتصال باله دمی و موقعیت عقب‌تر قاعده باله سینه‌ای در کپور سرگنده تفاوت‌های ریختی مرتبط با الگوی تغذیه‌ای آن‌ها بوده و عقب‌تر بودن موقعیت قاعده باله سینه‌ای در فیتوفاگ R نسبت به فیتوفاگ N به دلیل بروز دورگه بین کپور سرگنده و فیتوفاگ است که حداقل برخی از آن‌ها از نظر ریختی به کپور سرگنده شباهت یافته‌اند.

کلمات کلیدی. تکثیر مصنوعی ماهیان، دورگه گیری در ماهیان، ریخت‌شناسی، کپورماهیان چینی، ماهیان گرمابی

Body shape comparison of Big-head carp with two variants of silver carp using geometric morphometric techniques

Fariborz Ghojoghi[1] & Manoochehr Nasri[2]

[1]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Islamic Azad University, Azadshahr Branch, Azadshahr, Iran; [2]Department of Fisheries Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Correspondent author: Manoochehr Nasri, nasri.m@lu.ac.ir

Abstract. In order to investigate the differences in the shape of the big-head and two morphotypes of Phytophagous fish by geometric morphometric technique, 30 samples of each group, with a mean standard length of 25 ± 3 cm, were prepared. After fish were anesthetized by 1% Clove powder extract and stabilized in formalin buffer 4%, 6-megapixel digital images of the left profile of the specimens were prepared. A total of 17 morphological landmarks were digitized by tpsDig2 software and the tps files were prepared. All non-shaped data were removed from landmark coordinates by generalized procrustes analysis. After the approval of regression between shape space and tangent space, data were analyzed using Principal Component (PCA), Canonical Variation (CVA) and Cluster Analyzes (CA) methods in PAST and TPS series. According to the results, the head length and height, the size of dorsal fin, the length of pre ventral distance, the height of caudal peduncle and the degree of posterior position of the pectoral fin in bighead carp, are some of the distinctive morphological features among species, mainly related to their ecological niche (specially feeding strategies). In the case of silver carp variants, the posterior position of pectoral fin base in silver carp-R that is close to bighead carp, may be due to hybridization between bighead carp and silver carps.

Keywords. artificial fish reproduction, Chinese carps, fish hybridization, morphology, warm water fishes.

Received 09.07.2017/ Revised 02.11.2019/ Accepted 11.11.2019/ Published 10.01.2020

دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸/ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱/ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰/ انتشار: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰

مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در رابطه با الگوهای ریختی و قابلیت آن‌ها برای تمایز جمعیت‌ها و گونه‌های مختلف ماهیان در ایران انجام شده است. در مقایسه بین جمعیتی ماهی واسپی *Cabdio morar* (Hamilton, 1822) بر اساس ریخت‌سنجی هندسی وجود تنوع درون‌گونه‌ای برای این ماهی گزارش شد (Faradonbeh *et al.*, 2013)، مقایسه ریختی دو جمعیت از ماهی خیاطه در حوضه جنوبی دریای خزر بر اساس شبکه تراس هیچ تفاوت معنی‌داری بین جنس‌های نر و ماده نشان نداد اما مشخص کرد که جمعیت‌های مختلف این ماهی از نظر ریختی قابل‌تمایز هستند (Haghighi *et al.*, 2012). در مطالعه تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های مختلف ماهی خیاطه، وجود قابلیت انعطاف‌پذیری ریختی و پدیده گونه‌زایی در حال پیشرفت گزارش گردید (Eagderi *et al.*, 2013). مطالعه تنوع ریختی شاه‌کولی در سواحل جنوبی دریای خزر نشان داد جمعیت‌های ساکن رودخانه و ساکن دریاچه این ماهی از نظر ریختی تفاوت‌هایی را باهم دارند که با قابلیت انعطاف‌پذیری ریختی آن‌ها در ارتباط است (Mohadasi *et al.*, 2014). مطالعه تنوع ریختی درون‌گونه‌ای ماهی سبزوگ *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) در ایران نشان داد این گونه به واسطه تنوع جغرافیایی دامنه پراکنش آن دارای تنوع ریختی نسبتاً بالایی است (Nasri *et al.*, 2013). در رابطه با کاربردهای ریخت‌سنجی هندسی در مطالعات ماهیان جهان نیز می‌توان به مطالعه ریخت‌سنجی هندسی سر مارماهی‌شکلان (Eagderi & Adriaens, 2010)، مطالعه تغییرات شکل بدن ماهی باس دریایی در پاسخ به محرک‌های محیطی (Costa *et al.*, 2010)، مطالعه اشتقاق ریختی سیچلایدهای آفریقایی بر اساس تقسیم نیچ غذایی (Cooper *et al.*, 2010)، مطالعات تغییرات نرخ رشد سفیدماهی رودخانه‌ای در فرانسه (Tedesco *et al.*, 2009) اشاره کرد. حتی از تکنیک‌های ریخت‌سنجی هندسی در مطالعه و شناسایی جمعیت‌های مختلف جوندگان (Yazdi *et al.*, 2012) و شناسایی جمجمه خرس قهوه‌ای ایرانی (Ghanbari *et al.*, 2013) نیز استفاده شده است. بنابراین قابلیت این روش‌ها برای تمایز ریختی جمعیت‌های مختلف ماهیان قابل‌اعتماد بوده و می‌تواند جنبه‌های جدیدی از الگوهای تفاوت ریختی ارائه دهد که در بسیاری از موارد می‌تواند در روشن شدن برخی جنبه‌های زیست‌شناسی ماهیان مفید باشد.

ماهی جنس *Hypophthalmichthys* Bleeker, 1859 با سه گونه تائید شده اصالتاً متعلق به شرق آسیا (کشورهای چین و روسیه) بوده و از میان آن‌ها دو گونه کپور نقره‌ای و کپور سرگنده به‌طور گسترده‌ای برای اهداف آبزی‌پروری یا کنترل زیستی به منابع آبی جهان معرفی شده‌اند (Coad, 2018). مهم‌ترین صفات کلیدی ریختی کپور نقره‌ای *H. molitrix* شامل وجود کیل شکمی ممتد از ناحیه سینه تا مخرج و خارهای آبششی اسفنجی‌شکل و در مورد کپور سرگنده *H. nobilis* شامل عبور باله سینه‌ای از قاعده باله مخرجی، کیل شکمی کوتاه حدفاصل باله شکمی تا مخرج و وجود خارهای آبششی واضح قابل شناسایی هستند (Coad, 2018). این دو گونه ماهی به واسطه استفاده از طبقات پایین هرم غذایی از نظر هزینه تولید مقرون‌به‌صرفه بوده (Coad, 2018; Froese & Pauly, 2019) و به همین دلیل درصد بالایی از تولید ماهیان گرم‌آبی را به خود اختصاص می‌دهند.

