

## بررسی وضعیت انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های مختلف ماهی شاه‌کولی جنوبی *Alburnus mossulensis* Heckel, 1843 با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

شقایق حسن‌پور<sup>۱</sup>، سهیل ایگدری<sup>۲</sup>، منوچهر نصری<sup>۳</sup> و سمیرا جلالی‌روشن<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران،  
<sup>۲</sup> استادیار گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران،  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران،  
<sup>۴</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۱

### چکیده

این مطالعه به منظور بررسی انعطاف‌پذیری ریختی در پنج جمعیت شاه‌کولی جنوبی (*Alburnus mossulensis*)، با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی انجام شد. برای این منظور تعداد ۲۰۰ نمونه از پنج رودخانه حوضه دجله شامل رودخانه‌های کشکان لرستان، سپیدبرگ کردستان، کارون چهارمحال و بختیاری، گاماسیاب کرمانشاه و خرسان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از الکتروشوکر نمونه‌برداری گردید. از سمت چپ نمونه‌های صید شده عکس‌برداری و با استفاده از نرم‌افزارهای سری TpsDig2 تعداد ۱۵ لندمارک بر روی نقاط هم‌ساخت بدن نمونه‌ها رقومی‌سازی و فایل‌های tps تهیه شد. برای بررسی انعطاف‌پذیری ریختی، داده‌های لندمارک با استفاده از آزمون‌های PCA، CVA و Cluster Analysis مورد تحلیل قرار گرفتند و شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل مصورسازی گردید. نتایج CVA تفاوت معنی‌داری را از نظر شکل بدن بین جمعیت‌های مورد مطالعه نشان داد. براساس تجزیه و تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه به سه خوشه مجزا شامل (۱) رودخانه‌های کشکان، گاماسیاب و سپیدبرگ، (۲) رودخانه خرسان و (۳) رودخانه کارون تقسیم شدند. با توجه به شباهت شرایط اکولوژیکی تقریباً مشابه رودخانه‌های سپیدبرگ، کشکان و گاماسیاب و تفاوت آن‌ها با رودخانه کارون و خرسان به نظر می‌رسد تفاوت‌های ریختی مشاهده شده تحت‌تأثیر تفاوت شرایط محیطی رودخانه‌ها هستند. بنابراین یافته‌های این پژوهش انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن را در جمعیت‌های مورد مطالعه تحت‌تأثیر شرایط محیطی تأیید می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** انعطاف‌پذیری ریختی، حوضه دجله، ریخت‌سنجی هندسی، شاه‌کولی جنوبی

### مقدمه

ریختی به معنی قابلیت یک ژنوتایپ منفرد برای به نمایش گذاشتن دامنه‌ای از تغییرات ریختی در پاسخ به تغییرات محیطی است. فرآیندی که هسته اصلی شکل‌گیری تفاوت‌های ریختی بین گونه‌ای بوده و می‌تواند یا به صورت تشکیل صفات پیچیده جدید (West-Eberhard، ۲۰۰۳؛ Moczek، ۲۰۰۸؛ Wund و همکاران، ۲۰۰۸) و یا حتی شکل‌گیری

تنوع ریختی ناشی از فشارهای محیطی مبحث پایه‌ای در زیست‌شناسی تکامل است (Smith و Skúlason، ۱۹۹۶؛ Schluter، ۲۰۰۰) که به واسطه انعطاف‌پذیری ریختی به وقوع می‌پیوندد (Langerhans و همکاران، ۲۰۰۳). انعطاف‌پذیری

\* مسئول مکاتبه: soheil.eagderi@ut.ac.ir

رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Bagherian و Rahmani، ۲۰۰۷؛ Bagherian و Rahmani، ۲۰۰۹). اما در مورد کاربرد روش ریخت‌سنجی هندسی برای بررسی شکل آن‌ها اطلاعات کمی وجود دارد (Mohadasi و همکاران، ۲۰۱۳). Krupp و همکاران (۱۹۹۲) ضمن گزارش یک هیبرید از این گونه با نام *Acanthobrama marmid* در حورالحرر در جنوب عراق، خاطرنشان کرد که احتمالاً *A. mossulensis* مترادف *Alburnus sellal* Heckel, 1843 می‌باشد. Berg (۱۹۴۹) نیز معتقد بود که *A. mossulensis* زیرگونه‌ای از *A. sellal* است ولی Fang (۱۹۴۲) گونه *A. mossulensis* را براساس طول استاندارد زیاد، یک گونه متمایز در بین اعضاء جنس *Alburnus* بیان داشت.

