

تنوع ریختی جمعیت‌های گونه سیاه‌ماهی خالدار (*Paracapoeta trutta*) در زیرحوضه‌های

رودخانه سیروان با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی



زهرا مهربانی و سهیل ایگدري*

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی تنوع ریختی سیاه‌ماهی خالدار (*Paracapoeta trutta*) در پنج جمعیت از حوضه رودخانه سیروان شامل گاوهرود، اورامانات، ابراهیم‌آباد، گاوشان و قلعه‌جی با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به‌اجرا درآمد. تعداد ۵۸ قطعه ماهی با استفاده از الکتروشوکر نمونه‌برداری شدند. به منظور استخراج داده‌های ریختی، از سمت چپ جانبی نمونه‌ها عکس‌برداری شد و سپس در نرم‌افزار tpsDig2 تعداد ۱۸ نقطه لندمارک تعریف و رقمی‌سازی شد. سپس داده‌های حاصل با استفاده از آنالیزهای پروکراست برای حذف اثرات غیر شکل و مقادیر فاصله ماهالانویس به‌عنوان درجه تمایز بین گروه‌های مورد مطالعه انجام شد. از آنالیزهای چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل همبستگی کانونی (CVA) براساس ارزش P در تحلیل واریانس چند متغیره (MANOVA) و تحلیل خوشه‌ای (CA) به منظور بررسی تنوع ریختی استفاده شد. بر اساس نتایج تحلیل همبستگی کانونی (CVA) جمعیت اورامانات از سایر جمعیت‌ها تفکیک گردید. براساس مقادیر فواصل ماهالانویس به عنوان درجه تمایز ریختی بین جمعیت‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین و کمترین مقدار به ترتیب بین جمعیت‌های اورامانات و ابراهیم‌آباد و جمعیت گاوشان و گاوهرود محاسبه شد. آنالیز خوشه‌ای نیز جمعیت‌های ابراهیم‌آباد، قلعه‌جی و گاوهرود را در یک خوشه و جدا از سایر جمعیت‌های مورد مطالعه قرار داد. نتایج این مطالعه انعطاف‌پذیری ریختی این گونه در سازگاری با زیستگاه‌های مورد مطالعه را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: انعطاف‌پذیری ریختی، تحلیل خوشه‌ای، ریخت‌سنجی، سیاه‌ماهی خالدار، سیروان.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۶۹۵۴۲۰۷، پست الکترونیکی: soheil.eagderi@ut.ac.ir

مقدمه

جمعیت‌های مختلف یک گونه تحت تاثیر فاکتورهای محیطی می‌تواند منجر به گونه‌زایی نیز گردد [۴]، به عبارتی دیگر تکامل جمعیت‌ها باعث سازگاری آن‌ها با شرایط زیستی زیستگاه‌های متفاوت شده و موجب ایجاد تنوع ریختی و ژنتیکی بین جمعیت‌ها شده و سبب پیدایش گونه‌های جدید در طی فرایند تکامل می‌شود [۳۹، ۴۷].

شکل بدن ماهی مرتبط با نحوه زندگی و رفتار آن است که قدرت مانور، سرعت تحرک، قدرت شنا در مسافت‌های مختلف و قابلیت ماندگاری در برابر جریان‌های آبی را

مطالعه ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های یک گونه در زیستگاه‌های مختلف به درک بهتر روند تغییرات ریختی تحت تاثیر تغییرات محیطی کمک می‌نماید [۲۹]. همچنین مطالعه تغییرات ریختی ماهی‌ها می‌تواند علت بروز تفاوت‌های ریختی بین گونه‌های نزدیک و یا حتی جمعیت‌های یک گونه را توضیح دهد [۳۱]. تنوع ریخت‌شناختی می‌تواند در نتیجه سازگاری‌های منطقه‌ای، سازگاری به ویژگی‌های بوم‌شناختی و عوامل زیستی زیستگاه و یا ارتباط متقابل آن‌ها به واسطه انعطاف‌پذیری ریختی به وجود آید. فرآیند انعطاف‌پذیری ریختی

(Cyprinidae) متنوع‌ترین خانواده هستند [۱۳]. در بین اعضای این خانواده، جنس *Paracapoeta* در ایران دارای ۳ گونه می‌باشد [۶]. گونه سیاه‌ماهی خالدار (*P. trutta*) یکی از گونه‌های این جنس است که بدنی دوکی شکل دارد که با فلس‌های متوسط پوشیده دارد و طول سر آن کمتر از حداکثر ارتفاع بدن است. دهان آن کوچک بوده و یک جفت سیبک کوتاه در گوشه‌ها دارد. رشد آخرین شعاع استخوانی باله پشتی به راحتی این گونه را از سایرین متمایز می‌کند. رنگ بدن در ناحیه پشتی تیره و در پهلوها و زیر شکم به رنگ خاکستری مایل به نقره‌ای است و در ناحیه پشتی بدن، لکه‌های ریز و سیاه به طور نامنظم توزیع شده است [۸]. این گونه در دامنه وسیعی از زیستگاه‌ها با آب‌هایی با جریان سریع و آهسته [۱۵] شامل نهرها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها زندگی می‌کند [۲۷] و پراکندگی گسترده در ترکیه، ایران، عراق و سوریه دارد [۱۹].

مطالعات متعددی بر روی تنوع ریختی این گونه با استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی سنتی در آب‌های داخلی ایران انجام شده است. طی مطالعه‌ای به مقایسه ریختی هشت جمعیت سیاه‌ماهی خالدار در حوضه تیگریس پرداخته شده است [۲۶]. در بررسی تنوع ریختی میان جمعیت سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه‌های کنگیر سیاهگل ایلام، گاماسیاب و چم نهشت کردستان با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی نشان داده شد که عرض و ارتفاع سر در ناحیه چشمی، فاصله چشم تا انتهای سرپوش آبششی، قطر چشم، طول قاعده باله پشتی، ارتفاع باله پشتی، طول قاعده باله شکمی، ارتفاع باله شکمی، ابتدای باله منخرجی تا نوک پوزه و تعداد فلس‌های ابتدای باله شکمی تا خط جانبی در طول مولفه اول و صفات طول سر، ارتفاع سر در ناحیه چشمی، ارتفاع کمینه بدن، ارتفاع باله پشتی، ارتفاع باله منخرجی و ارتفاع باله سینه‌ای در طول مولفه دوم از صفات اصلی متمایز کننده جمعیت‌ها هستند [۱]. در مطالعه‌ای دیگر به بررسی برخی فاکتورهای ساختار جمعیت

