نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

بررسی تنوع‌ریختی جمعیت‌های جویبارماهی السا (*Oxynoemacheilus elsae* Eagderi, Jalili and Çiçek 2018) در رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی

عطا مولودی صالح[1]، سهیل ایگدری[2*]، هادی پورباقر[2]، شادیه محمدی[3]
[1]دانشجوی دکتری شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[2]دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[3]کارشناسی‌ارشد بوم‌شناسی آبزیان شیلاتی، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

https://doi.org/10.22034/jair.10.1.21

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۰۰/۰۱/۲۰
پذیرش: ۰۰/۰۷/۰۶

نویسنده مسئول مکاتبه:
سهیل ایگدری، دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

ایمیل: soheileagderi@ut.ac.ir

چکیده

درطی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸، به‌منظور بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های جویبارماهی السا (*Oxynoemacheilus elsae*) تعداد پنجاه و یک قطعه از رودخانه‌های گدارچای، باراندوزچای، زرینه‌رود و مهابادچای از حوضه دریاچه ارومیه نمونه‌برداری شدند. از نمونه‌ها تعداد ۲۱ صفت ریختی با استفاده کولیس دیجیتال با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین به‌منظور بررسی تنوع ریختی در روش ریخت‌سنجی هندسی از نمای جانبی چپ نمونه‌ها عکس‌برداری، سپس با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 تعداد ۱۴ لندمارک برروی عکس رقومی‌سازی شدند. سپس داده‌ها جهت بررسی تنوع ریختی بین جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره PCA و MANOVA/CVA و تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین جمعیت‌های مورد مطالعه از لحاظ ریختی تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<0/05$). در بررسی صفات اندازشی جمعیت‌های مورد مطالعه در ۱۰ صفت تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($p<0/05$). عمده تفاوت‌های شکل هندسی نیز مربوط به عمق بدن و سر، موقعیت دهان و ارتفاع ساقه دمی بود. تنوع ریختی مشاهده شده قدرت سازگاری بالای این گونه به‌ویژه به لحاظ صفات طول باله سینه‌ای و ارتفاع بدن در راستای سازگاری به زیستگاه را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:
جویبارماهی، ریخت‌سنجی، حوضه ارومیه، انعطاف‌پذیری ریختی

۱ | مقدمه

ماهیان از تنوع بالایی در اکوسیستم‌های آب‌های داخلی ایران برخوردار هستن، و خانواده جویبارماهیان (Nemacheilidae) با حدود ۵۰ گونه تنوع بالایی را در بین آن‌ها به خود اختصاص می‌دهند. این خانواده دارای ۷ جنس شامل *Oxynoemacheilus*، *Turcinemacheilus*، *Sasanidus*، *Eidinemacheilus*، *Paracobitis*، *Paraschistura* و *Triplophys* در آب‌های داخلی ایران می‌باشد (Esmaeili *et al.*, 2018; Eagderi *et al.*, 2019; Sayyadzadeh *et al.*, 2019; Mousavi-Sabet *et al.*, 2019; Sayyadzadeh and Esmaeili, 2020). اعضای این خانواده، ماهیان کوچکی هستند که در آب‌های شیرین آسیا، اروپا و شمال آفریقا پراکنش دارند (Nelson *et al.*, 2016; Coad, 2018; Seçer *et al.*, 2020) که به‌دلیل ارزش کم اقتصادی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ولی از نظر فون جانوری و حفظ ذخایر زیستی حائز اهمیت می‌باشند (Kottelat, 2012; Mafakheri *et al.*, 2015). در حوضه دریاچه ارومیه تعداد ۳۰ گونه ماهی گزارش شده است که ۳ گونه از آن‌ها به خانواده جویبارماهیان تعلق دارند شامل گونه‌های *P. malapterura*، *O. bergianus* و *O. elsae* می‌باشد (Eagderi *et al.*, 2020). جویبارماهی السا *O. elsae* اخیراً از این حوضه توصیف شده و تاکنون مطالعه‌ای بر روی الگوی تنوع ریختی آن در حوضه ارومیه انجام نشده و تنها برخی ویژگی‌های ریختی (سنتی) آن بیان شده است (Mouludi-Saleh *et al.*, 2020a). از ویژگی‌های مهم تشخیصی این گونه می‌توان به اندازه متوسط و سر پهن، پوشیده شدن قسمت خلفی بدن با فلس‌های کوچک، لب‌های ضخیم و شیاردار و داشتن یک شکاف عمیق در لب پایین اشاره کرد. الگوهای رنگی این گونه نیز در زیستگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد (Eagderi *et al.*, 2018). آنالیز تنوع ریختی (ریخت‌سنجی) از جمله ابزارهای رایج در تفکیک جمعیت ماهی‌ها و درک الگوی تنوع آن‌ها در روند سازگاری با شرایط زیستگاهی می‌باشد (Cadrin and Silva, 2005; Mouludi-Saleh *et al.*, 2020b) که در این روش اطلاعات شکل بدن براساس فاصله‌های طولی بر روی ساختار