بنابراین نظرات بالا می‌تواند بیانگر تنوع ریختی بالای شاه‌کولی جنوبی در بخش‌های مختلف دامنه پراکنش خود باشد. برخی از جمعیت‌های این ماهی نسبت به بقیه دارای بدنی به ظاهر کشیده‌تر بوده و یا تفاوت‌هایی در ناحیه سر و باله‌های آن‌ها دیده می‌شود. شناسایی دقیق ماهیان آب‌های داخلی ایران و به‌خصوص سؤالاتی که درباره گونه شاه‌کولی جنوبی وجود دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به پراکنش به‌نسبت بالای شاه‌کولی جنوبی و قدرت بالای سازگاری این گونه نسبت به شرایط مختلف محیطی در زیستگاه‌های مختلف، این پژوهش برای مقایسه ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های مختلف این گونه در حوضه دجله به‌منظور درک انعطاف‌پذیری ریختی آن در زیستگاه‌های مختلف با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. از آن‌جا که انعطاف‌پذیری ریختی راه‌حلی برای سازگاری با تغییرات طولانی‌مدت محیطی می‌باشد، نتایج این پژوهش می‌تواند به درک بهتر پاسخ‌های ریختی این گونه به شرایط اکولوژیکی کمک کند.

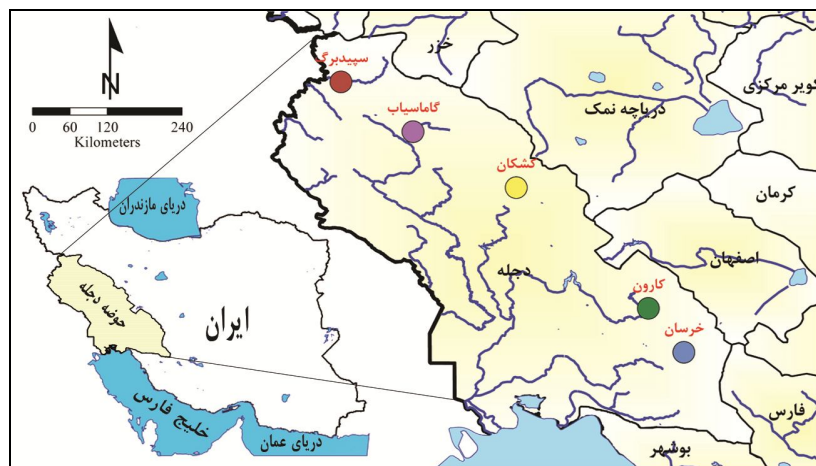
گونه‌های جدید در فرآیند تکامل مؤثر باشد (West-Eberhard، ۲۰۰۵؛ Pfennig و McGee، ۲۰۱۰؛ Price و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعات تنوع ریختی درون‌گونه‌ای در مورد گونه‌های متعددی از آبریان انجام شده است (Tzeng، ۲۰۰۴؛ Bagherian و Rahmani، ۲۰۰۷؛ Akbarzadeh و همکاران، ۲۰۰۹؛ Mohadasi و همکاران، ۲۰۱۳). اما در مورد انعطاف‌پذیری ریختی ماهیان آب‌های داخلی ایران مطالعات اندکی وجود دارد (ایگدري و همکاران، ۱۳۹۲؛ Mohadasi و همکاران، ۲۰۱۳؛ Heidari و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعه این جنبه از ریخت‌شناسی ماهیان می‌تواند به برخی از سؤالات تکاملی و تبارشناسی پاسخ داده و علل بروز تفاوت‌های ریختی را در بین گونه‌های نزدیک و یا حتی جمعیت‌های یک گونه توضیح دهد.

ماهی شاه‌کولی جنوبی (*Alburnus mossulensis*) دارای بدنی کشیده و دوکی شکل با دهان انتهایی و بدون سیبک بوده و دارای فلس‌های متوسط می‌باشد. قاعده باله پشتی این گونه کوتاه و قاعده باله دمی طویل است (Coad، ۲۰۱۳). این گونه در کل حوضه دجله پراکنش به‌نسبت وسیعی داشته و در حوضه‌های مهارلو، خلیج و نواحی بالادست حوضه هرمز نیز گزارش شده است. شاه‌کولی جنوبی در نه‌رها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها زندگی کرده و دامنه دمایی وسیعی (۳۶-۱ درجه سانتی‌گراد) را می‌تواند تحمل نموده و به واسطه این قابلیت در بخش‌های زیادی از حوضه دجله یافت می‌گردد (Abdoli، ۲۰۰۰؛ Coad، ۲۰۱۳). این گونه از جلبک‌ها، مواد گیاهی در حال پوسیدن، حشرات آبزی، گیاهان و سخت‌پوستان تغذیه می‌کند (Coad، ۲۰۱۳) و از این نظر می‌توان آن را یک گونه همه‌چیزخوار محسوب کرد. در رابطه با ریخت‌شناسی گونه‌های مختلف جنس *Alburnus* با استفاده از روش‌های سنتی مطالعات متعددی انجام شده است (رحمانی و حسن‌زاده‌کیابی، ۱۳۸۴؛

