

ORIGINAL ARTICLE

The use of geometric morphometric method in evaluating sexual dimorphism (Case study: *Cyprinion macrostomum*)

Zaniar Ghafouri¹, Soheil Eagderi^{1*}, Hadi Poorbgher¹

¹Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box 4314, Karaj, Iran.

Correspondence

Soheil Eagderi

Email: soheil.eagderi@ut.ac.ir

How to cite

Ghafouri, Z., Eagderi, S., & Poorbgher, H. (2023). The use of geometric morphometric method in evaluating sexual dimorphism (Case study: *Cyprinion macrostomum*). *Experimental Animal Biology*, 12(46), 51-59.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the sexual dimorphism of *Cyprinion macrostomum* in the Little Zab River using traditional and geometric morphometric methods. For this purpose, during 2021, 37 specimens (21 females and 16 males) were collected using an electrofishing device. After determining the sex of the collected specimens, 18 morphometric characteristics were measured using a digital caliper. Also, to extract body shape data in geometric method, photographs were taken from the left sides of both males and females. Then, 16 landmark-points were digitized in tpsDig2 software. The extracted data were analyzed using multivariate statistical analysis including principal component analysis (PCA), T-tests and Mann-Whitney. The results of discriminant function analysis (DFA) and T-test of the body shape showed a significant difference between males and females ($P < 0.05$). The males have more body depth, posterior snout, and shorter caudal peduncle length than the females. Males and females had significant differences in 8 morphometric traits ($P < 0.05$). The results of the present study confirmed the performance of traditional and geometric morphometric methods in the differentiation of the *C. macrostomum* sexes.

KEYWORDS

Sexual dimorphism, Landmark, Little Zab, *Cyprinion macrostomum*.

نشریه علمی

زیست‌شناسی جانوری تجربی

«مقاله پژوهشی»

استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی در ارزیابی دوشکلی جنسی (مطالعه موردی: ماهی بوتک‌دهان‌بزرگ (*Cyprinion macrostomum*))

زانیار غفوری^۱، سهیل ایگدری^{۱*}، هادی پورباقر^۱

^۱گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی دوشکلی جنسی ماهی بوتک‌دهان‌بزرگ (*Cyprinion macrostomum*) در رودخانه زاب کوچک با استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی سنتی و هندسی به اجرا درآمد. بدین منظور طی سال ۱۴۰۰، تعداد ۳۷ قطعه ماهی بوتک‌دهان‌بزرگ (۲۱ قطعه ماده و ۱۶ قطعه نر) با استفاده از دستگاه ماهیگیر الکتریکی صید شدند. پس از تعیین جنسیت نمونه‌ها، ۱۸ ویژگی ریختی با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شدند. همچنین برای استخراج داده‌های حاصل از شکل بدن در روش هندسی از سمت جانبی هر دو جنس نر و ماده عکس‌برداری انجام شد سپس از عکس‌های گرفته شده در نرم‌افزار tpsDig2 تعداد ۱۶ نقطه لندمارک تعریف و رقمی‌سازی شدند. داده‌های استخراج شده با استفاده از آزمون‌های آماری چند متغیره تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، تست تی و من‌ویتنی، مورد تحلیل قرار گرفتند. براساس نتایج تحلیل تابع تشخیصی (DFA) و T-test هتلینگ شکل بدن در دو جنس نر و ماده تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$). جنس نر گونه *C. macrostomum* عمق بدن بیشتر، پوزه خلفی‌تر و طول ساقه دمی کمتری نسبت به جنس ماده داشت. دو جنس نر و ماده در ۸ صفت ریخت‌سنجی دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بودند ($P < 0.05$). نتایج این مطالعه عملکرد ریخت‌سنجی سنتی و هندسی در تمایز دو شکلی جنسی گونه *C. macrostomum* تایید نمود.

واژه‌های کلیدی

دوشکلی جنسی، لندمارک، زاب کوچک، بوتک‌دهان‌بزرگ..

نویسنده مسئول:

سهیل ایگدری

رایانامه: soheil.eagderi@ut.ac.ir

استناد به این مقاله:

غفوری، زانیار، ایگدری، سهیل و پورباقر، هادی (۱۴۰۲). استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی در ارزیابی دوشکلی جنسی (مطالعه موردی: ماهی بوتک‌دهان‌بزرگ (*Cyprinion macrostomum*)). فصلنامه زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۱۲ (۴۶)، ۵۹-۵۱.

