بررسی انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن ماهی کاراس (*Carassius gibelio*) به زیستگاه‌های آبی جاری و ساکن با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

سهیل ایگدری*[۱]، عطا مولودی صالح[۱]، سولماز احمدی[۲]، نرگس جوادزاده[۲]

*soheil.eagdri@ut.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن جمعیت‌های ماهی کاراس (*Carassius gibelio*) در سیستم‌های آب ساکن و جاری با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. برای این منظور تعداد ۱۱۹ قطعه ماهی از رودخانه سفیدرود (۳۰ عدد)، دریاچه آلاگل (۳۷ عدد)، دریاچه پشت سد خداآفرین روی رودخانه ارس (۲۱ عدد) و رودخانه ماشکیل (۳۱ عدد) صید شدند. برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها عکس‌برداری و بر روی تصاویر دوبعدی در نرم افزار TpsDig2، تعداد ۱۵ نقطه لندمارک تعریف شده، رقومی گردیدند. سپس داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست، براساس روش‌های چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه همبستگی کانونی، واریانس چند متغیره آنالیز خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه نشان داد ($p<۰/۰۰۱$). براساس نتایج، جمعیت‌های دریاچه‌های آلاگل و سد خداآفرین دارای بدنی مرتفع‌تر و سر نسبتاً کوچک‌تر و جمعیت‌های رودخانه‌های سفیدرود دارای بدنی مرتفع‌تر ولی همانند جمعیت رودخانه ماشکیل دارای سر بزرگ‌تر بودند. همچنین تحلیل خوشه‌ای دو جمعیت دریاچه‌های آلاگل و پشت سد خداآفرین را در یک شاخه و جمعیت‌های رودخانه‌های سفیدرود و ماشکیل را در شاخه دیگری قرار داد که بیانگر جدایی جمعیت‌های آب جاری و جمعیت‌های آب ساکن دریاچه‌ای می‌باشد. نتایج نشان داد که شکل بدن در ماهی کاراس از الگوی کلی وابسته به نوع زیستگاه تبعیت می‌کند.

لغات کلیدی: ریخت‌سنجی هندسی، طلایی کاراس، جریان آب، سدسازی، سازگاری

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

مقدمه

دستکاری‌های انسانی از جمله ساخت سدها بر رودخانه‌ها یا انتقال ماهیان بومی به استخرهای پرورشی از اکوسیستم‌های آبی موجب ایجاد زیستگاه جدیدی برای آبزیان می‌گردد. از اینرو، ماهیان برای ادامه حیات مجبور به سازگاری با شرایط اکوسیستم جدید می‌باشند (Graf, 1999). تغییر شرایط زیستگاهی از آب جاری به آب ساکن می‌تواند چالش اکولوژیک و تکاملی جدیدی را پیش‌روی آبزیان آن قرار دهد که باید به شرایط جدید پاسخ دهند. شکل بدن، یک شاخص مهم برای رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه در ماهیان می‌باشد (Webb, 1984). از اینرو، شکل بدن نه تنها انعکاس دهنده ویژگی‌های ژنتیک بلکه منعکس کننده وضعیت محیط زندگی و زیستگاه ماهی می‌تواند باشد (Guill *et al*., 2003). عوامل محیطی به عنوان یک نیروی قدرتمند در شکل‌دهی ریخت موجودات طی فرآیند فردزایی شناخته شده است (Costa and Cataudella, 2007).

تغییرپذیری ریختی جمعیت‌های یک گونه در محیط‌های متنوع، پدیده‌ای است که در نتیجه اثر فاکتورهای محیطی بر اجداد جمعیت‌های یک گونه در راستای پدیده سازش و گونه‌زایی حاصل می‌گردد (Adams *et al*., 1997). از آنجایی که شکل بدن و توانایی شنا تحت تاثیر ویژگی جریان آب قرار دارد (Vogel, 1994). شناخت نوع شکل بدن بواسطه سازگاری به شرایط محیطی یا به عبارت دیگر، شرایط جریان آبی زیستگاه می‌تواند به درک بهتر چنین فرآیند تکاملی کمک نماید (Kuliev, 1988). تمایز ریختی وابسته به زیستگاه در ماهیان و برخی از آبزیان تحت تاثیر رژیم آبی در مطالعات متعددی اثبات شده است (Robinson and Wilson, 1994; Hendry *et al*., 2002; Langerhans *et al*., 2003). بررسی شکل و تغییرات آن نقش مهمی در مطالعات زیست‌شناسی دارد که تفاوت‌های بین افراد و و بخش‌های مختلف آنها تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله سازگاری با فاکتورهای زیستگاهی، تکامل، بدشکلی‌ها، بیماری و فردزایی را می تواند نشان دهد (اسحق‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