اولین گزارش از دورگه گیری بین دو گونه کپور سرگنده و کپور نقره‌ای مربوط به منابع آبی آلاباما، میسوری و کنتاکی در ایالات‌متحده آمریکا است. در گزارش مذکور فراوانی تقریبی دورگه‌ها حدود ٪۵-۳ ذکر شده و فعالیت‌های آبزی‌پروری به‌عنوان مهم‌ترین عامل ایجاد دورگه در بین آن‌ها ذکر شده است (Burr & Warren, 1986). مطالعات جدید بر مبنای چهار جایگاه آلوزایم تشخیصی نشان داده که فراوانی دورگه گیری بین دو گونه کپور سرگنده و نقره‌ای در حدود ٪۲۲/۵ بوده و نمونه‌های دورگه نسل اول (F_1) دارای صفات ریختی حد واسط والدین (خارهای آبششی مجعد) هستند. درحالی‌که تشخیص ریختی دورگه‌های پس از نسل اول (post-F_1) از نظر ریختی دشوار است (Lamer *et al.*, 2011). مطالعات تبارشناسی بر پایه توالی قطعه ژن سیتوکروم‌اکسیداز (CO) نشان داد که در ٪۸۸ درصد دورگه‌های مورد مطالعه کپور نقره‌ای گونه مادری بوده است (Lamer *et al.*, 2011). با توجه به هم‌پوشانی آشیان بوم‌شناختی این دو گونه، هرقدر مدت‌زمان ماندگاری آن‌ها در کنار هم بیش‌تر باشد، احتمال بروز دورگه نیز در بین آن‌ها بیش‌تر است (Burr & Warren, 1986). دورگه‌های نسل اول معمولاً از نظر ظاهری به یکی از والدین شباهت دارند و ازآنجاکه این دورگه‌ها بارور هستند، ممکن است نمونه‌هایی از نسل دوم نیز در بین جمعیت یافت شود (Conover *et al.*, 2007; Neeley, 2016).

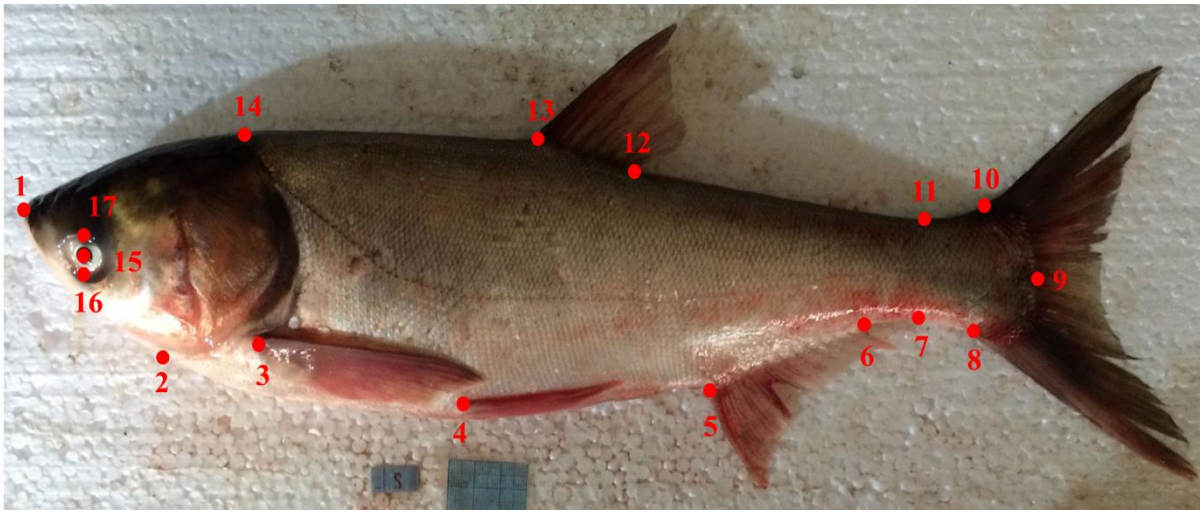
همان‌طور که از مطالعات مختلف برمی‌آید، درصد بروز دورگه بین دو گونه کپور سرگنده و کپور نقره‌ای بالا بوده و نمونه‌های دورگه را می‌توان بر اساس تغییرشکل‌های حاصله در خارهای آبششی یا موقعیت انتهای باله سینه‌ای نسبت به قاعده باله سینه‌ای تا حدودی تشخیص داد. مطالعه حاضر به‌منظور سنجش فرض شباهت شکل هندسی نمونه‌های دورگه کپور سرگنده و کپور نقره‌ای با گونه‌های والدینی طراحی و پیاده‌سازی گردید. نتایج این مطالعه می‌تواند در مطالعات مدیریتی در تکثیر و پرورش ماهیان گرم‌آبی مفید باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه گونه کپور سرگنده و دو ریخت‌گروه معروف از فیتوفاگ شامل فیتوفاگ‌هایی که انتهای باله سینه‌ای از قاعده باله شکمی عبور می‌کند (گروه R) و گروهی که انتهای باله سینه‌ای به قاعده باله شکمی نمی‌رسد (گروه N) مورد مقایسه ریختی قرار گرفتند. جهت بررسی قابلیت تکنیک ریخت‌سنجی هندسی لندمارک‌پایه برای تمایز نمونه‌های دورگه، تعداد ۳۰ قطعه ماهی از هر گروه (مجموعاً ۹۰ قطعه ماهی) با میانگین طول ۳±۲۵ سانتی‌متر از مزارع پرورش ماهی شهرستان گنبدکاووس خریداری گردید. برای این هدف ابتدا به کمک دوربین عکاسی دیجیتال از نیمرخ چپ تمامی نمونه‌ها به‌صورت تازه تصاویر با کیفیت ۶ مگاپیکسل تهیه گردید. به‌منظور نمایش شکل عمومی بدن ماهی‌ها تعداد ۱۷ لندمارک ریختی هم‌ارز تعریف و به کمک نرم‌افزار tpsDig2 (Rohlf, 2010) رقومی شده و فایل‌های tps تهیه گردید (شکل ۱). داده‌های غیرشکلی از قبیل اندازه، جهت و موقعیت با استفاده از روش روی‌هم‌گذاری عمومی (GPA) از داده‌های اولیه حذف گردید. جهت تائید همبستگی بین فواصل پروکراست در فضای شکل و فواصل اقلیدسی در فضای تانژانت، میزان همبستگی این مقادیر از نرم‌افزار tpsSmall (Rohlf, 2015) استفاده گردید. به‌منظور درک الگوهای تفاوت ریختی از روش‌های آماری تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه‌وتحلیل تغییرات متعارف (CVA) و تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای (CA) به روش وارد استفاده شد. به‌منظور مقایسه شکل میانگین هر گروه با شکل اجماع، از روش مصورسازی تغییرات شکلی توسط شبکه تغییرشکل (tps) استفاده گردید. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار PAST (Hammer *et al.*, 2001) انجام گردید.

