

## انعطاف پذیری ریختی ماهی سفید رودخانه‌ای (*Squalius turcicus* De Filippi, 1865) در جنوب شرقی حوضه خزر با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی

- عطا مولودی صالح: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱
- یزدان کیوانی\*: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱
- سیدامیر حسین جلالی: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱
- مظاهر زمانی فرادنبه: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۶

### چکیده

به منظور بررسی تفاوت‌های شکل بدنی در بین جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای *Squalius turcicus* De Filippi, 1865 در رودخانه‌های تجن، هراز، نکارود، بابل‌رود و نور از بخش شرقی حوضه خزر تعداد ۲۶۴ قطعه نمونه به وسیله تور گوشگیر و ساچوک در طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۹ صید گردید. نمونه‌ها پس از بی‌هوشی در محلول گل‌میخک و تثبیت در فرمالین ۱۰ درصد خنثی برای ادامه مطالعه به آزمایشگاه ماهی‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند. جهت مطالعه تنوع شکل بدنی بر اساس روش ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۱۳ نقطه لندمارک با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دوبعدی تهیه شده از سمت چپ نمونه‌ها، تعریف و رقمی گردید. داده‌های رقمی پس از آنالیز پروکراست (GPA)، برای بررسی تنوع شکل بدنی با استفاده از آنالیزهایی چندمتغیره از قبیل تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل همبستگی کانونی (CVA) و تحلیل خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند و نیز الگوهای تغییر شکل هر جمعیت نسبت به شکل اجماع (Consensus) در شبکه تغییر شکل مصورسازی گردید. نتایج حاصل از این مطالعه جمعیت‌های بابل‌رود و هراز را جدا از بقیه جمعیت‌ها نشان داد. هم‌چنین عمده تفاوت‌های شکل بدنی در جمعیت‌های مورد مطالعه مربوط به موقعیت دهان، ارتفاع بدن، موقعیت باله‌های سینه‌ای و مخرجی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** PCA، لندمارک، آنالیز پروکراست، Consensus



## مقدمه

رودخانه‌ای در ۲-۴ سالگی، با طول کل ۱۳-۱۵ سانتی‌متر، تخم‌ریزی از اردیبهشت تا تیر و اغلب در خرداد، در دمای ۱۲-۱۸ در سانتی‌گراد می‌باشد. تخم‌ریزی این گونه در آب‌های کم‌عمق بر بستر قلوه‌سنگی صورت گرفته و تغذیه آن‌ها نیز از لاروحشرات، نرم‌تنان و سایر بی‌مهرگان آبی، ماهی‌های کوچک و قورباغه‌ها تشکیل می‌شود (Keivany و همکاران، ۲۰۱۶). از این‌رو این مطالعه با هدف مقایسه ریخت‌سنجی هندسی ماهی سفید رودخانه‌ای (*Squalius turcicus*) در رودخانه‌های بخش شرقی حوضه خزر به اجرا در آمد.

