

مقایسه جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای (*Squalius turcicus* De Filippi, 1865) در

بخش جنوب غربی حوضه خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی



عطا مولودی صالح و یزدان کیوانی*

ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۲

چکیده

بمنظور ریخت‌سنجی هندسی ماهی سفید رودخانه‌ای (*Squalius turcicus*) در بخش غرب و جنوب غربی حوضه خزر تعداد ۲۴۳ قطعه از رودخانه‌های قزل‌اوزن، کسما، پلنگ‌آبرود، تلوار، تنکابن، چالکرو، دیواندره، زلکی، زرین‌رود، سفیدرود و سفارود با استفاده از تور پره صید شد. 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 براساس روش ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۱۳ نقطه لندمارک با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دوبعدی تهیه‌شده از سمت چپ نمونه‌ها، تعریف و رقمی گردید. داده‌های رقمی پس از آنالیز پروکراست (GPA)، برای بررسی تنوع شکل بدنی با استفاده از آنالیزهایی چند متغیره از قبیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل همبستگی کانونی (CVA) و تحلیل خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند و نیز الگوهای تغییر شکل هر جمعیت نسبت به شکل اجماع در شبکه تغییر شکل مصورسازی گردید. نتایج تفاوت معناداری بین جمعیت‌های مورد مطالعه را نشان داد که عمده تفاوت‌های شکل بدنی در جمعیت‌های مورد مطالعه مربوط به موقعیت دهان، ارتفاع بدن، موقعیت باله‌های سینه‌ای و مخرجی و پشتی می‌باشد. تغییرات مشاهده‌شده احتمالاً در اثر سازگاری با زیستگاه ایجاد و باعث اشکال ریختی مختلف شده است.

واژه‌های کلیدی: لندمارک، ماهی‌شناسی، ریخت‌سنجی، آنالیز پروکراست

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۰۹۱۳۳۱۶۳۳۵۱، پست الکترونیکی: keivany@cc.iut.ac.ir

مقدمه

بهره‌برداری و مدیریت منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (۲۴). یکی از روش‌های مطالعه ماهیان، مطالعه ویژگی‌های ریختی، اعم از ریخت‌سنجی و شمارشی باهدف تعریف و شناسایی واحدهای جمعیتی در علم زیست‌شناسی از پیشینه تاریخی طولانی برخوردار است (۳). روش ریخت‌سنجی هندسی روشی مدرن نسبت به روش‌های سنتی می‌باشد که در آن داده‌های لندمارک پایه و خط سیر پیرامونی اطلاعات شکل ساختار زیستی را در قالب شکل استخراج می‌کند و به‌صورت گرافیکی به نمایش درمی‌آورد (۱)، همچنین تفسیر داده‌های این اشکال

ماهیان بیشترین گونه را در بین مهره‌داران داشته که همین امر سبب می‌شود که به آن‌ها اهمیت داده شود و بیشتر مورد مطالعه قرار گیرند. ماهیان هر ناحیه نماینده شرایط بوم‌شناختی محیط آبی آن ناحیه می‌باشند. برخی از این ماهیان از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت هستند. با شناخت این ماهیان می‌توان در زمینه بیوتکنیک مصنوعی از آن‌ها بهره‌جست و با تکثیر و پرورش مصنوعی آن‌ها از کاهش نسل جلوگیری کرد (۳).

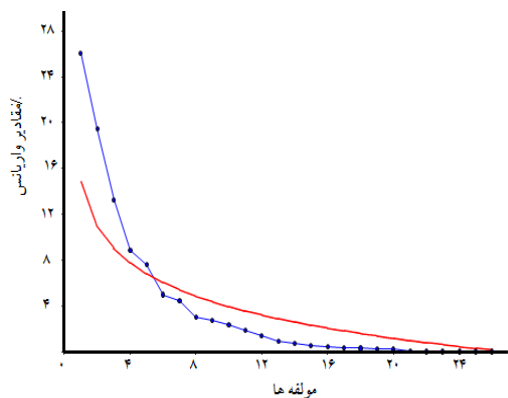
از این‌رو بررسی ماهیان در اکوسیستم‌های آبی از جهات مختلفی از جمله تکامل، رفتارشناسی، بوم‌شناسی،

و مقایسه ریخت‌سنجی جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در بخش غربی حوضه خزر به روش ریخت‌سنجی هندسی پرداخته است.