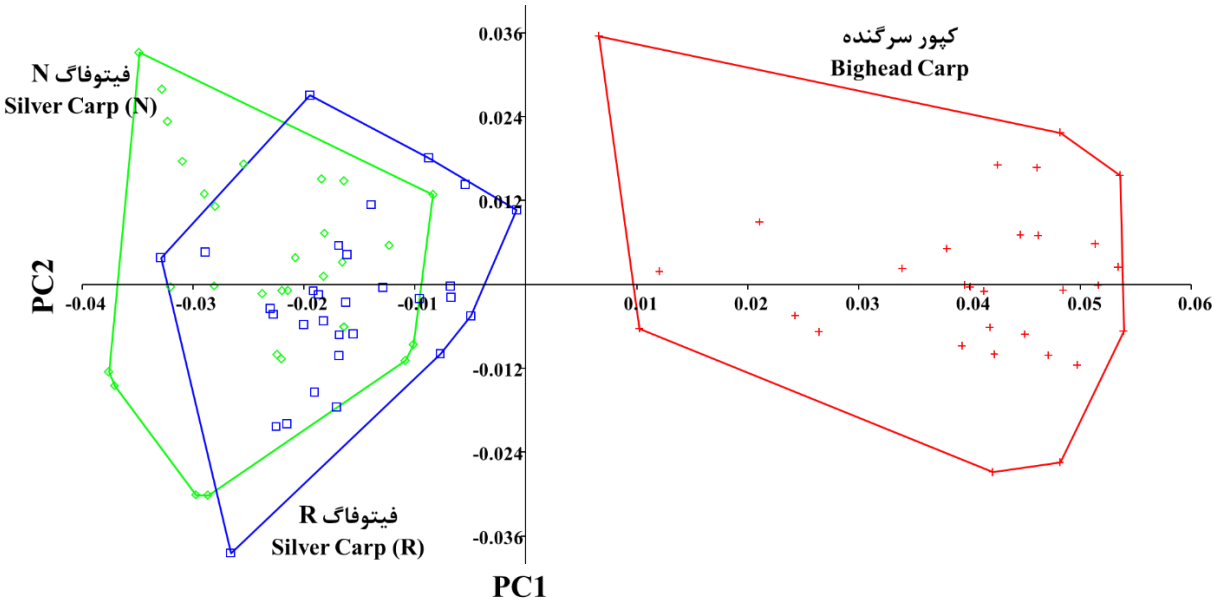
نتایج

نتایج همبستگی بین فواصل پروکراست و فواصل اقلیدسی یا تانژانت (r^2=۱) و شیب خط رگرسیونی برابر ۰/۹۹۹) نشان داد که می‌توان فواصل اقلیدسی حاصله را معادل مختصات لندمارک‌های رقومی شده در نظر گرفت و تجزیه‌وتحلیل‌های آماری را بر روی آن‌ها انجام داد. تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تعیین الگوی تغییرات شکلی بالقوه در بین سه گروه مورد مطالعه، تعداد ۳۴ مؤلفه اصلی را استخراج کرد که بر اساس حد برش جولیف (Jolliffe Cut-Off) برابر ۰/۰۰۰۰۳۲۷ تنها دو مؤلفه اصلی اول به ترتیب با بیان ۵۶/۴۱۸ و ۱۱/۶ درصد و مجموعاً ۶۸/۰۱۸ درصد واریانس به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار انتخاب شدند. نمودار پراکنش نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس دو مؤلفه اصلی اول بیانگر وجود یک الگوی تمایز ریختی مشخص بر اساس مختصات لندمارک‌های استفاده شده بود (شکل ۲). بر اساس مقادیر بار عاملی مختصات لندمارک‌ها، مهم‌ترین لندمارک‌هایی که در بر دارنده تغییرات بودند شامل لندمارک‌های ۱، ۲، ۳ و۱۴ مربوط به طول و ارتفاع سر در PC1 و لندمارک‌های ۴، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ مربوط به موقعیت باله شکمی، طول و ارتفاع ساقه دمی و طول قاعده باله پشتی در PC2 بودند. بر اساس نتایج PCA، موقعیت قرارگیری انتهای پوزه، ارتفاع سر، موقعیت قرارگیری قاعده باله سینه‌ای و همچنین ارتفاع بدن در بین گروه‌های مورد مطالعه دارای بیش‌ترین تغییرات بین‌گروهی بوده و پس از آن‌ها موقعیت باله شکمی، طول ساقه دمی، ارتفاع ساقه دمی و طول قاعده باله پشتی و ارتفاع بدن در بین گروه‌های مورد مطالعه تنوع بالایی را نشان می‌دهند. این تنوع در موقعیت لندمارک‌ها می‌توانند به‌طور بالقوه در بیان تفاوت‌های ریختی بین‌گونه‌ای به کار گرفته شوند. برای استنباط تفاوت شکلی بین گروه‌ها بر اساس یک آزمون آماری استاندارد، از تجزیه‌وتحلیل داده‌های شکلی متعارف (CVA) استفاده گردید. بر اساس نتایج آزمون آماری تجزیه‌وتحلیل داده‌های شکلی متعارف، مقدار آماره F آزمون ویلکاکسن لامبدا برابر ۱۰/۶۸ و آزمون t-هتلینگ به‌منظور ارزیابی تفاوت آماری بین‌گروهی نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری معنی‌دار ($P<$۰/۰۵) بین کپورماهیان مورد مطالعه بود. در نمودار پراکنش جمعیت‌ها بر اساس دو CV اول و دوم مشخص است که گونه کپور سرگنده به‌صورت یک مجموعه کاملاً جدا و با فاصله نسبی بیش‌تری از دو گروه دیگر قرار گرفته است (شکل ۳). ریخت‌گروه‌های فیتوفاگ نیز هرچند در فاصله نسبتا اندکی از هم قرار گرفته‌اند، اما آن‌ها نیز از نظر آماری تفاوت‌های ریختی آشکاری را نشان داده و دو گروه متمایز را تشکیل داده‌اند. بر اساس این آزمون بین هردو جمعیت‌های فیتوفاگ و جمعیت کپور سرگنده تفاوت آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ وجود داشت اما بین دو جمعیت فیتوفاگ تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ مشاهده گردید. بر اساس مقادیر لودینگ هریک از لندمارک‌ها در CVهای ۱ و ۲ سهم هر لندمارک در بیان تفاوت‌های ریختی بین سه گروه مورد مطالعه مشخص گردید. بر این اساس مهم‌ترین لندمارک‌های مؤثر در CV1 به ترتیب شامل: لندمارک‌های مربوط به سر (۱، ۲، ۳ و ۱۴) باله سینه‌ای (۳) و باله مخرجی (۵ و ۶) و در CV2 شامل لندمارک‌های باله شکمی (۴) باله پشتی (۱۳) ساقه دمی (۱۰) ناحیه باله سینه‌ای (۳) سر (۲، ۱ و ۱۴) بودند (شکل ۳) براساس نتایج آنالیز CVA مشخص است که کپور سرگنده دارای ارتفاع ساقه دمی بیش‌تر، فاصله پیش‌باله پشتی کم‌تر و ارتفاع بدن کم‌تری نسبت به فیتوفاگ است همچنین قطر حدقه در کپور سرگنده کم‌تر بوده و حدقه در کپور سرگنده در موقعیت پایین‌تری



