مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

بررسی انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) وحشی و پرورشی با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

رویا بختیار[۱]، سید رضا میرائی آشتیانی[۱]، اردشیر نجاتی جوارمی[۱]، محمدحسین مرادی[۲*]، پائولینو مارتینز[۳]

۱. گروه مهندسی علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. گروه مهندسی علوم دامی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۳. گروه جانورشناسی، ژنتیک، دانشگاه **Santiago de Compostela**، لوگو، اسپانیا

نوع مقاله
پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶
تاریخ چاپ الکترونیک: : ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

***نویسنده مسئول:**

Moradi.Hosein@gmail.com

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، بررسی شکل بدن و مقایسهٔ ریختی بین جمعیتی ماهیان کپور معمولی وحشی (دریایی) و پرورشی با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بود. به این منظور از ۶۵ قطعه ماهی شامل ۲۳ ماهی کپور معمولی وحشی و ۴۲ ماهی کپور معمولی پرورشی نمونه‌گیری شد. از نمونه‌ها عکس-برداری و ۱۶ لندمارک بر روی تصاویر مشخص شد. به منظور حذف داده‌های غیرشکلی از مختصات لندمارک‌های رقومی شده از آنالیز پروکراست استفاده شد. از آزمون‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) استفاده شد. نتایج نشان داد دو جمعیت ماهیان مولد وحشی و پرورشی با استفاده از آنالیز PCA به طور کامل از یکدیگر تفکیک شدند و سه مؤلفه اول حدود ٪۶۴/۴۱ کل تغییرات را به خود اختصاص دادند. بر اساس DFA برای ویژگی‌های ریخت‌سنجی، افراد به طورصحیح در جمعیت اصلی خود قرار گرفتند. نتایج این بررسی نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در عمق و پهنای بدن ماهیان کپور وحشی و پرورشی با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بود به طوری که ماهیان کپور معمولی پرورشی دارای بدن عمیق‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۵ و ۱۲)، بدن پهن-تر (مربوط به جابجایی لندمارک‌های ۱۲-۱۱-۱۰-۶-۵) و همچنین ساقه دمی کوتاه‌تری (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۰-۹-۷-۶) نسبت به ماهیان کپور معمولی وحشی بودند.

کلید واژه‌ها: آنالیز پروکراست، آزمون‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی، انعطاف‌پذیری ریختی، تشخیص تابع تحلیلی

مقدمه

جمعیت‌های ماهیان در زیستگاه‌های مختلف، تحت‌تأثیر شرایط و فاکتورهای محیطی می‌توانند اشکال مختلف ریختی را از خود نشان دهند (Moulodi-Saleh *et al*., 2018). صفات ریخت‌شناسی در ماهیان نسبت به سایر مهره‌داران بیشتر دچار تغییرات درون گونه‌ای و بین گونه‌ای می‌شود و نسبت به تغییرات ناشی از محیط حساسیت بیشتری را نشان می‌دهند (Smith and Skulason, 1996). انعطاف‌پذیری ریختی در ماهیان، اغلب در ویژگی‌های مربوط به شکل بدن و در پاسخ به تغییرات محیطی، رفتاری و فیزیولوژیکی مشاهده می‌شود (Ghanbarifardi *et al*., 2014). بحث ریخت‌شناسی در واقع به منزله بررسی الگوها و تغییرات شکل بدن و همبستگی و اثر متقابل آن با تغییرات دیگر عنوان شده است (Nasri *et al*., 2015). به عبارت دقیق‌تر، تنوع

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

ریخت‌شناختی ممکن است نتیجه انعطاف‌پذیری ریختی، سازگاری‌های منطقه‌ای، تغییرات خصوصیات اکولوژیکی، عوامل زیستی یا رابطه متقابل هر یک از این فرآیندها باشد. بنابراین، تکامل جمعیت‌ها باعث ایجاد سازگاری آن‌ها به شرایط زیستی در مناطق مختلف شده که این امر، خود می‌تواند دلیل به‌وجود آمدن اختلافات ریخت‌شناختی و ژنتیکی بین جمعیت‌ها و همچنین بین گونه‌های ماهیان باشد (Nicieza, 1995 ; Swain and Foote, 1999). راه‌های مرسوم و مفید برای مطالعه و شناسایی جمعیت-های ماهیان از یکدیگر، بررسی صفات ریخت‌شناسی آنهاست (Wootton, 1999).

تکنیک‌های ریخت‌سنجی به دو روش انجام می‌شوند: ۱) ریخت‌سنجی سنتی که روشی برپایه تحلیل‌های آماری فواصل اندازه-گیری شده بر روی ساختار زیستی از قبیل طول، عرض، عمق و گاهی نسبت‌ها و زاویه‌ها است و ۲) ریخت‌سنجی هندسی که به مجموعه‌ای از روش‌ها که از داده‌هایی مانند لندمارک‌ها، منحنی‌های خط سیر پیرامونی و نیمه لندمارک‌ها برای گرفتن اطلاعات هندسی از ساختارهای زیستی استفاده می‌کند، تقسیم می‌شوند (Eagderi and Kamal, 2013). روش‌های ریخت‌سنجی هندسی ابزار مناسبی جهت آنالیز اشکال هندسی می‌باشد که استخراج اطلاعات جایگاه فضایی متغیرهای ریختی و آنالیز آن‌ها را با استفاده از 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 داده‌های حاصل از شکل هندسی موجود و حذف داده‌های غیرشکل مانند اندازه می‌باشد (Zelditch *et al*., 2004). همچنین این روش از توانایی بسیار بالایی در استفاده از آزمون‌های آماری چند متغیره بر اساس مختصات نقاط لندمارک و مصورسازی این تغییرات در شبکه‌های تغییر شکل (Deformation grid) دارا است که در نتیجه آن امکان برطرف کردن بسیاری از محدودیت‌های روش‌های سنتی فراهم می-گردد (Zelditch, 2004).

