

مقایسه ویژگی‌های شکل بدن جمعیت‌های سس ماهی کورا (*Barbus lacerta*, Heckel 1834) در سه حوضه خزر، دجله و ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

- **عاطفه جمالی‌آشتیانی:** دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، گروه زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، تهران، ایران
- **سهیل ایگدری*:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ۳۸۸۱۶
- **نعمت‌الله خراسانی:** گروه تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵
- **مظاهر زمانی فرادنبه:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ۳۸۸۱۶

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۳

چکیده

مطالعه تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های مختلف یک گونه می‌تواند به درک فرآیند تکامل در حال وقوع آن‌ها کمک نماید. این تحقیق با هدف مقایسه ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های سس ماهی کورا (*Barbus lacerta*, Heckel 1834) در سه حوضه خزر، دجله و ارومیه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک - پایه به اجرا درآمد. برای این منظور تعداد ۱۶۰ قطعه سس‌ماهی کورا از سه حوضه مورد مطالعه نمونه‌برداری شدند. پس از استخراج داده‌های شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی، داده‌های لندمارک حاصل بعد از آنالیز پروکراست (روی هم‌گذاری)، توسط تحلیل‌های آماری چند متغیره PCA و CVA با ارزش p حاصل از Permutation test و آنالیز خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. الگوهای تغییر شکل هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل جمعیت‌ها در شبکه تغییر شکل مصورسازی گردید. نتایج نشان داد از نظر شکل بدن تفاوت معنی‌داری بین جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد ($P < 0.001$). براساس الگوی جابجایی نقاط لندمارک و مقایسه الگوی شکل بدن هر جمعیت با شکل میانگین جمعیت‌ها، اعضای جمعیت رودخانه طالقان دارای سری با عمق کم‌تر و درازتر، بدنی کم‌عمق‌تر بودند. نمونه‌های جمعیت توتکابن نیز دارای سر کوتاه، بدنی کمی عمیق‌تر، باله مخرجی خلفی‌تر بودند. اعضای جمعیت رودخانه کلورز نیز دارای سری پهن‌تر و درازتر، بدنی اندکی مرتفع بودند. نمونه‌های رودخانه حمیل دارای سری دراز و عمیق، بدنی عمیق و ساقه دم کوتاه و کم عمق بودند. نمونه‌های رودخانه زرینه‌رود دارای سری کوچک و کم عمق، باله پشتی قدامی‌تر بودند. براساس نتایج تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های رودخانه توتکابن، کلورز، طالقان (مربوط به حوضه خزر) در یک شاخه قرار گرفتند و جمعیت رودخانه حمیل (مربوط به حوضه دجله) کاملاً در یک گروه مجزا قرار گرفت.

کلمات کلیدی: تنوع ریختی، ریخت‌سنجی هندسی، سس‌ماهی کورا، حوضه‌های داخلی



مقدمه

جمعیت‌های مختلف یک گونه ساکن در زیستگاه‌های مختلف تحت تأثیر فشارهای انتخابی می‌توانند تفاوت‌های ریختی را به‌عنوان شایستگی مفید، به نمایش بگذارند (Torres-Dowdall و همکاران، ۲۰۱۲؛ Chapman و همکاران، ۲۰۰۸). درک علل واگرایی ریختی در بین جمعیت‌های طبیعی یک گونه از جمله مهمترین اهداف مطالعات بوم‌شناسی تکاملی می‌باشد (Torres-Dowdall و همکاران، ۲۰۱۲) و گام اول در این مسیر، شناخت تفاوت‌های موجود بین جمعیت‌ها می‌باشد. در این بین ماهیان به‌عنوان موفق‌ترین مهره‌داران، زیستگاه‌های متنوعی را اشغال کرده‌اند و از این‌رو گوناگونی آن‌ها از مهره‌داران خشکی بیش‌تر است. این امر به‌واسطه توانایی بالای آن‌ها در انعطاف‌پذیری ریختی به‌منظور سازگاری با محیط زیستشان می‌تواند باشد (Kerfoot و Schaefer، ۲۰۰۶).

شکل بدن یک ماهی می‌تواند منعکس‌کننده جنبه‌های مختلف زیست‌شناسی از جمله کارایی تغذیه، تحرک، صید و صیادی باشد (Guill و همکاران، ۲۰۰۳). به‌علاوه، شکل بدن از جمله شاخص‌های مهم برای رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه در ماهیان محسوب می‌گردد (Webb، ۱۹۸۲). اگرچه مطالعات ریخت‌شناسی مشخص نمی‌کنند که تنوع ریختی بین جمعیت‌ها ناشی از انعطاف‌پذیری است یا تفاوت‌زایی ژنتیکی، اما اکثر محققان پیشنهاد می‌کنند که تفاوت‌های ریختی در آبزیان از جمله ماهی‌ها می‌تواند عمدتاً ناشی از انعطاف‌پذیری ریختی باشد (Erguden و همکاران، ۲۰۰۹؛ Wimberger، ۱۹۹۲). بنابراین شکل بدن ماهیان می‌تواند رابطه‌ای از تکامل به‌واسطه جدایی تولیدمثلی و شرایط بوم‌شناختی محیط باشد (Klingenberg و همکاران، ۲۰۰۳).