شکل ۱- نمایش موقعیت و تعریف لندمارک‌های استفاده شده جهت مقایسه شکل هندسی (تصویر مربوط به کپور نقره‌ای است). ۱- ابتدایی‌ترین بخش فک بالا، ۲- گلو (محل تقاطع امتداد شکاف آبششی با سطح زیرین سر)، ۳- قاعده باله سینه‌ای، ۴- قاعده باله شکمی، ۵- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۶- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۷- لبه پایین ساقه دمی در محل کم‌ترین عمق ساقه دمی، ۸- لبه پایین قاعده باله دمی، ۹- انتهای خط جانبی در قاعده باله دمی، ۱۰- لبه بالایی قاعده باله دمی، ۱۱- لبه پایین ساقه دمی در محل کم‌ترین عمق ساقه دمی، ۱۲- انتهای قاعده باله پشتی، ۱۳- ابتدای قاعده باله پشتی، ۱۴- بالاترین نقطه محل اتصال سر به تنه، ۱۵- مرکز حدقه، ۱۶- لبه پایین حدقه، ۱۷- لبه بالایی حدقه.

Fig. 1. Seventeen defined landmarks on the left side of specimens. 1: the anterior-most point on the head, 2: the lower corner of opercular opening, 3: the outer edge of pectoral fin base, 4: the base of pelvic fin, 5: the front base of anal fin, 6: the posterior base of anal fin, 7: the lower margin at the narrowest point of caudal peduncle, 8: the lower edge of caudal fin base, 9: the most distant point of lateral line at the base of caudal fin, 10: the upper edge of caudal fin base, 11: the upper margin at the narrowest point of caudal peduncle, 12: the posterior edge of dorsal fin base, 13: the front edge of dorsal fin base, 14: the junction of the head and trunk, 15: the center of orbital, 16: the lower margin of orbital, 17: the upper margin of orbital.



شکل ۲- نمودار پراکنش نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس دو مؤلفه اصلی اول.

Fig. 2. Scatterplot of the specimens based on the first two principal components.

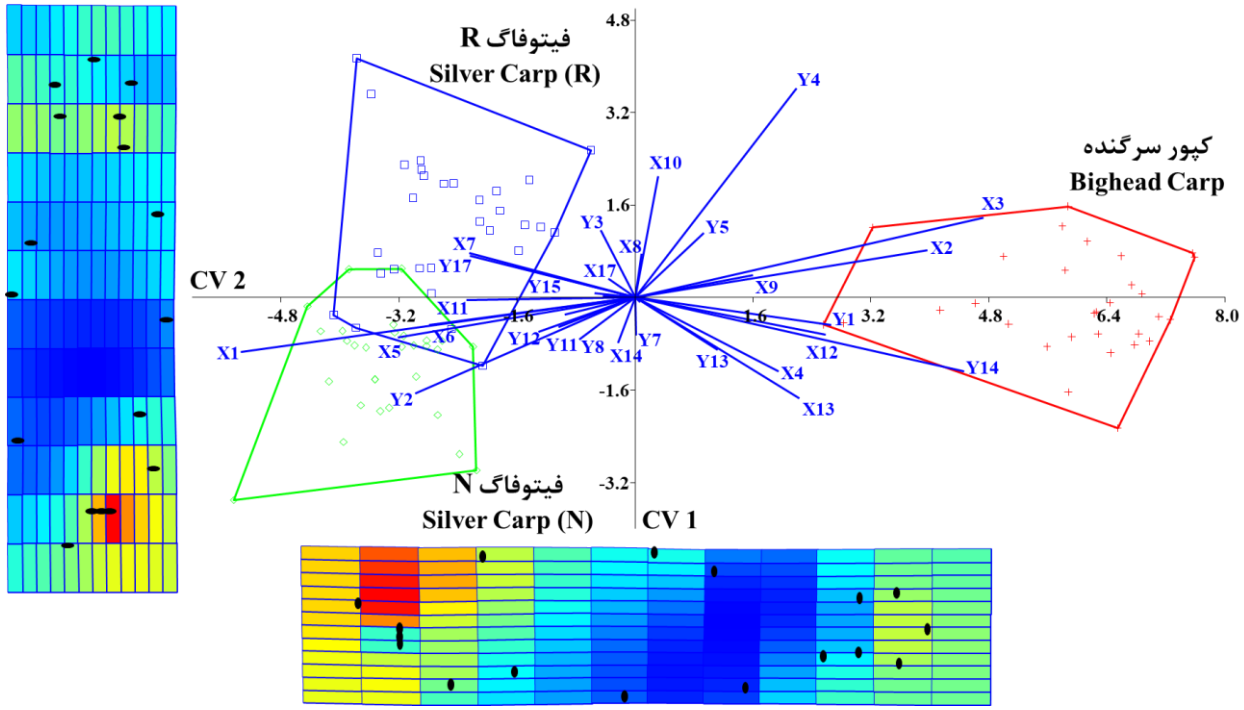
نسبت به خط میانی بدن قرار دارد. در رابطه با دو ریخت‌گروه کپور نقره‌ای نتایج نشان داد حدقه در ریخت‌گروه فیتوفاگR در موقعیت عقب‌تر و پایین‌تری نسبت به فیتوفاگN قرار دارد و طول و ارتفاع سر در آن بیش‌تر است همچنین فیتوفاگR دارای طول پشت‌باله پشتی کم‌تر و طول پیش‌باله مخرجی کم‌تری است و ارتفاع بدن فیتوفاگR به سمت ساقه دمی کم‌تر است.