مواد و روشها

تعداد ۲۴۳ قطعه ماهی سفید رودخانه‌ای از یازده رودخانه قزل‌اوزن، کسما، پلنگ‌آبرود، تلوار، تنکابن، چالکرو، دیواندره، زلکی، زرین‌رود، سفیدرود و شفارود با استفاده از تور پره صید شد، نمونه‌ها پس از بیهوشی در محلول استاندارد گل میخک، در فرمالین بافری ۱۰ درصد تثبیت شدند و سپس برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند. این نمونه‌ها با شماره IUT-IM13880501-081-01، IUT-IM13890530-176-04، IUT-IM13880502-082، IUT-IM13890513-122-03، IUT-IM13890514-131-02، IUT-IM13890513-04، IUT-IM13880501-080-02، IUT-129-03، IUT-IM13880601-140-02، IUT-IM13890525-139-02، IUT-IM13890527-151-03 و IUT-IM13890525-138-03 ثبت شده‌اند. در آزمایشگاه از سمت چپ بدن با استفاده از دوربین دیجیتالی Canon با قدرت تفکیک ۸ مگاپیکسل عکس‌برداری شد. برای استخراج داده‌های شکل ریخت‌سنجی هندسی تعداد ۱۳ لندمارک با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دوبعدی قرار داده شدند (شکل ۱). برای روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست (GPA) بمنظور حذف تغییرات غیرشکل شامل اندازه، جهت و موقعیت صورت پذیرفت (۲۷). داده‌های حاصل از شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیزهای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل همبستگی کانونی (CVA) توسط نرم‌افزارهای Excel 2013، MorphoJ و PAST مورد تحلیل قرار گرفتند. مصورسازی تفاوت‌های شکل بدنی یازده جمعیت با یکدیگر با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ صورت پذیرفت.

و آنالیز آماری آن‌ها آسان‌تر می‌باشد (۶). ویژگی‌های ریختی ماهیان نسبت به شرایط محیطی حساسیت بالایی دارند تا جایی که از عوامل محیطی به‌عنوان نیرویی قدرتمند در شکل‌دهی ریخت موجودات در طی فرآیند تکامل یاد شده است (۱۲). فون ماهیان آب شیرین ایران شامل ۲۸۸ گونه است که در ۲۸ خانواده و ۱۰۷ جنس قرار می‌گیرند. راسته Cypriniformes با حداقل ۱۷۱ گونه، دارای بیشترین تنوع در میان ماهیان آب‌های داخلی ایران می‌باشد (۱۴). گونه ماهی سفید رودخانه‌ای قبل از انتشار فهرست گونه‌ای، در ایران بانام علمی Linnaeus, 1758 *Squalius cephalus* شناخته شده بود. پراکنش آن در نیمه شمالی ایران و در تمام حوضه آبریز دریای خزر و دریای آرال بود (۱۵)، این گونه در رودخانه ارس، حوضه دریاچه نمک، حوضه دریاچه ارومیه، دریاچه زریوار کردستان و نیز رودخانه‌های دجله و کارون پراکنش داشتند (۸ و ۱۷). بر اساس آخرین فهرست گونه‌ای منتشر شده پراکنش گونه‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در حوضه‌های آبی ایران دچار تغییراتی در اسامی علمی شده است به طوری که گونه *Squalius turcicus* (حوضه ارومیه و خزر)، *Squalius berak* و *Squalius lepidus* (حوضه تیگره و فرات) (۱۴) و گونه *Squalius namak* (۱۹) مربوط به حوضه نمک گزارش شده است. گونه‌های جنس *Squalius* در قسمت‌های فوقانی و میانی رودخانه‌ها (پایین‌تر از محل زیست ماهی قزل‌آلای خال قرمز) با آب نسبتاً خنک با بستر قلوه‌سنگی به سر می‌برد. رشد این ماهی در دریاچه‌ها بیشتر می‌باشد. این گونه‌ها به صورت دسته‌جمعی در رودخانه‌هایی که دارای جریان سریع هستند، زیست می‌کنند. در دوران لاروی از زئوپلانکتون‌ها و سپس از حشرات آبی تغذیه می‌کنند. به‌طور کلی می‌توان گفت که ریخت‌سنجی هندسی می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی برای شناسایی، تفکیک یا نشان دادن هم‌پوشانی فنوتیپی جمعیت‌های مختلف ماهیان و مطالعه سیستماتیک مورد استفاده قرار گیرد (۳). مطالعه در حال حاضر به بررسی



شکل ۲- نمودار scree plot تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمایش خط برش جولیف (خط قرمز رنگ) که نشان‌دهنده مرز مؤلفه‌های اصلی معنادار است.



شکل ۱ - لندمارک‌های تعیین‌شده برای استخراج شکل بدن ماهی سفید رودخانه‌ای: ۱- ابتدایی‌ترین 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- انتهایی‌ترین نقطه بالای سر، ۶- انتهایی‌ترین لبه سرپوش آبششی، ۷- ابتدایی‌ترین قسمت باله سینه‌ای، ۸- ابتدای پایه باله پشتی، ۹- انتهای پایه باله پشتی، ۱۰- ابتدای پایه باله منخرجی، ۱۱- انتهای پایه باله منخرجی، ۱۲- لبه بالایی قاعده باله دم، ۱۳- لبه پایینی قاعده باله دم.