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]
[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]

زیستی استخراج می‌گردد (Benítez *et al.*, 2012; Abbasi *et al.*, 2018). در کنار روش ریخت‌سنجی سنتی، امروزه از روش هندسی جهت بیان تنوع ریختی در ماهیان استفاده می‌شود چرا که این روش قدرت بالایی در تفکیک تفاوت‌های ریختی نسبت به روش‌های سنتی دارد (Mouludi-Saleh *et al.*, 2019; Eagderi *et al.*, 2019; Eagderi and Mouludi-Saleh, 2020). باتوجه به پراکنش بالای جویبارماهیان، این تحقیق با استفاده از روش هندسی که قدرت بالایی در بیان تفاوت‌های ریختی دارد در کنار روش سنتی برای بررسی الگوی تنوع ریختی جمعیت‌های مختلف جویبارماهی السا (*O. elsae*) در رودخانه‌های مختلف حوضه دریاچه ارومیه استفاده شد. روش‌های ریخت‌سنجی سنتی برای درک جزیی صفات در کنار روش‌های هندسی که برای مصورسازی توانایی بالایی دارند، می‌توانند مکمل یکدیگر باشند (Zelditch *et al.*, 2004).

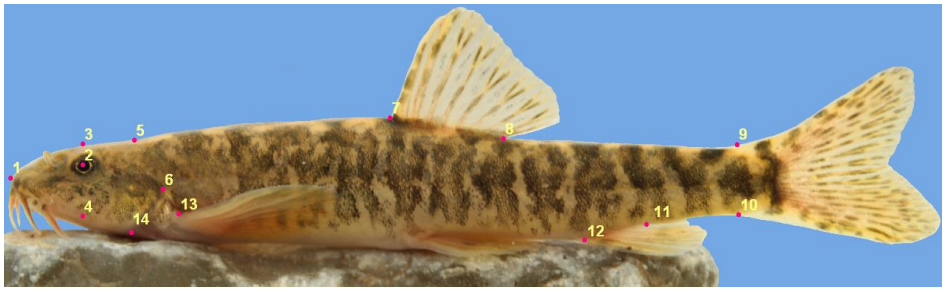
۲ | مواد و روش‌ها

در طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸، به‌منظور بررسی تنوع ریختی جویبارماهی السا، تعداد پنجاه و یک نمونه جویبارماهی السا از چهار رودخانه گدارچای، باراندوزچای، زرینه‌رود و مهابادچای حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از دستگاه الکتروشوکر صید شدند (جدول ۱). نمونه‌ها پس از بیهوشی، در محلول فرمالین بافری چهار درصد تثبیت و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه تعداد ۲۱ ویژگی ریخت‌سنجی براساس روش آرم‌براستر (Armbruster, 2012) به‌وسیله کولیس دیجیتال با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (جدول ۲). به منظور حذف اثرات ناشی از رشد آلومتریک، داده‌های خام ریخت‌سنجی در نرم‌افزار PAST-2.17b براساس الگوریتم Allometric vs. Standard طبق الیوت و همکاران (Elliot *et al.*, 1995) استاندارد سازی شدند. داده‌های اصلاح شده ریخت‌سنجی در ابتدا از نظر توزیع (نرمال یا غیر نرمال بودن) با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های نرمال صفات اندازشی با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه و گروه‌بندی دانکن مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های ریختی اصلاح شده دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از واریانس چند متغیره/ تجزیه همبستگی کانونی (MANOVA/CVA) مورد بررسی قرار گرفتند.

همچنین برای استخراج داده‌های حاصل از شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، ابتدا از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتالی Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل عکسبرداری شد. سپس برروی تصاویر گرفته شده با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 تعداد ۱۴ نقطه لندمارک تعریف (شکل۱) و رقومی‌سازی گردید (Rohlf, 2004). به‌منظور حذف تغییرات غیرشکل شامل اندازه، جهت و موقعیت داده‌های لندمارک، از آنالیز پروکراست (Generalized Procrustes Analysis) استفاده شد (Zelditch et al., 2004). سپس به‌منظور بررسی اختلاف ریختی براساس داده‌های روش هندسی بین جمعیت‌های مورد بررسی از آنالیزهای چند متغییره شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal component analysis)، واریانس چند متغیره/ تجزیه همبستگی کانونی (MANOVA/CVA) و تحلیل خوشه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. مصورسازی تغییرات شکل بدن میانگین جمعیت‌ها از شکل میانگین‌کل (Consensus configuration) با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ (Klingenberg, 1998) در نمودار Wireframe انجام شد. همچنین درجه صحیح طبقه‌بندی شده برای صفات ریختی در هر دو روش استخراج شد. تمامی آنالیزها در نرم افزارهای PAST -2.17c (Hammer *et al.*, 2001)، SPSS-19 و Excel-2016 مورد تحلیل قرار گرفتند.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری جویبارماهی السا در حوضه دریاچه ارومیه