از جمله ابزارها در مطالعه تغییرپذیری ریختی، روش ریخت‌سنجی است که در بسیاری از مطالعات زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bookstein, 1991). روش ریخت‌سنجی هندسی ابزار مناسبی جهت آنالیز شکل‌های هندسی می‌باشد که استخراج اطلاعات جایگاه فضایی متغیرهای ریختی و آنالیز آنها را با استفاده از آزمون‌های آماری چند متغیره امکان‌پذیر می‌سازد (Zelditch *et al*., 2004). برخلاف روش ریخت‌سنجی سنتی که بر اساس اندازه‌گیری فواصل مانند طول، عرض و ارتفاع استوار است، روش‌های ریخت‌سنجی هندسی کاملاً مبتنی بر استخراج داده‌های شکل و حذف داده‌های غیرشکل می‌باشد. در ریخت‌سنجی هندسی مقایسه بین فرم‌های زیستی براساس مختصات نقاط یعنی لندمارک‌ها می‌باشد که این نقاط با توجه به معیارهایی از جمله هومولوگ بودن انتخاب می‌شوند (Bookstein, 1987) و سپس تغییرات مختصات فضایی این نقاط به‌عنوان بازتابی از تغییرات شکلی در بین موجودات بررسی و مقایسه می‌گردد. این داده‌ها می‌توانند با استفاده از شبکه‌های تغییر شکل[1] مصورسازی گردند.

ماهی کاراس (*Carassius gibelio*) یک گونه غیربومی است که در گستره وسیعی از اکوسیستم‌های آبی ایران پراکنش دارد (Esmaeili *et al*., 2018). پراکنش این گونه اروپا و آسیا بوده است و معمولاً به عنوان غیربومی به سایر نقاط دنیا از شرق آسیا معرفی شده است (Coad, 2019). این گونه همچنین به‌صورت دستی یا همراه با کپورماهیان پرورشی، به بسیاری از اکوسیستم‌های آبی کشور از جمله حوضه دریای خزر، تیگریس و ارومیه معرفی شده است. تغذیه این گونه اغلب از زئوپلانکتون‌ها، همچنین از حشرات آبزی، سخت‌پوستان، نرمتنان، کرم‌ها، جلبک‌های رشته‌ای و بچه ماهیان است و در کل به عنوان یک گونه همه چیزخوار شناخته می‌شود (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵).

این ماهی در آبهای ساکن یا تقریباً ساکن با سرعتی ناچیز که پوشیده از گیاهان آبزی می‌باشند، یافت می‌شود (Coad, 2019). این گونه مقاوم می‌تواند در آبهای حاوی

[1] Deformation grid

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

گیاهان آبزی فراوان، اکسیژن کم و آلودگی بالا زیست نماید. همچنین می‌توانند چندین ساعت بیرون از آب نیز زنده بمانند و حتی ممکن است خودشان را به طور موقت در گل و لای پنهان نمایند. همچنین ماهی کاراس نسبت به گل آلود بودن آب (برای مثال، خاک رس تا میزان ۲۲۵۰۰۰ میلی گرم در لیتر)، pH در دامنه ۱۰/۵-۴/۵، دماهای بسیار بالا و درجه شوری بالا مقاوم هستند (Coad, 2019).

با توجه به حضور ماهی کاراس در اکوسیستم‌های آبی مختلف شامل آبهای جاری و ساکن و به دلیل توانایی بالای آن در سازگاری به شرایط محیطی زیستگاه‌های مختلف، این سوال پیش می‌آید که چه فرآیند سازگاری در این گونه، اعم از تغییرات ریختی بوقوع می‌پیوندد تا به ویژگی‌های آن زیستگاه‌ها سازگار گردد؟ از اینرو، به منظور پاسخ به این سوال، این تحقیق با هدف بررسی تغییرپذیری ریختی شکل بدن جمعیت‌های ماهی کاراس در سیستم‌های آب ساکن و جاری با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق می‌تواند به درک روند تغییرپذیری ریختی ماهیان به شرایط جریان آبی زیستگاه کمک نماید.