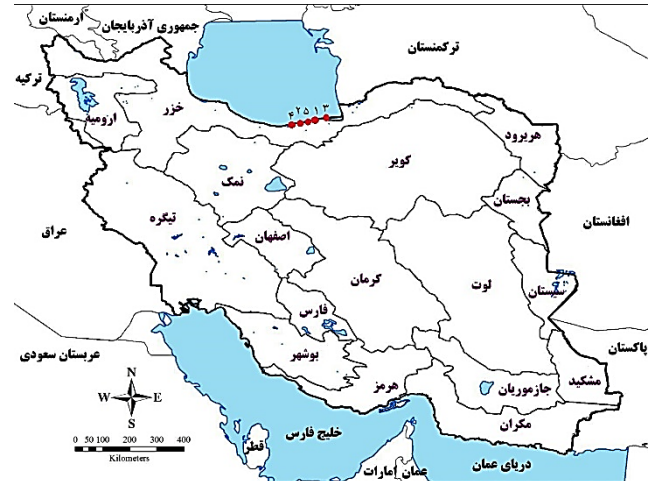
## مواد و روش‌ها

حوضه دریای خزر با توجه به موقعیت جغرافیایی مناسب و وجود منابع زیستی جانوری و گیاهی منحصر به فرد از جمله ماهیان از اهمیت به‌سزایی برخوردار بوده و هرگونه تغییر در اکوسیستم بر موجودات آن تأثیرگذار خواهد بود. برهمن اساس طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۹ تعداد ۲۶۴ قطعه ماهی سفید رودخانه‌ای از ۵ جمعیت شامل ۶۳ قطعه از تنجن، ۲۹ قطعه از رود هراز، ۴۹ قطعه از رود نکارود، ۴۸ قطعه از رود نور و ۷۵ قطعه از بابل‌رود از بخش شرقی حوضه خزر با استفاده از ساچوک و تورگوشگیر نمونه‌برداری گردید (شکل ۱). نمونه‌ها بلافاصله پس از بی‌هوشی در پودر گل میخک ۱٪ در فرمالین ۱۰٪ تثبیت و به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل گردید. این نمونه‌ها تحت شماره‌ای-۰۳-۰۹۹-۱۳۸۹۰۵۰۸-IUT-IM، ۰۲-۱۰۷-۱۳۸۹۰۵۰۹-IUT-IM، ۰۳-۰۹۵-۱۳۸۹۰۵۰۷-IUT-IM، ۰۲-۱۱۶-۱۳۸۹۰۵۱۲-IUT-IM و ۰۲-۱۰۴-۱۳۸۹۰۵۰۹-IUT-IM ثبت شده‌اند. برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، از نیم‌رخ چپ تک‌تک نمونه‌ها با استفاده از دوربین CANON با قدرت تفکیک ۸ مگاپیکسل مجهز به پایه دوربین (Copy Stand) عکس‌برداری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار TPSDIG2 بر روی تصاویر دوبعدی تعداد ۱۳ لندمارک تعریف و رقومی شدند (Ruehl، ۲۰۰۵) (شکل ۲). داده‌های لندمارک پس از روی هم‌گذاری براساس آنالیز پروکراست (General Procrust Analysis) برای حذف اثرات اندازه، موقعیت و جهت با استفاده از آزمون‌های تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونی (CVA) و آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) مورد تحلیل قرار گرفتند. مصور سازی میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل اجماع (Consensus) تمامی جمعیت‌ها در شبکه تغییر شکل انجام شد و در مقابل دندوگرام آنالیز خوشه‌ای ارائه گردید.

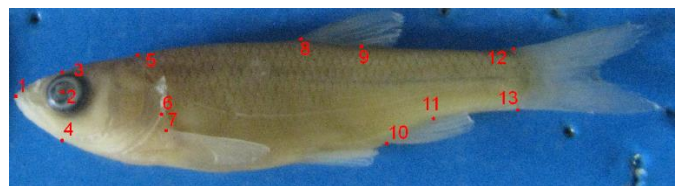
اغلب تصور می‌گردد که موجودات دارای ویژگی‌های ریختی مشابه یک جمعیت را تشکیل می‌دهند. در این میان، تنوع ریختی بین جمعیت‌های مختلف جغرافیایی یا به ساختار ژنتیکی مجزا یا به شرایط محیطی خاص هر منطقه نسبت داده می‌شود. از طرفی تنوع ریختی بین ذخایر می‌تواند اساسی برای شکل‌دهی به ساختار ذخیره فراهم کرده و احتمالاً می‌تواند برای مطالعه تغییرات ناشی از محیط و حتی برای مدیریت شیلاتی کاربرد داشته باشد (Keivany و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به سرعت تغییرات محیطی درک این که چگونه موجودات با محیط زیست خود و شرایط جدید زیستگاهی سازگاری پیدا می‌کنند، یک موضوع بسیار مهم است (Reznick و همکاران، ۱۹۹۰). در بررسی ماهیان از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، ریخت‌سنجی هندسی می‌باشد. روش ریخت‌سنجی هندسی روشی جدید نسبت به روش‌های سنتی است که در آن داده‌های لندمارک و خط سیر پیرامونی اطلاعات شکل ساختارهای زیستی در قالب شکل استخراج می‌کند و به صورت گرافیکی به نمایش درمی‌آورد (رضوی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). ریخت‌سنجی هندسی یکی از ابزارهای مفید و قوی در تجزیه و تحلیل شکل بدن می‌باشد (Bookstein، ۱۹۹۱؛ Rohlf و Marcus، ۱۹۹۳؛ Marcus و همکاران، ۱۹۹۶) که با استفاده از این روش می‌توان تأثیرات محیط زیست و پاسخ‌های انعطاف‌پذیری ریختی مربوطه در ماهیان را مطالعه و بررسی کرد (زمانی‌فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۳). تفاوت در شکل بدن می‌تواند تحت تأثیر تفاوت‌های رفتاری و اکولوژیکی باشد. از آن‌جا که آب محیطی متراکم است لذا شکل بدن می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های رفتاری و عملکردی خود ماهی و سایر ارگانیسم‌های آبی باشد (Webb، ۱۹۸۴). بنابراین انتظار می‌رود که شکل ماهی در ارتباط با شرایط اکولوژیکی زیستگاه و تکامل باشد. پس مطالعات ریخت‌شناسی می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با تکامل ماهی‌رانشان دهد (Douglas و همکاران، ۲۰۰۱؛ Adams و Rüber، ۲۰۰۱؛ Walker، ۱۹۹۷؛ Schluter، ۱۹۹۳؛ Adams و Caldecutt، ۱۹۹۸). براساس آخرین فهرست گونه‌های منتشر شده ماهیان آب شیرین ایران چهار گونه جنس *Squalius* در ایران معرفی شده است که بر اساس پراکنش و توزیع آن‌ها در حوضه خزر و ارومیه گونه *Squalius turcicus* در حوضه نمک *Squalius namak* (Khaefi و همکاران، ۲۰۱۶)، و در حوضه دجله و فرات *Squalius berak* و *Squalius lepidus* ارائه شده است (Esmaili و همکاران، ۲۰۱۷). بلوغ جنسی ماهی سفید



تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزارهای Past و Morpho J (Klingenberg, ۲۰۱۱) انجام شد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در جنوب شرقی حوضه خزر (۱: تجن، ۲: هراز، ۳: نکارود، ۴: نور و ۵: بابل رود) (Keivany و همکاران، ۲۰۱۶)

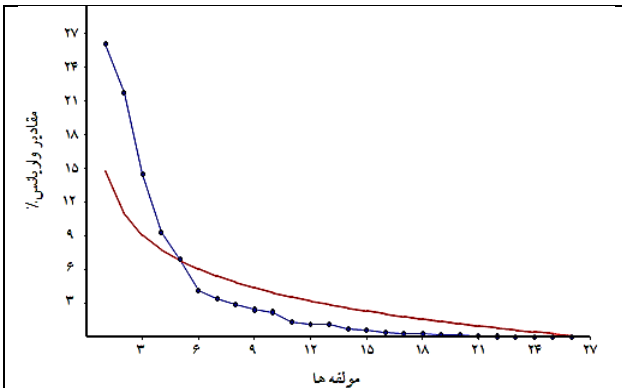


شکل ۲: لندمارک‌های تعیین شده برای استخراج شکل بدن ماهی سفید رودخانه‌ای: ۱- ابتدایی ترین بخش پوزه، ۲- مرکز چشم، ۳- محل تقاطع خط عمود با نقطه مرکز چشم با لبه بالای سر، ۴- محل تقاطع خط عمود با نقطه مرکز چشم با لبه زیرین سر، ۵- انتهای ترین نقطه بالای سر، ۶- انتهای ترین لبه سرپوش آبششی، ۷- ابتدایی ترین قسمت باله سینه‌ای، ۸- ابتدای پایه باله پشتی، ۹- انتهای پایه باله پشتی، ۱۰- ابتدای پایه باله مخرجی، ۱۱- انتهای پایه باله مخرجی، ۱۲- لبه بالایی قاعده باله دم، ۱۳- لبه پایینی قاعده باله دم.

## نتایج

طبق نتایج حاصل از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، پنج مؤلفه اول که بالاتر از خط برش جولیف قرار داشتند، که به عنوان عوامل اصلی تفکیک کننده جمعیت‌ها انتخاب شدند (شکل ۳). پنج مؤلفه اصلی در مجموع ۷۸/۶۲ درصد واریانس را شامل می‌شوند (جدول ۱). در شکل ۳ تغییرات شکل بدنی و نحوه توزیع جمعیت‌های مورد مطالعه در راستای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی آمده است. بر این اساس بین جمعیت‌های

مورد مطالعه تفاوت معنی داری دیده نشده و با یکدیگر هم پوشانی دارند. طبق تغییرات شکل بدنی در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول مربوط به ویژگی‌هایی از جمله تغییر موقعیت دهان متمایل به بالا، کاهش طول ساقه دم در اثر حرکت باله مخرجی به سمت انتهای بدن، تغییر موقعیت چشم و مؤلفه اصلی دوم بیان کننده افزایش ارتفاع بدن، تغییر موقعیت دهان به سمت عقب، افزایش طول ساقه دم است.