رودخانه	مختصات جغرافیایی
رودخانه گدارچای	36°59'37.003"N; 45°1'50.765"E
رودخانه باراندوزچای	37°17'34.044"N; 45°8'16.8"E
رودخانه زرینه‌رود	37°4'13.256"N ; 46°2'3.147"E
رودخانه مهابادچای	36°29'55.14"N; 45°33'54.26"E



شکل ۱- نقاط لندمارک تعریف شده برای استخراج داده‌های شکل بدن در جویبارماهی السا مورد مطالعه: ۱- ابتدایی‌ترین نقطه روی فک بالا، ۲- مرکز حدقه چشم، ۳- محل تقاطع خط عمود بر محور طولی بدن که از مرکز حدقه عبور می‌کند با لبه بالایی سر، ۴- محل تقاطع خطی که از لندمارک‌های ۲ و ۳ می‌گذرد با لبه زیرین سر، ۵- نقطه در امتداد خط عمودی بر لندمارک ۱۴، ۶- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی، ۷- منشاء قاعده باله‌پشتی، ۸- انتهای قاعده باله پشتی، ۹- انتهای بالایی ساقه دمی در محل اتصال با باله دمی، ۱۰- انتهای پایینی ساقه دمی در محل اتصال با باله دمی، ۱۱- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۲- منشاء قاعده باله مخرجی، ۱۳- منشاء باله سینه‌ای و ۱۴- نقطه شکمی شکاف سرپوش آبششی.

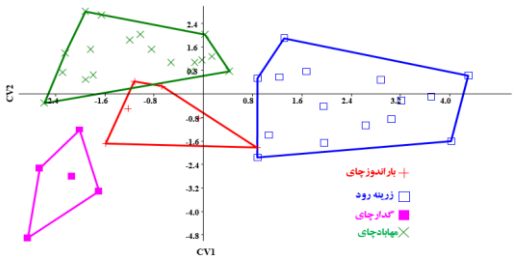
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]
[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]

۳ | نتایج

صفات اندازشی: براساس نتایج تجزیه واریانس و گروه‌بندی دانکن، از ۲۱ صفت اندازشی تعداد ۱۰ صفت تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۲، $p<۰/۰۵$)، که صفات دارای اختلاف معنی‌داری جهت آنالیزهای چندمتغیره مورد استفاده قرار گرفتند. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تعداد ۱۰ مؤلفه استخراج شدند که از بین آن‌ها ۲ مؤلفه اول با ۵۴/۷۱ درصد به عنوان مؤلفه‌های موثر انتخاب شدند. صفات طول باله سینه‌ای و ارتفاع بدن دارای ضرایب عاملی بزرگتری بودند و به عبارت دیگر مهمترین صفات جدایی جمعیت‌ها در طول دو مؤلفه اصلی اول بودند. نتایج تجزیه همبستگی کانونی (CVA) نیز جدایی جمعیت‌ها را به خوبی نشان داد (Walk's lambda =۰/۰۶۵، F=۳/۶۴ و $p<۰/۰۰۰۱$) (شکل ۲).

جدول ۲- میانگین، انحراف معیار و نتایج آنالیزواریانس یک طرفه و گروه‌بندی دانکن صفات اندازشی جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O. elsae*) در حوضه دریاچه ارومیه