<https://eab.journals.pnu.ac.ir/>

مقدمه

در بین مهره‌داران ماهیان دارای بیشترین تنوع بوده و تاکنون بیش از ۳۵۰۰۰ گونه شناسایی شده است که بیش از ۴۰ درصد آن‌ها ماهیان آب شیرین محسوب می‌شوند (Froese & Pauly, 2019). از این رو مطالعه ماهیان در بوم‌سازگان‌های آبی به دلایل متعدد از جمله بررسی تکاملی، بوم‌شناختی، رفتارشناسی، بحث حفاظتی، مدیریت منابع آبی و بهره‌برداری از ذخایر و پرورش ماهی دارای اهمیت است (Askari et al., 2014). کشور ایران از نظر جغرافیای جانوری اهمیت ویژه‌ای دارد؛ اما، در مورد ماهیان آب‌های داخلی ایران اطلاعات محدودی وجود دارد. باتوجه به مطالعات انجام شده حدود ۲۹۲ گونه ماهی از آب‌های داخلی ایران گزارش شده است (Eagderi et al., 2022). در شناسایی و توصیف گونه‌ها از روش‌های متعددی از جمله تکنیک ریخت‌سنجی و مولکولی استفاده می‌شود (Eagderi et al., 2021). ماهی‌ها به واسطه قابلیت‌های زیستی خود قادرند با شرایط مختلف محیطی سازگار شوند، بنابراین ریخت یا شکل بدن ماهیان نه تنها انعکاس‌دهنده ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها طی فرآیند تکامل است، بلکه بیانگر وضعیت محیط‌زیست و زیستگاه آن‌ها نیز می‌باشد (Hasanpou et al., 2016). روش ریخت‌سنجی سنتی براساس اندازه‌گیری فواصل طولی و زوایا می‌باشد و اغلب بررسی‌های آرایه‌شناختی و تفکیک گونه‌ها براساس داده‌های ریخت‌سنجی بوده است، اگرچه این روش توانایی بالایی در تفکیک ریختی ماهیان دارد؛ با این وجود این روش دارای ضعف‌هایی از جمله عدم امکان مصورسازی تفاوت‌ها، فقدان توانایی استخراج شکل نمونه‌ها، مشکل حذف اندازه نمونه‌ها و هم‌پوشانی فواصل اندازه‌گیری شده دارد (Baniamasani et al., 2019). روش نوین، ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه، دارای قابلیت گسترده‌ای در مطالعات زیست‌شناسی بوده (Arab & Keivany, 2020) و بطور موفقیت‌آمیزی در تفکیک ریختی جمعیت‌های ماهیان و بحث دوشکلی جنسی^۱ استفاده شده است (Eagderi et al., 2020a; Mouludi-Saleh et al., 2021).

از جمله پدیده‌های رایج در بین موجودات زنده دوشکلی جنسی می‌باشد که سه مکانیسم اصلی از جمله گزینش جنسی، دوشکلی آشیانی و رقابت غذایی به‌عنوان نیرو محرکه اصلی در تمایز و ایجاد دوشکلی جنسی جانوران بیان شده است (Eagderi et al., 2021). در بررسی تکاملی درون گونه‌ای، مطالعه دوشکلی

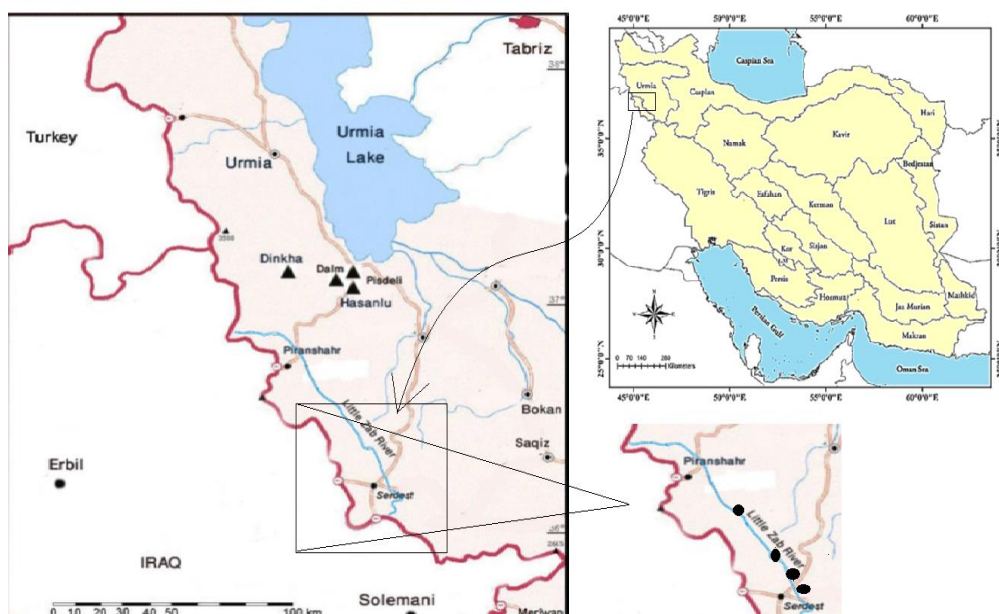
جنسی از موضوعات مهم است. یکی از مکانیسم‌هایی که باعث تمایز ریختی می‌شود گزینش جنسی است که در مکانیسم گزینش جنسی تغییر شکل عمدتاً در جنس نر گونه‌هایی مشاهده می‌شود که ماده‌ها طی فرآیند گزینشی (به‌گزینی) برای انتخاب جفت در فرآیند جفت‌گیری انجام می‌دهند (Eagderi, 2017). مکانیسم دوشکلی آشیانی به واسطه محدودیت‌های تولیدمثلی صورت می‌گیرد و برخلاف حالت اول، تغییر شکل و گزینش برروی جنس ماده شکل می‌گیرد (Hedrick & Temeles, 1989). دوشکلی جنسی به‌واسطه رقابت غذایی در راستای کاهش رقابت بین دو جنس صورت می‌گیرد و ممکن است منجر به سازگاری عملکردی به عادات متفاوت غذایی گردد (Eagderi, 2017). گونه *Cyprinion macrostomum* دارای پراکنش وسیعی در حوضه آبریز دجله و فرات است و به‌عنوان گونه تجاری شناخته شده است (Bibak et al., 2013). مطالعات مختلفی در مورد تنوع ریختی جنس *Cyprinion* در ایران انجام شده است. Nasri et al. (2019) تنوع مورفولوژیکی بین گونه‌ای جنس *Cyprinion* در ایران را با تکنیک ریخت‌سنجی هندسی مطالعه نمودند. در مطالعه‌ای دیگر Nasri et al. (2018) تنوع مورفولوژیکی گونه‌های *Cyprinion* در ایران را مورد بررسی قرار دادند. از آنجا که مطالعاتی در مورد دو شکلی جنسی گونه بوتک‌دهان‌بزرگ *C. macrostomum* انجام نشده است، بنابراین این مطالعه با هدف بررسی دوشکلی جنسی این گونه در رودخانه زاب کوچک استان آذربایجان غربی با استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی سنتی و هندسی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