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) مختصات لندمارک‌های شکلی با تعداد ۱۰۰۰ بازنمونه‌گیری نشان داد در ۱۰۰ درصد درخت‌های ممکن، هرسه گروه مورد مطالعه در شاخه‌های کاملاً مجزا قرار می‌گیرند. اما میزان شباهت ریختی بین دو ریخت‌گروه کپور نقره‌ای بیش‌تر از میزان شباهت آن‌ها با کپور سرگنده بود (شکل ۴). نتایج آنالیز خوشه‌ای نشان داد هرچند گونه کپور سرگنده به‌طور واضح از گونه فیتوفاگ متفاوت است، اما دو ریخت‌گروه فیتوفاگ نیز دارای تفاوت‌های ریختی آشکاری هستند. بر اساس داده‌های ریختی حاصل از مقایسه گروه‌ها بر پایه CVA و مقایسه شکل اجماع هریک از گروه‌ها با شکل اجماع کل و انطباق آن بر نمودار خوشه‌ای، می‌توان مهم‌ترین تفاوت‌های شکلی مشاهده شده بین گروه‌های مورد مطالعه را به‌صورت زیر بیان کرد: ماهی کپور سرگنده نسبت به کپور نقره‌ای دارای قطر حدقه کم‌تر، ارتفاع و طول سر بیش‌تر، طول قاعده باله پشتی بیش‌تر، طول قاعده باله مخرجی بیش‌تر و ارتفاع بدن کم‌تری است. در رابطه با دو واریته کپور نقره‌ای نکته چشمگیر موقعیت عقب‌تر قاعده باله سینه‌ای در فیتوفاگR است (شکل ۴).

بحث

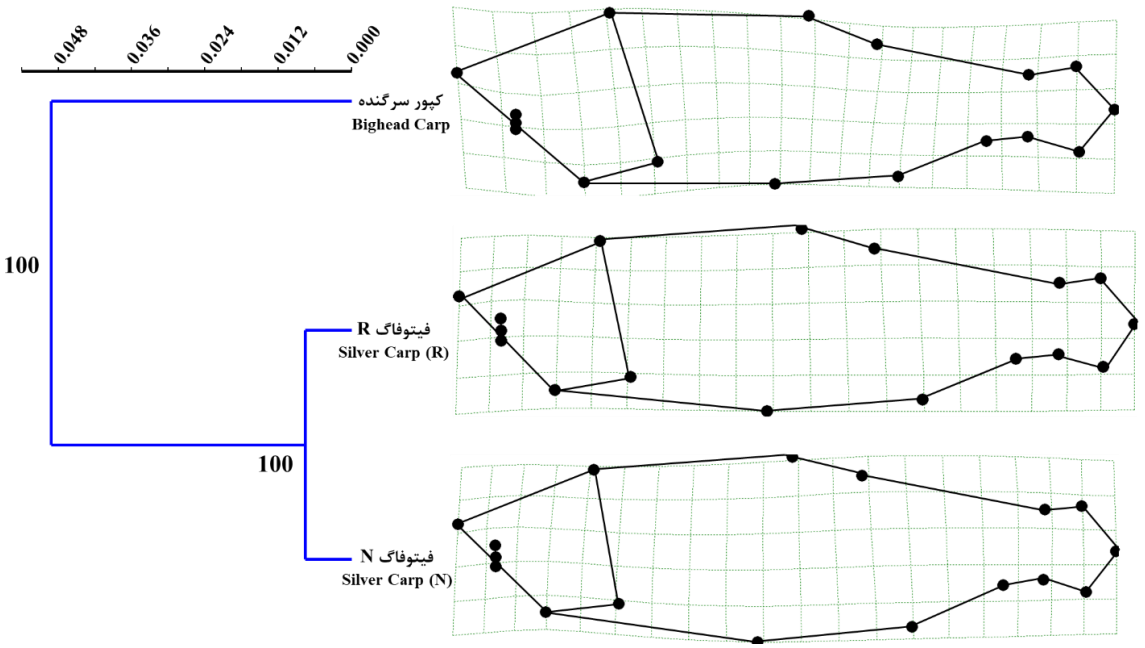
شناسایی صحیح ماهیان یکی از اصول بنیادین برای مدیریت، حفاظت و بهره‌برداری پایدار از آن‌هاست (Ibañez *et al.*, 2007). از طرفی بسیاری از فعالیت‌های زیستی از قبیل الگوی تغذیه‌ای، رفتار شنا، کنش و واکنش در مقابل شکارگران و میزان موفقیت تولیدمثلی را می‌توان با مطالعه الگوهای شکل بدن ماهیان مطالعه کرد (Guill *et al.*, 2003). هریک از روش‌های شناسایی و مطالعه ماهیان دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود است. به‌عنوان‌مثال مطالعات ژنتیکی با وجود دقت بالا، زمان‌بر بوده و اصولاً پرهزینه هستند (Hutchinson *et al.*, 2001; Keyvanshokooh & Kalbassi, 2006; Ghasemi *et al.*, 2007). بر اساس منابع مختلف مهم‌ترین صفات متمایز کننده دو گونه کپور نقره‌ای و کپور سرگنده به‌صورت زیر ذکر شده است. در کپور نقره‌ای کیل شکمی از ناحیه سینه تا قاعده باله شکمی امتداد دارد، چشم‌ها پایین‌تر از خط افقی میانی سر قرار داشته و از نمای زیرین سر قابل مشاهده هستند و فلس‌های ریز سطح بدن را پوشانده‌اند. کپور سرگنده دارای کیل شکمی کوتاه بوده (از قاعده باله شکمی تا مخرج) و انتهای باله سینه‌ای آن از قاعده باله شکمی عبور می‌کند (Abdoli, 2000; Coad, 2018; Froese & Pauly, 2019). مطالعات تبارشناسی مولکولی بر پایه توالی کامل ژنوم میتوکندریایی، دو گونه کپور سرگنده و کپور نقره‌ای را متعلق به یک جنس دانسته و تنوع ژنتیکی نسبتاً بالایی را در ژنوم میتوکندریایی آن‌ها گزارش کرده‌اند (Li *et al.*, 2009). مطالعاتی نیز به‌منظور تهیه بارکد ژنتیکی برای شناسایی دقیق گونه‌های کپور نقره‌ای و کپور سرگنده بر اساس DNA میتوکندریایی در آمریکای شمالی انجام گرفته است (Farrington *et al.*, 2014).