نتایج

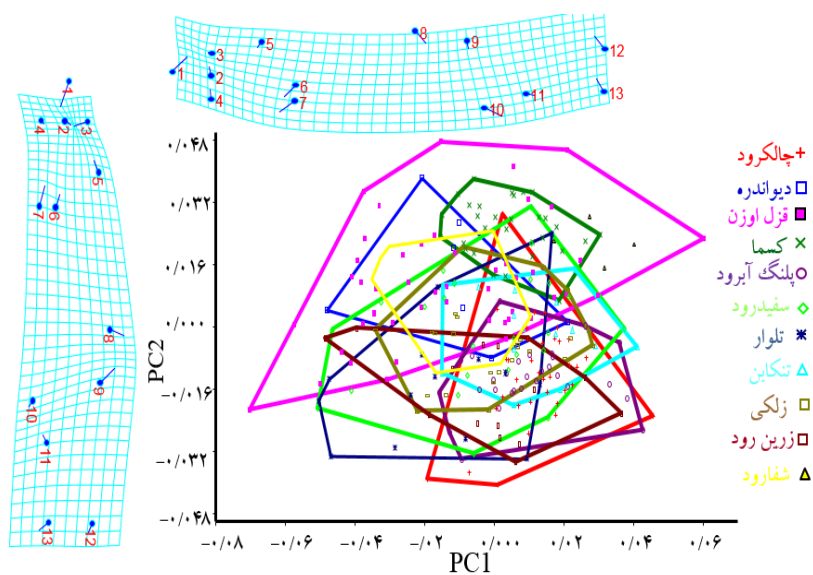
مطابق نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، پنج مؤلفه اصلی اول که بالاتر از خط برش جولیف قرار داشتند، به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی تفکیک‌کننده جمعیت‌ها انتخاب شدند (شکل ۲). این پنج مؤلفه در مجموع ۷۵/۲۱ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند (جدول ۱). نحوه توزیع جمعیت‌های مورد مطالعه در دو جهت محور اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شکل ۳ آمده است. طبق نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بین جمعیت‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری دیده می‌شود که از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به تفاوت بین جمعیت‌های رودخانه‌های کسما با پلنگ‌آبرود زرین‌رود اشاره کرد. در کل هم‌پوشانی بین سایر جمعیت‌ها دیده می‌شود. تغییرات شکل بدنی جمعیت‌ها در طول دو محور اصلی اول نشان داده شده است. تغییرات شکل بدنی در طول راستای مؤلفه اصلی اول شامل تغییرات در موقعیت دهان و متمایل شدن به سمت پشتی، تغییر موقعیت چشم، تغییر در موقعیت باله منخرجی و کاهش عمق بدن و در طول محور مؤلفه اصلی دوم تغییرات در موقعیت دهان به سمت عقب، کاهش عمق سر، افزایش عمق بدن و تغییرات در ساقه دم می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر واریانس و مقادیر ویژه چهار مؤلفه اصلی اول تحلیل شکل بدن جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه

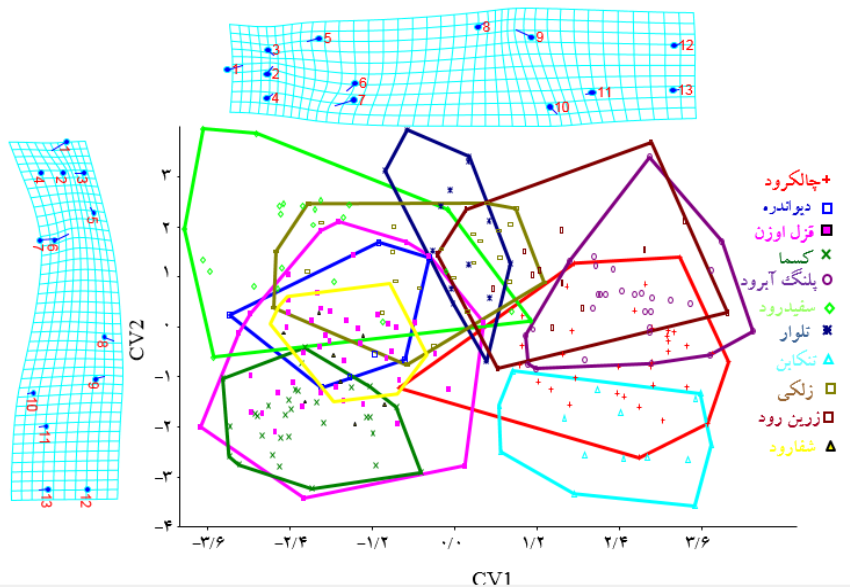
مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه (%)	واریانس
۱	۰/۰۰۰۴۴	۲۶/۰۳
۲	۰/۰۰۰۳۳	۱۹/۴۵
۳	۰/۰۰۰۲۲	۱۳/۲۴
۴	۰/۰۰۰۱۵	۸/۸۷۱
۵	۰/۰۰۰۱۳	۷/۶۰۶
جمع		۷۵/۲۱

