فصلنامه علمی زیست‌شناسی کاربردی دانشگاه الزهرا(س)
دوره ۳۴، شماره ۱، پیاپی ۶۷، بهار ۱۴۰۰، ص ۹-۲۰
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

The Quarterly Scientific Journal of Applied Biology
Vol.34, No.1, Sering.67, Spring2021, p. 9-20
Article type: Research paper

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۷
وب سایت نشریه: https://jab.alzahra.ac.ir
10.22051/JAB.2021.34309.1398

مقایسه ریخت‌شناسی گونه‌های جنس *Cobitis* در آب‌های داخلی ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

سهیل ایگدری*[۱]، عطا مولودی صالح[۲]

چکیده

این مطالعه با هدف یافتن صفات ریختی برای تفکیک گونه‌های جنس Cobitis در ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. برای این منظور تعداد ۶۵ قطعه از رودخانه‌های سفیدرود (C. saniae)، سیاه (C. faridpaki)، ملوسجان (C. linea) و گاماسیاب (C. avicennae) توسط الکتروشوکر صید و برامید است در آینده، پذیرای سایر مقالات علمی شما باشیم.ای استخراج داده‌های حاصل از شکل بدن بر روی عکس‌های گرفته شده در نرم‌افزار tpsDig2، تعداد ۱۴ نقطه لندمارک تعریف و رقومی سازی شد. داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست با استفاده از آنالیزهای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، آزمون واریانس چندمتغیره تجزیه همبستگی کانونی (MANOVA/CVA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین گونه‌های مورد مطالعه از لحاظ شکل بدنی حاصل از آنالیز MANOVA/CVA تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰۰۱). نتایج آنالیز خوشه‌ای نیز گونه C. avicennae را در یک خوشه و جدا از سه گونه دیگر قرار داد. نتایج همچنین آشکار کرد که اعضای این جنس با تغییر در ارتفاع بدن، اندازه سر و موقعیت پوزه، طول ساقه دمی و جایگاهای باله‌های پشتی، مخرجی و سینه‌ای خود را با شرایط زیستی در زیستگاه‌های مختلف سازگار نموده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز خوشه‌ای، جویبارماهی خاردار، شکل بدن، ریخت سنجی

۱- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
*(نویسنده مسئول: soheil.eagderi@ut.ac.ir)
۲- دانشجوی دکترا گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مقدمه

ریخت‌شناسی یکی از ابزارهای کارآمد در مطالعه جمعیت‌ها و گونه‌های ماهی است (Nicieza, 1995)، که به طور گسترده برای شناسایی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Buj *et al*., 2008). علاوه بر تفاوت ژنتیکی، فاکتورهای محیطی نیز شکل بدن ماهی‌ها را تحت تأثیر قرار داده و شانس بقا و تولید مثل را از طریق انتخاب صفات مطلوب در آن‌ها بیشتر کرده است و در نهایت سبب ایجاد جمعیت‌ها با صفات جدید می‌گردد (Spoljaric & Reimchen, 2007). ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک از جمله روش‌های نوین در مطالعات ریختی است که بر اساس نقاط لندمارک ویژگی‌های شکل بدن را استخراج و شکل هندسی اشکال زیستی را بررسی می‌کنند (پیشکاه‌پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ جمالی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ صالحی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵).

اعضای جنس جویبارماهیان خاردار *Cobitis* Linnaeus,1758 یکی از پراکنده‌ترین ماهی‌های آب شیرین منطقه پالئارکتیک می‌باشند (Sawada, 1982; Coad, 2019)، که در اروپا، شمال آفریقا و آسیای جنوبی یافت می‌شوند (Eschmeyer & Fong, 2011). مطالعات مختلفی بر روی اعضای این جنس صورت گرفته است که منجر به معرفی گونه‌های جدید شده است تا جایی که بیش از ۵۰ گونه از این جنس شناخته شده است (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳). در ایران بر اساس آخرین فهرست گونه‌ای منتشر شده (Esmaeili *et al*., 2018)، چهار گونه از این جنس وجود دارد که گونه *C. avicennae* در حوضه دجله، *C. faridpaki* در شرق حوضه جنوب دریای خزر و رودخانه کرج (حوضه دریاچه نمک) (Eagderi *et al*., 2017a)، *C. linea* در حوضه‌های رودخانه کر و هرمز و *C. saniae* در بخش غربی حوضه جنوبی دریای خزر پراکنش دارند (Esmaeili *et al*., 2018).