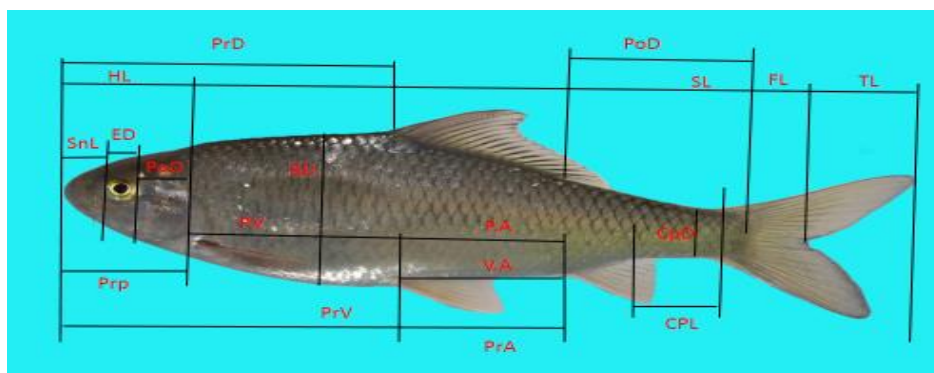
طی آذر ماه ۱۴۰۰، به‌منظور بررسی دوریختی جنسی گونه *C. macrostomum* تعداد ۳۷ نمونه ماهی (Rahmani et al., 2017) (۱۶ نمونه نر و ۲۱ نمونه ماده) از رودخانه زاب کوچک با استفاده از دستگاه ماهیگیر الکتریکی صید و در فرمالین ۱۰ درصد تثبیت و جهت مطالعات بیشتر به آزمایشگاه منتقل شدند (شکل ۱). پس از تعیین جنسیت نمونه‌ها، ۱۸ ویژگی ریختی با استفاده از نرم‌افزار Image J اندازه‌گیری شدند (شکل ۲). داده‌های ریختی به‌منظور حذف اثرات ناشی از رشد آلومتریک ابتدا در نرم‌افزار PAST استانداردسازی شدند (Elliott et al., 1995) سپس به‌منظور بررسی توزیع نرمال و غیر نرمال بودن مورد تحلیل قرار گرفتند. برای بیان تفاوت‌های احتمالی بین دو جنس

داده‌های شکل بدن جنس‌های نر و ماده با استفاده آنالیزهای چندمتغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis (PCA) تحلیل تابع تشخیص (Discriminant Function Analysis) و T-test هتلینگ در نرم‌افزار PAST v 2.17b تحلیل و مقایسه شدند. همچنین مصور سازی تغییرات شکل بدن میانگین جمعیت‌ها از شکل میانگین کل (Consensus configuration) با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ در نمودار Wireframe صورت گرفت. تمام آنالیزهای آماری در بستر نرم‌افزارهای PAST، MorphoJ 1.01 و Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد.