این تکنیک در دهه‌ی گذشته در پژوهش‌های مختلف در زمینه‌های تبارزایی و توصیف گونه (Cavalcanti *et al*., 1999; Douglas *et al*., 2001) ، آلومتری و فردزایی (Walker, 1997; Hood and Heins, 2000)، ریخت‌شناسی تغذیه‌ای (Caldecutt and Adams,1998) و ریخت بوم‌شناختی (Corti *et al*., 1996) استفاده شده است. از این‌رو روش‌های ریخت‌سنجی هندسی، باتوجه به دقت زیادی که به منظور آشکار کردن تفاوت‌های شکل در مقیاس کوچک دارند، برای تشخیص الگوهای تنوع ریختی درون گونه‌ای نیز ارزشمند هستند. نتایج مقایسه ریخت‌سنجی هندسی جمعیت‌های سبیل ماهی بین النهرین *Bariliusmesopotamicus* (یکی از کپور ماهیان بومی حوضه رودخانه جراحی)، اختلاف معنی‌داری در بین ماهیان رودخانه-های مورد مطالعه نشان داده است که ناشی از تفاوت در اندازه و شکل سر، ارتفاع بدن و طول ساقه دمی بود (Ghorbani-Ranjbari and Keivany, 2018).

معمولاً شکل بدن ماهیان پروشی نسبت به ماهیان وحشی که دارای بدن بلندتر و باریک‌تری هستند، پهن‌تر می‌باشد (Loy *et al*., 1996). مقایسه ماهیان سالمون پرورش‌یافته و وحشی حاکی از آن است که شکل بدن ماهیان پرورش‌یافته نسبت به ماهیان وحشی کمتر دوکی شکل است و دارای تنه‌های بزرگ‌تر، قوز پشتی کوتاه‌تر، سرهای کوچک‌تر و باله‌های کوتاه‌تری نسبت به ماهی‌های وحشی با اندازه مشابه می‌باشند (Hard *et al*., 2000). نتایج Roncarati و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان داد، ماهی سی‌باس وحشی شکل بدن باریک‌تر و دور شکم کوچک‌تری نسبت به ماهی سی‌باس پرورشی یافته دارد. در مجموع، به نظر می‌رسد ماهیان پرورشی خصوصیات ریخت‌شناسی متفاوتی را نسبت به ماهیان وحشی بروز می‌دهند که می‌تواند در اثر تغییر سبک زندگی این ماهیان باشد.

ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) گونه‌ای از ماهیان آب شیرین می‌باشد که منشأ آسیایی داشته و سپس در سراسر دنیا گسترش یافته است (Castro, 2006). به دلیل خصوصیات ویژه این ماهیان مانند نرخ رشد سریع و سهولت پرورش، به طور وسیعی در سراسر جهان پرورش داده می‌شوند (Guler *et al*., 2008). علاوه بر این، کپور وحشی (دریایی) یکی از گونه‌های مهم موجود در دریای خزر می‌باشد (Ghelich and Sheykhi, 2014). با توجه به قابلیت‌های بالای روش ریخت‌سنجی هندسی در جداسازی اشکال زیستی، هدف از تحقیق حاضر که برای اولین بار در ماهیان کپور ایران انجام شده است، بررسی کاربرد روش

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

ریخت‌سنجی در ارزیابی انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) وحشی و پرورشی در دو محیط کاملاً متفاوت است. شناخت این الگوی متفاوت می‌تواند به درک بهتر علت بروز چنین تفاوت‌های ریختی ناشی از تاثیر فاکتورهای محیطی و یا عوامل ژنتیکی کمک کند.

مواد و روش‌ها

نمونه‌گیری و جمع‌آوری رکوردهای فنوتیپی

در این پژوهش، از ۶۵ ماهی کپور معمولی نمونه‌گیری شد که شامل ۲۳ ماهی کپور معمولی وحشی و ۴۲ ماهی کپور معمولی پرورشی بود. ماهی‌های کپور وحشی از صیدگاه بندر ترکمن جمع‌آوری و به آزمایشگاه ماهی‌شناسی مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی-گرگان انتقال داده شدند. پس از بیومتری نمونه‌ها، باله‌های نمونه‌ها با استفاده از سوزن ته‌گرد ثابت و عکس‌برداری انجام شد. ماهیان کپور معمولی پرورشی نیز از مرکز تکثیر سیلور کارپ در استان گیلان نمونه‌گیری شدند که بعد از بیهوشی با میخک یک درصد، از آن‌ها عکس‌برداری شد. از نیم‌رخ چپ نمونه‌ها تصاویر دیجیتالی با استفاده از دوربین دیجیتال با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل تهیه شد. نمونه‌های دارای بدشکلی غیرمعمول حذف شدند.

آنالیز داده‌ها

پس از تهیه تصاویر ماهیان مولد کپور معمولی وحشی و پرورشی، فایل tps تصاویر توسط نرم‌افزار tpsUtil تهیه گردید و با استفاده از نرم‌افزار tpsDig232 (Rohlf, 2006) تعداد ۱۶ منقطه لندمارک طراحی شد (شکل ۱). به‌منظور حذف تغییرات غیرشکل شامل اندازه، جهت و موقعیت، روی‌هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست (GPA) انجام شد (Smith and Skulason, 1996). داده‌های حاصل از شکل بدن جمعیت‌های موردمطالعه با استفاده از آنالیزهای تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA: Principal Component Analysis) توسط نرم‌افزارهای MorphoJ (Klingenberg, 2011) و PAST4.03(Hamper *et al*., 2001) مورد تحلیل قرار گرفتند. جهت بررسی اختلاف ریختی بین گروه‌های مورد بررسی، تحلیل چند متغیره تابع متمایزکننده (DFA: Discriminant Function Analysis) نیز با استفاده از این نرم‌افزارها انجام شد.