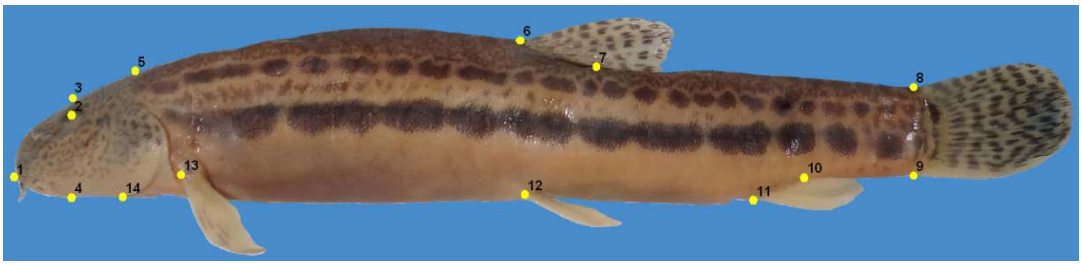
اعضای این جنس، بدن کشیده و فشرده از پهلوها، فلس‌های کوچک، خط جانبی نامشخص، یک جفت خار زیرچشمی، باله دمی گرد و سه جفت سبیلک دارند (Eagderi *et al*., 2017; Coad, 2019). تغذیه گونه‌های این جنس از بی مهرگان، سخت پوستان و پوده است (Keivany *et al*., 2016). اعضای این جنس دارای دو شکلی جنسی به‌واسطه وجود فلس‌های تغییر شکل یافته بر روی اولی شعاع باله سینه‌ای در جنس نر هستند. این گونه‌های کفزی دارای یک الگوی رنگی شامل یک ردیف پشتی از خال‌ها و چهار ردیف طولی از نواحی رنگی Z1 تا Z4 تحت عنوان نواحی گامبتا (Gambetta zone) همراه لکه‌های تیره در پایه باله دمی‌اند که در شناسایی اعضای این جنس مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kottelat & Freyhof, 2007). باتوجه به اینکه ریخت‌سنجی هندسی کارایی بالایی در تفکیک ریختی ساختارهای زیستی داشته و قادر به شناسایی کمترین تفاوت‌های ریختی در مقایسه با روش ریخت‌سنجی سنتی است (Mouludi-Saleh *et al*., 2019; Nasri *et al*., 2019؛ ایگدری و همکاران، ۱۳۹۸)، ازاین‌رو مطالعه حاضر به‌منظور یافتن صفات ریختی برای تفکیک گونه‌های جنس *Cobitis* در ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تعداد ۱۷ قطعه گونه *C. faridpaki* از رودخانه سیاه‌رود (۳۶°۲۶'۴۰"N, ۵۲°۵۳'۴۲"E)، ۱۸ قطعه گونه *C. avicennae* از رودخانه گاماسیاب (۳۴°۲۶'۴۸"N, ۴۷°۲۶'۴۳"E)، ۱۳ قطعه از *C. linea* از رودخانه ملوسجان (شاخه فرعی رودخانه کر) (۲۹°۵۲'۲۳"N, ۵۲°۲۸'۲۲"E) و ۱۷ قطعه *C. saniae* از رودخانه سفیدرود (۳۷°۰۰'۱۱"N, ۴۹°۳۷'۴۹"E) به‌وسیله دستگاه الکتروشوکر نمونه‌برداری گردید (شکل ۱). نمونه‌ها پس از صید و بیهوشی در محلول گل میخک، به‌منظور مطالعات بیشتر در فرمالین ۱۰ درصد بافری تثبیت و به آزمایشگاه زیست‌شناسی و تکوین دانشگاه تهران منتقل شدند. با توجه به مطالعات قبلی در مورد دوشکلی جنسی در اعضای جنس *Cobitis* تنها به تفاوت در داشتن فلس‌های کانستریتی در ابتدای باله سینه‌ای اشاره شده است و تفاوت معنی‌داری بین دو جنس در مورد صفات ریختی وجود ندارد (Eagderi *et al*., 2017, 2017a).