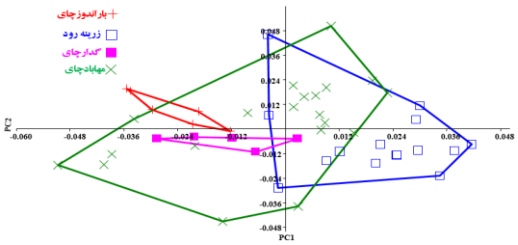
صفات (میلی‌متر)	باراندوزچای	زرینه رود	گدارچای	مهابادچای	P
طول استاندارد	۵۱/۴۶ ± ۰/۰۰	۵۱/۴۶ ± ۰/۰۰	۵۱/۴۶ ± ۰/۰۰	۵۱/۴۶ ± ۰/۰۰	-
عرض سر	^{b}۶/۸۸ ± ۱/۱۷	^{a}۵/۹۷ ± ۱/۰۳	^{b}۷/۶۳ ± ۰/۱۷	^{a}۵/۷ ± ۰/۵	<۰/۰۵
فاصله پس چشمی	^{a}۵/۱۳ ± ۰/۷۲	^{a}۵/۲۵ ± ۰/۵۱	^{a}۵/۲ ± ۰/۳۴	^{a}۵/۴۶ ± ۰/۴	>۰/۰۵
قطر چشم	^{a}۲/۴۴ ± ۰/۱۶	^{a}۲/۳۸ ± ۰/۳۹	^{a}۲/۲۳ ± ۰/۲۴	^{a}۲/۴ ± ۰/۳۳	>۰/۰۵
طول پوزه	^{b}۴/۹۵ ± ۰/۴۷	^{a}۴/۳۳ ± ۰/۵۵	^{b}۴/۸ ± ۰/۰۷	^{b}۵/۱۵ ± ۰/۴	<۰/۰۵
طول سر	^{b}۱۲/۴۳ ± ۰/۵۹	^{a}۱۱/۶۵ ± ۰/۹۴	^{b}۱۲/۵ ± ۰/۵۶	^{b}۱۲/۲۳ ± ۰/۴۲	<۰/۰۵
فاصله باله شکمی تا مخرجی	^{a}۱۰/۲۲ ± ۰/۵۲	^{a}۱۰/۳۲ ± ۰/۸۹	^{a}۹/۴۹ ± ۰/۳	^{a}۱۰/۲۱ ± ۰/۷۶	>۰/۰۵
فاصله باله سینه‌ای تا شکمی	^{a}۱۶/۳۹ ± ۰/۶۹	^{a}۱۶/۶۸ ± ۰/۲۹	^{a}۱۶/۴۷ ± ۰/۷۵	^{a}۱۶/۵۸ ± ۰/۷	>۰/۰۵
طول باله شکمی	^{a}۸/۴ ± ۰/۴۲	^{a}۷/۷۵ ± ۰/۹۲	^{a}۸/۶۳ ± ۰/۶۸	^{a}۸/۳۸ ± ۰/۶	>۰/۰۵
طول باله سینه‌ای	^{ab}۱۱/۰۳ ± ۱/۴۸	^{a}۱۰/۰۱ ± ۱/۴۸	^{b}۱۲/۳۱ ± ۱/۱۸	^{a}۱۰/۳۵ ± ۱/۲	<۰/۰۵
ارتفاع باله مخرجی	^{a}۷/۹۹ ± ۰/۷۱	^{a}۷/۷۷ ± ۰/۱۸	^{a}۸/۴۳ ± ۰/۳۱	^{a}۸/۶ ± ۰/۷۴	>۰/۰۵
قاعده باله مخرجی	^{bc}۵/۱۱ ± ۰/۶۶	^{a}۴/۴۲ ± ۰/۵۱	^{ab}۴/۶ ± ۰/۳۱	^{c}۵/۵۳ ± ۰/۶۲	<۰/۰۵
ارتفاع باله پشتی	^{b}۱۰/۳۱ ± ۰/۹۸	^{a}۹/۱۶ ± ۰/۲۴	^{b}۱۰/۷۸ ± ۰/۵۶	^{ab}۹/۹۹ ± ۰/۷۹	<۰/۰۵
قاعده باله پشتی	^{a}۷/۵۳ ± ۰/۳۶	^{a}۷/۴۴ ± ۰/۸	^{a}۷/۴۲ ± ۰/۸	^{b}۸/۳۸ ± ۰/۵۶	<۰/۰۵
طول ساقه دمی	^{a}۸/۰۹ ± ۰/۷۵	^{a}۸/۴۹ ± ۰/۷۲	^{b}۹/۴۲ ± ۰/۴۹	^{a}۸/۰۱ ± ۰/۹	<۰/۰۵
پیش مخرجی	^{a}۳۸/۵۷ ± ۰/۸۷	^{a}۳۸/۲۴ ± ۱/۱۴	^{a}۳۷/۸۶ ± ۰/۹۹	^{a}۳۸/۳۵ ± ۰/۷	>۰/۰۵
پیش شکمی	^{b}۲۸/۱۷ ± ۰/۸۲	^{a}۲۷/۶۸ ± ۰/۶۴	^{b}۲۸/۲۹ ± ۰/۵۳	^{b}۲۸/۲۳ ± ۰/۴۲	>۰/۰۵
پس باله پشتی	^{ab}۱۶/۲۴ ± ۰/۹۷	^{a}۱۵/۵۵ ± ۰/۹۵	^{b}۱۶/۹۹ ± ۰/۹۲	^{a}۱۵/۲۹ ± ۰/۹۹	<۰/۰۵
پیش باله پشتی	^{a}۲۴/۰۷ ± ۰/۷۴	^{a}۲۶/۹۳ ± ۰/۹۳	^{a}۲۷/۲۱ ± ۰/۲۴	^{a}۲۷/۰۲ ± ۰/۹	>۰/۰۵
ارتفاع ساقه دمی	^{a}۴/۹۸ ± ۰/۱۸	^{a}۴/۹۶ ± ۰/۵۳	^{a}۴/۹۵ ± ۰/۱۸	^{a}۴/۹۵ ± ۰/۳۸	>۰/۰۵
ارتفاع بدن	^{a}۱۰/۰۵ ± ۰/۶۳	^{a}۹/۲۰ ± ۰/۶۳	^{a}۹/۲۵ ± ۰/۳۴	^{b}۱۰/۱۵ ± ۱/۱۵	<۰/۰۵