شکل ۳: نمودار scree plot تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمایش خط برش جولیف (خط قرمز رنگ) که نشان دهنده مرز مؤلفه‌های اصلی معنی دار است

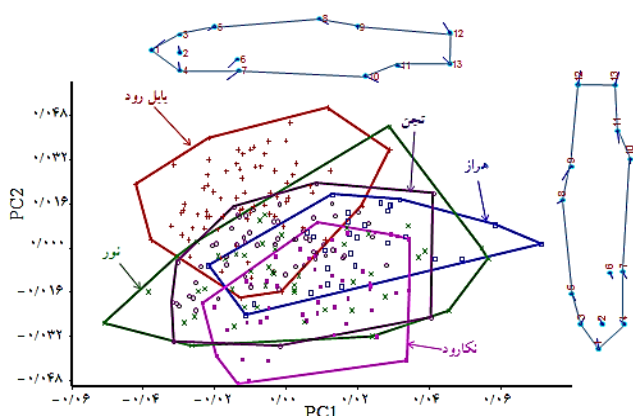
جدول ۱: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه چهار مؤلفه اصلی اول

تحلیل شکل بدن جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه

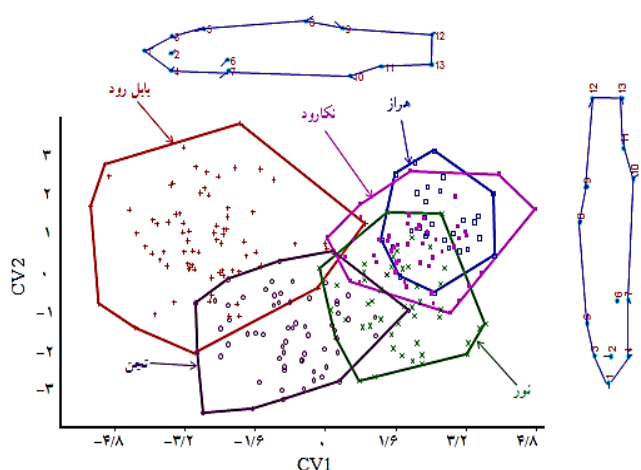
مؤلفه‌ها	مقادیر	واریانس
۱	۰/۰۰۰۴۱	۲۶/۱۵۲
۲	۰/۰۰۰۳۴	۲۱/۷۰۶
۳	۰/۰۰۰۲۲	۱۴/۵۱۲
۴	۰/۰۰۰۱۴	۹/۲۸۷
۵	۰/۰۰۰۰۱	۶/۹۶۸
جمع		۷۸/۶۲۶

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی کانونی (CVA) جمعیت‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی داری بین جمعیت‌ها نشان داد ( $P < 0.0002$ ) و  $F = 14.09$ ,  $Wilks\ lambda = 0.3192$ . با توجه به نمودار CVA هم پوشانی بین جمعیت‌ها بسیار اندک است و دو جمعیت هراز و تجن کاملاً از یکدیگر متمایز شده‌اند (شکل ۵). بر اساس این نمودار و نحوه توزیع آن‌ها و هم چنین پراکنش جمعیت‌ها در طول دو محور اصلی اول و دوم به ترتیب جمعیت‌ها در طول محور اول تغییرات شکل بدن آن‌ها شامل تغییر موقعیت دهان به بالا، ارتفاع بدن بیشتر و ارتفاع سر کم تر و در طول محور دوم تغییرات به صورت کاهش ارتفاع بدن، تغییر موقعیت دهان تا حدودی به سمت جلو و کاهش عرض ساقه دم





شکل ۴: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه در بخش شرقی حوضه خزر