به‌منظور استخراج داده‌های حاصل از شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک شش مگاپیکسل عکس‌برداری شد. سپس تعداد ۱۴ نقطه لندمارک (شکل ۲) تعریف و با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 برروی تصاویر دو بعدی رقومی گردید. داده‌های حاصل از شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه با استفاده آنالیزهای چندمتغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و آزمون واریانس چندمتغیره/تجزیه همبستگی کانونی (MANOVA/CVA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) با انتخاب الگوریتم‌های Paired group و Eucilidean با استفاده از نرم‌افزار PAST 2.17b (Hammer *et al*., 2001) مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین فواصل ماهالانوبیس و پروکراست به‌عنوان درجه تمایز گونه‌ها مورد مطالعه در آنالیز MANOVA/CVA استخراج گردید. مصورسازی تغییرات شکل بدن بر اساس میانگین شکل جمعیت‌ها نسبت به شکل میانگین کل (Consensus configuration) با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم‌افزار MorphoJ صورت پذیرفت (Klingenberg, 1998).

شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری گونه‌های جنس *Cobitis* مورد مطالعه (۱. رودخانه سیاه‌رود، ۲. رودخانه سفیدرود، ۳. رودخانه گاماسیاب و ۴. رودخانه ملوسجان (شاخه فرعی رودخانه کر))

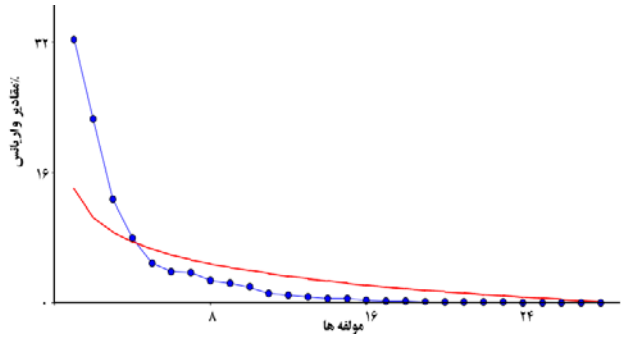


شکل ۲: نقاط لندمارک تعریف شده برای استخراج شکل بدن در گونه‌های جنس *Cobitis* مورد مطالعه

۱- قدامی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا، ۲- مرکز چشم، ۳- محل تقاطع امتداد خط عمود بر مرکز چشم با لبه بالایی سر، ۴- محل تقاطع امتداد خط عمود بر مرکز چشم در سطح شکمی سر، ۵- انتهای سر، ۶- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۷- انتهای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۸- انتهای بالایی ساقه دمی در محل اتصال به باله دمی، ۹- انتهای پایینی ساقه دمی در محل اتصال به باله دمی، ۱۰- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۲- ابتدای قاعده باله‌ی شکمی، ۱۳- قدامی‌ترین نقطه‌ی قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای و ۱۴- بخش شکمی شکاف آبششی (شکل مربوط به گونه *C. avicennae* است).