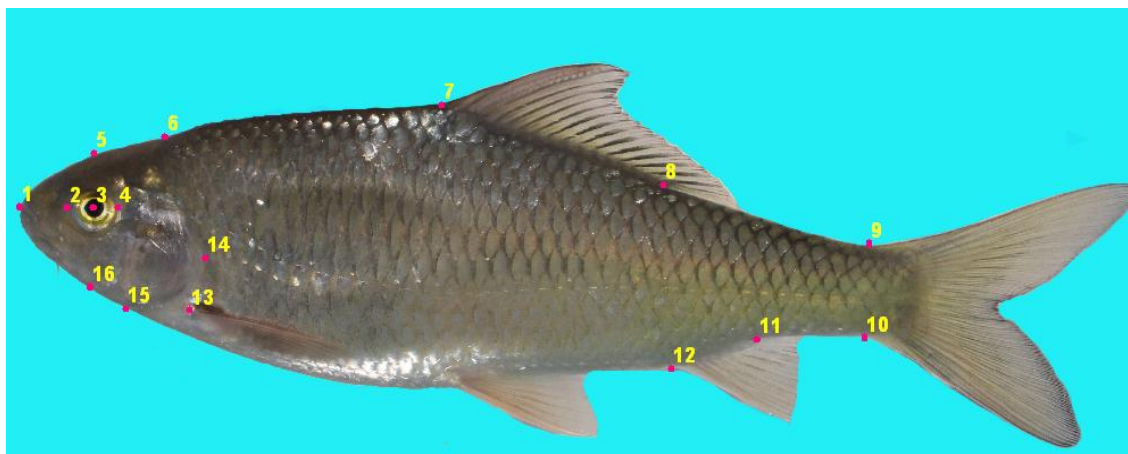
نر و ماده صفات ریخت‌سنجی نرمال و غیرنرمال به ترتیب با استفاده از آنالیزهای من‌ویتنی و تی‌تست مستقل (Independent T-test). مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین به‌منظور استخراج داده‌های حاصل از شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی از سمت جانبی هر دو جنس نر و ماده با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری انجام شد سپس از عکس‌های گرفته شده در نرم‌افزار tpsDig2 تعداد ۱۶ نقطه لندمارک لندمارک (شکل ۳) تعریف رقومی‌سازی شدند. به‌منظور حذف اثرات و تغییرات غیرشکل از جمله اندازه، جهت و موقعیت آنالیز پروکراست (GPA) صورت گرفت (Zelditch et al., 2004).



شکل ۱. منطقه نمونه برداری گونه *C. macrostomum* در رودخانه زاب کوچک



شکل ۲. صفات اندازه‌ای مورد بررسی دو جنس نر و ماده *C. macrostomum* مورد مطالعه. TL (طول کل)؛ FL (طول پنگالی)؛ SL (طول استاندارد)؛ PoD (پس باله پستی)؛ PrD (پیش باله پستی)؛ HL (طول سر)؛ ED (قطر چشم)؛ SnL (طول پوزه)؛ PoO (پس چشمی)؛ PrP (پیش باله سینه‌ای)؛ P.V (سینه‌ای-شکمی)؛ BD (عمق بدن)؛ PrV (پیش باله شکمی)؛ P.A (سینه‌ای-مخرجی)؛ V.A (شکمی-مخرجی)؛ PrA (پیش باله مخرجی)؛ CpL (طول ساقه دم)؛ CpD (عرض ساقه دم)

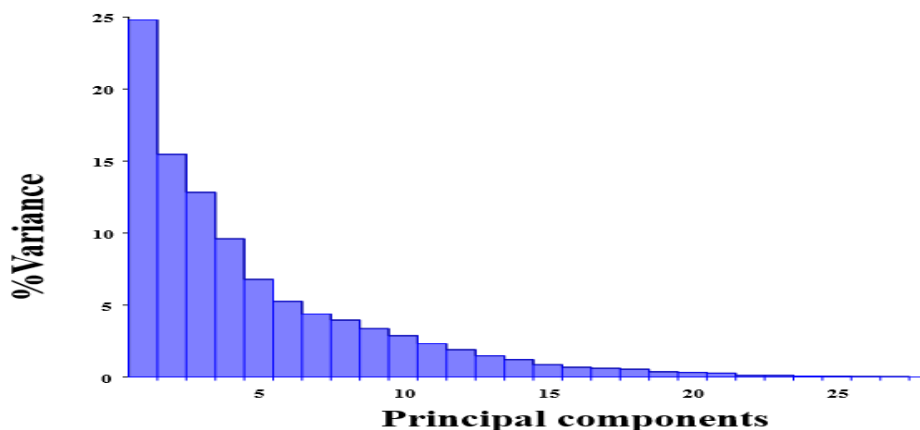


شکل ۳. موقعیت لندمارک‌های تعیین شده بر روی جنس‌های نر و ماده *C. macrostomum* مورد مطالعه. ۱. ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا، ۲. قسمت جلویی چشم در راستای وسط چشم، ۳. وسط چشم، ۴. نقطه خلفی چشم در راستای وسط چشم، ۵. نقطه بالای مرکز چشم در قسمت فوقانی سر، ۶. انتهای سر، ۷. منشأ قاعده‌ی باله پشتی، ۸. انتهای قاعده‌ی باله پشتی، ۹. کم‌عرض‌ترین قسمت ساقه‌ی دم در بالا، ۱۰. کم‌عرض‌ترین قسمت ساقه‌ی دم در پایین، ۱۱. انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۲. منشأ قاعده باله مخرجی، ۱۳. ابتدای قاعده باله سینه‌ای، ۱۴. انتهای سرپوش آبششی، ۱۵. بخش زیرین سرپوش و ۱۶. خط عمود بر مرکز چشم از سمت پایین سر.