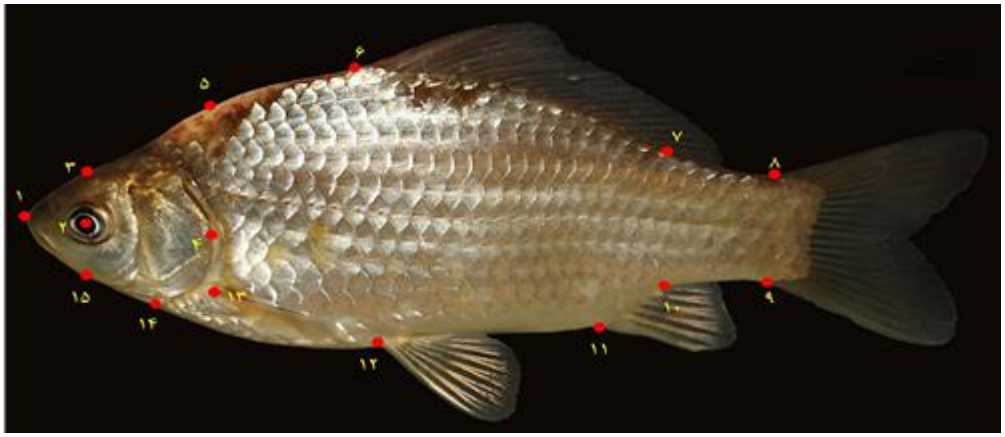
مواد و روش کار

در مجموع تعداد ۱۱۹ نمونه ماهی کاراس از رودخانه سفیدرود (۳۷°۰۱'۰۱/۸۹"N, ۴۹°۳۷'۵۸/۱۲"E) (۳۰ عدد)، دریاچه آلاگل استان گلستان (۳۷°۲۰'۴۲/۴۸"E, N "۳۷°۳۵'۲۵/۳۶) (۳۷ عدد)، دریاچه پشت سد خداآفرین (رودخانه ارس) (۳۹°۰۷'۵۶/۳۳"N, ۴۶°۵۰'۲۵/۷۱"E) (۲۱ عدد) در حوضه دریای خزر و رودخانه ماشکیل (۲۷°۵'۱۷/۴"N, ۶۱°۵۴'۵۳/۱"E) (۳۱ عدد) در حوضه ماشکیل با استفاده از الکتروشوکر و تورپره صید گردیدند. نمونه‌ها پس از صید و بیهوشی در عصاره گل میخک، در فرمالین بافری ۱۰ درصد تثبیت گردیدند و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه تکوین و بیوسیستماتیک آبزیان دانشگاه تهران انتقال داده شد. به منظور حذف اثر تفاوت اندازه ناشی از رشد آلومتریک، فقط نمونه‌های بالغ که بزرگتر از ۱۰۰ میلی‌متر انتخاب شدند. با توجه به اینکه براساس مطالعه قبلی (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵) تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جنس‌های نر و ماده این گونه یافت نشد، تفکیک جنسیت برای مقایسه ریختی صورت نگرفت.

برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، ابتدا از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال (Kodak Easy Share) با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل تصاویر دوبعدی تهیه گردیدند. در تصاویر دوبعدی حاصل تعداد ۱۵ لندمارک تعریف و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 رقومی‌سازی شدند (شکل ۱). روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های با استفاده از آنالیز پروکراست[1] به منظور حذف تغییرات غیرشکل (شامل مقیاس، جهت و موقعیت) صورت پذیرفت (Zelditch *et al.*, 2004). سپس داده‌های حاصل از شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده آنالیزهای چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) (خلاصه کردن و درک الگوی تنوع و پراکنش شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه)، تجزیه همبستگی کانونی (CVA)، تحلیل واریانس چند متغیره (MANOVA) (مقایسه شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه) و آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) (درک شباهت شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه) توسط نرم‌افزار PAST (version 2.10) مورد تحلیل قرار گرفتند. مصورسازی تغییرات شکل بدن میانگین جمعیت‌های مورد مطالعه نسبت به شکل بدن میانگین[2] با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ در شبکه تغییر شکل[3] صورت پذیرفت. برای مقایسه اندازه بدن بین جمعیت‌های مورد مطالعه از اندازه مرکز[4] استفاده شد و مقایسه بین اندازه‌های بدن با استفاده از آزمون ANOVA یک طرفه در نرم افزار PAST انجام شد.

[1] Generalised Procrustes Analysis
[2] Consensus configuration
[3] Deformation grid
[4] Centroid size

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]



شکل ۱: لندمارک‌های تعریف شده برای استخراج شکل بدن ماهی کاراس (*Carassius gibelio*). ۱- ابتدایی‌ترین بخش پوزه در فک بالا، ۲- نقطه مرکز چشم، ۳- لبه پشتی سر در امتداد خطی عمود از مرکز چشم، ۴- انتهای سر؛ ۵- لبه پشتی بدن در امتداد خطی عمود از لندمارک شماره چهار، ۶- ابتدای قاعده باله پشتی، ۷- انتهای قاعده باله پشتی، ۸- لبه پشتی باله دمی، ۹- لبه شکمی باله دمی، ۱۰- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۲- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۱۳- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۱۴- بخش شکمی شکاف آبششی، ۱۵- لبه شکمی سر در امتداد خطی عمود از مرکز چشم.

Figure 1: The 15 defined landmark points for extracting the body shape data of *Carassius gibelio*. 1) anterior-most point of the snout tip on the upper jaw, 2) center of eye, 3) dorsal edge of the head perpendicular to the center of eye, 4) posterior edge of the opercle, 5) the line extends perpendicularly to the posterior edge of the opercle above the head, 6) origin and 7) insertion point of the dorsal-fin base, 8) postero-dorsal end of the caudal peduncle at its connection to caudal fin, 9) postero-ventral end of the caudal peduncle at its connection to caudal fin, 10) insertion and (11) origin point of the anal-fin base, 12) origin point of the ventral fin base, 13) most anterior point of the pectoral fin, 14) ventral end of the gill slit and 15) ventral edge of the head perpendicular to the center of eye.

نتایج

بین جمعیت‌های رودخانه‌های ماشکیل و سفیدرود و دریاچه آلاگل از نظر اندازه بدن تفاوت معنی‌داری یافت نشد، ولی ماهیان دریاچه پشت سد خداآفرین تفاوت معنی‌داری با ۳ جمعیت دیگر به لحاظ اندازه داشتند ($p<۰/۰۰۵$). آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی تغییرات شکل بدن را در چهار مولفه اصلی (PC) در مجموع با ۷۱/۶۲ درصد آشکار نمود (جدول ۱). مولفه اصلی اول (PC1) مربوط به تغییر جایگاه لندمارک‌های مستقر در ناحیه سر، تنه و ساقه دمی و مؤلفه‌های دوم و سوم و چهارم (PC2, PC3, PC4) تغییر جایگاه لندمارک‌های مرتبط با عرض بدن و نوک پوزه بودند. بر اساس نتایج PCA دو جمعیت دریاچه‌های آلاگل و سد خدا آفرین از سایرین جدا شده‌اند (شکل ۲).