نتایج

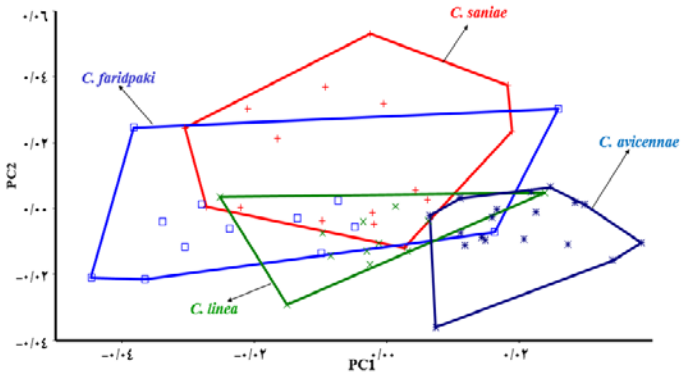
بر اساس نتایج PCA، تعداد ۲۸ مؤلفه استخراج شد، که چهار مؤلفه بالاتر از خط برش جولیف (Jolliffe, 2002) قرار داشتند (شکل ۳) که مقدار ۷۵/۴۷ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند (جدول ۱). پراکنش گونه‌های مورد مطالعه نیز بر اساس دو مؤلفه اول در شکل ۴ ارائه شده است. بر این اساس بین گونه‌های مورد مطالعه هم‌پوشانی وجود دارد، به عبارت دیگر گونه‌های مورد مطالعه از یکدیگر تفکیک نشده‌اند. تحلیل همبستگی کانونی نشان داد که تفاوت معنی‌داری (Wilks lambda= ۰/۰۰۳۸، f= ۷/۲۵ و $P<۰/۰۱$) بین شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه وجود دارد و گونه *C. avicennae* در نمودار CVA از سایر گونه‌ها جدا افتاده بود و سه گونه دیگر از یکدیگر تفکیک شده بودند (شکل ۵). نتایج فواصل ماهالانوبیس و پروکراست به‌عنوان درجه تمایز شکل بدن حاصل از آنالیز تجزیه همبستگی کانونی (CVA) گونه‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج حاصل بیشترین فاصله بین گونه‌های *C. avicennae* و *C. faridpaki* و کمترین بین گونه‌های *C. saniae* و *C. faridpaki* وجود دارند.



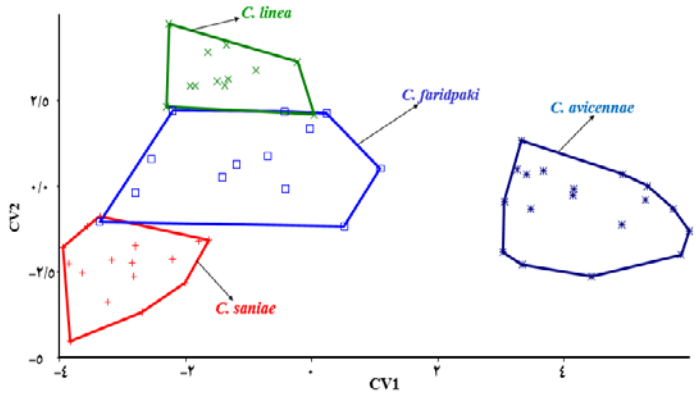
شکل۳: نمودار scree plot تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمایش خط برش جولیف (خط قرمز رنگ) که نشان‌دهنده مرز مؤلفه‌های اصلی معنادار است.

جدول ۱: واریانس و مقادیر ویژه چهار مؤلفه اصلی اول در تحلیل شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه جویبار ماهی خاردار.

مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه	واریانس
۱	۰/۰۰۰۴	۳۲/۰۹
۲	۰/۰۰۰۲	۲۲/۵۸
۳	۰/۰۰۰۱	۱۲/۶۹
۴	۰/۰۰۰۰۹	۷/۸۹
جمع		۷۵/۴۷



شکل ۴: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه



شکل ۵: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن گونه های مورد مطالعه

نتیجه آنالیز خوشه‌ای الگوریتم‌های Paired group و Eucilidean نشان داد که گونه‌های مورد مطالعه در دو خوشه مجزا قرار گرفتند که گونه *C. avicennae* با صد درصد درخت‌های احتمالی به تنهایی در یک خوشه قرار گرفته و بیشترین تمایز را با سایر گونه‌های مورد مطالعه داشت (شکل ۶). سایر گونه‌ها نیز در یک خوشه (دو گونه *C. faridpaki* و *C. saniae* در یک زیر خوشه) مجزا قرار گرفتند. ضریب کوپرنیک ۰/۸۹۷ به دست آمد که هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده قرار گرفتن صحیح خوشه‌ها و ترتیب مناسب آن‌ها بر روی دندوگرام می‌باشد.