شکل ۵: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه

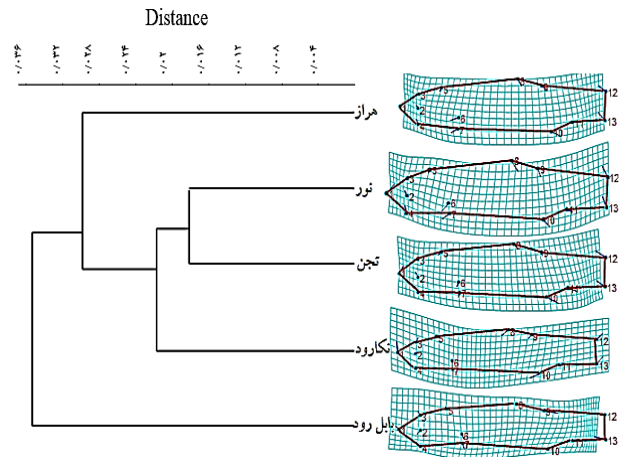
جدول ۲: فواصل ماهالانوبیس شکل بدن حاصل از آزمون CVA در

جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در حوضه خزر				
رودخانه	تجن	بابل	هراز	نکارود
بابل‌رود	۳/۲۶۲			
هراز	۴/۶۲۶	۵/۶۱۸		
نکارود	۳/۸۰۱	۴/۹۰۱	۲/۸۵۸	
نور	۳/۴۱۳	۴/۸۳۷	۳/۴۴۱	۲/۶۹۲

است. فواصل ماهالانوبیس و پروکراست بین جمعیت‌های مورد مطالعه در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. براساس فواصل ماهالانوبیس بیشترین مقدار آن بین جمعیت‌های هراز و بابل‌رود (۵/۶۱۸) و کمترین مقدار آن بین جمعیت‌های نورو و نکارود (۲/۶۹۲)، هم‌چنین بیشترین و کمترین فواصل پروکراست به ترتیب بین جمعیت‌های هراز و بابل‌رود (۰/۰۴۲۵) و نور و نکارود (۰/۰۱۰۹) است. تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه در شکل ۵ آمده است. ضریب کوپرنیک تحلیل خوشه‌ای ۰/۷۹۵۷ محاسبه شد. مطابق نتایج تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه ماهی سفید رودخانه‌ای جمعیت رودخانه بابل‌رود به تنهایی در یک دسته قرار گرفت و بیشترین تمایز را با سایر جمعیت‌ها نشان می‌دهد. با بررسی الگوهای شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه با کمک نتایج مصورسازی شده در شبکه تغییر شکل می‌توان گفت که شکل بدن این گونه در رودخانه‌های مورد مطالعه از الگوهای متنوعی تبعیت می‌کند (شکل ۶). افراد جمعیت رودخانه نور دارای عمق سر بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۲، ۳، ۴ و ۵)، پوزه کشیده‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱)، ارتفاع بدن بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱) و باله سینه‌ای قدامی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۶ و ۷)، افراد جمعیت رودخانه هراز دارای عمق سر کم (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۲، ۴ و ۵)، عمق بدن کم‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۹)، باله مخرجی خلفی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱) و طول ساقه دمی کم‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۲ و ۱۳)، افراد جمعیت رودخانه تجن دارای پوزه متمایل به بالا (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱)، باله سینه‌ای خلفی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۶ و ۷) و عمق بدن تا حدودی زیاد (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱)، افراد جمعیت رودخانه نکارود دارای پوزه تا حدودی متمایل به بالا (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱)، باله سینه‌ای قدامی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۶ و ۷)، باله مخرجی قدامی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱)، عمق بدن کم‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۹) و طول ساقه دمی بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۲ و ۱۳) و افراد جمعیت رودخانه بابل‌رود پوزه تا حدودی موقعیت شکمی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱) و دارای عمق سر و بدن کم‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۲، ۴، ۸) می‌باشد.