آنالیز واریانس چند متغیره نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه ماهی کاراس وجود دارد ($p<۰/۰۰۰۱$) (جدول ۲). همچنین آنالیز تجزیه همبستگی کانونی (CVA)، ۴ جمعیت مورد مطالعه را در ۳ گروه کاملاً از یکدیگر مجزا نمود بطوریکه دو جمعیت دریاچه‌های آلاگل و سد خداآفرین به طور قابل توجهی از یکدیگر و از دو جمعیت رودخانه‌های سفیدرود و ماشکیل جدا شده‌اند (شکل ۲). نتایج فواصل ماهالانوبیس نیز به عنوان درجه تمایز یا فاصله تفاوت شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج بیشترین فاصله ماهالانوبیس بین جمعیت‌های رودخانه سفیدرود و ماشکیل با دریاچه سد خداآفرین و کمترین فاصله بین جمعیت‌های رودخانه‌های سفیدرود – ماشکیل وجود دارد.

تحلیل خوشه‌ای دو جمعیت دریاچه‌های آلاگل و سد خداآفرین را در یک شاخه و جمعیت‌های رودخانه‌های سفیدرود و ماشکیل را در شاخه‌ای دیگر قرار داد که بیانگر جدایی جمعیت‌های رودخانه‌ای (آب جاری) و جمعیت‌های آب ساکن (دریاچه‌ای) می‌باشد (شکل ۳).

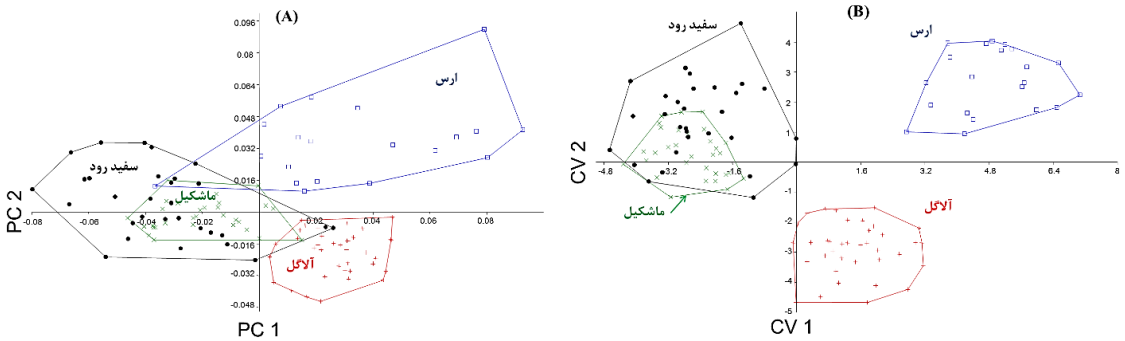
[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

جدول ۱: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه چهار مولفه اصلی اول تحلیل شکل بدن جمعیت‌های ماهی کاراس (*Carassius gibelio*).

Table 1: Variance and eigenvalues of first four components of body shape analysis of *Carassius gibelio* studied populations.

مولفه‌ها	مقادیر ویژه	واریانس
۱	۰/۰۰۱۲	۳۲/۷۳
۲	۰/۰۰۰۷	۱۸/۲۳
۳	۰/۰۰۰۴	۱۱/۳۵
۴	۰/۰۰۰۳	۹/۳۱
جمع		۷۱/۶۲



شکل ۲: نمودارهای (A) تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) و (B) تجزیه همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی کاراس (*Carassius gibelio*).

Figure 2: (A) Principal component analysis and (B) canonical variate analysis diagrams of the body shape of *Carassius gibelio* studied populations.

جدول ۲: نتایج آزمون MANOVA جمعیت های کاراس (*Carassius gibelio*).

Table 1: The results of MANOVA analysis of *Carassius gibelio* populations.

	دریاچه آلاگل	دریاچه سد خدا آفرین	رودخانه ماشکیل	رودخانه سفیدرود
دریاچه آلاگل	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
دریاچه سد	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
رودخانه ماشکیل	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۱۰
رودخانه سفیدرود	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۱	۰

جدول ۳: فاصله ماهالانوبیس حاصل از آنالیز CVA شکل بدن جمعیت های کاراس (*Carassius gibelio*).

Table 2: Mahalanobis distances of CVA analysis of body shape of *Carassius gibelio* populations.