گزارش‌های متعددی از وقوع دورگه گیری بین این دو گونه در جهان وجود دارد و حتی بیان شده که دورگه‌های آن‌ها نیز قابلیت باروری داشته و می‌توانند نسل‌های بارور تولید کنند (Chapman, 2010). اصولاً ریخت و شکل هر موجود زنده‌ای حاصل برایند خصوصیات ژنتیکی و عوامل محیطی آن است (Costa & Cataudella, 2007; Pulcini *et al.*, 2007; Russo *et al.*, 2007). مکانیسم اثر محیط بر ریخت ماهیان از طریق انتخاب طبیعی عمل می‌کند (Chan, 2001). مجموع اثرات ذخایر ژنتیکی و انتخاب طبیعی سبب شده تا ماهیان پلانکتون‌خوار سازوکارهای خاصی در نواحی سر و بخصوص ساختمان دهان و فضای آبششی کسب کنند تا بتوانند به بهترین شکل ممکن از ذخایر غذایی محیط زندگی خود استفاده کنند. ساختار سربزرگ، فضای آبششی وسیع، ساختارهای تخصصی شده مانند خارهای آبششی و اندازه دهان بزرگ به همراه ساختار عضلانی و اسکلتی ستبری که نیروی شنای بالایی را فراهم می‌آورند، همگی در جهت تقویت بهره‌برداری این ماهیان برای تغذیه از پلانکتون‌ها تکامل یافته است (Coad, 2018; Froese & Pauly, 2019). همان‌طور که از مقایسه شکلی این ماهیان برمی‌آید اندازه سر در ماهی کپور سرگنده به‌طور مشخصی بزرگ‌تر از کپور نقره‌ای است. این امر می‌تواند به خاطر نیاز این ماهی برای فیلتر کردن حجم بیش‌تری از آب به‌منظور شکار زئوپلانکتون‌ها باشد (Michel *et al.*, 2014). زئوپلانکتون‌های مورد تغذیه این ماهیان در برخی موارد دارای قابلیت تحرک هستند برخلاف فیتوپلانکتون‌ها که فاقد چنین قابلیتی هستند بنابراین نیاز کپور سرگنده برای فیلتر کردن حجم بیش‌تر آب از طریق افزایش فضای آبششی محقق شده که به تبع آن اندازه سر نیز در این ماهی افزایش یافته است. سایر تفاوت‌های این ماهی با فیتوفاگ از قبیل ارتفاع ساقه دمی بزرگ‌تر و طول قاعده باله مخرجی و باله پشتی بیش‌تر نیز برای ایجاد نیروی پیش‌رانه بیش‌تر سازگار شده‌اند. تغییر فرم هیدرودینامیکی بدن، توسعه ساختارهای ماهیچه‌ای و اسکلتی



شکل ۳- نمودار پراکنش، نمودارهای بار عاملی و شبکه تغییرشکل بر اساس CVهای ۱ و ۲.

Fig. 3. Scatterplot, biplot and deformation grids based on CV 1 and 2.



شکل ۴- نمودار تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای به همراه مقایسه شکل اجماع هر جمعیت با شکل اجماع کل نمونه‌ها (مقیاس تصویر نشان‌دهنده فاصله بین گروه‌ها بر اساس میزان شباهت ریختی آن‌ها بر اساس روش WARD است).

Fig. 4. Cluster analysis and consensus shapes of the three fish groups (the scale showing morphological distance based on WARD method).

برای حمایت اندام‌های شنا از جمله مهم‌ترین موارد برای ایجاد نیروی پیش‌رانه شنا در ماهیان هستند (Tytell *et al.*, 2010; Eagderi *et al.*, 2013; Ghojoghi *et al.*, 2014). افزایش طول قاعده باله مخرجی و باله پشتی به‌واسطه نقشی که این اندام‌ها در حفظ پایداری شنا دارند می‌تواند سبب تقویت قدرت و قابلیت شنای این ماهیان شده و از این طریق سبب بهبود قابلیت تغذیه فیلتری آن‌ها شود. شکل خاص باله دمی (هوموسرک بودن و وسعت) همان‌طور که قبلا هم بیان شده است (Langerhans & Reznick, 2010)، سبب تقویت قابلیت و دقت شنا در این ماهیان شده است. اما در مورد دو ریخت‌گروه کپور نقره‌ای مهم‌ترین تفاوتی که مشاهده گردید، مربوط به موقعیت قرارگیری قاعده باله سینه‌ای بود. به نظر می‌رسد آنچه سبب شده در بین ماهیان کپور نقره‌ای مواردی مشاهده شود که انتهای باله سینه‌ای آن‌ها از قاعده باله شکمی عبور می‌کند و مواردی که انتهای باله سینه‌ای به قاعده باله شکمی نمی‌رسد، این باشد که بین مولدین کپور نقره‌ای و کپور سرگنده عمل دورگه گیری رخ داده است. در مورد قابلیت هیبرید بین کپورماهیان و به‌ویژه کپورماهیان چینی گزارش‌های متعددی در دست است. به‌عنوان‌مثال، مطالعه تبارشناسی خانواده کپورماهیان نشان داده است که در برخی موارد حتی احتمال دورگه گیری بین جنس‌های مختلف نیز وجود دارد (He *et al.*, 2008). در مورد احتمال پیوند خوردن کپور سرگنده و کپور نقره‌ای به آب‌های کانادا و بروز دورگه گیری بین آن‌ها هشدار داده شده است (Kipp *et al.*, 2011)، امکان‌سنجی بروز دورگه بین کپور سرگنده و کپور علف‌خوار نشان داد که این دو گونه قابلیت ایجاد دورگه‌ها را دارند (Kalbasi *et al.*, 2002). بروز دورگه گیری مصنوعی و طبیعی بین کپور علف‌خوار و کپور سرگنده مورد مطالعه و تایید قرار گرفته و مشخص گردید که نسل اول آن‌ها نیز دارای قابلیت باروری هستند (Dorafshan & Kalbassi, 2007). مطالعه برخی پارامترهای زیستی دورگه کپور سرگنده و کپور علف‌خوار با مولدین آن‌ها نشان داد که دورگه حاصله خصوصیات زیستی هردو والد را بروز می‌دهد (Ebrahimzadeh *et al.*, 2003).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد که ریخت‌گروه‌های کپور نقره‌ای که از نظر موقعیت قرارگیری باله سینه‌ای و عبور انتهای آن از قاعده باله شکمی با هم تفاوت دارند، به دلیل بروز دورگه بین این گونه و کپور سرگنده است. تغییرفرم سیستم فیلتراسیون آبششی این دورگه‌ها همان‌طور که در (Lamer *et al.*, 2011) نیز اشاره شده است، نیازمند افزایش حجم فضای آبششی بوده و به همین‌دلیل با افزایش حجم محوطه آبششی، موقعیت قرارگیری باله سینه‌ای عقب‌تر رفته و متعاقب آن انتهای باله سینه‌ای از قاعده باله شکمی عبور کرده است.

بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهادهای پژوهشی زیر ارائه می‌گردد: ازآنجاکه ساختار فیلتر آبششی این ماهیان دچار تغییراتی می‌گردد، مطالعه وضعیت تغذیه‌ای و ضریب رشد ماهیان دورگه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد اصول تنازع بقاء و انتخاب طبیعی در بین ماهیان ارائه دهد. ازآنجاکه بیش‌ترین گزارش‌های تنوع ریختی در گونه کپور نقره‌ای گزارش شده است، پیشنهاد می‌گردد با استفاده از روش‌های مولکولی مانند بررسی ژنوم میتوکندریایی مشخص گردد که کدام‌یک از دو گونه کپور سرگنده و نقره‌ای والد نر و کدام‌یک والد ماده هستند. پاسخ این سؤال می‌تواند اطلاعات جالبی در مورد الگوی وراثت صفات در بین ماهیان را ارائه نماید و در برنامه‌های به‌گزینی ماهیان برای اهداف تکثیر و پرورش بسیار ارزشمند خواهد بود.

سپاسگزاری

مقاله حاضر با پشتیبانی مالی دانشگاه لرستان و دانشگاه آزاد واحد آزادشهر انجام شده است. از دکتر ایوب عزیزی به خاطر همکاری و هماهنگی جهت استفاده از آزمایشگاه قدردانی بعمل می‌آوریم.

REFERENCES

Abdoli, A. 2000. The inland water fishes of Iran. Naghsh Mana Publication, Tehran. pp: 378.

Burr, B.M. and Warren, M.L. 1986. A distributional atlas of Kentucky fishes. Kentucky Nature Preserves Commission, Frankfort. pp: 398.

Chan, M.D. 2001. Fish ecomorphology: predicting habitat preferences of stream fishes from their body shape. PhD, fisheries and wildlife sciences. Virginia Polytechnic Institute and State University, 269 pp.

Chapman, D.C. 2010. Facts about invasive bighead and silver carps. Center, U.C.E.R., Columbia, 1-2 p.

Coad, B.W. 2018. Freshwater fishes of Iran. Aavailable from: www.briancoad.com. [accessed 23 Feb 2018].

Conover, G., Simmonds, R. and Whalen, M. 2007. Management and control plan for bighead, black, grass, and silver carps in the United States. Asian Carp Working Group, Aquatic Nuisance Species Task Force, Washington D.C, 223 pp.

Cooper, W.J., Parsons, K., McIntyre, A., Kern, B., McGee-Moore, A. and Albertson, R.C. 2010. Bentho-pelagic divergence of cichlid feeding architecture was prodigious and consistent during multiple adaptive radiations within African rift-Lakes. – PLOS ONE 5: 1-13.

Costa, C. and Cataudella, S. 2007. Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian Sea). – Environ Biol Fishes. 78: 115-123.

Costa, C., Vandeputte, M., Antonucci, F., Boglione, C., Menesatti, P., Cenadelli, S., Parati, K., Chavanne, H. and Chatain, B. 2010. Genetic and environmental influences on shape variation in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). – Biol. J. Linn Soc. 101: 427-436.

Dorafshan, S. and Kalbassi, M.R. 2007. Karyological study of female *Ctenopharyngodon idella* × male *Hypophtalmichthys nobilis* F1 hybrids. – Biol. Sci. Promotion 20: 277-285.

Eagderi, S. and Adriaens, D. 2010. Cephalic morphology of *Pythonichthys macrurus* (Heterenchelyidae: Anguilliformes): specializations for head-first burrowing. – J. Morphol. 271: 1053-1065.

Eagderi, S., Esmaeilzadegan, E. and Maddah, A. 2013. Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. – TBJ 5: 1-8.

Ebrahimzadeh, S.M., Kalbasi, M.R., Nazari, R.M. and Behrouzi, S. 2003. Comparison of some biological parameters between grass carp and female grass carp x male bighead carp hybrid. – J. Iranian Mari. Sci. Technol. 2: 1-10.

Faradonbeh, M.Z., Eagderi, S. and Nasri, M. 2013. Morphological comparison of two population of Waspi (*Aspidoparia morar* Hamilton, 1822) using geometric morphometric technique. In: National Conference of New sciences and Technologies in Aquatics, Malayer. Malayer University.

Farrington, H.L., Edwards, C.E., Guan, X., Carr, M.R., Baerwaldt, K. and Lance, R.F. 2014. Numerous new mitogenomic sequences and multiple new environmental DNA markers for invasive bighead and silver carp (*Hypophthalmichthys nobilis* and *H. molitrix*) populations in North America. – BioRxiv. 7: 1-26.

Froese, R. and Pauly, D. 2019. FishBase. Aavailable from: www.fishbase.org. [accessed Aplil 2019].

Ghanbari, F., Kaboli, M., Eagderi, S. and Nezami-Balouchi, B. 2013. Sexual dimorphism in skull morphology of the brown bear (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) in Iran using geometric morphometric technique. – TBJ 5: 17-26.

Ghasemi, A., Keyvanshokooh, S., Moghadam, M.S., Khara, H. and Sourinejad, I. 2007. Genetic comparison of Iranian and Azeri populations of the oriental bream Abramis brama orientalis (Berg) using microsatellites. – Aquac. Res. 38: 1742-1746.