نتایج تحلیل همبستگی کانونی (CVA) جمعیت‌های مورد مطالعه، تفاوت معناداری بین جمعیت‌ها نشان داد (Wilks lambda=۰/۰۰۴۲۲، F=۷/۴۳ و P < ۰/۰۰۰۰۲). عمده این تفاوت‌ها بین جمعیت‌های رودخانه‌های تنکابن با تلوار، سفیدرود، کسما، قزل‌اوزن و زرین‌رود، همچنین کسما با سفارود و چالکرو، جمعیت رودخانه دیواندره با سفیدرود و چالکرو و جمعیت رودخانه پلنگ‌آبرود با تلوار و قزل‌اوزن می‌باشد. بین سایر جمعیت‌ها تا حدودی هم‌پوشانی دیده می‌شود (شکل ۴). همچنین نحوه پراکنش و تغییرات جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در دو جهت محور (CV1 و CV2) اصلی اول در شکل نشان داده شده است بر اساس شکل تغییرات مشاهده‌شده در شکل بدنی در جهت محور CV1 به‌صورت تغییرات موقعیت دهان، کاهش عمق سر، افزایش عمق بدن و تغییرات در موقعیت باله دم و در جهت محور CV2 تغییرات به‌صورت

تغییرات در موقعیت دهان به سمت ناحیه شکمی، کاهش عمق سر و افزایش عمق بدن می‌باشد.



شکل ۳- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه در بخش غربی حوضه خزر.



شکل ۴- نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در بخش غربی حوضه خزر.

رودخانه کسما با قزل‌اوزن (۲/۶۳) همچنین بیشترین و کمترین فواصل پروکراست بترتیب بین جمعیت‌های رودخانه شفارود و دیواندره (۰/۰۵۳) و جمعیت‌های رودخانه سفیدرود و زلکی (۰/۰۱۵) می‌باشد.

فواصل مهالانوبیس و پروکراست به‌عنوان درجه تمایز بین جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است. براساس مقادیر به‌دست‌آمده بیشترین فاصله مهالانوبیس بین جمعیت‌های رودخانه دیواندره با تنکابن (۶/۷۰) و کمترین آن بین جمعیت‌های

جدول ۲- فواصل ماهالانوبیس شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در بخش غربی حوضه خزر.

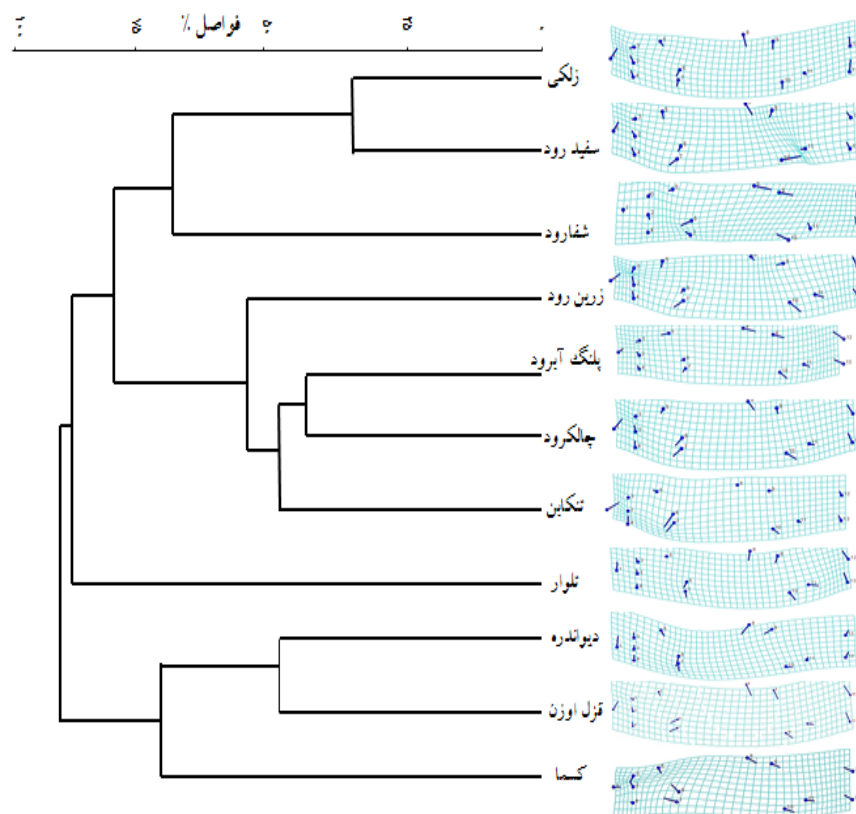
تلوار	تنکابن	زلکی	زرین رود	چالکروود	دیواندره	قزل اوزن	کسما	پلنگ‌آبرود	سفیدرود
	۵/۴۱								
تنکابن									
زلکی	۳/۵۹	۴/۷۲							
زرین رود	۳/۸۴	۴/۴۵	۳/۳						
چالکروود	۴/۰۶	۳/۲۳	۴/۱	۲/۸۹					
دیواندره	۵/۱۸	۶/۷۰	۵/۱۸	۴/۸۹	۵/۵۱				
قزل اوزن	۳/۹۲	۴/۷۶	۲/۹۷	۴/۱۹	۴/۵۳	۳/۹۱			
کسما	۵/۲۱	۴/۹۳	۳/۹۲	۵/۳۶	۴/۹۶	۲/۶۳	۴/۹۸		
پلنگ‌آبرود	۴/۰۸	۳/۵۵	۳/۷۴	۲/۹۴	۳/۰۳	۴/۴۷	۵/۵۱		
سفیدرود	۴/۵۷	۵/۹۵	۳/۰۰	۴/۷۸	۵/۵۷	۳/۹۱	۴/۱۰	۶/۳	
شفارود	۵/۸۶	۷/۱۳	۴/۰۳	۵/۸۱	۶/۲۹	۶/۲۷	۴/۷۸	۴/۷۰	۵/۲۰

جدول ۳- فواصل پروکراست شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای در بخش غربی حوضه خزر.