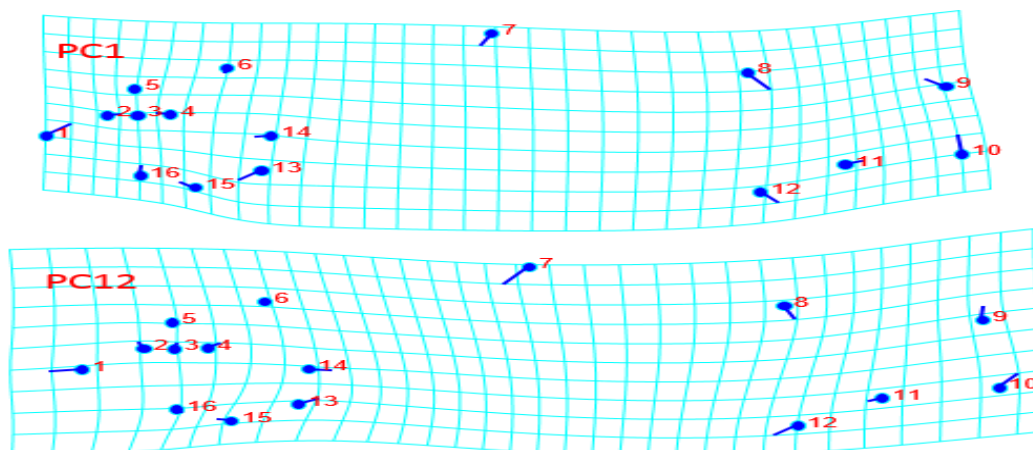
نتایج

بخش هندسی: تحلیل مولفه‌های اصلی از ۳۲ مولفه استخراجی، تعداد ۴ مولفه با درصد واریانس کل ۶۲/۵۶ را به عنوان مولفه‌های موثر در بیان تفاوت‌های ریختی بین دو جنس نر و ماده نشان داد (شکل ۴). الگوهای تغییر ریختی در راستای دو مولفه اصلی اول در شکل ۵ ارایه شده است، بر اساس نتایج جمعیت‌های مورد مطالعه در راستای مثبت مولفه اصلی اول (PC1) تمایل به پوزه خلفی (لندمارک ۱)، کاهش عمق سر (تغییر موقعیت لندمارک‌های ۶ و ۱۶)، کاهش عمق بدن (مربوط به لندمارک‌های ۷ و ۸) و تغییر موقعیت باله مخرجی (سمت خلفی بدن) (مربوط به لندمارک‌های ۱۱ و ۱۲) و در راستای مثبت مولفه اصلی دوم (PC2) تغییر در موقعیت

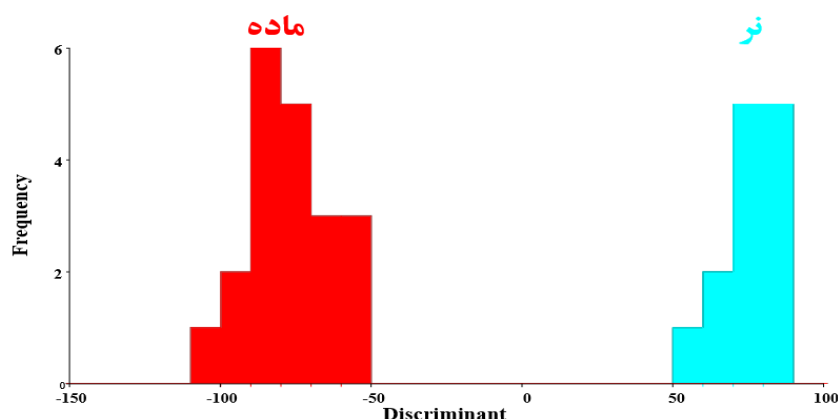
باله سینه‌ای خلفی‌تر (تغییر موقعیت لندمارک ۱۳)، تغییر در اندازه سر (موقعیت لندمارک ۱۴)، کاهش عمق بدن (موقعیت لندمارک‌های ۷ و ۸) و افزایش عرض ساقه دم (لندمارک‌های ۹ و ۱۰) دارند. نتایج تحلیل تابع تشخیصی (DFA) و T-test هتلینگ شکل بدن دو جنس نر و ماده تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$) (شکل ۶). همچنین مقادیر فواصل ماهالانوبیس و پروکراست حاصل از شکل بدن به ترتیب ۱۲/۳۵ و ۰/۱۵۵ به دست آمد. براساس الگوهای جابجایی لندمارک‌ها، عمده تفاوت‌های مشاهده شده مربوط به موقعیت پوزه، عمق بدن و طول ساقه دم می‌باشد، که جنس نر گونه *C. macrostomum* عمق بدن بیشتر، پوزه خلفی‌تر و طول ساقه دم کمتری نسبت به جنس ماده دارد (شکل ۷).



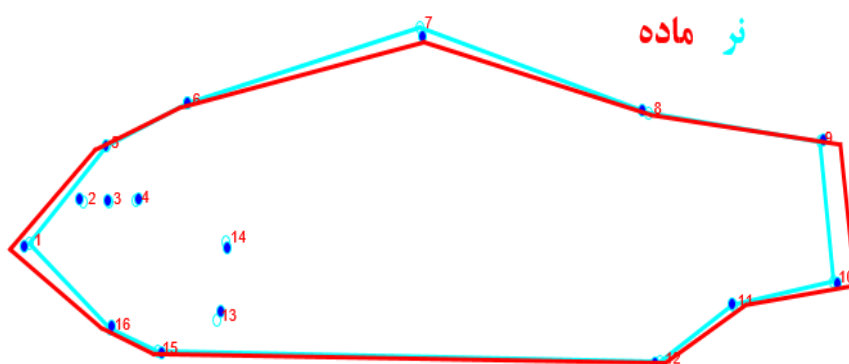
شکل ۴. نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی مولفه‌های استخراجی شکل بدن و درصد واریانس هر یک از آن‌ها در گونه *C. macrostomum* رودخانه زاب کوچک