کپور معمولی دریایی



کپور معمولی پرورشی



شکل ۱. لندمارک‌های تعیین شده روی بدن ماهی کپور معمولی وحشی (دریایی) و پرورشی: ۱-ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا؛ ۲- نقطه وسط چشم؛ ۳- امتداد خطی موازی از لندمارک شماره۲ به سمت بالای بدن؛ ۴- بخش بالایی سرپوش آبششی؛ ۵- ابتدای قاعده باله پشتی؛ ۶- انتهای قاعده‌ی باله پشتی؛ ۷- انتهایی‌ترین نقطه ساقه دمی بالا؛ ۸- انتهایی‌ترین نقطه ساقه دمی عقب؛ ۹- انتهایی‌ترین بخش ساقه دمی پایین؛ ۱۰- انتهای

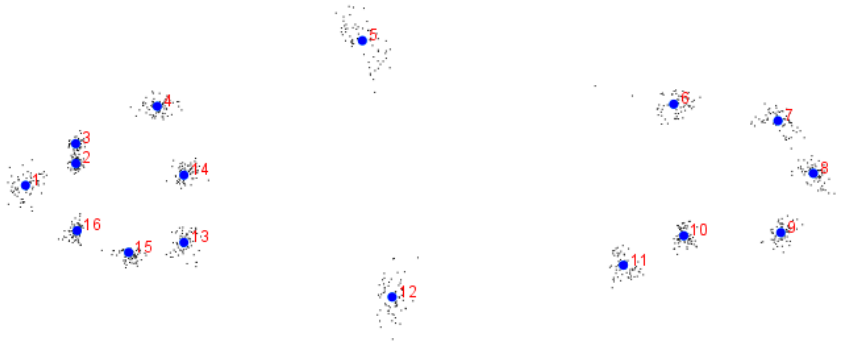
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

قاعده‌ی باله‌ی مخرجی؛ ۱۱- ابتدای قاعده باله مخرجی؛ ۱۲- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی؛ ۱۳- بالاترین‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ی؛ ۱۴- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی؛ ۱۵- بخش زیرین سرپوش آبششی؛ ۱۶- خطی موازی از نقطه وسط چشم به سمت پایین بدن.

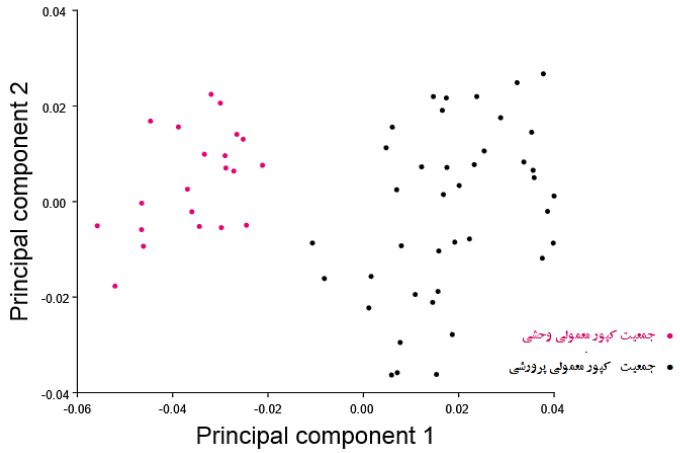
نتایج

میزان جابجایی و به نوعی دقت لندمارک‌گذاری بر روی تصاویر حاصل از جمعیت‌های ماهی کپور معمولی نشان می‌دهد که کلیه لندمارک‌ها در موقعیت هدف قرار داشته و جابجایی در موقعیت تعداد ناچیزی از لندمارک‌ها دیده می‌شود (شکل ۲).



شکل۲. میزان جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک‌ها نسبت به شکل میانگین گونه‌های مورد مطالعه.

بر اساس نتایج آنالیز تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعداد ۲۸ مؤلفه استخراج شد، که سه مؤلفه اصلی (PC) اول در مجموع ۶۴/۴۱ درصد از تغییرات واریانس را به خود اختصاص می‌دادند (جدول۱). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود ماهیان کپور معمولی وحشی و پرورشی بر روی مؤلفه اصلی اول (PC1) کاملاً از همدیگر متمایز می‌شوند.

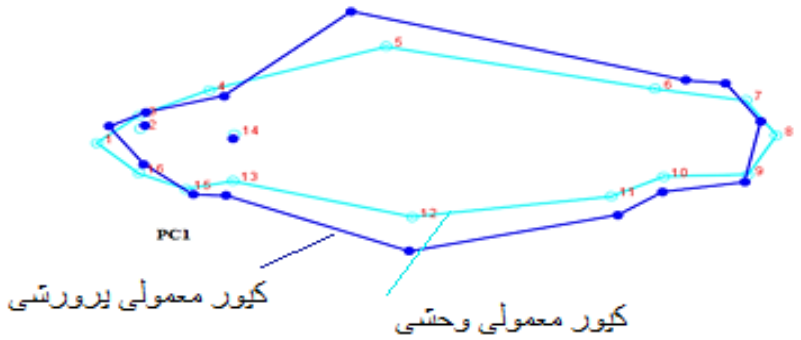


شکل ۳. نمودار آنالیز تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) ماهی کپور معمولی وحشی و پرورشی: مولفه اصلی اول (PC1) روی محور X و مؤلفه اصلی دوم (PC2) روی محور Y نمایش داده شده است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