مشخص می‌کند. تنوع سازگاری‌ها و ویژگی‌های ریخت‌شناختی هر گونه سبب می‌شود تا متناسب با میزان سازگاری فرم بدن، زیستگاه مناسب را برای زندگی انتخاب کند [۷، ۱۰، ۴۸، ۵۳]. تغییرات ریختی در ماهی‌ها در زیستگاه‌های مختلف تنها در صورتی مهم تلقی می‌شود که هر تفاوتی در ریخت به افزایش تناسب اندام بین گروه‌ها برای بهره‌برداری بیشتر از منابع آن زیستگاه تبدیل شود [۳۵]. برای مثال، بدنی با ارتفاع بیش‌تر و ساقه دمی قطورتر می‌تواند به‌عنوان سازگاری برای سرعت و قدرت مانور بالاتر باشد؛ از سوی دیگر بدن دوکی شکل (باریک و کشیده) به‌عنوان سازگاری با جریان‌های بالا و مقابله با نیروی شوینده باشد. ماهی‌های که در محیطی با جریان آب قوی زندگی می‌کنند، شکل دوکی بدن آن‌ها باعث کاهش کشش می‌شود [۳۱]، از این‌رو صرف انرژی لازم برای حفظ موقعیت در آب جاری کاهش می‌یابد [۵۰]. همچنین تفاوت در شکل سر و موقعیت دهان به‌عنوان سازگاری و تغییر در رژیم غذایی و نحوه تغذیه تلقی می‌گردند [۳۱].

در مطالعات ریخت‌شناسی، روش ریخت‌سنجی هندسی ابزاری مدرن برای بررسی ریخت جمعیت‌های یک گونه در شناخت الگوهای انعطاف‌پذیری ریختی آن‌ها است. در این روش، نقاط نام‌لندمارک بر روی شکل افراد جمعیت تعیین و سپس اختلافات مختصات فضایی این نقاط تعیین شده به‌عنوان بازتابی از تنوع شکلی بین آن‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد [۹، ۴۳]. استفاده از روش‌های تحلیل چند متغیره مانند تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، جهت یافتن الگوهای موجود در یک مجموعه داده می‌تواند به درک بهتر تنوع ریختی بین جمعیت‌ها و گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی کمک کند [۲۳، ۲۴]. همچنین در این روش، آنالیز پروکراست برای حذف اندازه نمونه‌ها از مجموعه داده‌های استفاده می‌شود تا تنها تفاوت‌های شکل در مقایسه جمعیت‌ها باقی بمانند [۴۲].

در بین ماهی‌های آب شیرین ایران، کپورماهیان

تعداد ۵۸ قطعه ماهی شامل پنج جمعیت از ایستگاه‌های گاوهرود، اورامانات، ابراهیم‌آباد، گاوشان و قلعه‌جی (رود گاران) (جدول ۱) رودخانه سیروان با استفاده از الکتروشوکر صید شدند (شکل ۱). نمونه‌ها پس از صید در محلول گل میخک بیهوش و از سمت چپ آن‌ها تصاویر دو بعدی تهیه گردید. نمونه‌ها سپس در محلول فرمالین بافری ده درصد تثبیت و به آزمایشگاه منتقل شدند. به منظور استخراج داده‌های ریختی در روش هندسی تعداد ۱۸ نقطه لندمارک روی تصاویر گرفته شده در نرم‌افزار tpsDig2 تعریف و رقمی‌سازی گردید (شکل ۲).

برای حذف اثرات غیر شکل شامل اندازه، جهت و موقعیت، آنالیز پروکراست انجام شد [۲۴]. داده‌های حاصل به‌منظور بررسی تنوع ریختی با استفاده از آنالیزهای چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA = Principal Component Analysis)، تحلیل همبستگی کانونی (CVA = Canonical Variate Analysis) براساس ارزش P در تحلیل واریانس چند متغیره غیر پارامتریک (NPMANOVA) و تحلیل خوشه‌ای (CA = Cluster Analysis) تحلیل شدند. مقادیر فاصله ماهالانویس به‌عنوان درجه تمایز بین گروه‌های مورد مطالعه نیز محاسبه گردید. رسم الگوهای ریختی میانگین شکل هر جمعیت نسبت به جمعیت کل با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ با استفاده از نمودار شبکه تغییر شکل (Deformation grid) ترسیم شد. تمام آنالیزهای آماری در نرم‌افزارهای PAST v2.17b [۲۰] و MorphoJ [۲۸] انجام شدند.

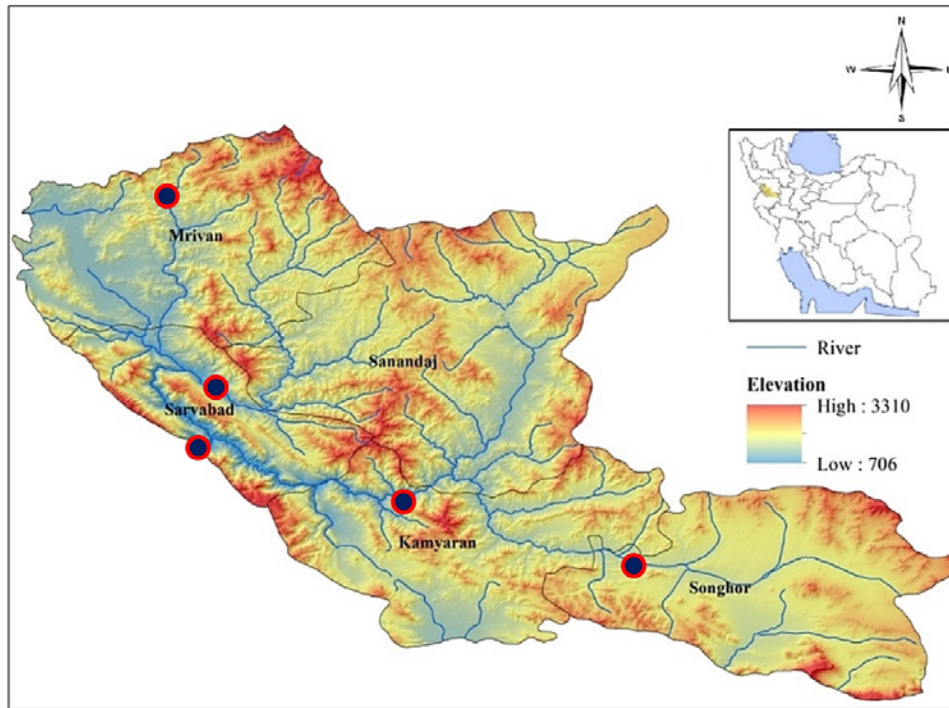
نتایج

بر اساس نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی، سه مؤلفه اصلی و تاثیرگذار در تفکیک ریختی جمعیت‌های مورد مطالعه بالاتر از خط برش جولیف [۲۴] قرار گرفتند که مجموع آن‌ها ۶۹/۳۲ درصد واریانس را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲).

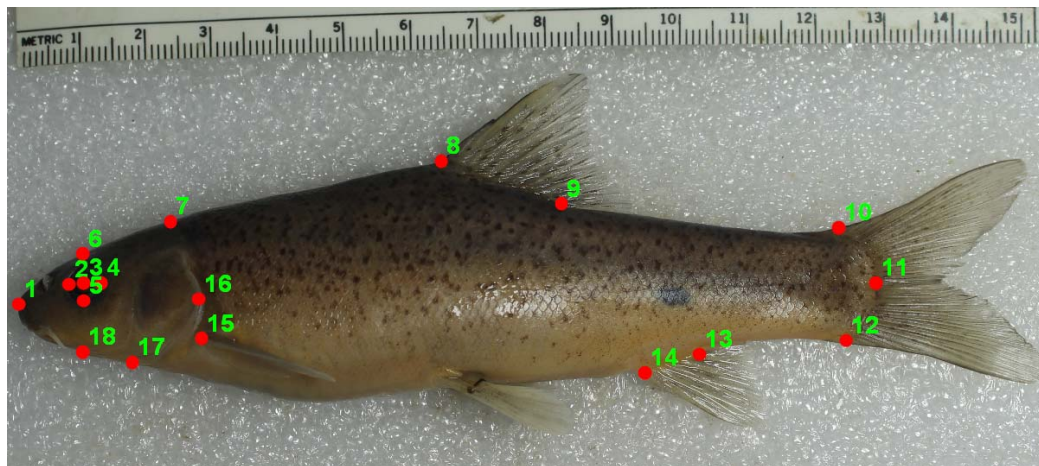
سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه گاماسیاب همدان پرداخته‌اند [۲]. در بررسی و تجزیه ارتباطی بین صفات ریخت‌سنجی و نشانگرهای RAPD در سیاه‌ماهی (*C. razii*) در رودخانه تجن ساری، بیان شد که تفاوت‌های محیطی سبب بروز تفاوت‌های ژنتیکی و در نهایت تفاوت‌های ریخت‌سنجی می‌شوند [۵]. در مطالعات تنوع ریخت‌شناسی بین گروه‌های مختلف ماهی‌ها، بیشتر آن‌ها از لحاظ ژنتیکی از یدبگر تفکیک نمی‌شوند و عمده تفاوت‌های ریختی ناشی از محیط بوده و اختلافات ژنتیکی نقش اندکی دارند [۱۶، ۱۷، ۴۷]. در بررسی تغییرپذیری ریختی و ژنتیکی جمعیت‌های سیاه‌ماهی خالدار استان کردستان با استفاده از روش سستی بین جمعیت‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشت می‌تواند به علت تفاوت در خصوصیات زیستگاهی آن‌ها باشد [۳].

حوضه آبریز سیروان با وسعت ۷۵۰۰ کیلومتر مربع، از پرآب‌ترین حوضه‌های ایران در استان کردستان است. مسیر اصلی این رود از طرف اسدآباد (استان همدان) و سنقر (استان کرمانشاه) بوده و بعد از پیوستن رودخانه‌های قشلاق، گاورود و میروان نام سیروان به خود می‌گیرد و در نهایت به رودخانه دجله و سپس خلیج فارس می‌ریزد [۲۲]. از این رودخانه تعداد ۳۲ گونه ماهی گزارش شده است [۳۲] و گونه سیاه‌ماهی خالدار به همراه دو گونه سیاه‌ماهی بین‌النهرینی (*C. damascina*) و فلس ریز (*C. umbla*) به طور گسترده در طول رودخانه سیروان پراکنش دارد. با توجه به مطالب فوق، این تحقیق با هدف بررسی تنوع ریختی گونه سیاه‌ماهی خالدار در زیرحوضه‌های رودخانه سیروان با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. در این روش شکل بدن به وسیله نقاط لندمارک استخراج و مورد آنالیز قرار می‌گیرد، بنابراین برخلاف مطالعات قبلی آشکارسازی تفاوت‌های ریختی درون گونه‌ای با دقت بالا صورت می‌پذیرد [۳۱، ۳۳].

مواد و روشها



شکل ۱- ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوضه سیروان.



شکل ۲- موقعیت لندمارک‌های تعیین شده بر روی گونه سیاه‌ماهی باله بلند.

۱- ابتدایی‌ترین نقطه پوزه، ۲- ابتدای چشم، ۳- مرکز چشم، ۴- انتهای چشم، ۵- لبه پایین چشم، ۶- قسمت فوقانی سر عمود بر مرکز چشم، ۷- انتهای‌ترین نقطه بالای سر (قفا)، ۸- منشأ قاعده‌ی باله پشتی، ۹- انتهای قاعده‌ی باله پشتی، ۱۰- انتهای بالایی ساقه دم در محل اتصال به باله دم، ۱۱- انتهای ساقه دم (انتهای ستون مهره)، ۱۲- انتهای پایینی ساقه دم در محل اتصال به باله دم، ۱۳- انتهای قاعده‌ی باله مخرجی، ۱۴- منشأ قاعده باله مخرجی، ۱۵- ابتدایی‌ترین نقطه‌ی قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای، ۱۶- انتهای‌ترین قسمت سرپوش آبششی، ۱۷- تقاطع شکاف آبششی و ناحیه شکمی و ۱۸- قسمت تحتانی سر عمود بر مرکز چشم.

نمودار تحلیل مولفه‌های اصلی بیانگر همپوشانی نسبی جمعیت‌های مورد مطالعه بود و الگوی تغییر شکل بدن جمعیت‌ها در دو انتهای مولفه اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) در شکل ۴ آورده شده است. تغییرات شکل بدن در جهت مثبت دو مولفه اصلی به این ترتیب می‌باشد: در طول مولفه اول به ترتیب مربوط به تغییر موقعیت دهان

نمودار تحلیل مولفه‌های اصلی بیانگر همپوشانی نسبی جمعیت‌های مورد مطالعه بود و الگوی تغییر شکل بدن جمعیت‌ها در دو انتهای مولفه اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) در شکل ۴ آورده شده است. تغییرات شکل بدن در جهت مثبت دو مولفه اصلی به این ترتیب می‌باشد: در طول مولفه اول به ترتیب مربوط به تغییر موقعیت دهان

ماهالانوبیس به ترتیب بین جمعیت‌های اورامانات و ابراهیم‌آباد (۱۴/۰۴) و جمعیت گاوشان و گاوه‌رود (۶/۲۹) به دست آمد.

جدول ۲- نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی.

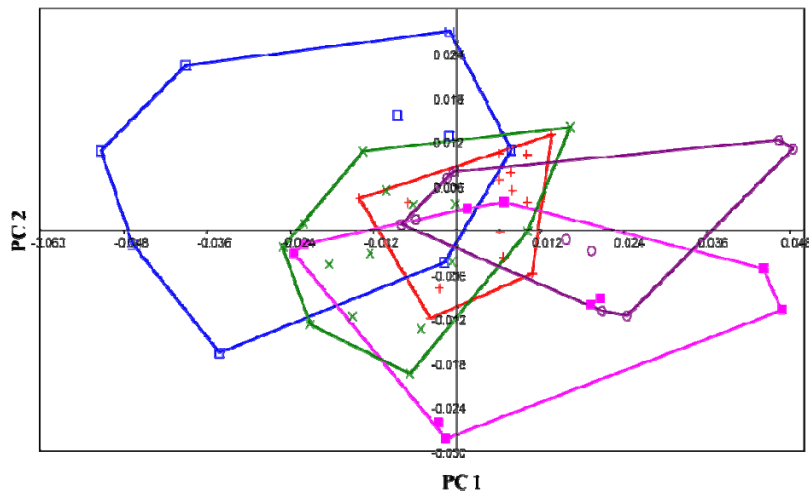
PC	Eigenvalue	% variance
۱	۰/۰۰۰۴۲	۴۶/۳۰
۲	۰/۰۰۰۱۱	۱۳/۰۴
۳	۰/۰۰۰۰۹۰۷	۹/۹۶
۴	۰/۰۰۰۰۵۱۹	۵/۷۰
۵	۰/۰۰۰۰۴۵۵	۴/۹۹

نتایج نشان داد که بین جمعیت‌های مورد مطالعه از لحاظ ریختی دو به دو با هم تفاوت معنی‌داری دارند (جدول ۴). تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه براساس تغییرات شکل بدن در شکل ۶ ارائه شده است.

(تغییر موقعیت لندمارک ۱)، کاهش عمق بدن (لندمارک- های ۸ و ۹) و موقعیت باله مخرجی (لندمارک‌های ۱۳ و ۱۴) می‌باشد و در طول مولفه دوم تغییرات مربوط به کاهش اندازه سر (لندمارک ۷)، موقعیت باله مخرجی (تغییر در لندمارک‌های ۱۳ و ۱۴)، موقعیت باله سینه‌ای و موقعیت خلفی‌تر سرپوش آبخشی (لندمارک‌های ۱۵ و ۱۶) بود. بر اساس نتایج تحلیل همبستگی کانونی، جمعیت اورامانات از سایر جمعیت‌ها جدا افتاده و جمعیت‌های دیگر نیز تا حدودی از یکدیگر تفکیک شده‌اند (شکل ۵). همچنین نتایج NPMANOVA، بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($Wilks\ lambda = 6.864E-05, f = 7.136; P < 1.218E-19$). فواصل ماهالانوبیس بین جمعیت‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. براساس نتایج، بیش‌ترین و کمترین مقدار فاصله

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های نقاط نمونه‌برداری در حوضه سیروان.

تعداد	نام ایستگاه	استان - رودخانه
۱۴	گاوه‌رود	کرمانشاه - سنقر - تپه اسماعیل
۹	اورامانات	کردستان - مریوان - اورامانات (سیروان)
۱۰	ابراهیم‌آباد	کردستان - مریوان
۱۵	گاوشان	کردستان - کامیاران - پایین دست سد گاوشان
۱۰	قلعه‌چی	کردستان - مریوان - سیروان
۵۸	تعداد کل	



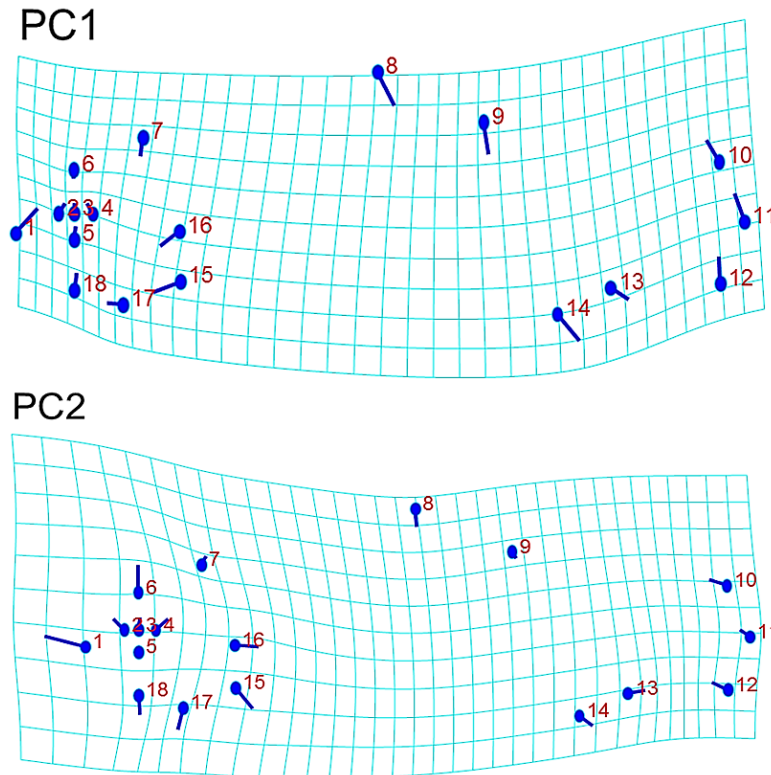
شکل ۳- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه سیاه‌ماهی باله بلند.

جدول ۳- فواصل ماهالانویس بین جمعیت‌ها مورد مطالعه سیاه‌ماهی باله بلند.

گاووشان	ابراهیم‌آباد	اورامانات	گاوهرود
اورامانات	۱۱/۴۳		
ابراهیم‌آباد	۹/۴۶	۱۴/۰۴	
گاووشان	۶/۲۹	۱۱/۹۸	۷/۷۱
قلعه‌جی	۷/۹۹	۱۲/۱۴	۷/۲۱

جدول ۴- مقدار ارزش P بدست آمده از تست permutation برای فواصل ماهالانویس بین جمعیت‌های سیاه‌ماهی باله بلند.

گاووشان	ابراهیم‌آباد	اورامانات	گاوهرود
اورامانات	<۰/۰۰۱		
ابراهیم‌آباد	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
گاووشان	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
قلعه‌جی	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱



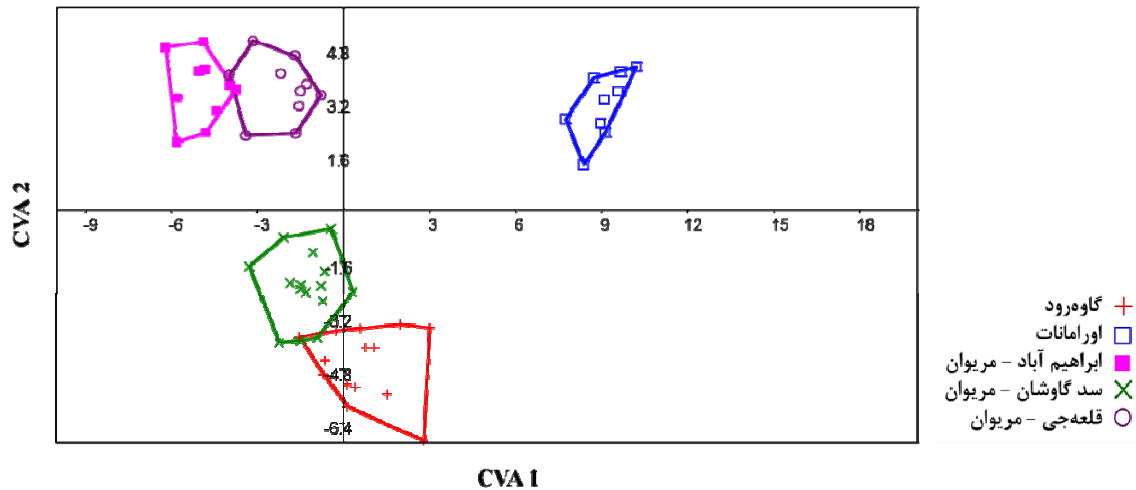
شکل ۴- تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های مورد مطالعه سیاه‌ماهی باله بلند در جهت مثبت مولفه‌های اصلی اول (بالا) و دوم (پایین).

روش در تفکیک ریختی و خوشه‌بندی جمعیت‌های مورد مطالعه است. میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل میانگین شکل کل در شبکه تغییر شکل براساس الگوی جابجایی لندمارک‌ها در مقابل هر جمعیت ارائه شده

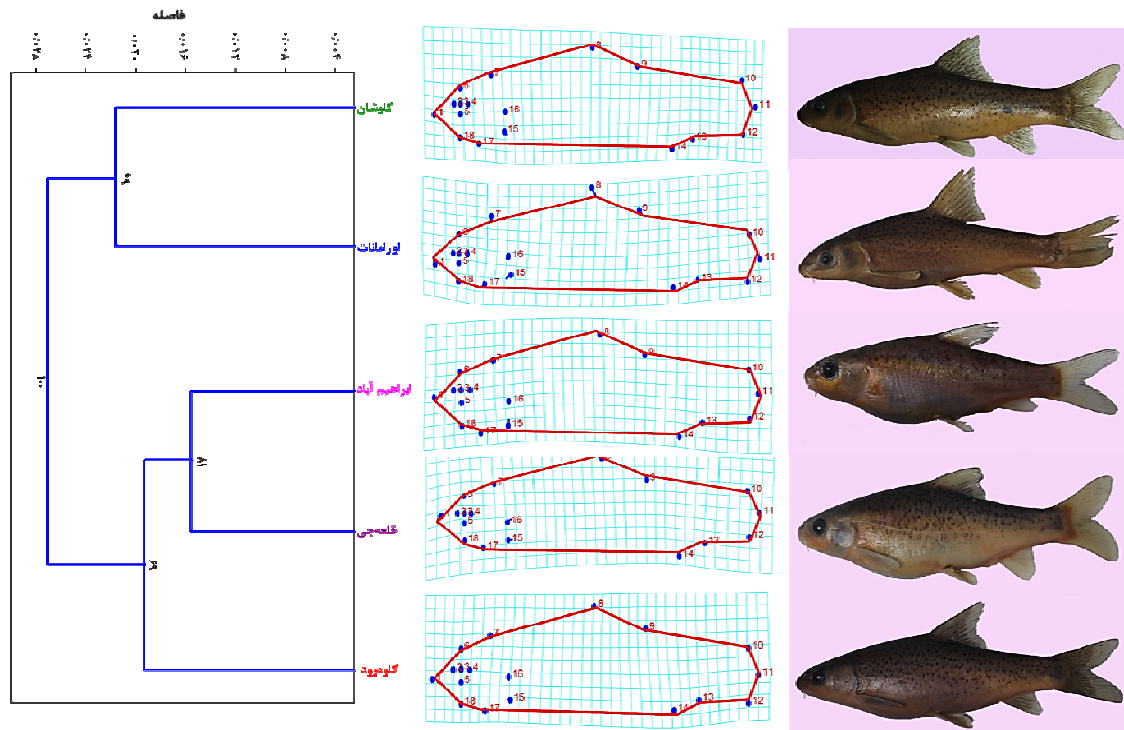
طبق نتایج، جمعیت‌های ابراهیم‌آباد، قلعه‌جی و گاوهرود با ۱۰۰ درصد احتمالی در یک شاخه و جدا از شاخه جمعیت‌های گاووشان و اورامانات قرار گرفته‌اند. ضریب کوپرنیک نیز ۰/۶۹۴۲ محاسبه شد که بیانگر دقت این

ماهی‌های رودخانه‌های گاوشان و اورامانات دارای ساقه دمی و بدن کم عمق‌تر نسبت به سایر جمعیت‌ها بودند. همچنین، شکل پوزه در جمعیت‌های ابراهیم‌آباد و قلعه جی هلالی‌تر و چشم قدامی‌تر بود. به‌علاوه جمعیت رودخانه‌های قلعه‌جی و گاوه‌رود دارای قاعده باله مخرجی کوتاه‌تر و موقعیت دهانی شکمی‌تر بودند.

است. طبق شکل ۶ گروه اول (گاوشان و اورامانات) دارای بدن کشیده‌تری نسبت به گروه دوم (ابراهیم‌آباد، قلعه‌جی و گاوه‌رود) بودند. براساس نتایج، ماهی‌های رودخانه گاوه‌رود دارای پوزه کشیده‌تر و تیزتر، سر بزرگ‌تر و جمعیت‌های گاوشان و اورامانات دارای موقعیت قدامی‌تر باله سینه‌ای نسبت به سایر جمعیت‌ها بودند. به‌علاوه



شکل ۵- نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) جمعیت‌ها مورد مطالعه سیاه‌ماهی باله بلند.



شکل ۶- تحلیل خوشه‌ای شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه سیاه‌ماهی باله بلند.

بحث

ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های یک گونه می‌تواند به دلیل شکل‌پذیری ریختی یا تمایز ژنتیکی در پاسخ به پارامترهای محیطی و زیستگاهی باشد [۱۸، ۴۰، ۴۵]. عوامل محیطی از طریق انتخاب طبیعی می‌تواند کارایی یک فنوتیپ را در میان اعضای یک جمعیت افزایش دهند و در نتیجه منجر به تفکیک ریختی در زیستگاه‌های مختلف شوند [۲۵، ۴۶]. براساس نتایج تحقیق حاضر، بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت که می‌تواند به علت فاصله جغرافیایی و یا تمایز ریختی وابسته به زیستگاه بین آن‌ها باشد [۱۱، ۳۸]. علاوه بر جدایی جغرافیایی، رانش ژنی و سایر عوامل مرتبط با انتخاب طبیعی نیز می‌تواند دلیل تفاوت‌های ریختی مشاهده شده باشد [۴۴]. همچنین شکل بدن علاوه بر اینکه بیانگر خصوصیات ژنتیکی موجودات است، منعکس‌کننده شرایط زیستگاهی و پاسخ‌های سازشی موجود زنده به آن‌ها نیز هست. چنین سازگاری‌هایی در اکوسیستم‌های آبی در نتیجه نیاز به سازش با شرایط هیدرودینامیکی و صرفه‌جویی در انرژی بیان شده است [۳۶، ۵۰]. همچنین، شکل بدن برای تغذیه و اجتناب از شکارچی نیز می‌تواند مؤثر باشد [۱۰].

ایستگاه‌های نمونه‌برداری گاوشان و اورامانات در بخش‌های پایین دست حوضه رودخانه سیروان دارای جریان آب بالایی بودند. از این رو، داشتن بدنی کم عمق و دوکی شکل برای این جمعیت‌ها قابل توجیه می‌باشد. طبق تئوری هیدرودینامیک بدن دوکی شکل‌تر میزان مصرف انرژی را در جریان آب کاهش می‌دهد و به ثابت ماندن بدن در جریان رودخانه‌ها کمک می‌کند [۴۹-۵۱]. به‌علاوه ساقه‌دمی طولی‌تر هم در افزایش کارایی و توان شنا کردن ماهی‌ها مؤثر است [۱۴، ۲۱] و امکان شروع یک شناای سریع و شتاب‌دار را به‌ویژه در هنگام فرار از شکارچی فراهم می‌کند [۵۱]. زیستگاه‌های جمعیت‌های گاوهرود، ابراهیم‌آباد و قلعه‌جی در سرشاخه‌های بالادست حوضه

رودخانه سیروان بودند. در این سرشاخه‌ها عمق آب و شدت جریان کم بوده و بستر پوشیده از سنگلاخ و قلوه سنگ بود. شکل پهن‌تر بدن نیز یک سازگاری برای قابلیت مانور سریع را پیشنهاد می‌کند و می‌تواند به یافتن غذا کمک نماید [۳۱]. همچنین ماهی‌های با عمق بدن بیش‌تر نسبت به محیط‌های ساکن و با جریان کم سازگار می‌گردند [۱۲]. بنابراین، جمعیت‌های سرشاخه‌ها با توجه به شرایط زیستگاهی آن نواحی سازگار شده بودند.

تفاوت مشاهده شده در شکل پوزه و دهان، شکل و اندازه سر به همراه جایگاه باله‌ها بیش‌تر می‌تواند مربوط به الگوی تغذیه جمعیت‌های گاوهرود و قلعه‌جی باشد و این می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع غذای در دسترس در آن زیستگاه‌ها باشد. رودخانه‌ها مواد غذایی مورد نیاز خود را از خارج سیستم رودخانه وارد می‌کنند [۵۲].

تغییرات ریختی در ماهی‌ها به رفتارهای مختلفی از جمله شنا (تغییر در موقعیت باله‌ها)، و رژیم غذایی مختلف (اندازه سر و موقعیت دهان) ارتباط داده شده است [۱۸، ۳۷]. با توجه به این‌که ریخت، تحت کنترل دو عامل ژنوتیپ و شرایط محیطی است، در شرایط محیطی متفاوت همانند زیستگاه‌های رودخانه‌ای که به‌عنوان یک زیستگاه با رژیم متغیر محسوب می‌شوند، تغییرات ریختی با سرعت بیشتری به وجود می‌آیند [۴۱].

طبق نتایج، گونه سیاه‌ماهی خالدار به‌عنوان یک گونه عام‌گرا با پراکنش بالا با استفاده از تغییرات ریختی مرتبط با عمق سر، تنه، دم و همچنین طول سر، خود را با شرایط زیستگاهی سازگار می‌کند. گزارش شده که بین جمعیت‌های سیاه‌ماهی خالدار در برخی رودخانه‌های حوضه تیگریس بیش‌ترین تفاوت در ارتفاع سر، ارتفاع ساقه‌دمی و عمق بدن می‌باشد [۲۶]. به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان کرد که این گونه در زیستگاه‌های مختلف با انعطاف‌پذیری ارتفاع سر، تنه و دم، طول سر و جایگاه‌های باله‌های مخرجی و سینه‌ای خود را

با ویژگی‌های زیستگاهی سازگار می‌نماید.

منابع

- عسگردون، ش.، نوفرستی، ه.، گلزاریان‌پور، ک. و وطن‌دوست، ص. (۱۳۹۳). تنوع ریختی میان جمعیت سیاه‌ماهی (*Capoeta trutta*) در سه رودخانه ی مختلف غرب ایران. دومین کنفرانس ماهی‌شناسی ایران.
- علی‌جان‌پور، ا.، وطن‌دوست، ص.، نادری جلودار، م. و گرجیان عربی، م.ح. (۱۳۹۳). بررسی برخی فاکتورهای ساختار جمعیت
- سیاه‌ماهی خالدار (*Capoeta trutta*) در رودخانه گاماسیاب همدان. نشریه محیط زیست جانوری، ۲.
- مهربانی، ز.، بهرامی کمانگر، ب. و قادری، ا. (۱۳۹۹). بررسی تغییرپذیری ژنتیکی جمعیت‌های سیاه‌ماهی خالدار *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) استان کردستان با استفاده از نشانگرهای IRAP. نشریه علمی شیلات ایران، ۶(۲۹).
- Adams, D.C., Rohlf, F.J. & Slice, D.E. (2004). Geometric Morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*; 71: 5-16.
- Anvarifar, H., Farahmand, H., Nematollahi, M.A., Rahmani, H., Karami, M. & Khalili, B. (2012). Analytical relationships between morphometric traits and RAPD markers in SiahMahi, *Capoeta capoeta gracilis*, in Tajan river of Sari. *Modern Genetics*, 7(2): 165-173.
- Banarescu, P. (1991). Zoogeography of Fresh Waters. Distribution and Dispersal of Freshwater Animals in North America and Eurasia. Vol. 2. – Aula-Verlag, Wiesbaden.
- Banimasani, M., Keivany, Y. & Ebrahimi, E. (2019). Comparative geometric morphometric study of *Capoeta fusca* populations in Kavir and Harirud basins. *Experimental Animal Biology*, 7(4): 107-115.
- Barata, S. D. & Önal, Ş. (2022). Investigation if The Morphological Characteristics of *Neoechinorhynchus rutili* Parasites Isolated from *Paracapoeta trutta*, and Their Lifestyle at Different Temperatures. *Ecological Life Sciences*, 17(3):106-112, DOI: 10.12739/NWSA.2022.17.3.5A0171.
- Bookstein, F. L. (1991). Thin-plate splines and the atlas problem for biomedical images. In Biennial international conference on information processing in medical imaging (pp. 326-342). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cadrin, S. X. & Friedland, K.D. (2005). Morphometric outlines. In Stock identification methods (pp. 173-183). Academic Press.
- Eagderi, S., Esmailzadegan, E. and Maddah, A. (2013) Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. *Taxonomy and Biosystematics*, 5(14): 1-8.
- Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Ahmadi, S. & Javadzadeh, N. (2020). Phenotypic plasticity of the body shape in Prussian carp (*Carassius gibelio*), in response to lentic and lotic habitats using geometric morphometric technique. *isfj*. 29 (1):49-58
- Esmaili, H. R., Sayyadzadeh, G., Eagderi, S. & Abbasi, K. (2018). Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa*, 3(3), 1-95.
- Fisher, R. and Hogan, J. D. (2007) Morphological predictors of swimming speed: a case study of pre-settlement juvenile coral reef fishes. *Journal of Experimental Biology*, 210: 2436–2443.
- Geldiay, R. & Balik, S. (2007): Türkiye Tatlısu Balıkları. Ders Kitabı, Ege Üniversitesi BasımEvi. 97: 250.
- Ghorbani-Ranjbari, Z. & Keivany, Y. (2018). Geometric morphometric comparison of *Barilius mesopotamicus* (Berg, 1932) populations in Bushehr basin. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(2): 242-254.
- Ghorbani-Ranjbari, Z., Keivany, Y. & Zamani-Faradonbe, M. (2017). Geometric morphometric comparison of *Barilius mesopotamicus* (Berg 1932) populations in Diala and Tigris River Basins. *Journal of Fisheries*, 70(3): 231-242.
- Guill, J. M., Hood, C.S. & Heins, D.C. (2003). Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). *Journal of Freshwater Ecology*, 12: 134-140.
- Gunduz, D., Stamatiou, K., Michelusi, N. & Zorzi, M. (2014). Designing intelligent energy harvesting communication systems. *IEEE communications magazine*, 52(1), 210-216.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(4), 1-9.

21. Hawkins, D. K., 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. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 1487-1496.
22. Jafari, A. (2000). *Iran Geography. Vol. 2 (Rivers)*. Iran Gitahesi Publishing Company. Tehran. 331 p.
23. Jalili, P., Eagderi, S. & Keivany, Y. (2015). Body shape comparison of Kura bleak (*Alburnus filippii*) in Aras and Ahar-Chai rivers using geometric morphometric approach. *Research in Zoology* 5(1): 20-24
24. Jolliffe, I.T. (2002). Graphical representation of data using principal components. *Principal component analysis*, 78-110.
25. Keeley, N., Raabe, R., Alamanos, N. & Sida, J. L. (2007). Fusion and direct reactions of halo nuclei at energies around the Coulomb barrier. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 59(2), 579-630.
26. Keivany, Y. & Arab, M. (2017). Geometric morphometric comparison of trout barb, *Paracapoeta trutta* (Teleostei: Cyprinidae) in the Tigris River basin. *Iranian Journal of Ichthyology* 4(3): 220-230.
27. Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K. & Abdoli, A. (2016). *Atlas of inland water fishes of Iran*. Iran Department Environment Press. 218 p.
28. Klingenberg, C.P. (1998). Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biological Reviews*, 73(1), 79-123.
29. Kuliev, Z. M. (2002). *Cyprinid and Percid fishes of southern and central Caspian Sea*. Publication of Azerbaijan Academy of Science. 244P.
30. Langerhans, R. B. and Reznick, D. N. (2010) Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. P200-248, In: Domenici, P., B. G Kapoor (eds.), *Fish locomotion: an ecoethological perspective*, Science Publishers Inc, Enfield, 512p.
31. Langerhans, R. B., Layman, C. A., Langerhans, A. K. & Dewitt, T. J. (2003). Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80(4), 689-698.
32. Mouludi-Saleh, A. & Eagderi, S. (2021). Habitat-Associated Morphological Divergence of *Gasterosteus aculeatus* in the Southern Caspian Sea Basin. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 45(1), 121-125.
33. Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., & Poorbagher, H. (2022). Ichthyofauna of the Iranian part of the Sirvan River drainage with the first record of *Cobitis avicenna* and *Oxynoemacheilus euphraticus*. *International Journal of Aquatic Biology*, 10(3), 242-253.
34. 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). *European Journal of Biology*, 78(2), 165-168.
35. Nacua, S. S., Dorado E. L., Torres M. A. J. and Demayo, C. G. (2010) Body shape variation between two populations of the white goby, *Glossogobiusgiuris*. *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 5: 44-51.
36. Nacua, S. S., Torres, M. A. J. & Demayo, C. G. (2010). Landmark-based geometric morphometrics in visualizing body shape dimorphism in the endemic cyprinid, *Puntius tumba* (Herre, 1924), from Lake Lanao, Philippines. In 2010 International Conference on Environmental Engineering and Applications (pp. 86-90). IEEE.
37. Nasri, M., Eagderi, S. & Farahmand, H. (2015). Interspecies morphological variation of *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) from southern and southeastern inland water basins of Iran based on Geometric morphometrics method. *Journal of Applied Ichthyology*, 2: 1-14.
38. Nasri, M., Eagderi, S., Farahmand, H. and Hashemzade-SegharLoo, I. (2013) Body shape comparison of *Cyprinion macrostomum* (Heckel, 1843) and *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) using geometric morphometric method. *International Journal of Aquatic Biology*, 1(5): 240-244.
39. Nicieza, A. G. (1995). Morphological variation between geographically disjunct populations of Atlantic salmon: the effects of ontogeny and habitat shift. *Functional Ecology*, 448-456.
40. Orr, M. R. & Smith, T. B. (1998). Ecology and speciation. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(12), 502-506.
41. Poulet, N., Berrebi, P., Crivelli, A. J., Lek, S. & Argillier, C. (2004). Genetic and morphometric variations in the pikeperch (*Sander lucioperca* L.) of a fragmented delta. *Archiv für Hydrobiologie*, 159(4), 531-554.
42. Razavipour, P., Eagderi, S., Poorbagher, H. & Keivany, Y. (2015). Phenotypic plasticity of the

- Tuini fish, *Capoeta damascina* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in Iranian part of Tigris basin using geometric morphometric approach. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)* 28, 170-179.
43. Rohlf, F.J. & Marcus, L.F. (1993). A revolution morphometrics. *Trends in ecology & evolution*, 8(4), 129-132.
44. Samaee, S. M. and Patzner, R. A. (2011) Morphometric differences among populations of Tu'inti, *Capoeta damascina* (Teleostei: Cyprinidae), in the interior basins of Iran. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(3): 928-933.
45. Schluter, D. (2000). Ecological character displacement in adaptive radiation. *the american naturalist*, 156(S4), S4-S16.
46. Smith, T. B. & Skúlason, S. (1996). Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. *Annual review of ecology and systematics*, 111-133.
47. Swain, D. P. & Foote, C. J. (1999). Stocks and chameleons: the use of phenotypic variation in stock identification. *Fisheries Research*, 43(1-3), 113-128.
48. Tajik, Z. & Keivany, Y. (2018). Body shape comparison of Urmia bleak populations, *Alburnus atropatenae*. *Journal of Animal Environment*, 10(2), 149-160.
49. Videler, J. J. (1993) *Fish Swimming*. Chapman and amp, Hall, 260 p.
50. Vogel, S. (1994) *Life in Moving Fluids: The Physical Biology of Flow*, 2. Princeton University Press. New Jersey. 484 p.
51. Webb, P. W. (1984) *Body Form, Locomotion and Foraging in Aquatic Vertebrates*. *American Zoologist*, 24(1): 107-120.
52. Wootton, R. J. (1992). *Fish Ecology*. University of California. ISBN: 0412029219, 9780412029219. p. 212.
53. Zamani-Faradonbe, M. & Eagderi, S. (2016). Morphological comparison of Kura barb in upstream and downstream of Sangban Dam. *Journal of Wetland Ecobiology*, 7(4): 87-96. (In Persian).

Morphological variation of longspine scraper (*Paracapoeta trutta*) in sub-basins of Sirwan using geometric morphometric method

Mehrabani Z. and Eagderi S.*

Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

Abstract

This work was conducted to study the morphological variation of longspine scraper (*Paracapoeta trutta*) in five populations in the Iranina sub-basins of Sirwan, including Gavehrood, Uraman, Ebrahim-Abad, Gaveshan and Qaleh-Ji. For this purpose, 58 specimens were sampled using cast-net and electrofishing device. To extract morphological data in the geometric morphometric method, photographs were taken from the left side of fish, and then 18 landmark-points were digitized on their 2D images using tpsDig2 software. The results of Canonical Variate Analysis (CVA) showed that Uraman population is separated from others. Based on the results of Mahalanobis distances between the studied populations, the maximum and minimum distances were between Uraman and Ebrahim-Abad populations and Gaveshan and Gavehrood populations, respectively. Based on the Cluster analysis, the populations of Ebrahim-Abad, Qaleh-Ji and Gavehrood were clustered together and Gaveshan and Uraman in another one. The results also showed the phenotypic plasticity of this species in adapting to different habitats, based on habitat conditions.

Keywords: Phenotypic plasticity, Cluster analysis, Morphometric, longspine scraper, Sirwan.