شکل ۵. تغییرات موقعیت لندمارک‌های حاصل از شکل بدن در راستای دو مولفه اصلی اول گونه *C. macrostomum* رودخانه زاب کوچک



شکل ۶. نمودار آنالیز DFA شکل بدن جنس‌های نر و ماده گونه *C. macrostomum* رودخانه زاب کوچک

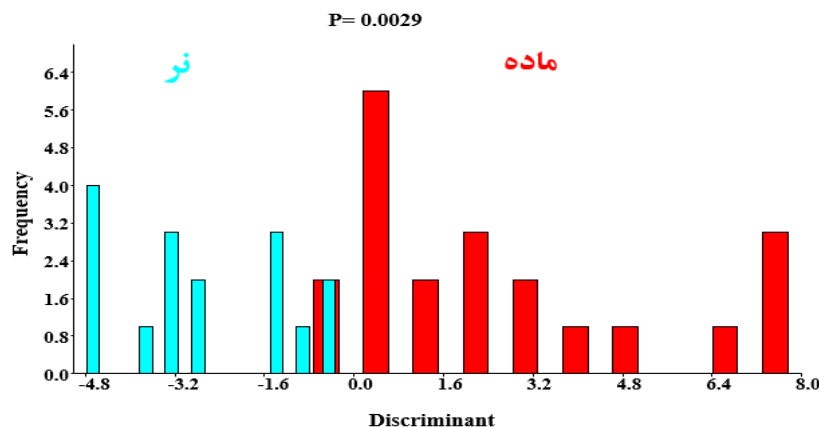


شکل ۷. مقایسه میانگین شکل بدن جنس نر و ماده گونه *C. macrostomum* در رودخانه زاب با استفاده از شبکه تغییر شکل

ریخت‌سنجی ستی

در بررسی صفات مشخص شد که صفات پیش باله پشتی، پس چشمی، عمق بدن، پیش باله شکمی، سینه‌ای-مخرجی، شکمی-مخرجی، پیش باله مخرجی و طول ساقه دم دارای توزیع غیر نرمال بودند ($P > 0.05$). نتایج تحلیل من‌ویننی و تی‌تست مستقل صفات نرمال و غیر نرمال نشان داد پس و پیش باله پشتی، قطر

چشم، طول سر، پس چشمی، عمق بدن، پیش باله شکمی، سینه‌ای-مخرجی، شکمی-مخرجی، پیش باله مخرجی و طول ساقه دم دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بودند ($P < 0.05$). تحلیل تابع Hotelling's $t^2 = 51.189$, $F = 3.8$ ، جدول ۱). تشخیص صفات دارای تفاوت معنی‌دار دو جنس نر و ماده گونه بوتک دهان بزرگ را از یکدیگر تفکیک نمود (شکل ۸).



شکل ۸. تحلیل تابع تشخیصی (DFA) صفات ریخت‌سنجی جنس‌های نر و ماده گونه *C. macrostomum* در رودخانه زاب کوچک

جدول ۱. نتایج آنالیز تی‌تست و من‌ویتنی صفات ریخت‌سنجی مورد بررسی جنس‌های نر و ماده گونه *C. macrostomum* در رودخانه زاب کوچک

صفات	ماده	نر	P
طول کل	۲۰/۳۳±۱۰/۶۲	۱۸/۵۱±۹/۶۴	
طول چنگالی	۱۸/۷۴±۹/۲۳	۱۷/۲۱±۸/۴۹	
طول استاندارد	۷۹/۲۳±۰/۰	۷۹/۲۳±۰/۰	-
طول سر	۱۸/۲۲±۱/۱۳	۱۷/۱۲±۱/۰۱	۰/۰۰۴
طول پوزه	۶/۴۷±۰/۶۸	۶/۱۵±۰/۴۵	۰/۱۱۴
پس چشمی	۸/۴۶±۰/۶۶	۷/۷۷±۰/۵۲	۰/۰۰۳
قطر چشم	۵/۱۵±۰/۳۹	۴/۷۵±۰/۴۲	۰/۰۰۷
پیش باله پستی	۴۱/۲۷±۱/۶۱	۳۹/۹۸±۱/۶۰	۰/۰۳۷
پس باله پستی	۱۷/۹۲±۱/۶۹	۱۶/۷۹±۱/۴۳	۰/۰۴۱
پیش باله مخرجی	۶۱/۳۰±۱/۸۶	۵۹/۲۴±۱/۱۲	۰/۰۰
طول ساقه دم	۱۱/۷۰±۱/۲۶	۱۰/۶۶±۰/۷۹	۰/۰۰۹
پیش باله شمکی	۴۲/۷۸±۲/۱۰	۴۱/۳۱±۱/۴۳	۰/۰۰۲
پیش باله سینه ای	۱۸/۸۰±۱/۱۹	۱۸/۴۵±۰/۹۷	۰/۳۴۲
سینه ای-مخرجی	۴۲/۹۸±۲/۲۱	۴۰/۳۱±۱/۷۱	۰/۰۰۱
شکمی-سینه ای	۲۳/۳۷±۱/۶۲	۲۳/۱۹±۱/۵۰	۰/۷۳۳
مخرجی-شکمی	۱۸/۹۶±۱/۴۷	۱۷/۵۴±۱/۰۶	۰/۰۰۳
عمق بدن	۲۲/۸۹±۱/۲۲	۲۱/۸۱±۰/۹۰	۰/۰۱۷
عرض ساقه دم	۸/۹۰±۰/۸۳	۹/۱۰±۰/۵۴	۰/۴۰۴

بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی‌های ریختی در مطالعات زیست‌شناختی، بررسی دوریختی جنسی، تکامل، سازگاری با فاکتورهای زیستگاهی و شناسایی و تعریف گونه‌ها به‌عنوان یک ابزار قدرتمند مطرح شده است (Mouludi-Saleh et al., 2021). نتایج این مطالعه نشان داد که دو جنس نر و ماده بوتک‌دهان‌بزرگ *C. macrostomum* در ۹ صفت ریختی از جمله پس و پیش باله پستی، قطر چشم، طول سر، پس چشمی، عمق بدن، پیش باله شکمی، سینه‌ای-مخرجی، شکمی-مخرجی، پیش باله مخرجی و طول ساقه دم دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر می‌باشند که در تایید نتایج، روش

هندسی نیز تمایز ریختی این گونه را صفات موقعیت پوزه، عمق بدن و طول ساقه دم نشان داد. تغییرات ریخت بدن ماهی‌ها در راستای فرایند تکاملی می‌تواند به‌واسطه انعطاف‌پذیری در زیستگاه‌های با شرایط متفاوت محیطی صورت می‌گیرد (Wimberger, 1992). در مطالعات تغییرات ریختی را به شرایط اکولوژیکی و زیستگاهی نسبت داده‌اند به‌طوری که صفات ریختی از جمله ارتفاع بدن، طول و ارتفاع ساقه دم به عملکردهایی چون سرعت شنا، مانورپذیری، و ریخت دهان به فرآیند تغذیه مرتبط می‌شوند (Eagderi, 2017). تمایز جنسی به‌واسطه رقابت بر سر منابع غذایی به‌منظور کاهش رقابت بین دو جنس به وقوع

جنسی ریختی را برای این گونه گزارش نمودند. همچنین Eagderi (2017) با مقایسه ریخت‌شناسی جمعیت‌های *dispar* *Aphanius* با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی نشان داد دوشکلی جنسی در نواحی سر و تنه، صفات اصلی ریختی بین جنس نر و ماده این گونه بود و جنس نر این گونه به‌عنوان جنس مطلوب‌تر برای بررسی مقایسه ریختی بین جمعیت‌ها را پیشنهاد داد. Rahmani et al. (2017) دوشکلی جنسی در صفات ریختی گاوماهی *Ponticola cyrius* در رودخانه تجن را مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج تحلیل تابع تشخیصی، دوریختی جنسی این گونه گزارش شد. دوشکلی جنسی علاوه‌بر تشخیص، شناسایی و بوم‌شناسی تولیدمثلی گونه‌ها، می‌تواند در زمینه شیلانی نیز برای گونه‌های دارای دوشکلی جنسی برای اهداف تجاری نیز موثر واقع شود (Parker, 1992). به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنان بیان کرد که روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی قابلیت تشخیص دو ریختی جنسی گونه *C. macrostomum* را دارد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

References

- Arab, M., & Keivany, Y. (2020). Geometric morphometric comparison of trout barb (*Capoeta trutta*) in Bushehr basin. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 8(2), 1-8. (in Persian).
- Askari, G., Hedayati, S.A., & Kolangi miandare, H. (2014). Comparison of morphometric and meristic characteristics of *Garra rufa* (Heckel, 1843) in spring and autumn in the Shapour River, Fars, Iran. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 2(1), 93-104. (in Persian).
- Banimasani, M., Keivany, Y., & Ebarahimi, E. (2019). Comparative geometric morphometric study of *Capoeta fusca* populations in Kavir and Harirud basins. *Quarterly Journal of Experimental Animal Biology*, 7(4), 107-115. (in Persian).
- Bibak, M., Hosseini, S.A., & Izadpanahi, G.R. (2013). Length-Weight Relationship of *Cyprinion macrostomus*, (Heckel, 1843) in Dalaki River and Shahpur River in South of Iran. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5 (3), 263-265.
- Eagderi, S. (2017). Determination of suitable sex for morphological comparison in populations of *Aphanius dispar* using geometric morphometrics. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25 (5), 65-74. (in Persian).
- Eagderi, S., & Kamal, S. (2013). Application of geometric morphometrics 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 Applied Ichthyological Research*, 1(2), 47-52. (in Persian).
- Eagderi, S., Mouludi Saleh, A., & Poorbagher, H. (2020). Sexual dimorphism comparison of body shape of *Esmaeilius sophiae* using geometric morphometric method. *Scientific Research Journal of Animal Environment*, 12(4), 311-317. (in Persian).
- Eagderi, S., Mouludi Saleh, A., Rostami, M., & Imani Harsini, J. (2021). Morphological pattern of the genus *Alburnoides* (Pisces: Cyprinidae) in Iranian inland waters using Landmark-based geometric morphometric technique. *Journal of Fisheries (Iranian Journal Of Natural Resources)*, 74(2), 259-270. (in Persian).
- Eigderi, S., Mouludi Saleh, A., & Poorbagher, H. (2020a). Sexual dimorphism comparison of body shape of *Esmaeilius sophiae* using geometric morphometric method. *Journal of Animal Environment*, 12(4), 311-316.