نتایج حاصل نشان داد که، در طول محور مؤلفه اول بیش‌ترین تغییرات مشاهده شده در نوک پوزه، عرض و ارتفاع بدن بود. بیش‌ترین جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک‌ها نسبت به شکل میانگین در لندمارک‌های شماره ۱، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۶ مشاهده شد. با توجه به درصد بالای واریانس توجیه شده توسط مؤلفه اصلی اول (PC1) که ۴۰/۶۴درصد از تغییرات قابل مشاهده را شامل می‌شد، این مؤلفه می‌تواند مربوط به تغییر جایگاه لندمارک‌های مستقر در ناحیه عرض و ارتفاع بدن باشد (شکل۴).



شکل ۴. تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های ماهی کپور معمولی وحشی و پرورشی (PC1)

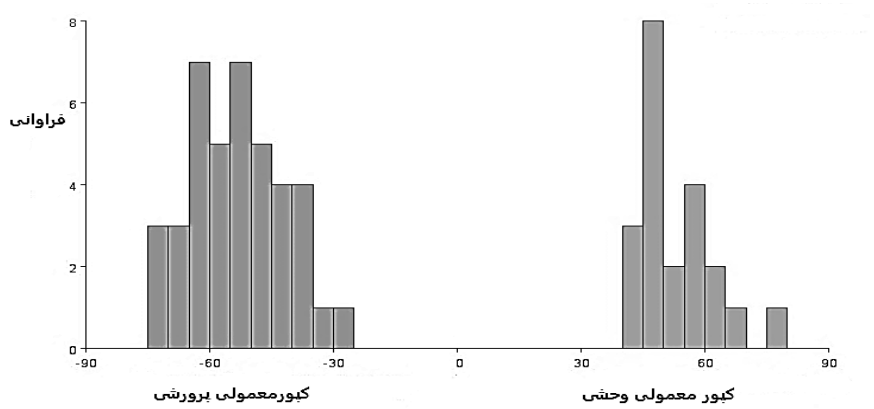
جدول ۱. مقادیر ویژه و درصد واریانس برای سه مولفه اصلی اول (PC1، PC2 و PC3) شکل بدن جمعیت‌های ماهیان کپور معمولی وحشی و پرورشی

مولفه های اصلی	مقادیر ویژه	درصد واریانس
۱	۰/۰۰۰۸۱۸	۴۰/۶۴
۲	۰/۰۰۰۲۵۸	۱۲/۸۵
۳	۰/۰۰۰۲۲۰	۱۰/۹۲

نتایج آنالیز DFA نشان داد که بین شکل بدن دو جمعیت مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰۰۰۱) (شکل ۵). همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، جمعیت‌های ماهی کپور وحشی و پرورشی به طور کامل متمایز شده‌اند. بر اساس نتایج، شکل بدن جمعیت ماهیان کپور پرورشی نسبت به ماهیان کپور وحشی دارای عمق بیشتر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۵ و ۱۲)، بدن پهن‌تر (مربوط به جابجایی لندمارک‌های ۱۲-۱۱-۱۰-۶-۵) و همچنین ساقه دمی کوتاه‌تری (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۰-۹-۷-۶) هستند. فاصله ماهالانوبیس و پروکراست به عنوان درجه تمایز جمعیت‌های مورد مطالعه بر اساس ویژگی‌های شکل بدن در جدول۲ آورده شده است. فاصله ماهالانوبیس دو جمعیت از لحاظ شکل بدن ۱۰/۳۱ به‌دست آمد. جدول ۳ نتایج آنالیز گروه‌بندی DFA را نشان می‌دهد. عدد خارج از پرانتز نشان‌دهنده نمونه‌های تفکیک‌شده است، و عدد داخلی به معنای نسبت‌های تمایز از نمونه‌هایی است که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]



شکل۵. پراکنش افراد براساس مقادیر تابع متمایزکننده شکل بدن (DFA) جمعیت‌های ماهی کپور معمولی وحشی و پرورشی

جدول ۲. نتایج آنالیز DFA داده‌های شکل بدن جمعیت‌های ماهی کپور معمولی وحشی و پرورشی

آماره محاسبه شده	بین جمعیت‌های ماهی کپور معمولی وحشی و پرورشی
فاصله پروکراست	۰/۰۵۴۹
فاصله ماهالانوبیس	۱۰/۳۱
P-value	۰/۰۰۰۱
T-square	۱۴۶۴/۱۵

جدول ۳. نتایج آنالیز گروه‌بندی DFA داده‌های شکل بدن جمعیت‌های ماهی کپور معمولی وحشی و پرورشی.

نتایج آزمون‌های آماری مختلف در جمعیت‌های پیش‌بینی شده	جمعیت‌های اصلی	
	جمعیت پرورشی	جمعیت وحشی
نتایج روش تابع متمایزکننده (Discriminant Function)		
جمعیت پرورشی	۴۰(۱۰۰%)	۰
جمعیت وحشی	۰	۲۱(۱۰۰٪)
نتایج روش اعتبارسنجی متقابل (Cross-Validation)		
جمعیت پرورشی	۳۹(۹۷/۵٪)	۱
جمعیت وحشی	۰	۲۱(۱۰۰٪)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

بحث

شکل بدن از شاخص‌های مهم در انتخاب زیستگاه و رفتارهای شناگری ماهیان است (Webb, 1982). به همین دلیل شکل بدن می‌تواند منعکس‌کننده وضعیت محیط زیستی زیستگاه ماهی و ویژگی‌های ژنتیکی باشد (Guill and Hood, 2003). بسیاری از ماهیان در طی روند تکامل جمعیت‌هایی با ویژگی‌های ریختی متفاوتی را شکل داده‌اند و از آنجا که بر اساس نتایج حاصل از تحقیق حاضر، بین جمعیت‌های ماهیان کپور معمولی وحشی و پرورشی مورد مطالعه از لحاظ ریختی تفاوت معنی‌داری یافت شد، درک دلایل این تفاوت‌ها اهمیت بالایی خواهد داشت (Elliott, 1995).