مصورسازی تفاوت گونه‌ها در شبکه تغییر شکل نشان داد که گونه *C. avicennae* بیشترین تفاوت را با گونه‌های دیگر دارد. بیشترین جابجایی نقاط لندمارک در گونه *C. avicennae* مربوط به جابجایی خلفی موقعیت پوزه (موقعیت لندمارک ۱)، داخلی لندمارک‌های پیرامون سر، قدامی باله سینه‌ای و خلفی ساقه دمی بود. همچنین الگوهای جابجایی لندمارک‌ها در گونه *C. linea* جابجایی قدامی موقعیت لندمارک‌های پیرامون سر و خلفی باله سینه‌ای و قدامی باله مخرجی و در گونه *C. faridpaki* جابجایی شکمی پوزه و پشتی باله سینه‌ای بودند. همچنین گونه *C. saniae* نسبت به شکل میانگین دارای موقعیت پشتی پوزه،

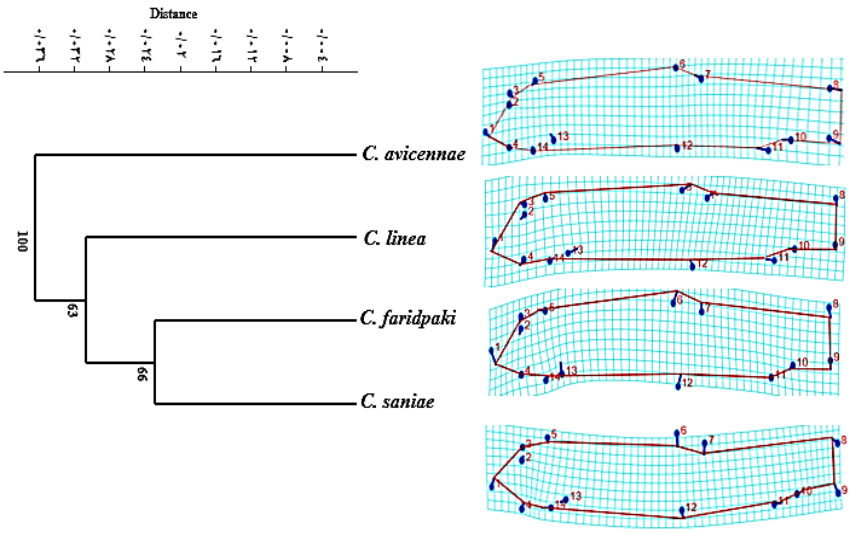
و لندمارک‌های ناحیه شکمی سر، قدامی باله سینه‌ای و سرپوش آبششی و موقعیت قدامی لندمارک‌های انتهایی ساقه دمی بود و در آنالیز خوشه‌ای با گونه *C. faridpaki* در یک خوشه قرار گرفتند.

جدول۲: فواصل ماهالانوبیس شکل بدن حاصل از آزمون CVA در گونه‌های مورد مطالعه

C. saniae	*C. linea*	*C. avicennae*	
		۶/۴۷۰	*C. linea*
	۵/۳۶	۶/۴۷۷	*C. saniae*
۴/۶۶	۴/۶۵	۶/۵۵۹	*C. faridpaki*

جدول۳: فواصل پروکراست شکل بدن حاصل از آزمون CVA در گونه‌های مورد مطالعه

C. saniae	*C. linea*	*C. avicennae*	
		۰/۰۳۲	*C. linea*
	۰/۰۳۰۴	۰/۰۳۶۷	*C. saniae*
۰/۰۲۲۸	۰/۰۳۰۹	۰/۰۴۰۲	*C. faridpaki*



شکل ۶: دندوگرام آنالیز خوشه‌ای گونه‌های مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج، گونه‌های مورد مطالعه به لحاظ ریختی از یکدیگر قابل تفکیک بودند به طوری که گونه *C. avicennae* کاملاً جدا از سایر گونه‌ها قرار گرفت. بیشترین فاصله ریختی بین دو گونه *C. avicennae* و *C. faridpaki* یافت شد و عمده تفاوت‌های مشاهده شده مربوط به موقعیت پوزه، عمق سر، موقعیت باله‌های سینه و شکمی و موقعیت شکمی سرپوش آبششی