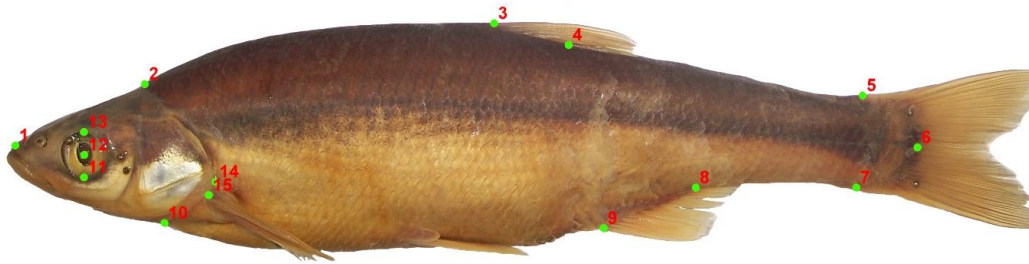
## مواد و روش‌ها

برای این مطالعه، پنج جمعیت از ماهی شاه‌کولی جنوبی شامل ۴۵ قطعه از رودخانه کشکان خرم‌آباد ( $31^{\circ} 31' 29'' N$  و  $44^{\circ} 54' 48'' E$ )، ۳۵ قطعه از رودخانه سپیدبرگ کردستان ( $35^{\circ} 03' 37'' N$  و  $56^{\circ} 22' 22'' E$ )، ۱۹ قطعه از رودخانه کارون چهارمحال و بختیاری ( $31^{\circ} 40' 37'' N$  و  $50^{\circ} 46' 18'' E$ )، ۶۱ قطعه از رودخانه گاماسیاب کرمانشاه ( $34^{\circ} 20' 15'' N$  و  $47^{\circ} 25' 20'' E$ ) و ۴۰ قطعه از رودخانه خرسان کهگیلویه و بویراحمد ( $30^{\circ} 58' 60.1'' N$  و  $292'' E$ ) با استفاده از الکتروشوکر صید شدند (شکل ۱). عملیات نمونه‌برداری طی فروردین تا تیرماه ۱۳۹۱ انجام شد. نمونه‌های صید شده پس از بی‌هوشی در محلول عصاره گل میخک با غلظت  $1 \text{ gl}^{-1}$ ، با استفاده از محلول فرمالین بافوری ۴ درصد تثبیت و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور حذف اثر رشد آلومتریکی، تنها نمونه‌های با طول استاندارد بیش از ۶۰ میلی‌متر انتخاب شدند. از نیمه چپ تمامی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل

تصاویر دیجیتالی دوبعدی تهیه شد. پس از تعریف تعداد ۱۵ لندمارک هم‌ساخت بر روی بدن ماهیان به‌منظور استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، با استفاده از نرم‌افزارهای tpsUtil از تصاویر دیجیتالی فایل tps از لندمارک‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 (Rohlf, ۲۰۱۰) رقومی شدند (شکل ۲). تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از آزمون‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونیک (CVA) با ارزش P به‌دست آمده از Permutation test با ده هزار تکرار و آنالیز خوشه‌ای داده‌ها در نرم‌افزارهای PAST و MorphoJ مورد تحلیل قرار گرفتند. برای حذف اثرات اندازه و جهت از لندمارک‌های به‌دست آمده از روش روی هم‌گذاری عمومی (جنرال پروکراست) استفاده شد. میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل اجماع تمامی جمعیت‌ها با استفاده از شبکه تغییر شکل مصورسازی شده و در مقابل دندوگرام خوشه‌ای ارائه شدند. به‌منظور استخراج شکل بدن، لندمارک‌های تعریف شده بر روی نمونه شاه‌کولی جنوبی به‌شرح زیر است (شکل ۲).



شکل ۱- مناطق نمونه‌برداری جمعیت‌های مختلف *Alburnus mossulensis* در بخش ایرانی حوضه دجله.



شکل ۲- لندمارک‌های تعریف شده بر روی نمونه شاه کولی جنوبی (*Alburnus mossulensis*).

۱- ابتدایی‌ترین بخش فک بالا، ۲- محل اتصال سر به تنه، ۳- ابتدای قاعده باله پشتی، ۴- انتهای قاعده باله پشتی، ۵- لبه بالایی محل اتصال باله دم به دم، ۶- انتهای خط جانبی در قاعده باله دم، ۷- لبه پایینی محل اتصال باله دم به دم، ۸- انتهای قاعده باله مخرجی، ۹- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۰- بخش پایینی شکاف آبششی (گلو)، ۱۱- لبه پایینی حدقه، ۱۲- مرکز حدقه، ۱۳- لبه بالایی حدقه، ۱۴- انتهای‌ترین بخش سرپوش آبششی، ۱۵- ابتدای قاعده باله سینه‌ای.

### نتایج

مؤلفه اصلی استخراج شد که براساس مقدار جداکننده Jolliffe برابر (۰/۰۰۰۰۶۴۱)، دو مؤلفه اصلی اول با مجموع واریانس ۷۶/۰۶۱ درصد بیش‌ترین بار عاملی را به خود اختصاص دادند. تنها دو مؤلفه اصلی اول معنی‌دار بودند (جدول ۱).