از جمله روش‌های تفکیک جمعیت‌های مختلف ماهیان، مطالعات ریخت‌سنجی می‌باشد (Wootton، ۱۹۹۰). ریخت‌سنجی علم مطالعه اندازه و شکل بدن موجودات زنده می‌باشد که در ابتداء به‌صورت سنتی با استفاده از اندازه‌گیری‌های فواصل خطی انجام می‌شد (Park و همکاران، ۲۰۱۳). امروزه دو تکنیک ریخت‌سنجی هندسی شامل روش‌های لندمارک پایه و خط سیر پیرامونی (Outline) به‌عنوان روش‌های نوین توسعه پیدا کرده و متداول می‌باشند (ایگدری و شفق، ۱۳۹۲؛ Heidari و همکاران، ۲۰۱۳؛ Benítez و همکاران، ۲۰۱۲). روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه روشی مبتنی بر مختصات لندمارک‌ها است که برای آنالیز تغییرات شکل نمونه‌های مورد مطالعه از مختصات

لندمارک‌ها به‌عنوان داده‌های شکل استفاده می‌نماید (Benítez و همکاران، ۲۰۱۲). تکنیک ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه می‌تواند تفاوت ریختی مربوط به جمعیت‌های مختلف ماهیان را با دقت بیش‌تری بررسی کند. این روش برای اهدافی هم‌چون تأثیر ویژگی‌های زیستگاه بر روی ریخت، پاسخ‌های انعطاف‌پذیری، شناسایی گونه‌ها و مطالعات ارزیابی ذخایر ماهیان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Demandt و Bergek، ۲۰۰۹؛ Walker، ۱۹۹۶).

سس ماهی کورا (*Barbus lacerta*, Heckel 1834) از جمله گونه‌های خانواده کپورماهیان ایران می‌باشد که در نواحی فوقانی و میانی رودخانه‌های با بستر سنگلاخی، با آبی دارای دامنه دمای ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت آبی بیش‌تر از ۱ متر بر ثانیه زیست کرده و از حشرات آبی تغذیه می‌کند (Coad، ۲۰۱۴؛ عبدلی، ۱۳۷۸). این ماهی به تعداد فراوان در بیش‌تر رودخانه‌های حوضه‌های محل پراکنش خود شامل حوضه‌های دریای خزر، حوضه دریاچه ارومیه و حوضه دجله یافت می‌شود (عبدلی، ۱۳۷۸). با توجه به پراکنش بالای این گونه در رودخانه‌های داخلی ایران، این پرسش مطرح است که ویژگی‌های ریختی این گونه در سه حوضه پراکنش آن‌ها چه تفاوت‌هایی از نظر شکل بدن دارد که بتوان آن‌ها را از یکدیگر متمایز نمود و بتوان به عنوان الگوی تمایز ریختی به‌واسطه تکامل در حال وقوع و یا تغییرپذیری ریختی مدنظر قرار گیرد. از این‌رو مطالعه حاضر به منظور بررسی تفاوت شکل بدن جمعیت‌های این گونه در سه حوضه خزر، دجله و ارومیه به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق می‌تواند به درک چگونگی روند تکاملی این گونه بین و درون حوضه‌های پراکنش آن کمک کند.

مواد و روش‌ها

جایگاه‌های نمونه‌برداری: طی فصل پاییز ۱۳۹۲، تعداد ۱۶۰ قطعه سس ماهی کورا از سه حوضه آب‌های داخلی خزر، دجله و ارومیه شامل ۴۰ قطعه از رودخانه طالقان (سرشاخه رودخانه سفیدرود- حوضه دریای خزر)، ۳۰ قطعه از رودخانه توتکابن (شاخه فرعی رودخانه سفیدرود- حوضه دریای خزر) و ۳۰ قطعه از رودخانه کلورز (شاخه فرعی رودخانه سفیدرود- حوضه دریای خزر)، ۳۰ قطعه از رودخانه حمیل (حوضه دجله) و ۳۰ قطعه از رودخانه زرینه‌رود (حوضه دریاچه ارومیه) با استفاده از الکتروشوکر (Samus Mp۷۵۰) نمونه‌برداری گردید. نمونه‌ها پس از بی‌هوشی در محلول یک درصد عصاره گل میخک، در محلول فرمالین بافوری ده درصد تثبیت و برای مطالعات