## جدول ۳: فواصل پروکراست شکل بدن حاصل از آزمون CVA در

جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در حوضه خزر				
رودخانه	تجن	بابلرود	هراز	نکارود
بابلرود	۰/۰۲۴۳			
هراز	۰/۰۳۲۵	۰/۰۴۲۵		
نکارود	۰/۰۲۴۴	۰/۰۴۰۱	۰/۰۲۸۱	
نور	۰/۰۱۸۱	۰/۰۳۴۲	۰/۰۲۸۶	۰/۰۱۰۹



شکل ۶: آنالیز خوشه‌ای شکل بدن شش جمعیت ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه در بخش شرقی حوضه خزر (ابتدای هر نقطه لندهمارک نشان‌دهنده شکل اجماع می‌باشد)

## بحث

مطالعه تنوع‌پذیری در ویژگی‌های بوم‌شناختی و ریخت‌شناسی جمعیت‌های یک گونه که در محیط‌های متفاوت از نظر خصوصیات زیستگاهی، زندگی می‌کنند، امکان درک و فهم بهتر تغییرات در ویژگی‌های جمعیتی را در مقابل تغییرات محیطی فراهم می‌نماید (Keivany و همکاران، ۲۰۱۶a). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه ماهی سفیدرودخانه در زیستگاه‌های مختلف متفاوت بوده و این تفاوت‌ها، جدایی ریختی وابسته به زیستگاه در جمعیت‌های مورد مطالعه را آشکار می‌سازند. تفاوت‌ها در CA، CVA، PCA و فواصل ماهلانوبیس و پروکراست مشاهده شد. بیش‌ترین فواصل پروکراست و ماهلانوبیس بین جمعیت‌های هرز و بابلرود به‌دست آمد که نتایج حاصل از آنالیز CVA نیز این نتایج را نشان داد که کاملاً از یکدیگر جدا شده بودند. عمده تفاوت‌های مشاهده شده در بین جمعیت‌های مورد مطالعه مربوط به

موقعیت دهان، ارتفاع بدن و موقعیت باله‌های سینه‌ای و مخرجی بود. که در کل می‌توان چنان عنوان کرد که انعطاف‌پذیری ریختی می‌تواند در پاسخ به شرایط محیطی باشد (Wimberger، ۱۹۹۲؛ Keivany و Arab، ۲۰۱۷). به‌طور مثال تغییرات مربوط به اندازه سر و موقعیت دهان مربوط به شرایط تغذیه‌ای می‌باشد (Anderson و همکاران، ۲۰۰۵)، هم‌چنین عمق بدنی کم در رودخانه‌هایی که جریان زیاد دارند به‌منظور کاهش اصطکاک ناشی از جریان آب یک سازگاری ویژه‌ای است که در جمعیت‌های بابلرود و نکارود می‌توان عنوان کرد (Barlow، ۱۹۶۱). تغییرات در موقعیت باله سینه‌ای می‌تواند برای افزایش مانور جهت مقابله با مسیر جریان آب باشد که این حالت را در رودخانه‌نور می‌توان مشاهده کرد (Langerhans و Reznick، ۲۰۱۰). جمعیت رودخانه نور با عمق بدن و سر بیش‌تر که احتمالاً ناشی از یک تغییر ریختی به‌منظور افزایش قابلیت مانور سریع است و این ریخت در شنای مداوم به خصوص برای یافتن غذا در محل‌هایی با شدت جریان کم کارآمد است (Blake، ۱۹۸۳). تغییر در موقعیت باله مخرجی به‌طور قابل توجهی در کاهش یا افزایش طول ساقه دمی تاثیرگذار می‌باشد که خلفی بودن باله مخرجی در جمعیت رودخانه هرز را می‌توان چنان عنوان کرد که ماهیان این رودخانه از طریق ساقه دمی کوتاه نیروی بازدارنده بیش‌تری در مقابل جریان آب فراهم می‌کند (Langerhans و Reznick، ۲۰۱۰). از آن‌جاکه نتایج حاصل از آنالیز CVA براساس شکل بدن می‌باشد لذا تفاوت معنی‌داری از لحاظ شکل بدنی بین جمعیت‌های مورد مطالعه مشاهده شد هم‌چنین نتایج حاصل از آنالیز کلاستر نیز براساس نتایج حاصل از آنالیز PCA براساس شکل بدن می‌باشد. در صورتی‌که نتایج حاصل از آنالیز PCA براساس تجزیه به مولفه‌های اصلی صورت می‌گیرد و جدایی بین جمعیت‌ها نیز براساس مولفه‌هایی صورت می‌گیرد که بیش‌ترین نقش را در تفکیک جمعیت‌ها دارند. Mouludi-Saleh و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه خود بر روی ریخت‌سنجی هندسی ماهی سفیدرودخانه‌ای (*Squalius namak*) در رودخانه‌های جاجرود، قم‌رود و غیره چه حوضه نمک تفاوت معنی‌داری در جمعیت‌های مورد مطالعه مشاهده نمودند عمده این تفاوت‌ها مربوط به موقعیت دهان، اندازه سر و موقعیت باله مخرجی و سینه‌ای بود و ریخت‌سنجی هندسی توانست جمعیت‌های مورد مطالعه را تفکیک کند. رابطه بین ریخت و فرم بدنی در ماهیان در رابطه با اکولوژی شناخته شده و مطالعات متعددی در این راستا صورت گرفته است. ماهیان نسبت به متغیرهای محیطی حساسیت بالایی داشته و می‌توانند خود را با محیط سازگار کنند و شرایط فیزیولوژیکی بدنی