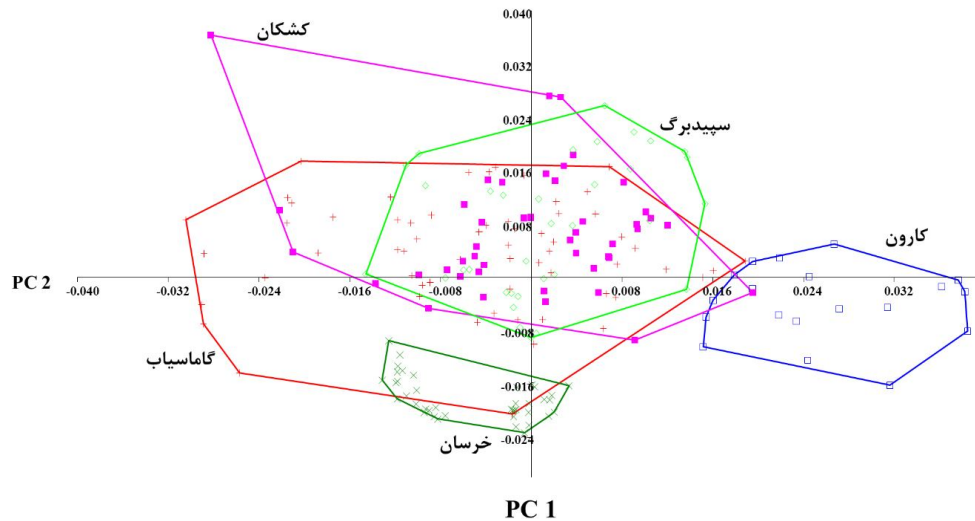
پس از حذف اثر اندازه و جهت با استفاده از روش روی هم‌گذاری، با توجه به همبستگی کامل ( $r=1$ ) بین فواصل پروکراست و تانژانت، از مختصات لندمارک‌ها به منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده شد. براساس تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به منظور برآورد تفاوت‌های بالقوه بین جمعیت‌ها، تعداد چهار

جدول ۱- مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از داده‌های شکل بدن. براساس مقدار جداکننده Jolliffe.

مؤلفه‌های اصلی	مقدار ویژه	درصد تغییرات
۱	۰/۰۰۰۱۶۴	۴۴/۹۴۷
۲	۰/۰۰۰۱۱۴	۳۱/۱۱۴
۳	۰/۰۰۰۰۶۹۱	۱۸/۸۵۰
۴	۰/۰۰۰۰۱۸۶	۵/۰۸۸

را برای تمایز ریختی بین جمعیت‌ها از نظر شکل بدن نشان داد (شکل ۳).

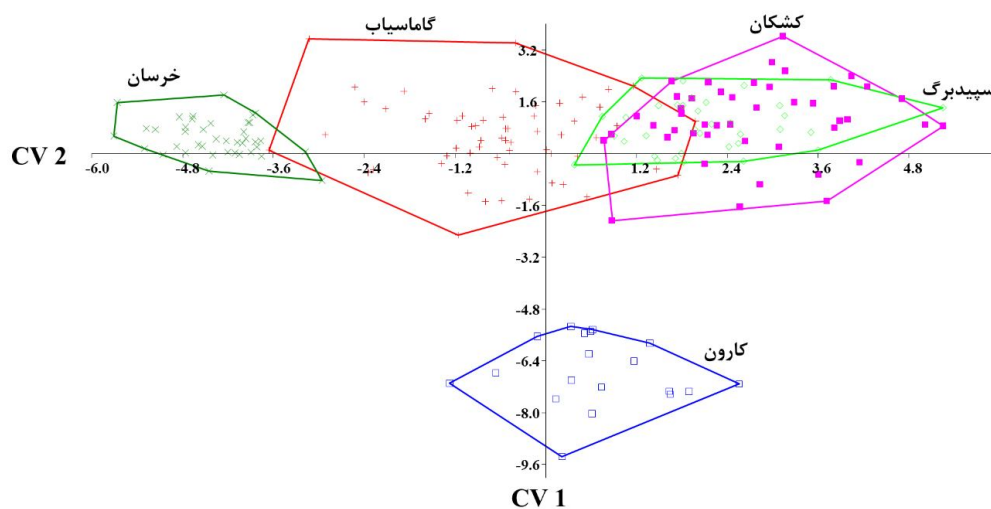
تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) براساس ترکیبات خطی متغیرهای اولیه، الگوی بالقوه مشخصی



شکل ۳- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) تمایز جمعیت‌های مورد مطالعه براساس دو مؤلفه اصلی اول.