تلوار	تنکابن	زلکی	زرین رود	چالکروود	دیواندره	قزل اوزن	کسما	پلنگ‌آبرود	سفیدرود
	۰/۰۴۳								
تنکابن									
زلکی	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸							
زرین رود	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۲						
چالکروود	۰/۰۳۶	۰/۰۲۱	۰/۰۳۰	۰/۰۲۱					
دیواندره	۰/۰۳۳	۰/۰۴۲	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۴۲				
قزل اوزن	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۰				
کسما	۰/۰۴۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰	۰/۰۲۵				
پلنگ‌آبرود	۰/۰۳۶	۰/۰۱۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۴۳	۰/۰۳۶	۰/۰۴۲		
سفیدرود	۰/۰۳۶	۰/۰۳۵	۰/۰۱۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵	۰/۰۳۲	
شفارود	۰/۰۴۷	۰/۰۴۲	۰/۰۲۷	۰/۰۳۸	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۶	۰/۰۳۹	۰/۰۳۱

دسته با سایر جمعیت‌ها نیز جمعیت رودخانه تلوار می‌باشد 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 ۵).

تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه در شکل ۵ آمده است. ضریب کوپرنیک تحلیل خوشه‌ای ۰/۷۱۲۶ محاسبه شده است. مطابق نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه، جمعیت‌های کسما، قزل اوزن و دیواندره در یک دسته قرار گرفتند و بیشترین تمایز را با سایر جمعیت‌ها دارند. حد واسط بین جمعیت‌های این



شکل ۵- آنالیز خوشه‌ای شکل بدن یازده جمعیت ماهی سفید رودخانه‌ای مورد مطالعه در بخش غربی حوضه خزر (ابتدای هر نقطه لندهمارک نشان‌دهنده شکل اجماع می‌باشد).

موقعیت لندهمارک‌های ۸ و ۹، باله سینه‌ای تا حدودی خلفی (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۶ و ۷)، عمق بدن کم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۱۰ و ۱۱) و کاهش عرض ساقه دم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۱۲ و ۱۳)، افراد جمعیت رودخانه زرین رود دارای سر فشرده‌تر با عمق کم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۱، ۲، ۳ و ۵)، عمق بدن بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های و قاعده باله پشتی تا حدودی کم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۸ و ۹) و باله مخرجی تا حدودی خلفی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۱۰ و ۱۱)، افراد جمعیت رودخانه پلنگ‌آبرود دارای عمق سر کم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۳ و ۵) و کاهش طول ساقه دم (مربوط به تغییر موقعیت

افراد جمعیت رودخانه زلکی دارای پوزه کشیده‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک ۱)، دارای عمق سر کم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۲ و ۳)، باله سینه‌ای تا حدودی قدامی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۶ و ۷) و عمق بدن کم (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۸ و ۹)، افراد جمعیت رودخانه سفیدرود با رودخانه زلکی در یک زیرشاخه قرار گرفتند که از لحاظ شکل بدنی نزدیک می‌باشند. افراد این رودخانه نیز دارای عمق سر تا حدودی زیاد (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۲ و ۴)، طول ساقه دم کم (مربوط به جابه‌جایی باله مخرجی به سمت انتهایی بدن (تغییر لندهمارک‌های ۸ و ۹)، افراد جمعیت رودخانه سفارود دارای عمق سر زیاد (مربوط به تغییر موقعیت لندهمارک‌های ۲ و ۳)، باله پشتی تا حدودی قدامی‌تر (مربوط به تغییر

لندمارک‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱)، افراد جمعیت چالکروود که با جمعیت رودخانه پلنگ‌آبرود در یک زیرشاخه قرار گرفتند تا حدودی از لحاظ شکل بدنی به یکدیگر نزدیک می‌باشند. افراد جمعیت رودخانه تنکابن دارای دهان تا حدودی شکمی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱)، عمق بدن بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱) و باله مخرجی قدامی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱)، افراد جمعیت رودخانه تلوار دارای بدنی کشیده، دهان در موقعیت شکمی (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱)، عمق سر کم‌تر و فشردگی (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۲ و ۳)، باله سینه‌ای خلفی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۶ و ۷)، عمق بدن کمتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۹) و عرض ساقه دمی کمتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۱۲ و ۱۳)، افراد جمعیت رودخانه دیواندره دارای بدنی کشیده‌تر، عمق سر کم (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۲، ۴ و ۵) و عمق بدن کمتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۹) و افزایش طول ساقه دمی (مربوط به جابه‌جایی به سمت جلو قاعده باله پستی) (تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۹)، افراد جمعیت قزل‌اوزن نیز با جمعیت رودخانه دیواندره در یک زیرشاخه قرار گرفتند و می‌توان گفت که از لحاظ موقعیت قرار گرفتن باله‌ها تا حدودی به هم نزدیک اما جمعیت رودخانه قزل‌اوزن دارای بدنی با عمق سر بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۲، ۳ و ۴)، عمق بدن بیشتر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸ و ۹) و در نهایت افراد جمعیت رودخانه کسما دارای دهان در وسط (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک ۱)، سر کم‌عمق و فشردگی‌تر (مربوط به تغییر موقعیت لندمارک‌های ۲، ۳، ۴ و ۵) و کاهش طول ساقه دمی در اثر حرکت قاعده باله‌های پستی و مخرجی (تغییر موقعیت لندمارک‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