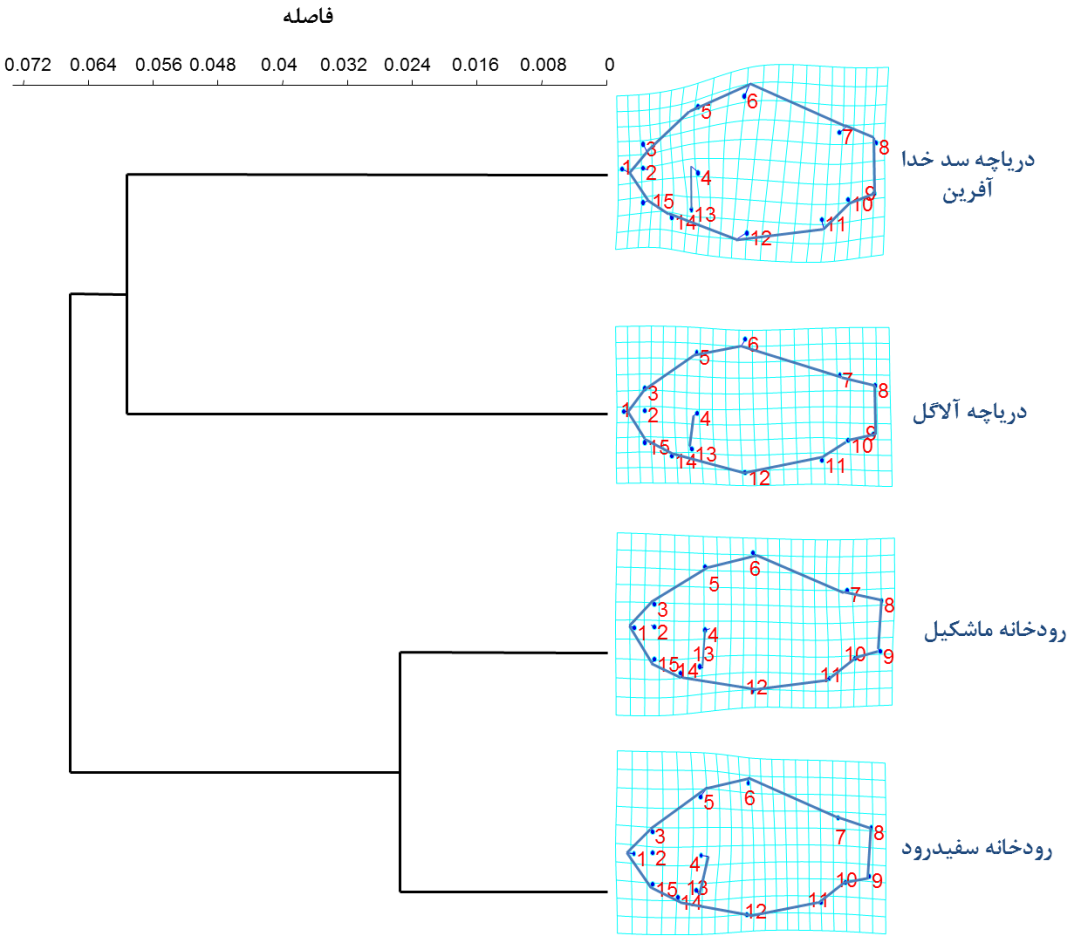
	دریاچه آلاگل	دریاچه سدخدا آفرین	رودخانه ماشکیل
دریاچه پشت سد خداآفرین	۶/۵۸		
رودخانه ماشکیل	۵/۲۷	۷/۷۵	
رودخانه سفیدرود	۵/۹۰	۷/۷۰	۲/۹۴

مقایسه شکل بدن جمعیت‌های ماهی کاراس نسبت به میانگین شکل بدن کل نشان داد که در جمعیت دریاچه آلاگل، ماهیان بواسطه جابجایی لندمارک‌های ۶ و ۱۱ به طرف خارج دارای بدنی کشیده‌تر و بواسطه جابجایی، لندمارک‌های ۱، ۴ و ۱۵ به طرف داخل، سر نسبتاً کوچکتری دارند (شکل ۳). براساس شبکه تغییر شکل و

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

بواسطه جابجایی لندمارک‌های ۶، ۷، ۱۱ و ۱۲ به طرف خارج و جابجایی لندمارک‌های ۱، ۳، ۴ و ۱۵ به طرف داخل، شکل بدن جمعیت دریاچه سد خدا آفرین بیانگر افزایش پهنای بدن در ناحیه‌های ساقه دمی و تنه، و داشتن سر کوچک‌تر است (شکل ۳). میانگین شکل بدن جمعیت رودخانه سفیدرود نشان‌دهنده مرتفع‌تر شدن ناحیه تنه‌ای (بواسطه جابجایی لندمارک‌های ۵ و ۶) و بزرگ‌تر شدن سر (بواسطه جابجایی لندمارک‌های ۱، ۳، ۴ و ۱۵) می‌باشد. میانگین شکل بدن جمعیت رودخانه ماشکیل نیز بیانگر عمیق‌تر شدن بدن در ناحیه تنه‌ای و بزرگ‌تر شدن سر مشابه رودخانه سفیدرود بود.



شکل ۳: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن جمعیت‌های ماهی کاراس (*Carassius gibelio*) (شبکه تغییر شکل نشان دهنده میانگین شکل جمعیت هر جمعیت نسبت به شکل اجماع است).

Figure 3: Body shape cluster analysis of *Carassius gibelio* populations (deformation grids represents the average form of each population relative to the consensus form).