طول سر، طول قاعده باله پشتی و مخرجی و طول ساقه دمی بودند. تجزیه و تحلیل CVA هم‌پوشانی بالایی بین جمعیت‌های رودخانه‌های سپیدبرگ و کشکان را نشان داد و جمعیت‌های رودخانه‌های گاماسیاب و خرسان و در نهایت کارون دارای کم‌ترین هم‌پوشانی بودند (شکل ۴).

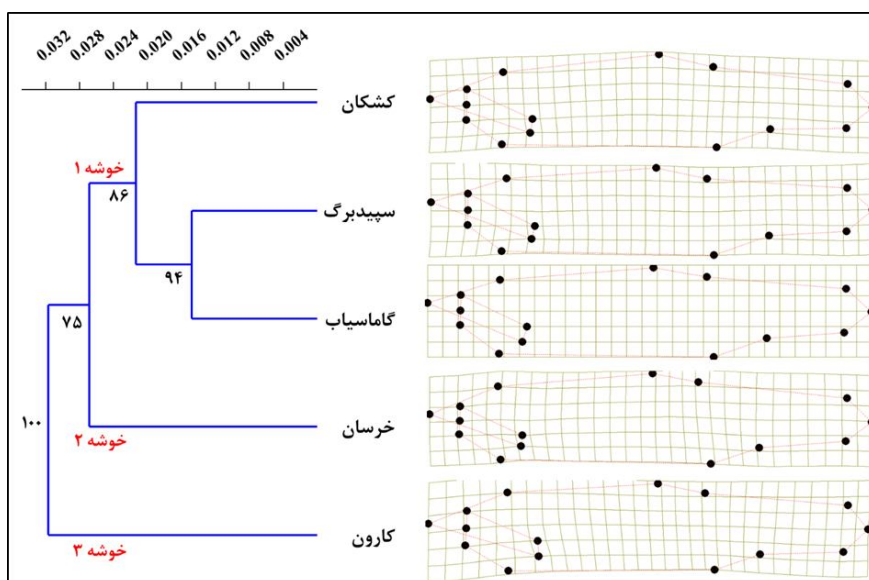
مقایسه شکل بدن بین جمعیت‌ها با استفاده از تجزیه همبستگی کانونیک (CVA) براساس ارزش P به دست آمده از Permutation test (شکل ۴) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد ( $F=35/33$  و  $P<0/01$ ). مهم‌ترین بخش‌هایی که تفاوت‌های ریختی را نشان دادند شامل:



شکل ۴- نمودار تجزیه همبستگی کانونیک (CVA) تمایز جمعیت‌های مورد مطالعه براساس شکل بدن.

مطالعه را در سه خوشه جداگانه دسته‌بندی کرد (شکل ۵).

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های شکلی با تعداد باز نمونه‌گیری ۱۰۰۰۰ بار، جمعیت‌های مورد



شکل ۵- نمودار خوشه‌ای و شبکه تغییر شکل جمعیت‌های شاه‌کولی مورد مطالعه (۱۰۰۰۰ بار باز نمونه‌گیری).

در خوشه ۱، جمعیت‌های کشکان، سیدبرگ و گاماسیاب بر اساس ارتفاع بدن بیشتر، طول سر کوتاه‌تر، موقعیت جلوتر باله پشتی و طول ساقه دم کوتاه‌تر با پشتیبانی ۸۶ درصد درخت‌های ممکن در یک خوشه جداگانه قرار گرفتند و در این خوشه، ۹۴ درصد درخت‌ها نیز دو جمعیت سیدبرگ و گاماسیاب را در یک زیرخوشه قرار دادند. جمعیت رودخانه کارون در ۱۰۰ درصد درخت‌های احتمالی به صورت جدا از بقیه جمعیت‌ها در خوشه ۳ قرار گرفت. مهم‌ترین صفات متمایزکننده این جمعیت شامل ارتفاع بدن کم‌تر، طول سر بیشتر، عقب‌تر بودن محل شروع باله پشتی، متمایل بودن پوزه به سمت پایین و طول ساقه دم بیشتر بود. در خوشه ۲ با پشتیبانی ۷۵ درصد درخت‌های ممکن، جمعیت رودخانه خرسان قرار گرفت که از نظر تمامی صفات یاد شده حد

در خوشه‌های ۱ و ۳ بود با این توضیح که براساس تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، جمعیت رودخانه خرسان از نظر شکل بدن با خوشه ۱ نزدیکی بیشتری را نشان داد.

### بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه شاه‌کولی جنوبی در زیستگاه‌های مورد بررسی وجود دارد که می‌تواند بیانگر انعطاف‌پذیری مرتبط با زیستگاه در آن‌ها باشد. انعطاف‌پذیری ریختی بیانگر مجموعه تغییرات ریختی است که در پاسخ به شرایط محیطی رخ می‌دهند و معمولاً زمینه سازگاری بهتری را برای موجود زنده با شرایط محیطی فراهم می‌آورد (Agrawal و Whitman، ۲۰۰۹). شکل بدن علاوه بر این که بیانگر خصوصیات ژنتیکی موجودات زنده

ساقه دم‌ی و همچنین موقعیت عقب‌تر باله پشتی در ماهیان رودخانه کارون و خرسان نشان‌دهنده سازگاری این ماهیان با شرایط تندآبی این رودخانه‌ها است.