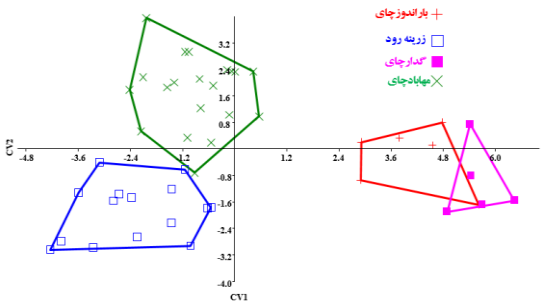
شکل ۲- نمودار تجزیه همبستگی کانونی جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O.elsae*) با درجه صحیح کلاس بندی شده ۸۱/۱۱ در حوضه دریاچه ارومیه

صفات هندسی: بر اساس نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های روش ریخت‌سنجی هندسی، ۲۸ مؤلفه استخراج شد که سه مؤلفه اصلی اول بر مبنای خط برش جولیف به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی بین جمعیت-های مورد مطالعه انتخاب شدند که در مجموع ۶۸/۴۴ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند. نمودار تجزیه مؤلفه‌های اصلی تفکیک نسبی جمعیت باراندوزچای و زرینه‌رود را از دو جمعیت گدارچای و مهابادچای نشان داد (شکل ۳). در تجزیه همبستگی کانونی (Walk's lambda =۰/۰۰۶، F=۱۷/۶۱ و $p<۰/۰۰۰۱$) نیز جمعیت‌های مورد مطالعه کاملاً از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۴). فواصل مهالانوبیس و پروکراست به‌عنوان درجه تمایز حاصل از تجزیه همبستگی کانونی شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. براساس نتایج بیشترین فاصله ماهالانوبیس و پروکراست بین جمعیت‌های رودخانه گدارچای و زرینه‌رود (۷/۶۸) و زرینه‌رود و باراندوز (۰/۰۵۵) به‌دست آمد.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]
[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]



شکل ۳- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O. elsae*) در حوضه دریاچه ارومیه



شکل ۴- نمودار تجزیه همبستگی کانونی شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O. elsae*) با درجه صحیح کلاس بندی شده ۹۶/۱۵ در حوضه دریاچه ارومیه

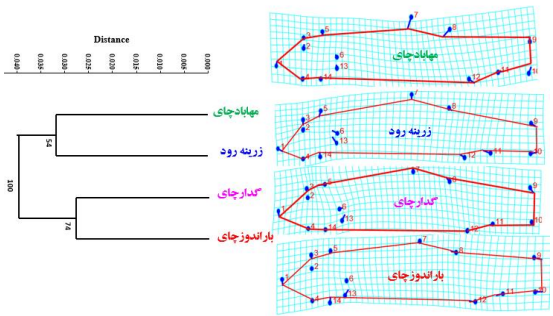
جدول ۳. فواصل ماهالانوبیس حاصل از آنالیز CVA شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O. elsae*) در حوضه دریاچه ارومیه

	باراندوزچای	گدارچای	مهاباد‌چای
گدارچای	۴/۸۸		
مهاباد‌چای	۵/۹۸	۶/۹۹	
زرینه‌رود	۷/۱۱	۷/۶۸	۳/۸

جدول ۴. فواصل پروکراست حاصل از آنالیز CVA شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O. elsae*) در حوضه دریاچه ارومیه

	باراندوزچای	گدارچای	مهاباد‌چای
گدارچای	۰/۰۲۷		
مهاباد‌چای	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	
زرینه‌رود	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۳۱

در تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه دو به دو در یک خوشه و جدا از یکدیگر قرار گرفتند، به‌طوری که دو جمعیت گدارچای + باراندوزچای (به‌واسطه عمق بدن بیشتر، موقعیت دهانی شکمی‌تر و ارتفاع ساقه دمی و سر بشتر) و زرینه‌رود + مهاباد‌چای (به‌واسطه عمق بدنی و سر کمتر و ارتفاع ساقه دمی کمتر) به‌ترتیب با ۷۴ و ۵۴ درصد درخت‌های احتمالی در خوشه‌های مجزا قرار گرفتند (شکل ۵). جمعیت رودخانه گدارچای نسبت به سایر جمعیت‌های ارتفاع بدنی بیشتری داشت. دو جمعیت زرینه‌رود و مهاباد به‌واسطه ارتفاع بدن کمتر قابل تشخیص بودند. همچنین جمعیت رودخانه گدارچای و باراندوزچای نسبت به بقیه جمعیت‌ها موقعیت دهان شکمی‌تر داشتند و جمعیت باراندوزچای نسبت به سه جمعیت دیگر موقعیت باله سینه‌ای خلفی‌تر داشت.



شکل ۵- دندوگرام تحلیل خوشه‌ای شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه جویبار ماهی السا (*O. elsae*) در حوضه دریاچه ارومیه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]
[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

تکنیک ریخت‌سنجی سنتی بر مبنای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری فواصل بدن توانایی ارائه تغییرات الگوهای ریختی دارد، اما در روش هندسی از نقاط لندمارک به‌عنوان داده‌های حاصل از شکل بدن با قدرت تفکیک بالا در بیان الگوهای ریختی استفاده می‌شود. بر اساس نتایج، جمعیت‌های مورد مطالعه در ۱۰ صفت اندازشی شامل عرض سر، طول‌های پوزه، سر، باله سینه‌ای و قاعده باله مخرجی، ارتفاع باله پشتی، قاعده باله پشتی، طول ساقه دمی، پس باله پشتی و ارتفاع بدن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، همچنین در روش ریخت‌سنجی هندسی عمده تفاوت‌ها مربوط به موقعیت پوزه، عمق بدن و سر و ارتفاع ساقه دمی بود. نتایج حاصل از هر دو روش سنتی و هندسی الگوهای مشابهی از تنوع ریختی را در تحلیل چند متغییره CVA نشان داد. اگرچه روش های سنتی فواصل، عمق و عرض بدن را اندازه‌گیری می‌کند، ولی تفاوت‌ها در این روش فقط از طریق مقایسه تک تک صفات حاصل می‌شود و در نتیجه بیان الگوی تغییرات به‌صورت کلی امکان پذیر نیست. در مقابل روش ریخت‌سنجی هندسی امکان مصورسازی تغییرات شکل را همان طور که در این تحقیق به‌صورت شبکه تغییر شکل در مقابل آنالیز خوشه‌ای ارائه می‌دهد و در نتیجه امکان تفسیر تغییرات شکل بدن را به‌صورت یک مجموعه را امکان‌پذیر می‌سازد (Moshayedi *et al*., 2017; Mouludi-Saleh *et al*., 2019). با توجه به این‌که در برخی جویبارماهیان، به‌دلیل آن‌که آن‌ها یک آشیان مشابه‌ای را اشغال می‌کنند، درک تغییرات شکل بدن به‌سختی قابل مطالعه است ولی در جویبار ماهی السا این تغییرات به‌دلیل ماهیت بالای انعطاف‌پذیری ریختی این گونه در هر دو روش آشکار گردید.

تغییرات ریختی تحت تاثیر شرایط محیطی می‌تواند منجر به ایجاد جمعیت‌های و گونه‌های مجزا گردد (Gunawickrama, 2008). بنابراین می‌توان بیان داشت که جمعیت‌های مورد مطالعه به واسطه انعطاف‌پذیری ریختی نسبت به شرایط زیستگاهی سازگار شده و تغییر یافته‌اند. در مطالعه سچر و همکاران (Seçer *et al*., 2019) در بررسی تنوع ریختی جویبارماهی سیهان (*O. seyhanensis*) در آب‌های داخلی ترکیه ترکیه نشان دادند که جمعیت‌های مورد مطالعه در ۲۶ صفت ریختی از ۳۱ صفت بررسی شده تفاوت معنی‌داری دارند که بیانگر انعطاف‌پذیری ریختی بالای این گونه جویبار ماهی می‌باشد. مولودی صالح و همکاران (Mouludi-Saleh *et al*., 2020a) در بررسی ۳۱ صفت ریخت‌سنجی سه جمعیت (زرینه رود، گدارچای و عجب شیر) جویبارماهی السا در حوضه دریاچه ارومیه چنان نشان دادند که جمعیت‌های مورد مطالعه در ۸ صفت اندازشی دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

تنوع مشاهده شده در جویبار ماهی السا در زیستگاه‌های مختلف حوضه دریاچه ارومیه به‌واسطه تغییرات ریختی در شکل سر، موقعیت دهان، ارتفاع بدن و ساقه دمی صورت گرفته است. با توجه به مطالعه قبلی جویبار ماهی السا با دو گونه جویبار ماهی برگ (*O. bergi*) و جویبار ماهی براندتی (*O. berandti*) در سیستم رودخانه ای ارس-کورا (حوضه دریای‌خزر) در یک خوشه قرار می‌گیرند (Sayyadzadeh *et al*., 2016). تنوع ریختی بالای جویبار ماهی السا در حوضه دریاچه ارومیه علاوه بر قدرت سازگاری بالای این گونه به ویژه به لحاظ صفات طول باله سینه‌ای و ارتفاع بدن در راستای سازگاری به زیستگاه می‌تواند نشان دهنده منشاء دو گونه خویشاوند یعنی جویبار ماهی برگ و براندتی از حوضه دریاچه ارومیه باشد.