جمعیت‌های ماهیان در زیستگاه‌های مختلف تحت تأثیر شرایط و فاکتورهای محیطی می‌توانند اشکال مختلف ریختی را از خود نشان دهند (۲۲). صفات ریخت‌شناسی در ماهیان نسبت به سایر مهره‌داران بیشتر دچار تغییرات درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای می‌شود و نسبت به تغییرات ناشی از محیط حساسیت بیشتری را نشان می‌دهند (۲۷). در گذشته تصور می‌شد که تغییرات ریختی صرفاً منشأ ژنتیکی دارد، اما امروزه مشخص شده که تغییرات محیطی نیز در کنار عوامل ژنتیکی در تغییرات ریختی تأثیرگذار می‌باشد، به این ترتیب نقش محیط به‌عنوان عامل اصلی تغییرات ریختی به اثبات رسیده است (۲۸، ۲۹). مطالعه تنوع‌پذیری در ویژگی‌های بوم‌شناختی و ریخت‌شناسی جمعیت‌های یک‌گونه 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 (۴). در بسیاری از مطالعات انجام‌شده در زمینه بررسی ارتباط شکل بدنی با فاکتورهای زیستگاهی، سازگاری به زیستگاه‌های دارای شرایط متفاوت بدلیل تفاوت شکل بدن بیان شده است (۲۶). انعطاف‌پذیری ریختی در ماهیان اغلب در ویژگی‌های مربوط به شکل بدن و در پاسخ به تغییرات محیطی، رفتاری و فیزیولوژیکی مشاهده می‌شود (۱۶). عوامل محیطی، بر چگونگی زیست ماهی در اکوسیستم‌های آبی نقش انکارناپذیری دارند (۲).

در مطالعه حاضر نیز شکل بدنی جمعیت‌های مختلف تهیه‌شده از زیستگاه و رودخانه‌های مختلف، تفاوت‌هایی را نمایش داده‌اند. نتایج همچنین تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال پیشرفت شکل بدن جمعیت‌های مختلف ماهی سفید رودخانه‌ای را تحت تأثیر شرایط محیطی محل زیست نشان داده است و نشان می‌دهد که ویژگی‌های زیستگاهی در کنار فاکتور جدایی جغرافیایی از عوامل تعیین‌کننده تغییرات تکاملی که منجر به تغییر ویژگی‌های ریختی ماهیان ساکن در آن زیستگاه می‌شود، هستند.

شدت جریان کم کارآمد است (۹). در ماهیان دارای شنای سریع خلفی بودن باله پشتی نیز به اثبات رسیده است (۲۳) در صورتی که این صفت را بتوان ایجاد حالتی که منجر به کاهش اصطکاک می‌گردد، عنوان کرد خلفی بودن باله پشتی در جمعیت متعلق به رودخانه‌های زیرین رود و سفارود را می‌توان عاملی برای جلوگیری از شسته شدن در مقابل شدت جریان آب تلقی نمود.

کوچک بودن جثه و فرم بدنی کشیده‌تر نیز در ماهیان ساکن رودخانه‌هایی با شدت جریان بیشتر در مقابل آب‌های ساکن که جریان کمتری دارد به اثبات رسیده است (۲۵). همچنین قدیمی بودن باله سینه‌ای در جمعیت‌های رودخانه زلکی و سفیدرود ممکن است برای افزایش مانور برای مقابله با مسیر جریان آب باشد (۲۰) آبیانی که در شرایط محیطی متغیر قرار می‌گیرند تغییرات مورفومتریکی و ظاهری بسیاری را از خود نشان می‌دهند (۵). با توجه به اهمیت حفظ ذخایر ژنتیکی گونه‌های بومی و با توجه به یافته‌های علمی این بررسی پیشنهاد می‌گردد که مطالعات ژنتیکی این گونه انجام شود تا بتوان قضاوت درست‌تری در مورد این گونه در زیستگاه‌های مختلف انجام داد.

سپاسگزاری

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 می‌نماییم. از آقای مهندس مظاهر زمانی فرادنبه، مسئول موزه ماهی‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، نیز به خاطر کمک در کارهای آزمایشگاهی، سپاسگزاری می‌شود. هزینه‌های مالی اجرای این پژوهش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شده است.