ساقه دم‌ی طویل‌تر در افزایش کارایی و توان شنا کردن ماهیان مؤثر است (Quinn و Hawkins، ۱۹۹۶؛ Fisher و Hogan، ۲۰۰۷) و امکان شروع یک شنا سریع و شتاب‌دار را فراهم می‌کند (Webb، ۱۹۸۴). نتایج مشابهی در مورد مقایسه شکلی جمعیت‌های رودخانه‌ای و حوضچه‌ای ماهی شاه‌کولی خزری (Bagherian و Rahmani، ۲۰۰۹؛ Mohadasi و همکاران، ۲۰۱۳) و ماهی گورخری (*Aphanius sophiae*) و ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldi*) (ایگدری و همکاران، ۱۳۹۲) به‌دست آمده است.

با توجه به وجود نواحی عمیق و شدت جریان کم‌تر رودخانه‌های سپیدبرگ، کشکان و گاماسیاب در مناطق نمونه‌برداری، ارتفاع بدن بیش‌تر، طول سر کوتاه و طول ساقه دم‌ی کوتاه‌تر و همچنین موقعیت جلوتر باله پشتی مرتبط با شرایط حوضچه‌ای محل زندگی این جمعیت‌ها می‌تواند باشد. ماهیان با بدن پهن می‌توانند شنای ثابت، آرام و مؤثری را در محیط‌های با جریان ضعیف انجام دهند و ماهیانی با بدنی کشیده‌تر توانایی بیش‌تری برای غلبه بر جریان‌های سریع‌تر از آب دارند (Blake، ۱۹۸۳). تغییر شکل در ناحیه سر و دهان به‌طور عمده منعکس‌کننده تفاوت در تغذیه شامل نوع و جهت تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده می‌باشد (Langerhans و همکاران، ۲۰۰۳).

است، منعکس‌کننده شرایط زیستگاهی و پاسخ‌های سازشی موجود زنده با آن‌ها نیز می‌باشد (Guill و همکاران، ۲۰۰۳). تفاوت‌های ریختی متناسب با زیستگاه در برخی از ماهیان اثبات شده است (Smith و Skulason، ۱۹۹۶). به‌عنوان مثال در ماهی گامبوزیا (*Gambusia affinis*)، انعطاف‌پذیری ریختی ناشی از اندازه مواد غذایی در دسترس ماهیان گزارش شده است (Ruehl و DeWitt، ۲۰۰۵). انوری‌فر و همکاران (۱۳۹۱) انعطاف‌پذیری ریختی سیاه‌ماهی را بررسی کرده و نقش عوامل محیطی به‌ویژه ساخت سد را در تحمیل تفاوت ریختی بین سیاه‌ماهیان خاطر نشان کرده‌اند. همچنین در مطالعه ماهی گارا (*Garra rufa*) در حوضه‌های غربی و جنوبی کشور نقش شرایط اکولوژیکی در تفاوت‌های ریختی بین جمعیتی ماهیان تأیید شده است (قلعه‌نویی و همکاران، ۱۳۸۹).

شدت جریان و حجم آب رودخانه‌های کارون و خرسان در مناطق بالادستی بیش‌تر است. بنابراین ماهیان این رودخانه‌ها برای صرفه‌جویی در انرژی و مقاومت در برابر نیروی شوینده آب دارای بدنی کشیده‌تر می‌باشند. طبق نظریه هیدرودینامیک (حرکت و نیروی آب) بدن دوکی‌شکل‌تر میزان مصرف انرژی را در جریان سریع آب کاهش می‌دهد و به ثابت ماندن بدن در جریان رودخانه‌ای کمک می‌کند (Webb، ۱۹۸۴؛ Videler، ۱۹۹۳؛ Vogel، ۱۹۹۶). مقاومت در برابر شدت جریان بالای آب نیازمند نیروی رانشی متقابل قوی می‌باشد که به‌وسیله عضلات دم و باله دم‌ی تأمین شده و این نیرو به کمک باله پشتی که نقش سکان را دارد، برای حفظ وضعیت ماهی استفاده می‌گردد. بلندتر بودن

تفاوت‌های فراوان ریختی در بین جمعیت‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه با وجود یک دودمان مشترک قابل پیش‌بینی می‌باشد، تفاوت شرایط فیزیکوشیمیایی زیستگاه و تفاوت در میزان و نوع مواد غذایی در زیستگاه‌های متفاوت می‌تواند دلیل اصلی این تغییرات ریختی باشد. البته برای درک بهتر تفاوت بین جمعیت‌های مختلف به دلیل سایر نیروهای گزینشی، مطالعات استخوان‌شناسی و ژنتیکی پیشنهاد می‌گردد.