بحث

نتایج حاصل از این مطالعه تفاوت معنی‌داری را بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه نشان داد. عمده این تفاوت ها مربوط به تغییرات در ارتفاع بدن و سر بود. مطالعه Carpenter (۱۹۹۶) داشتن بدن عمیق‌تر را ناشی از تغییرات در زیستگاه بیان داشته است. تغییر در ارتفاع و اندازه بدن می‌تواند به‌دلیل میزان غذای بالای موجود در زیستگاه باشد، زیرا زمانی که غذای مصرفی زیاد باشد، شکل بدن ماهی پهن‌تر می‌شود (Bronmark and Miner, 1992). همچنین Holopainen و همکاران

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

(۱۹۹۷) و Vøllestad و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که عمق بدن علاوه بر واکنش رفتاری، بیشتر اثری از ذخیره انرژی است. با توجه به ویژگی‌های زیستگاهی دریاچه سد خداآفرین، یعنی بالا بودن مواد غذایی در دسترس و همچنین حضور شکارچیان فراوان از جمله ماهی سوف معمولی و اسبله می‌تواند دلیلی بر بدن پهن‌تر و اندازه بزرگ ماهیان این جمعیت باشد. زیرا افزایش ارتفاع بدن می‌تواند یک استراتژی برای مقابله با شکار شدن باشد که در آن افزایش ارتفاع بدن به نسبت دهان و دستگاه گوارش شکارچیان بوقوع می‌پیوندد (Robinson and Parasons, 2002; Lattuca *et al*., 2007).

ماهیان رودخانه سفیدرود و دریاچه‌های آلاگل و سد خدا آفرین دارای بدنی پهن‌تر هستند. Haas و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که ماهیان آب ساکن دارای بدنی پهن‌تر و سر کوچک‌تر هستند و همچنین چشم آنها در وضعیت قدامی واقع می‌شود. اساساً ماهیان با بدن پهن می‌تواند شنای ثابت و موثری را در محیط‌هایی با جریان ضعیف همچون دریاچه‌ها انجام دهند و ماهیانی با ریختی کشیده‌تر توانایی بیشتری برای غلبه بر جریان‌های سریع‌تر آب دارند (Blake, 1984). در مورد ماهیان رودخانه سفیدرود که دارای بدنی پهن‌تر بودند، با توجه به مشاهدات میدانی، جایگاه زیست این گونه در رودخانه سفیدرود حاشیه‌های رودخانه و در ریز زیستگاه‌هایی با پوشش گیاهی وسیع بود و در جریان‌های آزاد رودخانه یافت نگردید. بنابراین، بدن پهن ماهیان این جمعیت برای استقرار در محیط‌ها و فضاهای دارای جریان بسیار کم بین گیاهان آبزی حاشیه رودخانه‌ای یک مزیت محسوب می‌گردد. اساساً بدن‌های پهن و سر بزرگ یک سازگاری برای قابلیت مانور سریع در فضاهای فاقد جریان بین گیاهان آبزی و یافتن غذا در چنین محیطی شناخته می‌شود (Langerhans *et al*., 2003).

ماهیان رودخانه‌های سفیدرود و ماشکیل دارای سر بزرگ‌تر بودند. تغییر شکل سر به‌طور غیرمستقیم بواسطه تغییرات در عمل جستجوی غذا می‌باشد و بر بازده جستجوی غذا تاثیر می‌گذارد (Andersson *et al*., 2005). همچنین تغییر شکل در ناحیه سر و دهان عمدتاً منعکس کننده تفاوت در تغذیه شامل نوع و جهت تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده است (Langerhans *et al*., 2003). به رغم اینکه ماهی کاراس یک گونه همه چیزخوار است، ولی از آنجایی‌که در محیط‌های رودخانه‌ای غذای این گونه شامل گیاهان آبزی و آبزیان ساکن بر آنها می‌باشد یا به عبارت دیگر، از ستون آب تغذیه می‌کنند (باقری و همکاران، ۱۳۸۹)، سر بزرگ‌تر و دهان انتهایی در آنها می‌تواند یک مزیت محسوب گردد (Winemiller, 1992; Cech and Moyle, 2000). همچنین شکل سر در دو جمعیت دریاچه‌ای آلاگل و سد خداآفرین کوچک بود. چون در محیط دریاچه‌ای عمده غذای در دسترس شامل بنتوزها و دتریت‌ها است، پس می‌توان بیان نمود که سر کوچک در ماهیان این زیستگاه‌ها می‌تواند یک مزیت محسوب گردد (Winemiller, 1992; Cech and Moyle, 2010; Haas *et al*., 2010). همچنین Haas و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که ماهیان آب ساکن دارای سر کوچک‌تری هستند.

همچنین نتایج نشان داد که ماهیان دریاچه آلاگل دارای ارتفاع بدنی کم‌تر، ساقه‌ی دمی پهن‌تر بودند که به همراه سر کوچک، سبب شکلی دوکی می‌گردد. شکل بدن پهن‌تر برخلاف نتایج مورد انتظار برای یک جمعیت دریاچه‌ای بود. این نتیجه می‌تواند بواسطه فقدان ماهیان شکارچی در این محیط در مقایسه با دریاچه سد خدا آفرین باشد. زیرا بدن پهن‌تر در دریاچه سد خدا آفرین می‌تواند برای اجتناب از شکارچی تاثیرگذار باشد (Langerhans and Reznick, 2010). ولی در دریاچه آلاگل بدنی دوکی شکل برای کارایی شنای بهتر اهمیت بیشتری دارد. Darcy (۱۹۸۵) در بررسی یک ماهی دریایی عنوان کرد، ماهیان باریک با سرهای کوچک و ساقه دمی درازتر شناگرهای بهتری هستند.