بود. اعضای جنس *Cobitis* به‌طور معمول در بسترهای ماسه‌ای و گلی جایی که در طول شب از ذرات عالی ریز و موجودات کفزی تغذیه می‌کنند، به‌سر می‌برند. این ماهیان بستر را حفر کرده و در طول روز مخفی می‌شوند و همچنین در بین گیاهان حاشیه‌ای رودخانه نیز یافت می‌شوند (رستمیان و همکاران، ۱۳۹۵). شکل بدن ماهی‌ها اساساً در ارتباط با عملکرد آن‌ها به‌واسطه شنا و تغذیه در زیستگاه‌های مختلف می‌باشد (Langerhans *et al*., 2003; Mouludi-Saleh *et al*., 2019؛ ایگدری و همکاران، ۱۳۹۲) ولی در گونه‌های تخصص‌گرا از قبیل اعضای جنس *Cobitis* به‌واسطه اینکه در محدوده خاصی از زیستگاه زندگی می‌کنند تفاوت ریخت اندک بوده و ریخت یکسانی را از خود نشان می‌دهند، به‌عبارت‌دیگر ویژگی‌های زیستگاهی تأثیر اندکی در مقایسه شکل بدن ماهیان عام‌گرا از خود نشان می‌دهند (Mouludi-Saleh *et al*., 2019). با توجه به این ریخت‌سنجی هندسی، به دلیل قابلیت بالای تفکیک ساختارهای زیستی (Mouludi-Saleh *et al*., 2019)، در مطالعه حاضر توانست به خوبی گونه‌های جنس *Cobitis* در ایران را به لحاظ ریختی تفکیک نماید. رستمیان و همکاران (۱۳۹۵)، مطلوبیت زیستگاهی جویبار ماهی خاردار سانیا در رودخانه توتکابن (شاخه فرعی رودخانه سفیدرود) را با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته مورد مطالعه قرار دادند و بیان داشتند که زیستگاه انتخابی این‌گونه، مناطقی با سرعت بیشتر آب، بسترماسه‌ای- گلی (حاصل از ته نشست رسوبات معلق)، با عرض زیاد و ارتفاع و عمق کم است. با توجه به این، مطالعات نشان داده‌اند گونه‌هایی که در آب‌های کم عمق و با جریان سریع زیست می‌کنند، در انتخاب شرایط زیستگاهی بسیار تخصصی عمل کرده و به‌نوعی تخصصی شده‌اند و این قبیل گونه‌ها به احتمال زیاد نسبت به تغییر شرایط هیدرولیک بسیار حساس هستند (Casatti *et al*., 2005; Teresa & Casatti, 2013)، نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که جویبارماهیان خاردار از جمله ماهیان تخصصی شده در زیستگاه هستند.

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای نیز *C. avicennae* به تنهایی با ۱۰۰ درصد درخت‌های احتمالی در یک خوشه و جدا از سایر گونه‌ها (۶۳ درصد درخت‌های احتمالی) قرار گرفت. در مطالعه برومندی و همکاران (۱۳۹۷) روی مقایسه شجره‌شناسی گونه *Cobitis saniae* در رودخانه‌های بارکیلی‌رود و چالکه‌رود حوضه خزر با سایر گونه‌های ایرانی خانواده Cobitidae عنوان شد که گونه‌های *C. faridpaki*، *C. saniae* و *C. avicennae* یک گروه تک شجره‌ای با ضریب ۶۴ درصد را تشکیل دادند و دو گونه متعلق به حوضه خزر با ضریب بوتسترپ ۹۹ درصد در یک خوشه قرار گرفتند.

از آن جا که یکی از اهداف اصلی مطالعه ریختی جداسازی گونه‌ها است، در این مطالعه روش ریخت‌سنجی هندسی به خوبی توانست گونه‌های مورد مطالعه را جدا کند. بر اساس نتایج، گونه *C. avicennae* به‌واسطه سر کوچک‌تر، ساقه دمی درازتر و موقعیت قدامی باله مخرجی، گونه *C. linea* به‌واسطه موقعیت شکمی‌تر پوزه و چشم، عمق بیشتر سر، موقعیت خلفی پایه باله سینه‌ای، موقعیت خلفی باله پشتی و قدامی باله مخرجی، گونه *C. faridpaki* به‌واسطه طول و عمق کمتر سر، موقعیت بالاتر پایه باله سینه‌ای و قاعده کوتاه‌تر باله مخرجی و گونه *C. saniae* به‌واسطه عمق کمتر سر و بدن، سر کوچک‌تر و موقعیت خلفی‌تر باله