تغییرات و تفاوت‌های شکل بدنی در موجودات اگر بتواند به صورت یک عملکرد و به‌عنوان نتیجه سازگاری ترجمه گردد، مهم تلقی می‌گردند. در اکوسیستم‌های آبی چنین سازگاری‌هایی در نتیجه نیاز به سازش با نیروهای هیدرودینامیکی برای حفظ انرژی در طی رفتارهای زیستی مرتبط می‌گردد (۲۴ و ۳۰). تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مورد مطالعه به‌طور عمده مربوط به ویژگی‌های سر، ارتفاع بدن و ساقه دمی به همراه موقعیت باله‌های مخرجی و پشتی بود که می‌تواند یک ارتباطی با شرایط هیدرولیک و رژیم غذایی جمعیت‌ها داشته باشد (۱۱ و ۱۸). تغییر در شکل سر به‌طور غیرمستقیم به واسطه تغییرات در عمل جستجوی غذا می‌باشد و این تغییرات شکل القاء شده بر بازده عمل جستجو غذا تأثیر می‌گذارد (۲۱). برای مثال موقعیت شکمی دهان در دو جمعیت تنکابن و زلکی می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که افراد این دو رودخانه از قسمت‌های عمیق‌تر تغذیه می‌کنند. از صفات ریختی مهمی که تحت تأثیر شرایط زیست‌محیطی رودخانه‌ها قرار می‌گیرند شکل بدن و فرم باله‌ها می‌باشند (۱۳). که با مطالعه و بررسی این صفات می‌توان شرایط حاکم بر زیستگاه را پیش‌بینی نمود (۱۰). بررسی الگوهای ریختی جمعیت‌های ماهی سفید رودخانه‌ای رودخانه‌های کسما، دیواندره، زلکی و تلوار نشان می‌دهد که اعضای این جمعیت دارای بدنی با ارتفاع کمتر هستند و این بدان معنی است که ماهی‌های این رودخانه با ایجاد ساختار دوکی و کشیده‌تر در مقابل حمل شدن به وسیله شدت جریان، سازگاری پیدا کرده‌اند (۷).

جمعیت رودخانه‌های تنکابن، چالکرود و سفیدرود 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 بخصوص برای یافتن غذا در محل‌هایی با