ریخت‌سنجی در زیست‌شناسی برای توصیف شکل موجودات استفاده می‌شود و امکان مقایسه آنها را فراهم می‌کند (Tjarks, 2009; Bookstein, 1991). به‌علاوه، این روش یک ابزار تحلیلی بسیار مفید در پژوهش‌های بیوسیستماتیک، رشد و تکامل است (Pavlinov, 2001; Rohlf and Marcus, 1993).

برخلاف روش ریخت‌سنجی سنتی که براساس اندازه‌گیری فواصل مانند طول، عرض و ارتفاع استوار است، روش‌های ریخت-سنجی هندسی کاملاً مبتنی بر استخراج داده‌های شکل و حذف داده غیرشکل (شامل :مقیاس، جهت و موقعیت) می‌باشد. در ریخت‌سنجی هندسی مقایسه بین فرم‌های زیستی بر اساس مختصات نقاط یعنی لندمارک‌ها می‌باشد که این نقاط با توجه به معیاری از جمله همولوگ بودن انتخاب می‌شوند و سپس تغییرات مختصات فضایی این نقاط به عنوان بازتابی از تغییرات شکلی بدن بین موجودات بررسی و مقایسه می‌گردد. این داده‌ها می‌توانند با استفاده از شبکه‌های تغییر شکل، مصورسازی گردند (Bookstein, 1987). در تحقیق حاضر نیز از روش ریخت‌شناسی هندسی به منظور شناسایی تفاوت‌های موجود در ماهیان کپور معمولی استفاده شد که قبلاً نیز به صورت موفقیت‌آمیزی در شناسایی تفاوت‌های ریختی ماهیان به کار برده شده است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای Eagderi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده ازروش ریخت‌سنجی هندسی به بررسی انعطاف-پذیری ریختی شکل بدن ماهی کاراس در زیستگاه‌های آبی جاری و ساکن پرداختند. برای این منظور از رودخانه سفیدرود، دریاچه آلاگل، دریاچه پشت سد خدا آفرین روی رودخانه ارس و رودخانه ماشکیل نمونه‌برداری کردند. آن‌ها گزارش دادند که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد ($p<0.001$). بر اساس نتایج آنها، جمعیت‌های دریاچه آلاگل و سد خدا آفرین دارای بدنی مرتفع‌تر و سر نسبتاً کوچک‌تر و جمعیت‌های رودخانه‌های سفید رود دارای بدنی مرتفع ولی همانند جمعیت رودخانه ماشکیل دارای سر بزرگ‌تر بودند (Eagderi *et al*., 2020).

در مطالعات مختلف، تفاوت‌های تغذیه‌ای و محیطی به عنوان عامل اصلی در تفکیک جمعیت‌ها بیان شده است (Abbasi *et al*., 2013). عمق بدن علاوه بر واکنش رفتاری، بیش‌تر تحت‌تأثیر میزان ذخیره انرژی است (Vøllestad *et al*., 2004). تغییر در عمق و اندازه بدن می‌تواند به دلیل میزان غذای بالای موجود در زیستگاه باشد، زیرا زمانی که غذای مصرفی زیاد باشد، شکل بدن ماهی پهن‌تر می‌شود (Bronmark and Miner., 1992; Holopainen, 1997). غذا باید به میزانی تهیه و توزیع شود که بالاترین نرخ رشد و بقا را به همراه داشته باشد. به حداکثر رساندن رشد برای یک جیره غذایی معین، با به حداقل رسیدن انرژی متابولیکی امکان‌پذیر است، که بزرگ‌ترین مؤلفه اتلاف انرژی نیز ناشی از حرکت است (Brett, 1995). بنابراین عملکردهایی که اتلاف انرژی از طریق شنا (حرکت) را به حداقل می‌رسانند بسیار مفید هستند (Brett, 1995, 1979). به همین دلیل، ماهیان آب‌های ساکن دارای بدنی پهن‌تر هستند (Haas *et al*., 2010). اساساً ماهیان با بدن پهن می‌توانند شنای ثابت و موثری را در محیط‌هایی با جریان ضعیف انجام دهند و ماهیانی با ریختی کشیده‌تر توانایی بیشتری برای غلبه بر جریان‌های سریع‌تر آب دارند (Blake, 1984). همانطور که نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد، ماهیان کپور معمولی پرورشی دارای بدن عمیق‌تر (عریض‌تر) (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۵ و ۱۲) و پهن‌تر (مربوط به جابجایی لندمارک‌های ۱۲-۱۱-۱۰-۶-۵) نسبت به ماهیان کپور معمولی وحشی بودند. این مشاهده می‌تواند به این علت باشد که جریان آب در استخرهای پرورشی کم است و از طرفی میزان غذای زیادی در استخرهای پرورشی موجود است. بنابراین، این عوامل ممکن است باعث پهن بودن بدن در این محیط شود. به همین خاطر ویژگی زیستگاه‌های استخرهای پرورشی، یعنی بالا بودن موادغذایی در دسترس و جریان آب کم که باعث اتلاف انرژی متابولیکی کم‌تری می‌شود، می‌تواند دلیلی برای پهن و عمیق بودن بدن