Ghojoghi, F., AbolghasemKamali, Eagderi, S., Soltani, M. and Segherloo4, I.H. 2014. Morphological variation among the Caspian roach (*Rutilusrutilus caspicus*) populations fromthe Southern Caspian Sea using Geometric Morphometrics technique. – BEPLS 3: 105-111.

Guill, M.J., Hood, C.S. and Heins, D.C. 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). – Ecol. Freshw. Fish. 12: 134-140.

Haghighi, E., Satari, M., Dorafshan, S., Keivani, Y., Khoshkholgh, M. and Moosavi-Sabet, S.-H. 2012. Comparative morphology of Khayateh (Cyprinidae: *Alburnoides eichwaldii*) in Kargan-Rood and Chaloos Rivers using wireframe network. – JAIR 1: 41-52.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and Ryan, P.D. 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. – Palaeontol. Electron. 4: 1-9.

He, S., Mayden, R.L., Wang, X., Wang, W., Tang, K.L., Chen, W.-J. and Chen, Y. 2008. Molecular phylogenetics of the family Cyprinidae (Actinopterygii: Cypriniformes) as evidenced by sequence variation in the first intron of S7 ribosomal protein-coding gene: Further evidence from a nuclear gene of the systematic chaos in the family. – Mol. Phylogenetics Evol. 46: 818-829.

Hutchinson, W.F., Carvalho, G.R. and Rogers, S.I. 2001. Marked genetic structuring in localised spawning populations of cod Gadus morhua in the North Sea and adjoining waters, as revealed by microsatellites. – Mar. Ecol. Prog. Ser. 223: 251-260.

Ibañez, A.L., Cowx, I.G. and O'Higgins, P. 2007. Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae. – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 64: 1091-1100.

Kalbasi, M.R., Sahebi, H.P. and Nazari, R.M. 2002. Feasibility study of Hybridisation between female Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and male Bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) and their first generation hybrids. – J. Iranian Mari. Sci. Technol. 3: 35-44.

Keyvanshokooh, S. and Kalbassi, M.R. 2006. Genetic variation of *Rutilus rutilus caspicus* (Jakowlew, 1870) populations in Iran based on random amplified polymorphic DNA markers: a preliminary study. – Aquac. Res. 37: 1437-1440.

Kipp, R., Cudmore, B. and Mandrak, N.E. 2011. Biological Synopsis of Bighead Carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) and Silver Carp (*H. molitrix*) Fisheries and Oceans Canada Centre of Expertise for Aquatic Risk Assessment, Canada, 58 p.

Lamer, J.T., Dolan, C.R., Petersen, J.L., Chick, J.H. and Epifanio, J.M. 2011. Introgressive hybridization between bighead carp and silver carp in the Mississippi and Illinois rivers. – North Am. J. Fish. Manage. 30: 1452-1461.

Langerhans, R.B. and Reznick, D.N. 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: Predicting evolution with biomechanics. In: Domenici, P. and Kapoor, B.G. (Ed.). Fish Locomotion: An Etho-Ecological Perspective. Science Publishers, pp: 200-248.

Li, S.F., Xu, J.W., Yang, Q.L., Chen, Q., Chapman, D.C. and Lu, G. 2009. A comparison of complete mitochondrial genomes of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Hypophthalmichthys nobilis*—Implications for their taxonomic relationship and phylogeny. – J. Fish Biol. 74: 787-803.

Michel, K.B., Adriaens, D., Aerts, P., Dierick, M. and Wassenbergh, S.V. 2014. Functional Anatomy and Kinematics of the Oral Jaw System During Terrestrial

Feeding in *Periophthalmus barbarus*. – J. Morphol. 275: 1145-1160.

Mohadasi, M., Eagderi, S., Shabanipour, N., Hosseinzadeh, M.S., AnvariFar, H. and Khaefi, R. 2014. Allometric body shape changes and morphological differentiation of Shemaya, *Alburnus chalcoides* (Guldenstadf, 1772), populations in the southern part of Caspian Sea using Elliptic Fourier analysis. – IJAB 2: 164-171.

Nasri, M., Eagderi, S., Farahmand, H. and Hashemzade-SegharLoo, I. 2013. Body shape comparison of *Cyprinion macrostomum* (Heckel, 1843) and *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) using geometric morphometric method. – IJAB 1: 240-244.

Neeley, R. 2016. Monitoring and Response Plan for Asian Carp in the Upper Illinois River and Chicago Area Waterway System, U.S. Fish and Wildlife Service, Wilmington, 200 pp.

Pulcini, D., Costa, C., Aguzzi, J. and Cataudella, S. 2008. Light and Shape: A Contribution to Demonstrate Morphological Differences in Diurnal and Nocturnal Teleosts. – J. Morphol. 269: 375-385.

Rohlf, F.J. 2010. TpsDig2–Thin Plate Spline Digitise. New York, State University of New York.

Rohlf, F.J. 2015. tpsRelw: Thin Plate Spline Relative Warp Analysis. Stony Brook, New York, State University of New York at Stony Brook.

Russo, T., Costa, C. and Cataudella, S. 2007. Correspondence between shape and feeding habit changes throughout ontogeny of gilthead sea bream *Sparus aurata* L., 1758. – J. Fish. Biol. 71: 629-656.

Tedesco, P.A., Sagnes, P. and Larochejj, J. 2009. Variability in the growth rate of chub *Leuciscus cephalus* along a longitudinal river gradient. – J. Fish. Biol. 74: 312-319.

Tytell, E.D., Borazjani, I., Sotiropoulos, F., Baker, T.V., Anderson, E.J. and Lauder, G.V. 2010. Disentangling the functional roles of morphology and motion in the swimming of fish. – Integr. Comp. Biol. 50: 1140-1154.

Yazdi, F.T., Adriaens, D. and Darvish, J. 2012. Geographic pattern of cranial differentiation in the Asian Midday Jird *Meriones meridianus* (Rodentia: Muridae: Gerbillinae) and its taxonomic implications. – J. Zool. Syst. Evol. Res. 50: 157-164.

*****

How to cite this article:

Ghojoghi, F. and Nasri, M. 2020. Body shape comparison of Big-head carp with two variants of silver carp using geometric morphometric techniques. – Nova Biol. Reperta 6: 382-390. (In Persian)

قجقی، ف و نصری، م. ۱۳۹۸. مقایسه شکل بدن کپور سرگنده و ریخت‌گروه‌های کپور نقره‌ای با تکنیک ریخت‌سنجی هندسی. – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۶: ۳۹۰-۳۸۲.