مخرجی قابل شناسایی هستند. تنوع ریختی تحت تأثیر شرایط زیستگاهی، می‌تواند منجر به ایجاد جمعیت‌های مجزا و گونه‌های جدید شود (Gunawickrama, 2008). تمام مدل‌های آلوپاتریکی، تفاوت در شرایط محیطی زیستی و غیر زیستی را به‌عنوان عوامل تأثیرگذار روی انتخاب طبیعی بیان می‌دارند که نتیجه آن پیدایش آرایه‌های جدید است (Postl *et al*., 2008). بنابراین به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که اعضای این جنس با تغییر در ارتفاع بدن، اندازه سر و موقعیت پوزه، طول ساقه دمی و جایگاهای باله‌های پشتی، مخرجی و سینه‌ای با شرایط زیستی در زیستگاه‌های مختلف سازگار شده‌اند.

قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تهران به انجام رسیده است.

منابع

ایگدری، س.، اسماعیل زادگان, ا.، مداح. ع. (۱۳۹۲). بررسی تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) در حوضه دریای خزر با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی. تاکسونومی و بیوسیستماتیک. ۵ (۱۴): ۸-۱.

ایگدری، س.، مشیدی، م.، نصری، م. (۱۳۹۸). بررسی تنوع ریختی چهار جمعیت شاه‌کولی ارومیه (*Alburnus atropatenae*) در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. فصلنامه علمی- پژوهشی زیست شناسی جانوری تجربی. ۷ (۴): ۲۸-۱۹.

برومندی، الهام.، هاشم زاده سقرلو. ا.، اشرف زاده، م. و رحیمی، ر.، ۱۳۹۷، مقایسه شجره شناسی گونه‌ی *Cobitis saniae* در رودخانه‌های بارکیلی رود و چالکه رود حوضه خزر با سایر گونه های ایرانی خانواده Cobitidae، کنفرانس حفاظت از ماهیان بومزاد اکوسیستم‌های آب‌های داخلی ایران، کرج- دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات دانشگاه تهران - انجمن ماهی شناسی ایران.

پیشکاه‌پور، ز.، پورباقر، ه.، ایگدری، س. (۱۳۹۸). مقایسه کارایی ریخت‌سنجی سنتی و هندسی در تفکیک جوامع ماهی Alburnus doriae (De Filippi,1865) در حوضه‌های مرکزی و غربی ایران. نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های ماهی شناسی کاربردی. ۷ (۲) : ۱۲-۱.

جلیلی، پ.، ایگدری، س.، موسوی ثابت، ح.، مفاخری، پ. (۱۳۹۳). توصیف ساختار استخوان‌شناسی سگ‌ماهی خاردار فریدپاکی

Cobitis faridpaki (Cypriniformes: Cobitidae) از حوضه جنوبی دریای خزر. زیست شناسی دریا. ۶ (۴) :۵۰-۳۷.

جمالی آشتیانی، ع.، ایگدری، س.، خراسانی، ن.، زمانی فرادنبه، م. (۱۳۹۵). مقایسه ویژگی های شکل بدن جمعیت های سس ماهی کورا (Barbus lacerta, Heckel 1834) در سه حوضه خزر، دجله و ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. فصلنامه محیط زیست جانوری. ۷ (۴): ۱۵۰-۱۴۳.

رستمیان، ن.، سعید پور، ب.، ایگدری، س.، رامین، محمود. (۱۳۹۵). بررسی مطلوبیت زیستگاهی سگ ماهی خاردار کیوان Cobitis keyvani Mousavi-Sabet et al., 2012 در رودخانه توتکابن (شاخه فرعی رودخانه سفیدرود) با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته (GAM). نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های ماهی شناسی کاربردی. ۴ (۴) :۱۲-۱.

صالحی‌نیا، د.، ایگدری، س.، خراسانی، ن، زمانی فرادنبه، م. (۱۳۹۵). مطالعه اثر سد سنگبان بر ویژگی های ریختی جمعیت های سیاه ماهی (*Capoeta gracilis*) با استفاده از دو روش ریخت سنجی هندسی و سنتی. فصلنامه محیط زیست جانوری. ۸ (۲): ۱۰۴-۹۷.