۵. **Andersson, J.; Frank, J. and Tony, S., 2005.** Interactions between predator-and diet-induced phenotypic changes in body shape of crucian carp. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 273, pp: 431-437.
۶. **Barlow, G.W., 1961.** Social behavior of the desert pupfish, *Cyprinodon macularius*, in the field and in the aquarium. *Amer. Midland. Natur.* Vol. 65, pp: 339-359.
۷. **Blake, R.W., 1983.** Fish locomotion. *Journal of Ichthyology*. Vol. 13, pp: 58-68.
۸. **Bookstein, F.L., 1991.** Morphometric tool for landmark data. Cambridge University Press, Cambridge. 435 p.
۹. **Cadrin, S.X., 2000.** Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. Vol. 10, pp: 91-112.
۱۰. **Caldecutt, W.J. and Adams D.C., 1989.** Morphometrics of trophic osteology in the threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Copeia*. Vol. 4, pp: 827-838.
۱۱. **Douglas, M.E.; Douglas, M.R.; Lynch, J.M. and McElroy, D. M., 2003.** Use of geometric morphometrics to differentiate *Gila* (Cyprinidae) within the upper Colorado River basin. *Copeia*. Vol. 2, pp: 389-400.
۱۲. **Esmaili, H.R.; Mehraban, H.; Abbasi, K.; Keivany, Y. and Coad, B., 2017.** Review and updated checklist of freshwater fishes of Iran: Taxonomy, distribution and conservation status. *Iranian Jof Ichthyology*. Vol. 4, pp: 1-114.
۱۳. **Hedgecock, D.; Hutchinson, E.S.; Li, G.; Sly, F.L. and Nelson, K., 1989.** Genetic and morphometric variation in the Pacific sardine *Sardinops sagax caerulea*: comparisons and contrasts with historical data & with variability in the northern anchovy *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* Vol. 87, pp: 653-671.
۱۴. **Keivany, Y. and Arab, M., 2017.** Geometric morphometric comparison of trout barb, *Capoeta trutta* (Teleostei: Cyprinidae) in the Tigris River basin. *Iranian Journal of Ichthyology*. Vol. 4, No. 4, pp: 220-230.
۱۵. **Keivany, Y.; Nasri, M.; Abbasi, K. and Abdoli, A., 2016.** Atlas of inland water fishes of Iran. Iran Department of Environment Press. 218 p.
۱۶. **Khaefi, R.; Esmaili, H.R.; Sayyadzadeh, G.; Geiger, M.F. and Freyhof, J., 2016.** *Squalius namak*, a new Chub from Lake Namak basin in Iran (Teleostei: Cyprinidae). *Zootaxa*. Vol. 4169, No. 1, pp: 145-159.
۱۷. **Klingenberg, C.P., 2011.** MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*. Vol. 11, pp: 353-357.
۱۸. **Marcus, L.F.; Corti, M.; Loy, A.; Naylor, G.J.P. and Slice, D.E., 1996.** Advances in Morphometrics. NATO Advanced Science Institute Series A. Life Sciences. 284 p.
۱۹. **Mouludi Saleh, A.; Keivany, Y. and Jalali, S.A.H., 2017.** Geometric Morphometric Comparison of Namak Chub (*Squalius namak*) in Rivers of Lake Namak Basin of Iran. *Research in Zoology*. Vol. 7, No. 1, pp: 1-6.
۲۰. **Reznick, D.N.; Shaw, F.H.; Rodd, F.H. and Shaw, R.G., 1990.** Experimentally induced life-history evolution in a natural population. *Nature*. Vol. 364, pp: 357-359.
۲۱. **Rohlf, F.J. and Marcus, L.F., 1993.** A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 8, No. 4, pp: 129-132.
۲۲. **Rüber, L. and Adams D.C., 2001.** Evolutionary convergence of body shape and trophic morphology in cichlids from Lake Tanganyika. *Journal of Evolutionary Biology*. Vol. 14, pp: 325-332.
۲۳. **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*. Vol. 7, pp: 801-819.
۲۴. **Schluter, D., 1993.** Adaptive radiation in sticklebacks: size, shape & habitat use efficiency. *Ecology*. Vol. 74, pp: 699-709.
۲۵. **Walker, J.A., 1997.** Ecological morphology of lacustrine threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* body shape. *Biological Journal of the Linnean Society*. Vol. 61, pp: 3-50.
۲۶. **Webb, P.W., 1984.** Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*. Vol. 24, pp: 107-120.
۲۷. **Wimberger, P.H., 1992.** Plasticity of fish body shape: the effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus*. *Biol J of the Linnean Soc.* Vol. 45, pp: 197-218.