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

ماهیان کپور معمولی پرورشی باشد. پهنای کم بدن در رودخانه‌هایی که جریان زیاد دارند به منظورکاهش اصطکاک ناشی از جریان آب می‌باشد که یک سازگاری ویژه در جمعیت ماهیان کپورمعمولی وحشی به واسطه سرعت بالای جریان آب در این رودخانه‌ها محسوب می‌شود (Barlow, 1961). Mercer و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به بررسی تفاوت‌های ریخت‌شناسی بین ماهیان کهکشانی Galaxias maculatus، پرورش‌یافته در رودخانه و دریاچه در کشور شیلی پرداختند که نتایج آنها نیز حاکی از تفاوت آشکار بین این ماهیان از لحاظ خصوصیات ریخت‌شناسی بود بطوریکه ماهی‌های دریاچه دارای بدنی دوکی‌شکل‌تر، سر باریک‌تر و چشم‌های بزرگ‌تر و ماهی‌های رودخانه‌ای بدن قوی‌تر، سر گردتر و چشم‌های کوچک‌تر بودند. در این تحقیق نیز علت احتمالی این تغییرات به سازگاری با شرایط محیطی زیستگاه آن‌ها از جمله عوامل تغذیه‌ای نسبت داده شده است. علاوه بر این، بر اساس مشاهدات میدانی، انتخاب مصنوعی در مراکز تکثیر به منظور افزایش گوشت انجام می‌شود و هر چه ماهی پهن‌تر باشد و دارای کوهان (برآمدگی در حد فاصل آبشش تا باله پشتی) باشد، شانس انتخاب آن نیز بیش‌تر است. بنابراین، انتخاب نیز می‌تواند علت دیگری برای پهن و عمیق بودن بدن ماهیان کپور معمولی پرورشی محسوب شود.

در مجموع، نتایج مطالعه حاضر توانایی بالقوه ریخت‌سنجی هندسی را در شناسایی جمعیت‌های مختلف ماهیان کپور معمولی وحشی و پرورشی نشان می‌دهد. آبزیانی که در شرایط محیطی متفاوتی قرار می‌گیرند تفاوت‌های مورفومتریکی و ظاهری بسیاری را از خود نشان می‌دهند (Hedayati, 2016). با توجه به اهمیت حفظ ذخایر ژنتیکی گونه‌های بومی و همچنین یافته-های علمی این بررسی پیشنهاد می‌گردد که مطالعات ژنتیکی بر اساس داده‌های ژنومیک در زمینه تفاوت‌های ریخت‌شناسی در دو جمعیت پرورشی و وحشی این گونه انجام شود تا بتوان قضاوت درست‌تری در مورد این گونه در زیستگاه‌های مختلف انجام داد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد دو جمعیت ماهیان مولد وحشی و پرورشی با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) به طور کامل از یکدیگر تفکیک شده‌اند و سه مؤلفه اول حدود ٪۶۴/۴۱ کل تغییرات را به خود اختصاص دادند. همچنین بر اساس تحلیل تابع متمایز-کننده (DFA) برای ویژگی‌های ریخت‌سنجی، افراد به طورصحیح در جمعیت اصلی خود قرار می‌گیرند. نتایج این بررسی نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در عمق بدن و ارتفاع بدن ماهیان کپور وحشی و پرورشی بود به طوری که ماهیان کپور معمولی پرورشی دارای بدن پهن‌تر و ارتفاع بدن بیش‌تری نسبت به ماهیان کپور معمولی وحشی بودند. در مجموع، نتایج مطالعه حاضر توانایی بالقوه روش ریخت‌سنجی هندسی را در شناسایی جمعیت‌های مختلف ماهیان کپور معمولی وحشی و پرورشی نشان می‌دهد به طوری‌که جمعیت‌های مورد مطالعه را می‌توان با اختلاف ریخت‌شناسی به خصوص در صفات مربوط به عمق بدن، پهنای بدن و همچنین اندازه ساقه دمی از همدیگر متمایز کرد. تفاوت‌های مشاهده شده در این ماهیان می‌تواند به علت تفاوت‌های محیطی (مانند دسترسی به مواد غذایی و جریان آب) و یا ژنتیکی (مانند انتخاب برای گوشت بیشتر) رخ داده باشد و با توجه به اهمیت حفظ ذخایر ژنتیکی گونه‌های بومی، یافته‌های این بررسی، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی جهت انجام تحقیقات بعدی در زمینه شناسایی ژن‌های موثر احتمالی بر صفات ریخت‌شناسی و نشانه‌های انتخاب مربوط به صفات ریخت‌سنجی بین جمعیت وحشی و پرورشی را فراهم کند و با انجام این تحقیق در مناطق مختلف جغرافیایی، می‌توان به تاثیر احتمالی شرایط محیطی در تفاوت ریخت‌شناسی بین جمعیت وحشی و پرورشی پی برد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات مهندس خوشحال (مدیر مزرعه سیلور کارپ) و جناب آقای دکتر مقدم (رئیس مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی-گرگان) که در فرآیند نمونه‌گیری نهایت همکاری را داشتند صمیمانه قدردانی نمایند. همچنین از همکاری خالصانه جناب آقای دکتر سهیل ایگدری در آنالیز داده‌ها، کمال تشکر را دارند. لازم به ذکر است که مطالعه حاضر با کد طرح به شماره ۹۹۰۲۴۸۰۸ و با استفاده از حمایت صندوق INSF (Iran National Science Foundation) انجام شده است.