پست الکترونیک نویسندگان

عطا مولودی‌صالح: atta.mouludisleh@ut.ac.ir

سهیل ایگدری: soheil.eagderi@ut.ac.ir

هادی پورباقر: porbagher@ut.ac.ir

شادیه محمدی: shadieh.mohammadi@ut.ac.ir

REFERENCES

Abbasi Ranjbar K., Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Sarpanah A. 2018. Distinguishing Meristic and Morphometric Traits in Three Species of the Genus *Acanthobrama* from Iranian Inland Waters. Taxonomy and Biosystematics, 10(36): 49-58.

Armbruster J.W. 2012. Standardized measurements, landmarks, and meristic counts for cypriniform fishes. Zootaxa, 3586(1): 8-16.

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

Cadrin S.X., Silva V.M. 2005. Morphometric variation of yellowtail flounder. ICES Journal of Marine Science, 62(4): 683-694.

Coad B.W. 2018. Freshwater Fishes of Iran (Available at http://www.briancoad.com) (accessed on 4 March 2018).

Eagderi S. Mouludi-Saleh A. 2020. Morphological comparison of the *Cobitis* species from Iranian inland waters using geometric morphometric method. Applied Biology, 34(1): 9-20.

Eagderi S., Jalili P., Çiçek E. 2018. *Oxynoemacheilus elsae*, a new species from the Urmia Lake basin of Iran (Teleostei: Nemacheilidae). FishTaxa, 3(2): 453-459.

Eagderi S., Moshaiedi F., Nasri M. 2019. The morphological variation of four population of Urmia Kingfish (*Alburnus atropatenae*) in Urmia Lake basin using geometric morphometric technique. Experimental animal Biology, 7(4): 19-28.

Eagderi S., Mousavi-Sabet H., Freyhof, J. 2019. *Paraschistura makranensis*, a new loach from the Jegin River drainage in southern Iran with comments on *P. ilamensis* and *P. pasatigris* (Teleostei: Nemacheilidae). Zootaxa, 4668(2): Zootaxa-4668.

Eagderi S., Nikmehr N., Esmaeili H.R., Çiçek E. 2020. A further distribution record of the genus *Cobitis* (Actinopterygii: Cypriniformes: Cobitidae) in Iranian inland waters with a note on its zoogeographic importance in the Urmia Lake basin. Acta Ichthyol. Piscat. 50(4): 481–488.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]

[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]

Elliot N.G., Haskard K., Koslow J.A. 1995. Morphometric analysis of the orange roughy (Hoplostethus atlanticus) population off the continental slope of southern Australia. Journal of Fish Biology, 46(2): 202–220.

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

Gunawickrama K.S. 2008. Intraspecific variation in morphology and sexual dimorphism in *Puntius singhala* (Teleostei: Cyprinidae). Ceylon Journal of Science (Biological Sciences), 37(2): 167-175.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryanm P.D. 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis". Palaeontol. Electron; 4(4): 1-9.

Klingenberg C.P. 1998. Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. Biological Reviews, 73: 79-123.

Kottelat M. 2012. Conspectus Cobitidum: An inventory of the loaches of the world (Teleostei: Cypriniformes: Cobitoidei). The Raffles Bulletin of Zoology, 26: 1-199.

Mafakheri P., Eagderi S., Farahmand H., Mosavii-Sabet H. 2015. Descriptive Osteology of *Oxynoemacheilus kermanshahensis* (Bănărescu and Nalbant, 1966) (Cypriniformes, Nemacheilidae). Croatian Journal of Fisheries, 73(3): 115-123.

Moshayedi F., Eagderi S., Rabbaniha M. 2017. Allometric growth pattern and morphological changes of green terror *Andinoacara rivulatus* (Günther, 1860) (Cichlidae) during early development: Comparison of geometric morphometric and traditional methods. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 16(1): 222-237.

Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Cicek E., Sungur S. 2020b. Morphological variation of Transcaucasian chub, *Squalius turcicus* in southern Caspian Sea basin using geometric morphometric technique. Biologia, 75: 1585-1590

Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Poorbager H. 2020a. Morphometric diversity of *Oxynoemacheilus elsae* Eagderi, Jalili & Çiçek 2018 from Urmia lake basin, 8th Iranian Conference of Ichthyology, Tarbiat Modares University, September 2020.

Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Poorbagher H., Kazemzadeh, S. 2019. The Effect of Body Shape Type on Differentiability of Traditional and Geometric Morphometric Methods: A Case Study of *Channa gachua* (Hamilton, 1822). IUFS Journal of Biology, 78(2): 165-169.

Mousavi-Sabet H., Vatandoust S., Geiger M.F., Freyhof J. 2019. *Paracobitis abrishamchiani*, a new crested loach from the southern Caspian Sea basin (Teleostei: Nemacheilidae). Zootaxa, 4545(3): 375.

Nelson J.S., Grande T.C., Wilson, M.V. 2016. Fishes of the World. John Wiley & Sons.

Rohlf, F.J. 2004. TpsDig–Thin Plate Spline Digitize, Version 1.4 [Computer software]. Stony Brook: Dept. of Ecology and Evolution, State Univ. of New York.

Sayyadzadeh G., Eagderi S., Esmaeili H.R. 2016. A new loach of the genus *Oxynoemacheilus* from the Tigris River drainage and its phylogenetic relationships among the nemacheilid fishes (Teleostei: Nemacheilidae) in the Middle East based on mtDNA COI sequences. Iranian Journal of Ichthyology, 3(4): 236-250.

Sayyadzadeh G., Esmaeili H.R. 2020. *Oxynoemacheilus marunensis*, a new loach species from the Persian Gulf basin with remarks on *O. frenatus* (Teleostei: Nemacheilidae). Zootaxa, 4885(2): zootaxa-4885.

Sayyadzadeh G., Teimori A., Esmaeili H.R. 2019. *Paraschistura kermanensis*, a new stone loach species from southeastern Iran (Teleostei: Nemacheilidae). Zootaxa, 4638(4): 571-583.

Seçer B., Mouludi-Saleh A., Çiçek E., Sungur S. 2020. Morphological flexibility of *Oxynoemacheilus seyhanensis* in different habitats of Turkish inland waters: A case of error in describing a poulations as distinct species. Iranian Journal of Ichthyology, 7(3): 258-264.

Zelditch M., Swiderski D., Sheets D.H., Fink W. 2004. Geometric morphometrics for biologists: A primer: Elsevier Academic Press. Waltham, MA.

نحوه استناد به این مقاله:

مولودی‌صالح ع.، ایگدری س.، پورباقر ه.، محمدی ش. ۱۴۰۱. بررسی تنوع‌ریختی جمعیت‌های جویبارماهی السا (*Oxynoemacheilus elsae* Eagderi, Jalili and Çiçek 2018) در رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، (۱)۱۰: ۲۸-۲۲. https://doi.org/10.22034/jair.10.1.21

Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Poorbagher H., mohammadi Sh. 2022. Investigation of morphological variation of *Oxynoemacheilus elsae* Eagderi, Jalili and Çiçek 2018 from rivers of the Urmia Lake basin using traditional and geometric morphometric methods. Journal of Applied Ichthyological Research, 10(1): 22-28. https://doi.org/10.22034/jair.10.1.21

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]

[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]

Investigation of morphological variation of *Oxynoemacheilus elsae* Eagderi, Jalili and Çiçek 2018 from rivers of the Urmia Lake basin using traditional and geometric morphometric methods

Mouludi-Saleh A[1]., Eagderi S[2*]., Poorbagher H[2]., Mohammadi Sh[3].

[1]PhD student, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[2]Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[3]M.Sc. Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Type:

Original Research Paper

https://doi.org/10.22034/jair.10.1.21

Paper History:

Received: 09-04-2021
Accepted: 28-09- 2021

Corresponding author:

Eagderi S. Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Email: soheil.eagderi@ut.ac.ir

Abstract

During 2018-2019, to study the morphological diversity of *Oxynoemacheilus elsae*, a total of 51 specimens were collected from the Godarchai, Barandozchai, Zarrinehrood and Mahabadchai rivers, Urmia Lake basin using electrofishing .From the collected samples, 22 morphometric characteristics were measured using a digital caliper with an accuracy of 0.1 mm. Also, in geometric morphometric (GM) method, the side of the samples were photographed, and 14 landmarks were digitized using tpsDig2 software. The extracted data were analyzed to understand morphological variation between the studied populations using multivariate analysis i.e. PCA, MANOCA /CVA and cluster analysis. The results showed a significant difference between the studied populations in terms of the morphological characters. In traditional method, there were significant differences in 10 traits between the studied populations. The main differences in GM method were related to the body and head depth, mouth position and caudal peduncle height. The observed morphological variations show the high adaptability of this species, especially in the pectoral fin length and body height traits with habitat adaptation.

Keywords: Loach, Morphometric, Urmia Lake basin, Phenotype plasticity.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-04-02]

[DOI: 10.22034/jair.10.1.21]