خود را نسبت به اثرات تغییرات محیطی انطباق دهند (Cardrin, ۲۰۰۰). در توضیح علل به وجود آمدن تفاوت‌های ریختی میان جمعیت‌ها بسیار دشوار است. ولی اساساً بسیاری از گونه‌های ماهیان در زیستگاه‌های مختلف می‌توانند تفاوت‌های ریختی نشان دهند. به‌طور کلی ویژگی‌های ریختی تحت تاثیر و در هم‌کنش دو عامل شرایط محیطی و ژنتیکی می‌باشد (جعفری کناری و همکاران، ۱۳۹۴). تنوع‌پذیری ریختی همواره نمی‌تواند نشان‌دهنده تفاوت جمعیت‌ها از لحاظ ژنتیکی باشد (Hedgecock, ۱۹۸۹). از این رو پیشنهاد می‌شود جمعیت‌های این حوضه با روش‌های مولکولی و ژنتیکی نیز مورد بررسی قرار گیرند.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آقایان دکتر سالار درافشان، دکتر منوچهر نصری، مهندس سعید اسدالله، مهندس علی نظام‌الاسلامی و مهندس علی میرزایی جهت همکاری در نمونه‌برداری تشکر و قدردانی می‌گردد. از آقای مهندس مظاهر زمانی فرادنبه، مسئول موزه ماهی‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، نیز به‌خاطر کمک در کارهای آزمایشگاهی، سپاسگزاری می‌شود. هزینه‌های مالی اجرای این پژوهش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شده است.

## منابع

۱. جعفری کناری، س.؛ رحمانی، ح.؛ رحیمی، ق. و فرهادی، ا.، ۱۳۹۴. تعیین تنوع ریختی جمعیت‌های تالابی و رودخانه‌ای ماهی مخرج لوله‌ای (*Rhodeus amarus*) به‌دو روش سنتی و هندسی. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. سال ۳، شماره ۲، صفحات ۱۳ تا ۲۸.
۲. رضوی پور، پ.؛ ایگدری، س.؛ پروبافر، ه. و کیوانی، ی.، ۱۳۹۴. بررسی انعطاف‌پذیری ریختی سیاه‌ماهی توئینی *Capoeta damascina* در بخش ایرانی حوضه دجله با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله پژوهش‌های جانوری. سال ۲۸، شماره ۲، صفحات ۱۷۰ تا ۱۷۹.
۳. کیوانی، ی.؛ موسوی، س.م.ع.؛ درافشان، س. و زمانی فرادنبه، م.، ۱۳۹۵. تنوع مورفولوژیکی جمعیت‌های ماهی شاه کولی جنوبی *Alburnus mossulensis* در حوضه کارون. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. سال ۴، شماره ۱، صفحات ۸۷ تا ۱۰۴.
۴. زمانی فرادنبه، م.؛ ایگدری، س. و نصری، م.، ۱۳۹۳. مقایسه جمعیت‌های ماهی واسپی *Cabdio morar* در حوضه‌های ماشکیل و مکران براساس صفات شمارشی و ریخت‌سنجی هندسی. مجله علمی شیلات ایران. سال ۲۳، شماره ۲، صفحات ۵۷ تا ۶۹.