می‌پیوندند و منجر به سازگاری عملکردی به عادات متفاوت تغذیه‌ای یا تغذیه در جایگاه‌های متفاوت می‌گردد (Eagderi et al., 2020). افزایش ارتفاع/عمق بدن می‌تواند یک استراتژی برای مقابله با شکار شدن باشد (Patimar et al., 2020). طول ساقه دمی کوتاه در جنس نر یک مزیت شناگری برای زیست در نواحی سطحی آب می‌باشد (Eagderi et al., 2020b). در طول گزینش، بعضی مواقع گزینش اکولوژیکی به صورت متفاوت در دو جنس عمل می‌کند و رقابت درون گونه‌ای بین دو جنس به‌واسطه محدودیت آشیان اکولوژیک سبب بروز تفاوت‌های ریختی شود (Hedrick & Temeles, 1989). به‌طور کلی ویژگی‌های ریخت‌شناسی ماهیان در مقایسه با سایر مهره‌داران بیشتر دارای تغییرات درون و بین گونه‌ای است و نسبت به تغییرات ناشی از محیط حساسیت بیشتری دارند بنابراین اثرات بعضی از فاکتورهای محیطی مثل دما، شوری، دسترسی به غذا و یا فاصله مهاجرت می‌تواند به طور بالقوه تفکیک ریختی ماهیان را تعیین کند (Turan et al., 2006). مطالعات متعددی در رابطه با دوشکلی جنسی در گونه‌های مختلف صورت گرفته است، Eagderi & Kamal (2013) در مطالعه دوشکلی جنسی گونه *Aphanius sophiae* با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی دوشکلی

- Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Esmaeili, H.R., Sayadzadeh, G., & Nasri, M. (2022). Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal Zoology* 46, 500-522.
- Elliott, N. G., Haskard, K., & Koslow, J. A. (1995). Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of southern Australia. *Fish Biology*, 46(2), 202-220.
- Froese, R., & Pauly, D. (2019). FishBase. Accessed 24 September, 2019. www.fishbase.org.
- Hasanpour, S., Eagderi, S., & Nasri, M. (2016). Morphological comparison of five populations of Mosul bleak (*Alburnus mossulensis*) in the Tigris basin using Elliptic Fourier Analysis. *Applied Biology*, 30(2), 76-87.
- Hedrick, A.V., & Temeles, E.J. (1989). The evolution of sexual dimorphism in animals: hypotheses and tests. *Trends in Ecological Evolution*, 4: 136-138. DOI: 10.1016/0169-5347(89)90212-7.
- Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., & Abbasi, K. (2021). Sexual dimorphism of *Rutilus kutum* Kamenskii, 1901 using geometric morphometric method in part of the southwestern Caspian Sea basin. *Quarterly Journal of Experimental Animal Biology*, 10(1), 23-29. (in Persian).
- Nasri, M., Eagderi, S., Farahmand, H., & Nezhadheydari, H. (2019). Interspecific morphological variation among members of the genus *Cyprinion* Heckel, 1843 (Teleostei: Cyprinidae) in Iran, using landmark-based geometric morphometric technique. *Iranian Journal of Ichthyology*, 6(1), 54-64.
- Nasri, M., Eagderi, S., Keivany, Y., Farahmand, H., Dorafshan, S., & Nezhadheydari, H. (2018). Morphological diversity of *Cyprinion* Heckel, 1843 species (Teleostei: Cyprinidae) in Iran. *Iranian Journal of Ichthyology*, 5(2), 96-108.
- Parker, G. (1992). The evolution of sexual size dimorphism in fish. *Journal of Fish Biology*, 41, PP: 1-20.
- Patimar, R., Eagderi, S., & Bahalkeh, A. (2020). A study on sexual dimorphism of body shape in Caucasian dwarf goby, *Knipowitschia caucasica* (Berg, 1916) using geometric morphometrics. *Journal of Fisheries (Iranian Journal Of Natural Resources)*, 73(4), 497-505. (in Persian).
- Rahmani, H., Abdollahpour, Z., & Jooladeh, R. A. (2017). Evaluation of sexual dimorphism in *Ponticola cyrius* in Tajan River using geometric-morphometric and traditional morphometric methods. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(1), 68-78 (in Persian).
- Turan, C., Oral zturk B.O., & Duzgunes, E. (2006). Morphometric and meristic variation between stocks of Bluefish, *Pomatomus saltatrix* in the Black, Marmara, Aegean and northeastern Mediterranean Seas. *Fisheries Research*, 79, 139-147.
- Wimberger, P.H. (1992). Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 45, 197-218.
- Zelditch, M., Swiderski, D., Sheets, D., Fink, W. (2004). *Geometric morphometrics for biologists: A primer*. Academic. 437 p.