تفاوت‌های شکل بدن مشاهده شده در بین جمعیت‌های مورد مطالعه و همچنین تفاوت‌های رودخانه‌های محل زندگی آن‌ها، می‌تواند بیانگر انعطاف‌پذیری ریختی در گونه *Alburnus mossulensis* باشد. با توجه به این‌که فنوتیپ، تحت کنترل دو عامل ژنوتیپ و شرایط محیطی است. اما در شرایط محیطی متفاوت، تغییرات ریختی با سرعت بیش‌تری به وجود می‌آیند (Poulet و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین وجود

### منابع

- ۱- انوری فر، ح.، فرحمند، ح.، رحمانی، ح.، نعمت‌الهی، م.، کرمی، م.، و اکبرزاده، آ.، ۱۳۹۱. بررسی تنوع و تمایز ریخت‌سنجی سیاه‌ماهی *Capoeta capoeta gracilis* در رودخانه تجن، ساری. مجله زیست‌شناسی ایران، جلد ۲۵: ۵۱۷-۵۳۵.
- ۲- ایگدری، س.، اسماعیل‌زادگان، ا.، و مداح، ع.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) در حوضه دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، سال پنجم، ۸-۱.
- ۳- رحمانی، ح.، و حسن‌زاده‌کیابی، ب.، ۱۳۸۴. تنوع ریختی میان جمعیتی ماهی شاه‌کولی *Chalcalburnus chalcoides* (Gueldenstaedt, 1772) در رودخانه‌های هراز و گزاف‌رود. علوم محیطی، ۱۰: ۳۳-۲۱.
- ۴- رحمانی، ح.، حسن‌زاده‌کیابی، ب.، کمالی، ا.، و عبدلی، ا.، ۱۳۸۶. بررسی صفات مورفولوژیک ماهی شاه‌کولی *Chalcalburnus chalcoides* (Gueldenstaedt, 1772) در رودخانه هراز و رودخانه شیروود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، ۱۱-۱.
- ۵- قلعه‌نویی، م.، پازوکی، ج.، عبدلی، ا.، حسن‌زاده‌کیابی، ب.، و گلزاریان، ک.، ۱۳۸۹. مطالعه مورفومتریک و مرستیک جمعیت‌های مختلف ماهی گونه *Garra rufa* در حوضه خلیج فارس و دجله. مجله علمی شیلات ایران، ۱۹: ۱۰۷-۱۱۸.

6. Abdoli, A., 2000. The inland water fishes of Iran. Naghsh Mana Publication. Tehran, 378p.
7. Akbarzadeh, A., Farahmand, H., Shabani, A.A., Karami, M., Kaboli, M., Abbasi K., and Rafiee, G.R., 2009. Morphological variation of the pikeperch *Sander lucioperca* (L.) in the southern Caspian Sea, using a truss system. J. Appl. Ichthyol. 25, 576-582.
8. Bagherian, A., and Rahmani H., 2007. Morphological differentiation between two populations of the Shemaya, *Chalcalburnus chalcoides*: a geometrical morphometric approach. Zoology in the Middle East, 40, 53-62.
9. Bagherian, A., and Rahmani H., 2009. Morphological discrimination between two populations of shemaya, *Chalcalburnus chalcoides* (Actinopterygii, Cyprinidae) using a truss network. Animal Biodiversity and Conservation 32, 1-8.
10. Berg, L.S., 1949. Freshwater fishes of Iran and adjacent countries. Trudy Zoologiska Instituta Akademii Nauk, 8, 783-858.
11. Blake, R.W., 1983. Fish Locomotion, illustrated. Cambridge University Press. Cambridge, 208p.