منابع

Abbasi, K., Akbarzadeh, A., Sarpanah, A.N. 2013. The population structure of Caspian Vimba, Vimba persa in southern Caspian Sea using truss morphometric and meristic characters. Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics. 2(2): 33-48.

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

Barlow, G.W. 1961. Social behavior of the desert pupfish, Cyprinodon macularius, in the field and in the aquarium. Journal of Ichthyology. 13: 58-68.

Blake, R.W. 1984. Fish locomotion. Journal of Ichthyology. 13: 58-68.

Bookstein, F.L. 1987. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. Medical Image Analysis. 1(3): 225-243.

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.

Brett, J.R. 1979. Environmental factors and growth. In: Hoar WS, Randall DJ, Brett JR (eds) Fish physiology, bioenergetics and growth. Academic Press, New York. pp 599–675

Brett, J.R. 1995. Physiological- Ecology of Pacific Salmon, Gov. Canada. Dept- Fish. Oceans, Ottawa. pp 3–68.

Bronmark, C., Miner, J.G. 1992. Predator-inducedphenotypic change in body morphology in crucian carp. Science. 258: 1348-1350.

Caldecutt, W.J., Adams, D.C. 1998. Morphometrics of Trophic Osteology in the Threespine Stickleback, Gasterosteus aculeatus. Journal of Copeia, 4, 827-838.

Castro, F.A.F., de Ana, H.P.S., M. Campos, F., Costa, N.M.B, Silva, M.T.C., Salaro, A.L., Franceschini S., Do C.C. 2006. Fatty acid composition of three freshwater fishes under different storage and cooking processes. Food Chemistry. 103(4): 1080-1090

Cavalcanti, M.J., Monteiro, L.R., Lopes, P.R.D. 1999. Landmark-based morphometric analysis in selected species of Serranid fishes (Perciformes: Teleostei). Journal of Zoological Studies. 38(3): 287-294.

Corti, M., Angelo, L.O., Cataudella, S. 1996. Form changes in the sea bass, dicentrarchus labrax (moronidae: teleostei), after acclimation to freshwater: an analysis using shape coordinates. Environmental Biology of Fishes. 47(2): 165-175.

Douglas, M.E., Douglas, M.R., Lynch, J.M., Mcelroy, D.M. 2001. Use of geometric morphometrics to differentiate gila (cyprinidae) within the upper colorado river basin. Journal of Copeia. 2001(2): 389-400.

Eagderi, S., Kamal, S. 2013. Application of geometric morphomerics approach in phenotypic plasticity investigations of fishes: A case study of killifish Aphanius sophiae (Heckel, 1847) body shape comparison in Cheshme-Ali (Damghan) and Shour River (Eshtehard). Journal of Artificial Intelligence Research. 1(2): 47-52. (In Persian).

Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Ahmadi, S., Javadzadeh, N. 2020. Phenotypic plasticity of the body shape in Prussian carp (Carassius gibelio), in response to lentic and lotic habitats using geometric morphometric technique. Iranian Scientific Fisheries Journal. 29(1): :49-58. (In Persian).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

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: 202-220.
Ghanbarifardi, M., Aliabadian, M., Esmaeili, H.R., Polgar, G. 2014. Morphological divergence in the Walton's Mudskipper, Periophthalmus waltoni Koumans, from the Persian Gulf and Gulf of Oman (Gobioidei: Gobiidae). Zoology in the Middle East. 60(2): 133-143.
Ghelich, A., Sheykhi, J. 2014. Comparison of the chemical composition and fatty acids profile of wild carp (Cyprinuscarpio), farmaed carp and wild farmed carp. Marine Biology. 5: 31-44. (In Persian).
Ghorbani-Ranjbari., Z., Keivany., Y. 2018. Geometric morphometric comparsion of *Barilius Mesopotamicus* (Berg 1932) population in Bushehr basin. Journal of Animal Research. 31(2): 242-254.
Guill, J.M., Hood, C.S., Heins, D.C. 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). Journal of Ecology Freshwater. 12: 134-140.
Guler, G.O., Kiztanir, B.A., Ktumsek, A., Citil, O.B., Ozparlak, H. 2008. Determination of the seasonal changeson total fatty acid compositionand W3/W6ratios of carp (*Cyprinus carpio L*) muscle lipids in Beysehir lake. Food Chemistry. 108: 689-694.
Haas, T.C., Blum, M.J., Heins, D.C. 2010. Morphological responses of a stream fish to water impoundment. Biology Letters. 6(6): 803-806.
Hammer, O., Harper, D.A.T., Paul D. 2001. Past: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 4(1): 1-9.
Hard, J.J., Berejikian, B.A., Tezak, E.P., Schroder, S.L., Knudsen C.M., Parker L.T. 2000. Evidence for morphometric differentiation of wild and captively reared adult coho salmon: a geometric analysis. Environmental Biology of Fishes, 58: 61-73.
Hedayati, S.A.A., Jafari, O., Nasri, M., Ghafari Farsani, H. 2016. Length- weight relationships and comparison between morphological features of Zagros tooth-carp, Aphhanius vladykovi Coad Actinipterygii: Cyprinodontiformes) in upstreams of Karun River in Chaharmahal-o- Bakhtiari Province. Journal of Animal Reaserch (Iranian Journal of Biology). 28(4): 495-507, (In Persian).
Holopainen, I.J., Aho, J., Vornanen, M., Huuskonen, H. 1997. Phenotypic plasticity and predator effects on morphology and physiology of crucian carp in nature and in the laboratory. Journal of Fish Biology. 50(4): 781-798.
Hood, C.S., Heins, D.C. 2000. Ontogeny and allometry of body shape in the blacktail shiner, Cyprinella venusta. Journal of Copeia. 1: 270-275.
Klingenberg, C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources. 11: 353-357.
Loy, A., Cataudella, S., Corti, M. 1996. Shape changes during the growth of sea bass, Dicentrarchus labrax (Teleostea: Perciformes), in relation to different rearing conditions. An application of the Thin-Plate Splines regression analysis. Advances in Morphometrics, 284: 399-406.
Mercer, M., Searle, P.C., Cifuentes, R., Habit, E., Belk, M.C. 2020. Morphometric response of Galaxias maculatus (Jenyns) to lake colonization in Chile. Diversity. 12(6): 1-13.
Moulodi-Saleh, A., Keivany, Y., Jalali, S.A.H. 2018. Comparison of meristic traits in Transcaucasian chub (Squalius turcicus De Filippi, 1865) from Caspian Sea basin. International Journal of Aquatic Biology. 6(1): 8-14.
Nasri, M., Eagderi, S., Farahmand, H. 2015. Interspecies morphological variation of Cyprinion watsoni from southern and southeastern inland water basins of Iran based on Geometric morphometrics method. Journal of Applied Ichthyology Research. 2: 1-14.
Nicieza, A.G. 1995. Morphological variation between geographically disjunct populations of Atlantic salmon: the effects of ontogeny and habitat shift. Functional Ecology. 9: 448-456.
Pavlinov I.Y. 2001. Geometric morphometrics, a new analytical approach to comparison of digitized images. In: Information technologies in biodiversity research. Petersburg. 40-64.
Rohlf, F.J. 2006. TpsDig Version 2.10. Story Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook. 328 p.
Rohlf, F.J., Marcus L.F. 1993. A revolution in morphometrics. Trend in Ecology and Evolution. 8: 129-132.
Roncarati, A., Meluzzi, A., Melotti, P., Mordenti, O. 2001. Influence of the larval rearing technique on morphological and productive traits of European sea bass (Dicentrarchus labrax L.). Journal of Applied Ichthyol, 17: 244-246.
Smith, T.B., Skulason, S. 1996. Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. Annual Review of Ecology and Systematics. 27: 111-133.
Swain D.P., Foote C.J. 1999. Stocks and chameleons: The use of phenotypic variation in stock identification. Fisheries Research. 43: 113-128.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