منابع

- ۱- حقیقی، ا.، ستاری، م.، درافشان، س.، کیوانی، ی.، و خوش‌خلق، م. ر.، ۱۳۹۲. ریخت‌سنجی مقایسه‌ای ماهی خیاطه (Cyprinidae: *Alburnoides eichwaldii*)، در رودخانه‌های گرگان رود و چالوس با استفاده از سیستم شبکه‌ای ترانس. نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، (۱) ۱، صفحات ۴۱-۵۲.
- ۲- رحمانی، ح.، عبدالله‌پور، ز.، و جولاده‌رودبار، آ.، ۱۳۹۶. بررسی دوشکلی جنسی گاو ماهی کورایی *Ponticola cyrius* در رودخانه تنجن با استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی سنتی و هندسی، مجله پژوهش‌های جانوری، ۱ (۳۰)، صفحات ۸۵-۷۳.
- ۳- قربانی رنجبری، ز.، ۱۳۹۵. مقایسه ریخت‌سنجی هندسی جمعیت‌های سبیل ماهی بین‌النهرین
- ۴- کیوانی، ی.، موسوی، م. ع.، درافشان، س.، و زمانی فرادنبه، م.، ۱۳۹۵. تنوع مورفولوژیکی جمعیت‌های ماهی شاه کولی جنوبی *Alburnus mossulensis* Heckel, 1843 در حوضه کارون. نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، (۱) ۴، صفحات ۱۰۴-۸۷.
- ۵- هدایتی، ع. ا.، جعفری، ا.، نصری، م.، و غفاری فارسانی، ح.، ۱۳۹۴. رابطه طول-وزن و مقایسه برخی ویژگی‌های ریختی ماهی گورخری زاگرس *Aphanius vladkovi* Coad, 1988 (شعاع بالگان: کپور ماهیان دندان دار) در سرشاخه‌های رودخانه کارون در استان چهارمحال و بختیاری، مجله پژوهش‌های جانوری، (۴) ۲۸، صفحات ۴۹۵-۵۰۷.
- 6- Adams, D. C., Rohlf, F. J., and Slice, D. E., 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. Italian Journal of Zoology, 71(1), PP: 5-16.
- 7- Barlow, G. W., 1961. Social behavior of the desert pupfish, *Cyprinodon macularius*, in the field and in the aquarium. American Midland Naturalist, 65, PP: 339-359.
- 8- Berg, L. S., 1949. Presnovodnye ryby Irana in sopredel'nykh stran [Freshwater fishes of Iran and adjacent countries]. Trudy Zoologicheskogo Instituta Akademii Nauk SSSR, 8, PP: 783-858.
- 9- Blake, R. W., 1983. Fish locomotion. Journal of Ichthyology, 13, PP: 58-68.
- 10- Chan, M. D., 2001. Fish ecomorphology: predicting habitat preferences of stream fishes from their body shape. Ph.D. thesis in fisheries and wildlife sciences at the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 252p.
- 11- Chapman, L. J., Albert, J., and Galis, F., 2008. Developmental plasticity, genetic differentiation, and hypoxia-induced trade-offs in an African cichlid fish. The Open Evolution Journal, 2, PP: 75-88.
- 12- Costa, C., and Cataudella, S., 2007. Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian Sea). Environmental Biology of Fishes, 78, PP: 115-123.
- 13- Douglas, M. E., and Matthews, W. J., 1992. Does morphology predict ecology? Hypothesis testing within a freshwater stream fish assemblage. Oikos, 65, PP: 213-224.
- 14- Esmaili, H. R., Mehraban, H., Abbasi, K., Keivany, Y., and Coad, B., 2017. Review and updated check list of freshwater fishes of Iran: Taxonomy, distribution and conservation status. Iranian Journal of Ichthyology 4(Suppl), PP: 1-114.
- 15- Freyhof, J., and Kottelat, M., 2007. *Alburnus vistonius*, a new species of shemaya from eastern Greece, with remarks on *Chalcalburnus chalcoides macedonicus* from Lake Volvi (Teleostei: Cyprinidae). Ichthyological Exploration of Freshwaters, 18(3), PP: 205-212.
- 16- Ghanbarifardi, M., Aliabadian, M., Esmaili, H. R., and Polgar, G., 2014. Morphological divergence in the Walton's Mudskipper, *Periophthalmus waltoni* Koumans, 1941, from the Persian Gulf and Gulf of Oman (Gobioidei: Gobiidae). Zoology in the Middle East, 60(2), PP: 133-143.
- 17- Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K., and Abdoli, A., 2016. Atlas of inland water fishes of Iran. Iran Department of Environment Press. 218 p.
- 18- Kerfoot, J. R., and Schaefer, J. F., 2006. Ecomorphology and habitat utilization of *Cottus* species. Environmental Biology of Fishes, 76(1), PP: 1-13.
- 19- 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*, 4169(1), PP: 145-159.
- 20- Langerhans, R. B., and Reznick, D. N., 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. *Fish locomotion: an eco-ethological perspective*, PP: 200-248.
- 21- Langerhans, R. B., Layman, C. A., Langerhans, A. K., and DeWitt, T. J., 2003. Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological Journal of Linnean Society*, 80, PP: 689-698.
- 22- Moulodi-Saleh, A., Keivany, Y., and Jalali, S. A. H., Comparison of meristic traits in Transcaucasian chub (*Squalius turcicus* De Filippi, 1865) from Caspian Sea basin. *International Journal of Aquatic Biology*, 6(1), PP: 8-14
- 23- 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, *Glossogobius giuris* (Hamilton and Buchanan). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 5(1), PP: 44-51.
- 24- Nelson, J. S., Grande, T. C., and Wilson, M. V., 2016. *Fishes of the World*. John Wiley & Sons. 707p.
- 25- Paez, D. J., Hedger, R., Bernatchez, L., and Dodson, J. J., 2008. The morphological plastic response to water current velocity varies with age and sexual state in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology*, 53(8), PP: 1544-1554.
- 26- Robinson, B. W., and Wilson, D. S., 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. *The American Naturalist*, 144(4), PP: 596-627.
- 27- Smith, T. B., and Skulason, S., 1996. Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 27, PP: 111-133.
- 28- Tudela, S., 1999. Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European anchovy, *Engraulis encrasicolus*. *Fisheries Research*, 42(3), PP: 229-243.
- 29- Turan, C., 1999. A note on the examination of morphometric differentiation among fish populations: the truss system. *Turkish Journal of Zoology*, 23(3), PP: 259-264.
- 30- Vogel, S., 1994. *Life in moving fluids: the physical biology of flow*. Princeton University Press, 466p.

Comparison of Transcaucasian Chub (*Squalius turcicus* De Filippi, 1865) populations in south-western Caspian Sea basin using geometric morphometric method

Mouludi-Saleh A. and Keivany Y.

Dept. of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. of Iran

Abstract

For geometric morphometric comparison of Transcaucasian Chub, *Squalius turcicus* in Ghezel-Ozan, Kasma, Palangabrud, Talvar, Tonekabon, Chalakrud, Divandareh, Zalkie, Zarinrud, Sefiedrud and Shafarud and Noor rivers of south-western Caspian Sea basin, 243 specimens were caught by a seine nets. After anesthetizing in 1% clove oil solution and fixing in 10% neutralized formalin, specimens were transferred to the Isfahan University of Technology Ichthyology Museum (IUT-IM) for further studies. To study the variation of body shape based on geometric morphometric methods, 13 landmarks were defined on the two-dimensional images taken from the left side of samples using the TpsDig2 software. After Procrustes analysis (GPA), digitized data were analyzed using multivariate analyses such as principal component analysis (PCA), canonical correlation analysis (CVA) and cluster analysis, also, network deformation changing configuration patterns of population compared to form of the consensus by visualization. Results showed significant differences between the populations studied. The major differences in body shape of the studied populations were related to the head and body depth, and position of the pectoral, anal and dorsal fins. The observed changes are due to adaptation to the habitat, which has been influenced by different habitat conditions and has shown different body shapes.

Key words: Landmark, Ichthyology, Morphometric, Procrustes analysis.