12. Coad, B.W., 2013. Freshwater fishes of Iran. Available from: [www.briancoad.com](http://www.briancoad.com). Retrieved 5/6/2013.
13. Fang, P.W., 1942. Sur certains types peu connus de Cyprinidés des collections du Muséum de Paris. Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 2, 169-172.
14. Fisher, R., and Hogan J.D., 2007. Morphological predictors of swimming speed: a case study of pre-settlement juvenile coral reef fish. J. Exp. Biol. 210, 2436-2443.
15. 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, 134-140.
16. Hawkins, D.K., and Quinn, T.P., 1996. Critical swimming velocity and associated morphology of juvenile coastal cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki clarki*), steelhead trout (*O. mykiss*) and their hybrids. Can. J. Fish. Aqua. Sci. 53, 1487-1496.
17. Heidari, A., Mousavi-Sabet, H., Khoshkholgh, M., Esmaeili, H.R., and Eagderi, S., 2013. The impact of Manjil and Tarik dams (Sefidroud River, southern Caspian Sea basin) on morphological traits of Siah Mahi, *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae). Inter. J. Aqua. Biol. 1, 195-201.
18. Krupp, F., Al-Hassan, L.A.J., and Ziegler, T., 1992. A possible natural hybrid of *Acanthobrama marmid* and *Alburnus mossulensis* from Haur al-Hammar, southern Iraq. Senckenbergiana Biologica, 72, 219-223.
19. Langerhans, R.B., Layman, C.A., Langerhans, A.K., and Dewitt, T.J., 2003. Habitat-associated morphological divergence in two neotropical fish species. Biol. J. Linnean Soc. 80, 689-698.
20. Moczek, A.P., 2008. On the origins of novelty in development and evolution. BioEssays, 30, 432-447.
21. Mohadasi, M., Shabanipour, N., and Eagderi, S., 2013. Habitat-associated morphological divergence in four Shemaya, *Alburnus chalcoides* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in the southern Caspian Sea using geometric morphometrics analysis. Inter. J. Aqua. Biol. 1, 82-92.
22. Pfennig, D.W., and McGee, M., 2010. Resource polyphenism increases species richness: a test of the hypothesis. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365, 577-591.
23. Poulet, N., Berrebi, P., Crivelli, A.J., Lek, S., and Argillier, C., 2004. Genetic and morphometric variations in the pikeperch (*Sander lucioperca* L.) of a fragmented delta. Archiv für Hydrobiologie, 159, 531-554.
24. Price, T.D., Qvarnström, A., and Irwin, D.E., 2013. The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution. Proceedings of The Royal Society : B (Biological Sciences), 270, 1433-1440.
25. Ruehl, C.B., and DeWitt, T.J., 2005. Trophic plasticity and fine-grained resource variation in populations of western mosquitofish, *Gambusia affinis*. Evolutionary Ecology Research, 7, 801-819.
26. Schluter, D., 2000. The ecology of adaptive radiation. Oxford University Press. Oxford.
27. Smith, T.B., and Skulason, S., 1996. Evolutionary Significance of Resource Polymorphisms in Fishes, Amphibians and Birds. Annual Review of Ecology and Systematics, 27, 111-133.
28. Tzeng, T.D., 2004. Morphological variation between populations of spotted mackerel (*Scomber australasicus*) off Taiwan. Fisheries Research, 68, 45-55.
29. Videler, J.J., 1993. Fish Swimming. Springer. London, 260p.
30. Vogel, S., 1996. Life in Moving Fluids: The Physical Biology of Flow, 2<sup>nd</sup>. Princeton University Press. 484p.
31. Webb, P.W., 1984. Body Form, Locomotion and Foraging in Aquatic Vertebrates. American Zoologist, 24, 107-120.
32. West-Eberhard, M.J., 2003. Developmental Plasticity and Evolution, 1. Oxford University Press. New York, 816p.

33. West-Eberhard, M.J., 2005. Developmental plasticity and the origin of species differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 6543-6549.
34. Whitman, D.W., and Agrawal, A.A., 2009. What is phenotypic plasticity and why is it important? In: D.W. Whitman, T.N. Ananthakrishnan (Ed.). *Phenotypic Plasticity of Insects*. University of Minnesota, Science Publishers. pp. 1-63.
35. Wund, M.A., Baker, J.A., Clancy, B., Golub, J.L., and Foster, S.A., 2008. A Test of the "Flexible Stem" Model of Evolution: Ancestral Plasticity, Genetic Accommodation and Morphological Divergence in the Threespine Stickleback Radiation. *The American Naturalist*, 172, 449-462.

**Phenotypic plasticity analysis of *Alburnus mossulensis* Heckel, 1843  
from Tigris basin using Geometric morphometrics**

**Sh. Hasanpoor<sup>1</sup>, \*S. Eagderi<sup>2</sup>, M. Nasri<sup>3</sup> and S. Jalali Roshan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

<sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

<sup>4</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

---

**Abstract**

Phenotypic plasticity of body shape in five populations of the Southern kingfish (*Alburnus mossulensis*) was studied using geometric morphometric technique. Totally, 200 fish specimens were collected from five rivers of the Tigris basin including the Kashkan, Sepidbarg, Karun, Gamasiab and Khersan Rivers using electrofishing. The left side of collected specimens was photographed using a digital camera and 15 homologous landmark points were selected and digitized on 2D pictures using tpsDig2 software. Landmark data after GPA, analyzed using PCA, CVA and Cluster analysis and the patterns of population's body shape were illustrated in relation to consensus configuration of all specimens. Results revealed significant differences between all populations based on CVA. Based on cluster analysis, the populations according to their body shape were divided into three clusters including (1) Kashkan, Gamasiab and Sepidbarg Rivers, (2) Khersan River and (3) Karun River. Based on ecological similarity between rivers Sepidbarg, Kashkan and Gamasiab and their differences with rivers Karun and Khersan it can be inferred that these differences are due to their ecological conditions. Therefore, our finding can confirm phenotypic plasticity of body shape among the studied populations affected by environmental conditions.

**Keywords:** Geometric morphometrics, Phenotypic plasticity, Southern kingfish, Tigris basin

---

\* Corresponding Authors; Email: soheil.eagderi@ut.ac.ir