Tjarks, H. 2009. Geometric morphometric analysis of head shape in Thamnophis elegans. A Thesis Presented to the Faculty of California State University, Chico.1-30.
Vøllestad, L.A., Varreng, K., Poleo, A.B.S. 2004. Body depth variation in crucian carp Carassius carassius: an experimental individual-based study. Ecology of Freshwater Fish. 13(3): 197-202.
Walker, J.A. 1997. Ecological morphology of lacustrine threespine stickleback Gasterosteus Aculeatus L. (Gasterosteidae) body shape. Biological Journal of the Linnean Society. 61(1): 3-50
Webb, P.W., Cotel, A.J. 2011. Assessing possible effects of fish-culture systems on fish swimming: the role of stability in turbulent flows. Fish physiology and biochemistry. 37(2): 297-305.
Wootton, R.J. 1999. Ecology of Teleost Fishes. 2nd edition. Springer Press, London. 392 p.
Zelditch, M. 2004. Geometric morphometrics for biologists: a primer. 2nd edition. Elsevier Academic Press, New York. 489 p.
Zelditch, M., Lundrigan, B.L., Garland, T. 2004. Developmental regulation of skull morphology. I. Ontogenetic dynamics of variance. Evolution and Development. 6(3): 194-206.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]

Journal of Aquatic Ecology
Volume12, Issue 3, winter 2023
Pages:48-59

Journal of Aquatic Ecology

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

University Of Hormozgan

Phenotypic plasticity of the body shape in wild and farmed common carp (*Cyprinus carpio*) using geometric morphometric method

Roya Bakhtiar[1], Seyed Reza Miraei Ashtiani[1], Ardeshir Nejati Javaremi[1], Mohammad Hossein Moradi[2*], Paulino Martínez[3]

1. Department of Animal Sciences, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

3. Department of Zoology, Genetics and Physical Anthropology, University of Santiago de Compostela, Lugo, Spain.

Abstract

The aim of this study was to investigate the body shape and morphological comparison between the populations of wild (marine) and farmed common carp using geometric morphology. For this purpose, 65 pieces of fish including 23 wild common carp and 42 farmed common carp were sampled. The samples were then photographed and 16 landmarks were identified on the images. Procrast analysis was used in order to remove the amorphous data from coordinate landmarks. Principal component analysis (PCA) and discriminant function analysis (DFA) tests were used. The results showed that the two populations of wild and farmed common carp are completely separated from each other using PCA and the first three components accounted for about 64.41% of the total changes. Based on DFA for morphometric characteristics, individuals were correctly placed in their original population. The results of this study showed a significant difference in body depth and body width of wild and farmed common carp using geometric morphometric method, so that the farmed common carp had deeper body (related to the displacement of landmarks 5 and 12), a wider body (related to the displacement of landmarks 5,6,10,11 and 12) and also a shorter tail stem (related to the displacement of landmarks 6, 7, 9 and 10) than wild common carp.

ARTICLE TYPE
Research

Received: 7 February 2022
Accepted: 25 February 2023
ePublished: 12 March 2023

* Corresponding Author:
Moradi.Hosein@gmail.com

Keywords: Discriminant function analysis, Phenotype plasticity, Principal component analysis, Procrustes Analysis

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1401.12.3.5.9]