Buj, I., Podnar, M., Mrakovcic, M., Caleta, M., Mustafic, P., Zanella, D. and Marcic, Z. (2008). Morphological and genetic diversity of *Sabanejewia balcanica* in Croatia. Folia Zoologica, 57 (1-2): 100-110.

Casatti, L., Rocha, F.C. and Pereira, D.C. (2005). Habitat use by two species of Hypostomus (Pisces, Loricariidae) in southeastern brazilian streams. Biota Neotropica, 5: 157-165.

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

Eagderi, S., Jouladeh-Roudbar, A., Jalili, P., Sayyadzadeh, G. and Esmaeili, H.R. (2017a). Taxonomic status of the genus *Cobitis* Linnaeus, 1758 (Teleostei: Cobitidae) in the southern Caspian Sea basin, Iran with description of a new species. FishTaxa, 2 (1): 48-61.

Eagderi, S., Jouladeh-Roudbar, A., Nasri, M., Sayyadzadeh, G. and Esmaeili, H. R. (2017). Taxonomic status of the genus *Cobitis* (Teleostei: Cobitidae) in the Namak Lake basin, Iran. Iranian Journal of Ichthyology, 4 (2): 131-139.

Eschmeyer, W.N. and Fong, J.D. (2011). Pisces. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.). Animal biodiversity: An outline of higher level classification and survey of taxonomic richness. Zootaxa, 3148: 26-38.

Esmaeili, H.R., Sayyadzadeh, G., Eagderi, S. and Abbasi, K. (2018). Checklist of freshwater 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. and Ryanm, P. D. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis". Palaeontol. Electron, 4(4): 1-9.

Jolliffe, I.T. (2002). Principal component analysis. – Springer, New York. USA. pp: 150-166.

Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K. and Abdoli, A. (2016). Atlas of inland water fishes of Iran. Iran Department Environment Press. 218 p.

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

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 the Linnean Society, 80(4): 689-698.

Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Poorbagher, H. and 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. European Journal of Biology, 78(2): 165-168.

Nasri, M., Eagderi, S., Farahmand, H. and 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.

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.

Postl, L., Herler, J., Bauer, C., Maderbacher, M., Makasa, L. and Sturmbauer, C. (2008). Geometric morphometric applied to viscerocranial bones in three populations of the Lake Tanganyika cichlid fish *Tropheus moorii*. Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research, 46(3), 240-248.

Sawada, Y. (1982). Phylogeny and zoogeography of the superfamily Cobitoidea (Cyprinoidei, Cypriniformes). Memoirs of the Faculty of Fisheries of Hokkaido University, 28(2): 65-223.

Spoljaric, M. and Reimchen T. (2007). 10000 years later: Evolution of body shape in *Haida gwaii* three-spined stickleback. Journal of Fish Biology, 70(5): 1484- 1503.

Teresa, F.B., and Casatti, L. (2013). Development of habitat suitability criteria for Neotropical stream fishes and an assessment of their transferability to streams with different conservation status.

Morphological comparison of the *Cobitis* species from Iranian inland waters using geometric morphometric method

S. Eagderi[1*], A. Mouludi-Saleh[2]

Received:2020.7.5
Accepted:2020.8.17

Abstract

This study aimed to find morphological traits to discriminate four species of the genus *Cobitis* in Iran using geometric morphometric method. For this purpose, a total of 65 specimens were captured from Sefid (*C. saniae*), Siah (*C. faridpaki*), Maloosjan (*C. linea*) and Gamasiab (*C. avicennae*) rivers using electrofishing device. To extract the body shape data of the studied taxa, 14 Landmarks-point were defined and digitized using tpsDig2 software. Data after generalized procrust analysis were analyzed using principal component analysis, multivariate analysis of variance /canonical variate analysis and cluster analysis. The results showed a significant difference in the body shape between the studied species (P<0.001). Cluster analysis positioned *C. avicennae* in one clade, distinguish from others. The results also revealed that the members of this genus can adapt themselves to the environmental parameters of their habitats by alternations in the body depth, head size and snout position, length of the caudal peduncle and positions of the dorsal, anal and pectoral fins.

Keywords: Body shape, Cluster analysis, Morphometric, Spined loach

1- Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
*(Corresponding author: soheil.eagderi@ut.ac.ir)
2- PhD Student, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran