

## آزاد ماهیان بومی ایران (*Salmo caspius* و *S. trutta*)، دو گونه مجزا یا دو فرم از یک

گونه؛ فرضیه‌ای مبتنی بر ریخت‌سنجی هندسی

میثم صالحی<sup>۱</sup>، سیدحامد موسوی ثابت<sup>۱\*</sup>، سهیل ایگدری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

<sup>۲</sup>آپژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

<sup>۳</sup>گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

\*نویسنده مسئول [mousavi-sabet@guilan.ac.ir](mailto:mousavi-sabet@guilan.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۸

### چکیده

این مطالعه به منظور بررسی جایگاه آرایه‌شناختی آزاد ماهیان بومی ایران شامل جمعیت‌های قزل‌آلای خال قرمز از رودخانه‌های مردوق، ليقوان چای (حوضه دریاچه ارومیه)، هراز (حوضه دریای خزر) و جاجرود و کرج (حوضه دریاچه نمک) و آزاد ماهی خزری صید شده از دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. نمونه‌برداری از رودخانه‌ها با استفاده از دستگاه ماهیگیر الکتریکی و در دریا به وسیله تور پره و گوشگیر انجام شد. جهت تهیه داده‌های ریختی در روش هندسی از سمت چپ نمای جانبی نمونه‌ها عکس‌برداری شد سپس تعداد ۱۶ لندمارک روی تصاویر دو بعدی تعریف و رقمی‌سازی شد. داده‌های حاصل با استفاده از آنالیزهای چند متغیره تحلیل تابع تشخیصی (DFA)، تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونی (CVA) و آنالیز خوشه‌ای تجزیه و تحلیل شدند. در بررسی تنوع ریختی بین گونه‌ای، دو گونه مورد مطالعه در صفات موقعیت پوزه، عمق بدن و طول و عمق ساقه دم تفاوت معنی‌داری نشان دادند. بر اساس تحلیل تابع تشخیصی و تجزیه به مولفه‌های اصلی کاملاً از یکدیگر تفکیک شدند. نتایج بررسی بین حوضه‌ای جمعیت‌های قزل‌آلای خال قرمز نشان داد سه حوضه مورد مطالعه در یک گروه و جدا از جمعیت آزاد ماهی خزری قرار می‌گیرند. تفاوت‌های بین جمعیتی قزل‌آلای خال قرمز، انعطاف‌پذیری ریختی این گونه نسبت به شرایط محیطی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی روش ریخت‌سنجی هندسی توانست هویت و سطح آرایه‌شناختی قزل‌آلای خال قرمز و آزاد ماهی دریای خزر را در سطح گونه از لحاظ ریختی تفکیک کند که در مطالعات بعدی به ارزیابی ذخایر گونه‌ها و مجزا در نظر گرفتن آن‌ها کمک می‌نماید.

واژگان کلیدی: قزل‌آلای خال قرمز، ریخت‌سنجی هندسی، ماهی‌شناسی، تحلیل تابع تشخیصی.

### مقدمه

می‌کند. همچنین با وجود رشد روز افزون جمعیت و محدود بودن ذخایر طبیعی، شناخت هر چه بهتر خصوصیات آبزیان و محیط زندگی آن‌ها مهم بوده و اعمال مدیریت صحیح، زیست‌شناسی و داشتن اطلاعات کافی و مناسب در این زمینه در اولویت مدیریتی آبزیان ارزشمند باید در دستور کار قرار گیرد (وئوقی و مستجیر، ۱۳۷۹).

عوامل متعددی زیستگاه‌های ماهیان را تا مرز تخریب تحت تأثیر قرار می‌دهد. فعالیت‌هایی نظیر تخریب جنگل‌ها و فرسایش آبخیزها، زیستگاه‌های تولیدمثلی بسیاری از گونه‌های را از بین برده است

ماهیان در بین مهره‌داران بیشترین تعداد را دارا می‌باشد (Froese and Binohlan, 2002). بنابراین مطالعه همه جانبه و بررسی تکاملی، بوم‌شناسی، رفتارشناسی، حفاظتی و مدیریتی، بهره‌برداری از ذخایر آن‌ها در محیط‌های آبی با اهمیت می‌باشد (Lagler et al., 1962). در مطالعه اکوسیستم‌های آبی، بررسی ماهیان قبل از هر چیز ضروری به‌نظر می‌رسد (Bagenal, 1978)، زیرا مطالعه زیست‌شناسی و بوم‌شناسی گونه‌های مختلف ماهیان حفظ و بازسازی ذخایر آن‌ها را در دراز مدت تضمین

ریخت‌سنجی سنتی و هندسی به‌اجرا درآمد. نتایج مطالعه نشان داد که روش ریخت‌سنجی هندسی بهتر از روش سنتی دو جمعیت مورد مطالعه را از یکدیگر تفکیک نمود (Mouludi-Saleh et al., 2019).

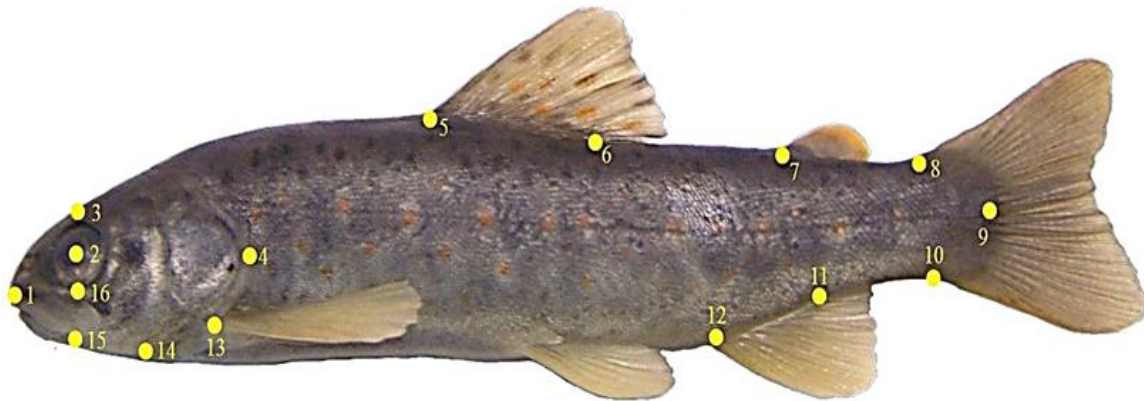
مطابق گزارشات متعدد قبلی، قزل‌آلای خال قرمز و آزادماهی خزری دو گونه معتبر و کاملاً جدا از هم شناخته شده بودند (Esmaili et al., 2010; Turan et al., 2011). اما در فهرست ماهیان آب‌های داخلی ایران که اخیراً توسط Esmaili و همکاران (۲۰۱۸)، منتشر شده است از جنس *Salmo* تنها گونه قزل‌آلای خال قرمز، *Salmo trutta* گزارش شده است و گونه آزادماهی خزری، *S. caspius* در لیست گونه‌های این جنس ارائه نشده است. آن‌ها بیان داشتند که این گونه مترادف گونه قزل‌آلای خال قرمز است و تنها در حد یک زیرگونه معتبر است. این در حالی است که Jouladeh-Roudbar و همکاران (۲۰۲۰) این گونه را معتبر و در لیست ماهیان آب‌های داخلی ایران گزارش کرده‌اند. پراکنش طبیعی گونه قزل‌آلای خال قرمز در ایران مربوط به حوضه‌های آبریز نمک، دریای خزر و دریاچه ارومیه می‌باشد (Esmaili et al., 2018).

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که ذخایر این گونه در اکثر نقاط کشور به دلیل فعالیت‌های انسانی در اطراف رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های آبی روند کاهشی داشته است (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰؛ Radkhan et al., 2021). ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo caspius*)، جز ماهیان ساکن دریا و مهاجر رودکوچ بوده که تغذیه و رشد آن در دریا و تخم‌ریزی و تولیدمثل آن در رودخانه صورت می‌گیرد این گونه ارزش اقتصادی بالایی داشته و محدوده پراکنش آن سواحل غربی و جنوب غربی حوضه دریای خزر می‌باشد (صیاد بورانی و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت همه‌جانبه ارزیابی جمعیت‌های گونه‌های ماهیان با ارزش از نظر اقتصادی و در معرض خطر به‌واسطه فعالیت‌های انسانی از یک سو، و از سویی دیگر ابهامات به‌وجود

(Virijenhoeck, 1998). به‌علاوه پساب‌های کشاورزی، آفت‌کش‌ها، کودها و فاضلاب‌های خانگی به‌طور فزاینده‌ای به بوم‌سازگان‌های آبی وارد شده و عرصه را برای بقای آبزیان تنگ‌تر می‌کند. از سوی دیگر احداث سد‌ها مانعی را در برابر مهاجرت و پراکنش طبیعی ماهیان مهاجر ایجاد کرده و امکان تبادل ژنتیکی بین جمعیت‌های گونه‌های آب شیرین را از بین برده که این امر به تجزیه زیستگاه، کاهش اندازه جمعیت‌ها، افزایش درون‌آمیزی (هم‌خونی)، کاهش شایستگی و درنهایت افزایش خطر انقراض جمعیت‌ها منجر شده است (Virijenhoeck, 1998).

دانش ریخت‌سنجی، شاخه‌ای از علم زیست‌شناسی است که به‌منظور تفکیک جمعیت‌ها، بررسی آرایه‌شناسی و روابط تکاملی گونه‌ها، شناخت ویژگی‌های بوم‌شناختی زیستگاه ماهیان مورد استفاده قرار می‌گیرد (عباسی و همکاران، ۱۴۰۰). از این‌رو، استفاده از این صفات و به‌کارگیری روش‌های آماری معیاری مناسب جهت برآورد شاخص‌های جمعیتی است (Wotton, 1992). از آنجا که ریخت‌سنجی موجودات تحت تاثیر ژنتیک و محیط زیست آن می‌باشد، پس می‌توان بیان داشت که زیستگاه و ژنتیک دو محرک قدرتمند تعیین‌کننده ریخت یک موجود زنده می‌باشد (Karakousis et al., 1991). امروزه روش ریخت‌سنجی هندسی به نسبت روش‌های قدیمی‌تر (سنتی) بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد چرا که قادر به ارائه کوچکترین تمایز ریختی بین موجودات است که این مهم در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است. در این راستا می‌توان به مطالعات ذیل اشاره کرد؛ رادخواه و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه تفاوت‌های ریختی گونه سیاه‌ماهی *Capoeta capoeta* در بالادست و پایین‌دست رودخانه زرينه‌رود با استفاده از دو روش هندسی و سنتی بیان داشتند که روش ریخت‌سنجی هندسی عملکرد بهتری در تفکیک ریختی جمعیت‌های مورد مطالعه دارد. بررسی تنوع ریختی ماهی سرماری (*Channa gachua*) نیز در رودخانه‌های هلیل و سرباز با استفاده از روش



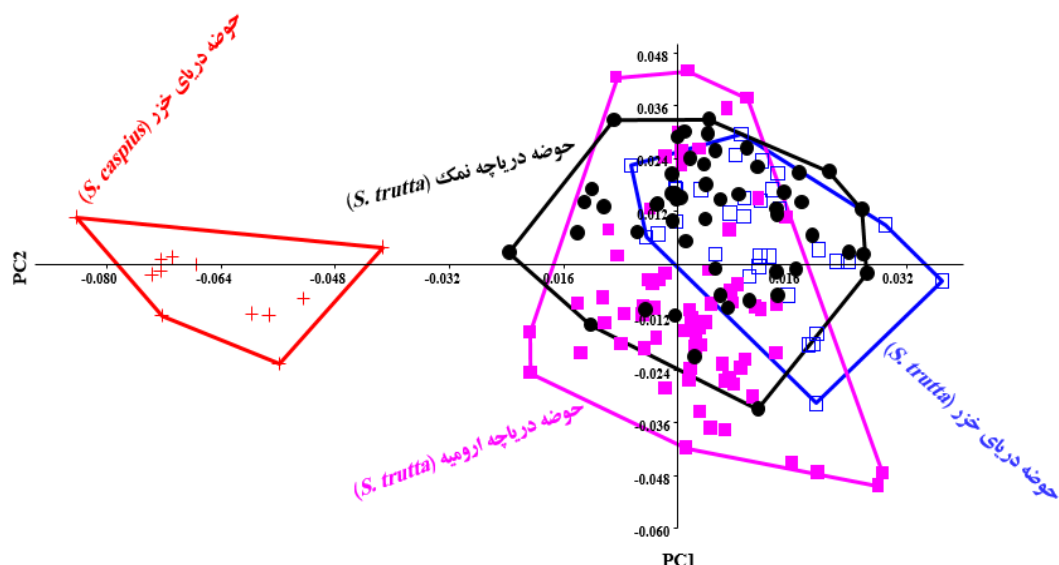
شکل ۱- نقاط لندمارک تعریف شده جهت استخراج داده‌های شکل بدن در جمعیت‌های قزل‌آلای خال قرمز و ماهی آزاد دریای خزر مورد مطالعه. ۱- ابتدایی‌ترین نقطه پوزه در بالا، ۲- مرکز حدقه چشم، ۳- محل تقاطع خط عمود بر محور طولی بدن که از مرکز حدقه عبور می‌کند با لبه بالایی چشم، ۴- نقطه انتهای سرپوش آبششی، ۵- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۶- انتهای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۷- ابتدای قاعده‌ی بالچه‌ی چربی، ۸- انتهای بالایی ساقه دم، ۹- انتهای خط جانبی، ۱۰- انتهای پایینی ساقه دم، ۱۱- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۲- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۳- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای، ۱۴- نقطه پایین شکاف سرپوش آبششی در بخش شکمی، ۱۵- محل تقاطع پاره‌خطی که از لندمارک‌های ۲ و ۳ و ۱۶ می‌گذرد با لبه زیرین سر و ۱۶- محل تقاطع خط عمود بر محور طولی بدن که از مرکز حدقه عبور می‌کند با لبه پایینی چشم.

شده بود، جمع‌آوری شدند. پس از صید و بی‌هوشی ماهیان، از سطح جانبی نمونه‌ها بر روی صفحه Copy stand عکس‌برداری شد. جهت استخراج داده‌ها در ریخت‌سنجی هندسی از نقطه نشان یا لندمارک-پایه استفاده شد (شکل ۱). ۱۶ نقطه لندمارک تعریف و روی تصاویر دو بعدی در نرم‌افزار tpsDig2 رقوم‌سازی شد (شکل ۱). روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌ها به‌منظور حذف تغییرات غیرشکل (شامل مقیاس، جهت و موقعیت) با استفاده از آنالیز پروکراست (Generalized Procrustes Analysis) در نرم‌افزار PAST انجام گرفت (Hammer et al., 2001). داده‌های شکل بدن در بررسی بین حوضه‌ای گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیزهای چندمتغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونی (MANOVA/CVA) و تحلیل خوشه‌ای (CA) و در بررسی درون حوضه‌ای (حوضه خزر) پراکنش گونه‌های مورد مطالعه از تحلیل تابع تشخیصی (Discriminant Function Analysis) با ارزش حاصل از مقدار  $P$  و نمودار قاب سیمی (Wireframe) استفاده شد و در نهایت تفاوت‌های ریختی مربوط به هر گونه و هر جمعیت به تفکیک

آمده در مورد هویت تاکسونومیکی این دو گونه و مترادف عنوان کردن آن‌ها، این مطالعه به‌منظور بررسی تنوع ریختی دو گونه *Salmo trutta* و *S. caspius* در آب‌های ایران با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی به‌اجرا درآمد. نتایج این مطالعه به بررسی جمعیتی *Salmo trutta* و تغییرات بدنی حاصل از زیستگاه و متعاقباً فرضیه‌های پیشین مبنی بر شناخت ناکافی از این دو گونه و مترادف عنوان کردن آن‌ها کمک خواهد نمود.

### مواد و روش‌ها

برای صید گونه ماهیان *S. caspius* و *S. trutta* در رودخانه‌های هراز تعداد ۳۲ نمونه، تعداد ۲۰ نمونه از رودخانه مردوق و ۳۲ نمونه از رودخانه ليقوان‌چای (حوضه دریاچه ارومیه)، تعداد ۳۹ نمونه از رودخانه کرج و ۲۸ قطعه از رودخانه جاجرود (حوضه دریاچه نمک) (گونه *S. trutta*) از یک دستگاه ماهیگیر الکتریکی با ولتاژ پایین (۲۰۰-۳۰۰ ولت) و تعداد ۱۲ نمونه *S. caspius* (دریای خزر) از تور پره و گوشگیر استفاده شد. ماهیان شوک دیده با استفاده از ساچوک و تور با چشمه ۵ میلی‌متر که در پایین دست تعبیه



شکل ۲- تحلیل مؤلفه‌های اصلی مقایسه ریختی جمعیت‌های گونه قزل‌آلای خال قرمز و گونه آزاد خزری مورد مطالعه.

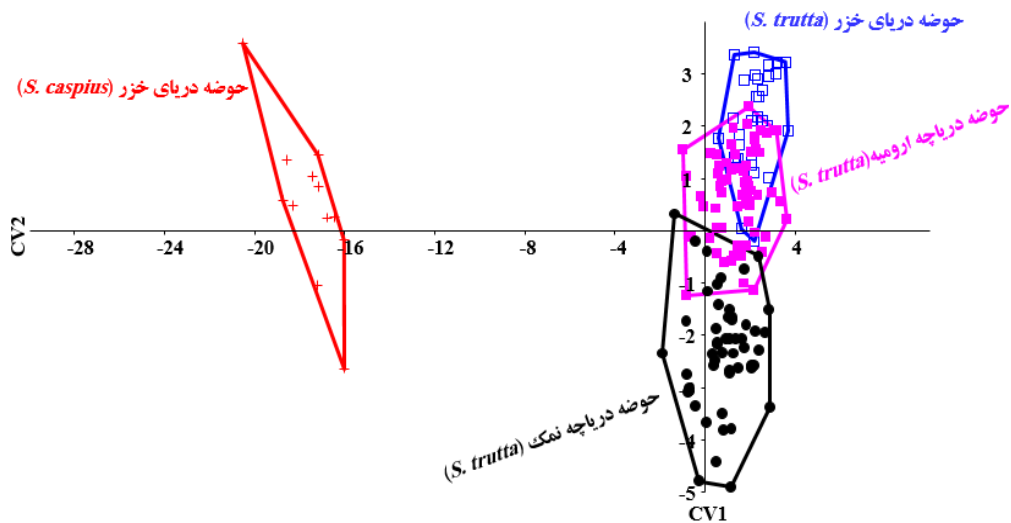
گونه کاملاً مشهود و بارز است به طوری که سه جمعیت مربوط به گونه *S. trutta* به طور قابل توجهی از جمعیت گونه *S. caspius* تفکیک شده‌اند. تحلیل تجزیه همبستگی کانونی نیز در تایید نتایج فوق، جمعیت گونه *S. caspius* را جدا از سه جمعیت گونه *S. trutta* قرار داد (شکل ۳). محاسبه فواصل ماهالانوبیس و پروکراست نیز مقادیر مختلفی برای جمعیت‌های دو گونه مورد مطالعه ارائه داد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین فواصل ماهالانوبیس و پروکراست به ترتیب بین جمعیت‌های گونه *S. trutta* و *S. caspius* (به ترتیب ۱۶/۹۸ و ۰/۰۷۸) به دست آمد (جدول ۱ و ۲). تحلیل خوشه‌ای حاصل از میانگین شکل جمعیت‌ها نیز با تأیید نتایج، جمعیت *S. caspius* را به تنهایی در یک خوشه و جدا از سایر جمعیت‌های گونه *S. trutta* قرار داد (شکل ۴). ضریب کوپرنیک حاصل از این تحلیل نیز ۰/۹۹ به دست آمد که نشان‌دهنده گروه‌بندی صحیح و قابل اعتماد جمعیت‌های مورد مطالعه است.

**بین گونه‌ای (آزاد دریای خزر و قزل‌آلای خال قرمز):** تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ریخت بدن بین گونه‌ها نشان داد که سه مؤلفه اصلی اول با درصد واریانس کل ۷۳/۳۹ بالاتر از خط برش جولیف قرار

حوضه‌ها ارائه شد. فواصل ماهالانوبیس و پروکراست نیز به عنوان درجه تمایز ریختی حاصل از تحلیل CVA محاسبه شد. همچنین مصورسازی تغییرات شکل بدن بر اساس میانگین شکل جمعیت‌ها نسبت به شکل میانگین کل (Consensus) با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم‌افزار MorphoJ انجام شد (Klingenberg, 1998).

## نتایج

به منظور بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های مردوق و ليقوان‌چای (حوضه دریاچه ارومیه) به عنوان یک جمعیت، جمعیت‌های کرج و جاجرود (حوضه دریاچه نمک) به عنوان یک جمعیت و جمعیت رودخانه هراز نیز تنها جمعیت از حوضه دریای خزر از گونه *S. trutta* و تنها یک جمعیت از گونه *S. caspius* (دریای خزر) مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تعداد ۴ مؤلفه با درصد واریانس کل ۶۵/۹۷ به عنوان مؤلفه‌های مؤثر در تفکیک ریختی، بالاتر از خط برش جولیف قرار گرفتند. پراکنش جمعیت‌های دو گونه مورد مطالعه بر اساس دو مؤلفه اصلی اول در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که گروه‌بندی جمعیت‌ها بر اساس



شکل ۳- تجزیه همبستگی کانونی مقایسه ریختی جمعیت‌های گونه قزل‌آلای خال قرمز و گونه آزاد خزری مورد مطالعه.

جدول ۱- فواصل ماهالانوبیس حاصل از تحلیل CVA ریخت بدن جمعیت‌های دو گونه مورد مطالعه.

	حوضه دریاچه نمک ( <i>S. trutta</i> )	حوضه دریاچه ارومیه ( <i>S. trutta</i> )	<i>S. caspius</i>
حوضه دریاچه ارومیه ( <i>S. trutta</i> )	۳/۷۲		
<i>S. caspius</i>	۱۶/۴۷	۱۵/۹۹	
حوضه دریای خزر ( <i>S. trutta</i> )	۴/۰۳	۴/۷۲	۱۶/۹۸

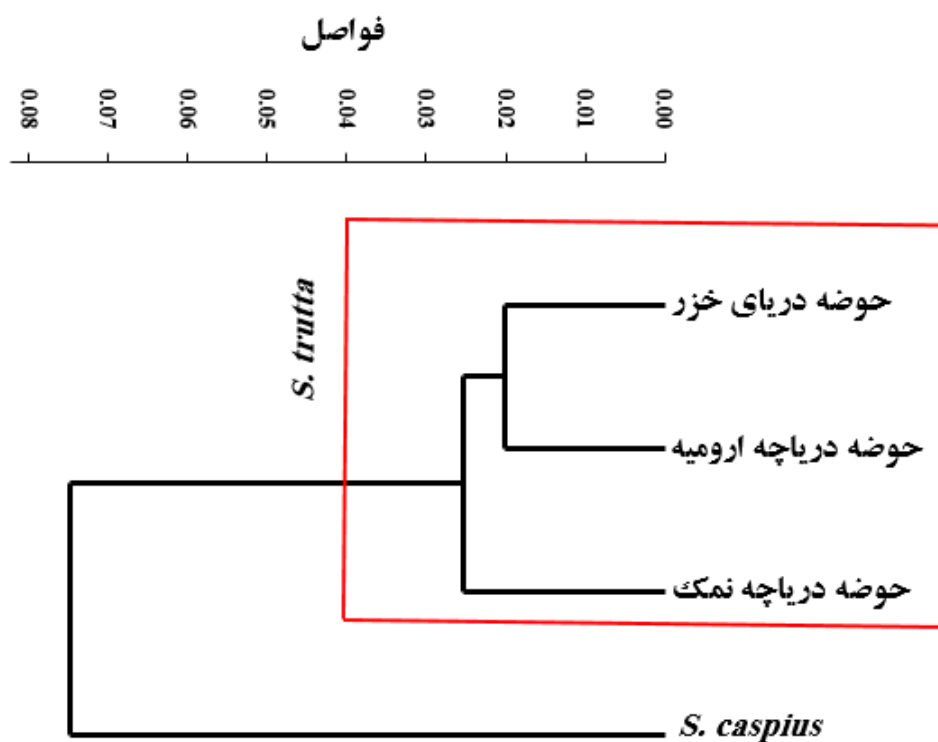
جدول ۲- فواصل پروکراست حاصل از تحلیل CVA ریخت بدن جمعیت‌های دو گونه مورد مطالعه.

	حوضه دریاچه نمک ( <i>S. trutta</i> )	حوضه دریاچه ارومیه ( <i>S. trutta</i> )	<i>S. caspius</i>
حوضه دریاچه ارومیه ( <i>S. trutta</i> )	۰/۰۲۵		
<i>S. caspius</i>	۰/۰۷۱	۰/۰۷۳	
حوضه دریای خزر ( <i>S. trutta</i> )	۰/۰۲۴	۰/۰۲	۰/۰۷۸

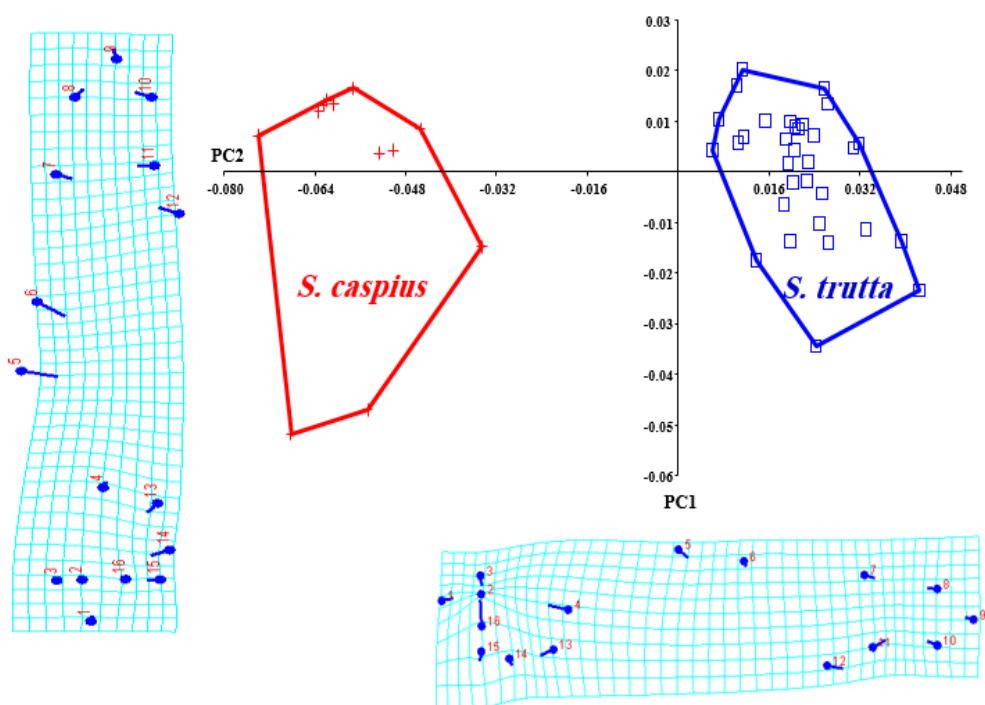
باله چربی به سمت قدامی تمایل پیدا می‌کند. تحلیل تابع تشخیصی نیز با تأیید نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دو گونه مورد مطالعه را از یکدیگر تفکیک نمود ( $F=75/11, P<0/001$ , شکل ۶) فاصله ماهالانوبیس به‌عنوان درجه تمایز ریختی دو گونه مورد مطالعه نیز ۲۷/۷۷ برآورد شد. نمودار قاب سیمی جمعیت‌های گونه‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین شکل جمعیت‌ها در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که گونه *S. trutta* موقعیت پوزه قدامی‌تر، اندازه سر بیشتر، عمق بدن تا حدودی بیشتر و ساقه دمی کشیده‌تر و خلفی‌تر نسبت به گونه *S. caspius* دارد.

گرفتند که به‌عنوان مؤلفه‌های موثر در تفکیک ریختی دو گونه مورد مطالعه انتخاب شدند. نحوه پراکنش دو گونه آزاد ماهی خزر و قزل‌آلای خال قرمز در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج دو گونه از یکدیگر جدا شده و از لحاظ ریختی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند.

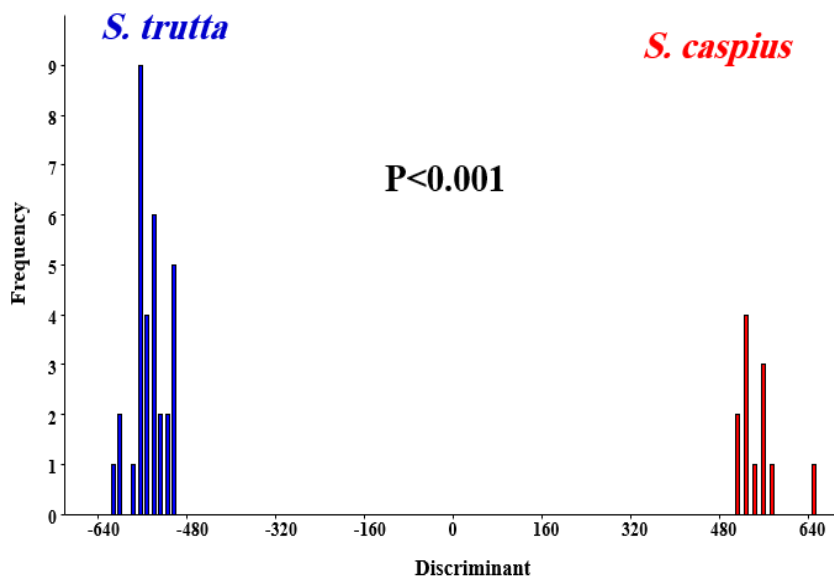
همچنین الگوی تغییرات ریختی در راستای دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب مربوط به تغییر موقعیت دهان، تغییرات عمق بدن و تغییر موقعیت باله‌های مخرجی و چربی به سمت خلفی بدن در طول مؤلفه اول ( $PC1$ ) و در طول مؤلفه دوم نیز این تغییرات البته



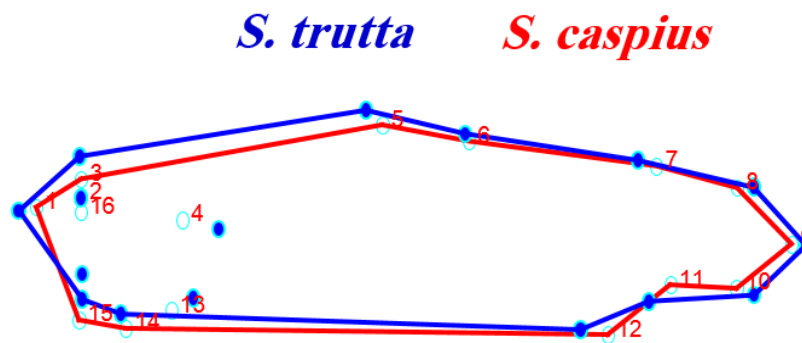
شکل ۴- تحلیل خوشه‌ای مقایسه ریختی جمعیت‌های گونه قزل‌آلای خال قرمز و گونه آزاد خزری مورد مطالعه.



شکل ۵- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) گونه‌های مورد مطالعه در حوضه دریای خزر.



شکل ۶- نتایج تحلیل تابع تشخیصی شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه در حوضه دریای خزر.



شکل ۷- نمودار قاب سیمی گونه‌های مورد مطالعه در حوضه دریای خزر.

### بحث

جوامع ماهی قزل‌آلا دارای تنوع ریختی بالایی می‌باشند (Ferguson and Taggart, 1991) و این انعطاف‌پذیری فنوتیپی در بسیاری از موارد موجب مطرح شدن مباحث رده‌بندی در این زمینه شده است. در تنظیم کتب فهرست سرخ در گذشته از اطلاعات رده‌بندی سنتی استفاده شده است که این اطلاعات نمی‌تواند در تمام موارد مبین روابط رده‌بندی و تولیدمثلی جوامع باشد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جمعیت‌های گونه قزل‌آلای خال قرمز و آزادماهی دریای خزر از لحاظ ریختی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند به طوری که تنوع ریختی وابسته به گونه مشاهده شد.

انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های یک گونه در محیط‌های متنوع، فرآیندی است که در نتیجه اثر فاکتورهای محیطی روی اجداد آن گونه در راستای پدیده تطابق حاصل می‌گردد (Adams *et al.*, 1997). با توجه به اینکه ریخت بدن و عملکرد شنا در ارتباط با جریان آب است (Vogel, 1994)، آگاهی از شکل بدن به واسطه سازگاری به شرایط محیطی می‌تواند به درک بهتر مفهوم تکامل موجودات کمک کند (Kuliev, 1988) که در مطالعات به اثبات رسیده است (Robinson and Wilson, 1994; Hendry *et al.*, 2002; Langerhans *et al.*,

ماهیان قزل‌آلای خال‌قرمز متعلق به رودخانه مردوق و رودخانه ليقوان‌چای با استفاده از نشانگرهای ریزماهورهای پرداختند. نتایج آن‌ها با توجه به بررسی آل‌های خصوصی، انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ و تمایز ژنتیکی جمعیت‌ها را نشان داد که احتمال رهاسازی یک نمونه از این گونه در طی سال‌های اخیر از رودخانه مردوق به ليقوان‌چای صورت گرفته است. Salehi و همکاران (۲۰۲۲)، در بررسی تنوع ریختی قزل‌آلای خال‌قرمز در رودخانه‌های مردوق، ليقوان‌چای، هراز، کرج و جاجرود با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی بیان داشتند که این گونه در رودخانه جاجرود به‌واسطه صفاتی از جمله داشتن عمق بدن بیشتر، عمق سر کمتر و موقعیت قدامی قاعده باله سینه‌ای، از سایرین متمایز شد. نتایج حاصل به‌عنوان اطلاعات پایه در مورد ذخایر بومی این دو گونه در راستای سیاست حفاظتی مفید واقع خواهد شد. همچنین در مطالعات بعدی این ماهیان بایستی به‌عنوان گونه‌های مجزا مد نظر قرار گیرند.

بر اساس یافته‌های حاصل، سه جمعیت گونه قزل‌آلای خال‌قرمز به‌طور کامل از گونه آزادماهی دریای خزر تفکیک شدند. بر اساس فواصل ماهالانویسی، از آنجا که پراکنش این دو گونه در حوضه دریای خزر با هم مشاهده می‌شود ولی بیشترین فاصله را از یکدیگر نشان دادند که تحلیل خوشه‌ای نیز با تایید یافته‌های حاصل بیشترین فاصله را بین دو گونه *S. trutta* و *S. caspius* نشان داد. در بررسی درون حوضه‌ای (حوضه دریای خزر) عمده تفاوت‌های مشاهده شده مربوط به موقعیت پوزه، اندازه سر، عمق بدن و ساقه دمی کشیده بود. مطالعات بیان داشته‌اند که بدن پهن‌تر می‌تواند برای اجتناب از فرایند شکار شدن مؤثر باشد (Langerhans and Reznick, 2010). ولی بدن دوکی شکل و کشیده برای کارایی شنای بهتر اهمیت بیشتری دارد. Darcy (۱۹۸۵) در بررسی یک ماهی دریایی عنوان کرد ماهی‌های باریک با سرهای کوچک و ساقه دمی درازتر شناگرهای بهتری هستند. هاشم‌زاده و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی تشخیص

## منابع

- انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۷ صفحه.
- عباسی ک، مولودی صالح ع، ایگدری س، سرپنله ع. ۱۴۰۰. مقایسه ریختی سوف رودخانه‌ای (*Perca fluviatilis* L., 1758) در تالاب انزلی و مصب رودخانه چمخاله استان گیلان. بوم‌شناسی آبریان. ۱۰(۴): ۲۸-۳۵.
- هاشم‌زاده سقرلو ا، فرحمند ح، عبدلی ا، برتانچز ل، کرمی م. ۱۳۹۱. تشخیص ماهیان قزل‌آلای خال‌قرمز *Salmo trutta* متعلق به رودخانه مردوق در رودخانه ليقوان‌چای با استفاده از نشانگرهای ماهواره‌ای. نشریه شیلات. ۳(۳): ۳۲۷-۳۳۷.
- Adams D.C., Funk D.J. 1997. Morphometric inferences on sibling species and sexual dimorphism in *Neochlamisus bebbianae* leaf beetles: multivariate applications of the thin-plate spline. *Systematic Biology* 46, 180-194.
- Bagenal T.B. 1978. Methods for Assessment of Fish Production in Freshwater. Blackwell Scientific. 365 p.
- ایگدری س، نعمت الهی م.ع، رادخواه ع، محمودی م. ۱۴۰۰. ارزیابی ذخایر ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) در سرشاخه‌های رودخانه طالقان، حوضه جنوبی دریای خزر. مجله علوم آبی‌پروزی. ۹(۲): ۱۵۷-۱۴۹.
- رادخواه ع، پورباقر ه، ایگدری س. ۱۳۹۵. بررسی تفاوت‌های ریخت‌شناسی جمعیت‌های سیاه‌ماهی *Capoeta capoeta* در بالادست و پایین دست رودخانه زرينه رود از حوضه دریاچه ارومیه. فصلنامه محیط زیست جانوری. ۸(۳): ۱۶۷-۱۷۴.
- صیاد بورانی م، نجار لشگری س، قاسمی ش، احمدنژاد م. ۱۳۹۶. مطالعه رشد ماهی آزاد *Salmo caspius* Kessler, 1877 در سواحل ایرانی دریای خزر با استفاده از روش پیشینه پردازسی طول ماهیان. پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. ۵(۱): ۵۵-۶۸.
- وثوقی غ، مستجیر ب. ۱۳۷۹. ماهیان آب شیرین.



- 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, 389-698.
- Langerhans R.B., Reznick D.N. 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. *Fish locomotion: an Ecological Perspective* 220, 248.
- 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.
- Radkhan A.R., Eagderi S., Poorbagher H. 2021. Investigation of biological characteristics of brown trout (*Salmo trutta fario*) and factors influencing its population reduction in Karaj River, Alborz province, Iran. 5th International Congress on Zoology and Technology, (ICZAT-2021). December 18-19, 2021.
- Robinson B.W., Wilson D.S. 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. *The American Naturalist* 144(4), 596-627.
- Salehi M., Mosavi-Sabet H., Eagderi S. 2022. Geometric morphometric analysis of body shape variation in *Salmo trutta* populations from the Caspian Sea, Namak and Urmia basins, Iran. *Iranian Journal of Ichthyology* 9(1), 21-31.
- Turan D., Kottelat M., Bektaş Y. 2011. *Salmo tigridis*, a new species of trout from the Tigris River, Turkey (Teleostei: Salmonidae). *Zootaxa* 2993: 23-33.
- Vogel S. 1994. Life in moving fluids: the physical biology of flow. Princeton University Press.
- Vrijenhoek R.C. 1998. Conservation genetics of freshwater fish. *Journal of fish Biology* 53, 394-412.
- Wotton, R.J. 1992. Fish Ecology. Printed in Great Britain by Thomson Litho Ltd, Scotland. 203 p.
- Darcy G.H. 1985. Synopsis of biological data on the sand perch, *Diplectrum formosum* (Pisces, Serranidae). *NOAA Technical Report NMFS* 26, 1-21.
- Esmaili H.R., Coad B.W., Gholamifard A., Nazari N., Teimory A. 2010. Annotated checklist of the freshwater fishes of Iran. *Zoosystematica Rossica* 19: 361-386.
- Esmaili H.R., Sayyadzadeh G., Eagderi S., Abbasi K. 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa* 3(3), 1-95.
- Ferguson A., Taggart J.B. 1991. Genetic differentiation among the sympatric brown trout (*Salmo trutta*) populations of Lough Melvin, Ireland. *Biological Journal of the Linnean Society* 43(3), 221-237.
- Froese R., Binohlan, C. 2002, Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology* 56, 758- 773.
- Jouladeh-Roudbar A., Ghanavi H.R., Doadrio I. (2020). Ichthyofauna from Iranian Freshwater: Annotated Checklist, Diagnosis, Taxonomy, Distribution and Conservation Assessment. *Zoological Studies* 59(21).
- Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), 9.
- Hendry A.P., Taylor E.B., McPhail J.D. 2002. Adaptive divergence and the balance between selection and gene flow: lake and stream stickleback in the Misty system. *Evolution* 56(6), 1199-1216.
- Karakousis, Y., Triantaphyllidis, C., Economidis, P.S. 1991. Morphological variability among seven population of brown trout, *Salmon trutta*, in Greece. *Journal of fish Biology*. 38: 807-817.
- Klingenberg C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11(2), 353-357.
- Kuliev Z.M., 1988. Morphometric and ecological characteristics of Caspian Vimba” *Vimba vimba persa*”. *Journal of Ichthyology* 28, 29-37.

## The Iranian native salmonids (*Salmo caspius* and *S. trutta*), distinct species or two forms of the same species; a geometric-morphometric based hypothesis

Meysam Salehi<sup>1</sup>, Hamed Mousavi-Sabet<sup>\*1,2</sup>, Soheil Eagderi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.

<sup>2</sup>The Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

<sup>3</sup>Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

\*Corresponding author: mousavi-sabet@guilan.ac.ir

Received: 2022/8/9

Accepted: 2022/10/16

### Abstract

This study aimed to investigate the taxonomic status of *Salmo trutta* inhabiting the Mardoogh, Liqvanhai (Urmia Lake basin), Haraz (the Caspian Sea basin) and Jajrud and Karaj (Namak Lake basin) rivers, and *Salmo caspius* (from the Caspian Sea) using the geometric morphometric method. Samplings were done using an electrofishing device in the rivers and beach seine/gillnet in the sea. To prepare geometric data, the photographs were taken from the left side of the specimens, then 16 landmark points were defined and digitized on the two-dimensional (2D) images. The data were analyzed using Discriminant Function Analysis (DFA), Principal Component Analysis (PCA), Canonical Variate Analysis (MANOVA/CVA), and cluster analysis. The intra-species morphological variations between the two studied species from the Caspian Sea basin showed significant differences in the morphometric traits, including snout position, body depth, and caudal peduncle length and depth. Based on the DFA and PCA, they were separated from each other. The results related to the interspecies examination categorized the *S. trutta* populations of the three studied basins in three clusters, separated from the *S. caspius* cluster. The resulting differences showed the morphological flexibility of these populations to their environmental conditions. The geometric morphometric method identified the studied groups at the intra and inter-species levels in terms of morphology, which helps to evaluate the stock assessment of these species and consider them as separate species in the future.

**Keywords:** *Salmo trutta*, Geometric morphometric, Ichthyology, Discriminant function analysis.