آنالیز خوشه‌ای از نظر شکل بدن، دو جمعیت دریاچه‌ای یعنی دریاچه‌های آلاگل و سد خدا آفرین را در یک شاخه و جمعیت‌های رودخانه‌های سفیدرود و ماشکیل را در شاخه‌ای دیگر قرار دادند. این امر بیانگر جدایی جمعیت‌های رودخانه‌ای و دریاچه‌ای می‌باشد. این امر شباهت کلی شکل بدن ماهیان دریاچه آلاگل و سد خدا

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

آفرین را توجیه می‌نماید. تمایز ریختی مربوط به محل سکونت در همه ماهیان وجود دارد، از جمله گونه‌های مختلف مربوط به آبهای جاری و ساکن با توجه به شرایط زیستگاه، دارای شکل‌های بدن مشابهی هستند، زیرا تفاوت‌های نظام جریان آب بین آب ساکن و آب جاری می‌تواند باعث تمایز ریختی شود (Haas *et al*., 2010).

نتایج مقایسه شکل بدن جمعیت‌های ماهیان کاراس اکوسیستم‌های آبی ساکن و جاری، انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن ماهی کاراس را به ویژگی‌های جریان آب در زیستگاه تایید نمود. اگرچه شکل بدن ماهی کاراس به طور طبیعی پهن است و این امر یک ویژگی ژنتیک در آنهاست و این گونه غیربومی برای استقرار در یک اکوسیستم آبی به یک محیط نسبتاً ساکن مثل دریاچه‌ها یا ریززیستگاه‌های نسبتاً ساکن موجود در حاشیه رودخانه‌ها نیاز دارد. پاسخ سازگاری یک گونه به محیط می‌تواند همزمان به تمایز ژنتیک و تغییرپذیری ریختی مرتبط باشد (West-Eberhard, 1989). ولی با توجه به اینکه زمان طولانی از ورود این گونه غیربومی به آبهای داخلی کشور نمی‌گذرد، از اینرو در ماهی کاراس ویژگی‌های زیستگاه را باید به عنوان عامل موثر بر شکل بدن آنها در نظر گرفت.

براساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه‌گیری نمود که شکل بدن در ماهی کاراس از الگوی کلی وابسته به نوع زیستگاه تبعیت می‌کند و ویژگی‌های ریخت‌شناختی این گونه در ارتباط با نظام جریان آب تغییر می‌کند. این امر بیانگر این موضوع است که آب ساکن می‌تواند محرک تکاملی مهمی بر تنوع زیستی آبزیان باشد. به رغم تایید ارتباط بین شکل بدن ماهی و رژیم جریان آب در مطالعات مختلف، هنوز نوع تغییرات با توجه به نوع جریان و همچنین تاثیر متقابل عوامل مختلف از جمله غذای در دسترس و حضور گونه‌های رقیب و شکارچی نیاز به بررسی بیشتر در گونه‌های مختلف دارد.

منابع

احمدی، س.، ایگدری، س.، . و جوادزاده، ن. ۱۳۹۵. مطالعه انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن ماهی کاراس (*Carassius auratus*) مطالعه موردی جمعیت‌های رودخانه سفیدرود و دریاچه آلاگل. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۸ (۱): ۱۱۵-۱۰۷.

اسحق زاده، ح.، ایگدری،س.، پورباقر، ه. و کاظمی، ر. ۱۳۹۱. مقایسه شکل در پیش لاروهای سالم و تلف شده فیل ماهی (*Huso huso*) و الگوهای بد شکلی با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی .مجله علمی شیلات ایران. ۲۱ (۲): ۹-۱. DOI: 10.22092/ISFJ.2017.110050.

باقری، ط.، عبدلی، ا. و هدایتی، ع.ا. ۱۳۸۹. بررسی سن و رشد ماهی کاراس (*Carassius auratus*) در مصب رودخانه گرگان. مجله زیست شناسی ایران، ۲۳ (۶): ۸۴۹-۸۴۳.

کیوانی، ی.، نصری، م.، عباسی، ک. و عبدلی، ا. ۱۳۹۵. اطلس ماهیان آب‌های داخلی ایران. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. ۲۱۸ صفحه.

Adams, D.C. and Funk, D.J., 1997. Morphometric inferences on sibling species and sexual dimorphism in *Neochlamisus bebbianae* leaf beetles: multivariate applications of the thin-plate spline. *Systematic Biology*, 46: 180-194. DOI: 10.1093/sysbio/46.1.180

Andersson, J., Frank, J. and Tony, S., 2005. Interactions between predator-and diet-induced phenotypic changes in body shape of crucian carp. *Environmental Biology of Fishes*, 273: 431-437. DOI: 10.1098/rspb.2005.3343.

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. DOI: 10.1016/S1361-8415(97)85012-8.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

Bookstein, F.L., 1991. Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology. Cambridge University Press.

Bronmark, C. and Miner, J.G., 1992 Predator-inducedphenotypic change in body morphology in crucian carp. *Science*, 258: 1348-1350. DOI: 10.1126/science.258.5086.1348.

Carpenter, K.E., 1996. Morphometric pattern and feeding mode in emperor fishes (Lethrinidae, Perciformes). *In Advances in morphometrics*, (pp. 479-487). Springer, Boston, MA. DOI: 10.1007/978-1-4757-9083-2_41.

Cech, J.J. and Moyle, P.B., 2000. Fishes: an introduction to ichthyology. Uppersaddle River, NJ: Prentice Hall.

Coad, B.W., 2019. Fresh water fishes of Iran. Available at http://www.briancoad.com.

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). *Environmental Biology of Fishes*, 78(2): 115-123. DOI: 10.1007/s10641-006-9081-9.

Darcy, G.H., 1985. Synopsis of biological data on the sand perch, *Diplectrum formosum* (Pisces, Serranidae). NOAA Technical Report NMFS, 26: 1-21.

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

Graf, W.L., 1999. Dam nation: A geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water Resources Research*, 35(4): 1305-1311. DOI: 10.1029/1999WR900016.

Guill, J.M., Hood, C.S. and Heins, D.C., 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). *Ecology of Freshwater Fish*, 12(2): 134-140. DOI: 10.1034/j.1600-0633.2003.00008.x.

Haas, T.C., Blum, M.J. and Heins, D.C., 2010. Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biology Letters*, 6(6): 803-806. DOI: 10.1098/rsbl.2010.0401.

Hendry, A.P., Taylor, E.B. and McPhail, J.D., 2002. Adaptive divergence and the balance between selection and gene flow: lake and stream stickleback in the Misty system. *Evolution*, 56(6): 1199-1216. DOI: 10.1111/j.0014-3820.2002.tb01432.x.

Holopainen, I.J., Aho, J., Vornanen, M. and 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. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1997.tb01972.x.

Kuliev, Z.M., 1988. Morphometric and ecological characteristics of Caspian Vimba (*Vimba vimba persa*). *Journal of IchthyolgyIchthyology*, 28: 29-37.

Langerhans, R.B., Layman, C.A., Langerhans, A.K. and DeWitt, T.J., 2003. Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological Journal of Linnean Society*, 80:

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

689-698. DOI: 10.1111/j.1095-8312.2003.00266.x.

Langerhans, R.B. and Reznick, D.N., 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. Fish locomotion: an eco-ethological perspective, 220: 248**.**

Lattuca, M.E., Battini, M.A. and Macchi, P.J., 2007. Trophic interactions among native and introduced fishes in a northern Patagonian oligotrophic lake. *Journal of Fish Biology*, 72(6): 1306-1320. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2008.01796.x.

Robinson, B.W. and Wilson, D.S., 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. *The American Naturalist*, 144(4): 596-627. DOI: 10.1086/285696.

Robinson, B.W. and Parsons, K.J., 2002. Changing times, spaces, and faces: tests and implications of adaptive morphological plasticity in the fishes of northern postglacial lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(11): 1819-1833. DOI: 10.1139/f02-144.

Vogel, S., 1994. Life in moving fluids: the physical biology of flow. Princeton University Press.

Vøllestad, L.A., Varreng, K. and 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. DOI: 10.1111/j.1600-0633.2004.00048.x.

Webb, P.W., 1984. Form and function in fish swimming. *Scientific American*, 251: 72-75.

West-Eberhard, M.J., 1989. Phenotypic plasticity and the origins of diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20: 249–278.

Winemiller, K.O., 1992. Ecological divergence and convergence in freshwater fishes. *National Geographic Research*, 8(3): 308-327.

Zelditch, M., 2004. Geometric morphometric for biologists: a primer. Elsevier Academic Press, New York. 437P.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]

Phenotypic plasticity of the body shape in Prussian carp (*Carassius gibelio*), in response to lentic and lotic habitats using geometric morphometric technique

Eagderi S.[1*]; Mouludi-Saleh A.[1]; Ahmadi S.[2]; Javadzadeh N.[2]

*soheil.eagderi@ut.ac.ir

1-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Department of Fisheries, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran

Abstract

This research was conducted to study the phenotypic plasticity of the body shape in *Carassius gibelio* inhabiting lentic and lotic water bodies using geometric morphometric technique. For this purpose, a total of 119 specimens were collected from *Sefid* River (n=30), Alagol Lake (n=37), Khoda-Afarin dam Lake (n=21) and Mashkil River (n=31). To extracting body shape data in geometric morphometric method, the left side of specimens were photographed and 15 defined landmark-points were digitized on 2D images using TpsDig2 software. Data after general procratus analysis was analyzed using PCA, CVA, MANOVA and cluster analysis. The results showed a significant differences in the body shape between studied populations ($p<0.001$). Based on the results, populations of the Alagol and Khoda-Afarin dam lakes had deeper body and smaller head, and those of Sefid River had deeper body, but similar to the Mashkil population had larger head. In addition, Alagol and Khoda-Afarin dam lakes populations were placed together in same clad and those of the Sefid and Mashkil rivers in another clade, indicating the separation of populations inhabiting lentic and lotic habitats. The results also showed that the body shape of *C. gibelio* changes based on type of type of habitat.

Keywords: Geometric *Morphometric,* Golden fish, *Water current, Damming,* Adaption

*Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.5.3]