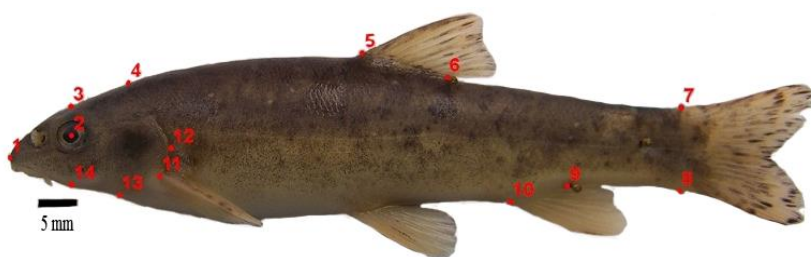
بررسی تفاوت‌های ریختی آن‌ها، با استفاده از تحلیل‌های تجزیه همبستگی کانونی (Canonical Variate Analysis) براساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت (Permutation test) با ده هزار بار تکرار و آنالیز خوشه‌ای با انتخاب الگوریتم Paired group و درجه تشابه Euclidean توسط نرم‌افزارهای PAST (نسخه ۲/۱۰) و MorphoJ (نسخه ۲/۱) مورد تحلیل قرار گرفتند. مصورسازی میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل (Consensus configuration) با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ به صورت شبکه تغییر شکل انجام شد. این مقایسه، براساس فاصله پروکراست است که سنجش استاندارد در بررسی تفاوت شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی است، می‌باشد (Rohlf, ۲۰۰۱). به منظور ارائه درجه تفاوت‌های مشاهده شده، براساس جایگاه تفاوت‌های مشاهده شده بر روی شبکه تغییر شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، فواصل طولی مهم با استفاده از نرم‌افزار ImageJ با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری و به صورت درصد از طول استاندارد بیان شدند. به علاوه برای حذف اثرات اندازه و استخراج داده‌های شکل این داده‌های طولی از فرمول آلومتریک $M_{adj} = M(L_s/L_0)^b$ استفاده شد (Elliot و همکاران، ۱۹۹۵) که در آن M : اندازه واقعی فاصله اندازه‌گیری شده، M_{adj} : اندازه اصلاح شده فاصله اندازه‌گیری شده، L_s : میانگین طول چنگالی کل نمونه‌ها، L_0 : طول چنگالی ماهی، b : شیب رگرسیون \log_m به \log_0 تمامی ماهیان در کل نمونه‌ها می‌باشد. این داده‌های طولی سپس آزمون چند متغیره MANOVA مورد مقایسه قرار گرفتند. تمام تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزارهای PAST/۱۷c (Hammer و همکاران، ۲۰۰۱) و MorphoJ/۰۲ (Klingenberg, ۲۰۱۱) انجام شد.

بعدی به آزمایشگاه تکوین و بیوسیستماتیک گروه شیلات دانشگاه تهران انتقال یافتند.

روش مورد مطالعه: به منظور استخراج داده‌های شکل در

روش ریخت‌سنجی هندسی، از نیم‌رخ چپ تمامی ماهیان با استفاده از دوربین دیجیتال (Kodak EasyShare Z650) با قدرت تفکیک‌پذیری ۶ مگاپیکسل نصب شده بر روی Copystand، عکس برداری گردید. به منظور حذف اثر رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های با طول استاندارد بیش از ۱۱۰ میلی‌متر انتخاب شد (حداقل طول در سن ۱ سالگی). تمامی نمونه‌های انتخاب شده فاقد بدشکلی غیرمعمول بودند. با توجه به این‌که مطالعات قبلی بر روی این گونه ویژگی‌های ریخت‌سنجی جنس‌های نر و ماده را بدون تفاوت بیان کرده بودند (گرجیان‌عربی، ۱۳۸۹). بنابراین نمونه‌ها براساس جنسیت از یکدیگر تفکیک نشدند. سپس تعداد ۱۴ لندمارک هم‌ساخت تعریف شده بر روی نمونه‌ها (Error! Reference source not found. ۱) با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 (Rohlf, ۲۰۰۱) رقمی‌سازی شدند.

داده‌های مختصات حاصل پس از بررسی میزان همبستگی آن‌ها با فواصل تانژانت در نرم‌افزار TpsSmall، براساس آنالیز پروکراست به منظور حذف تغییرات غیرشکلی (شامل اندازه، موقعیت و جهت) روی هم‌گذاری شدند (Zelditch و همکاران، ۲۰۱۲). به منظور یافتن متغیرهای فرضی (مؤلفه‌های اصلی) که حداکثر تغییرات و جنبه‌های تفاوت‌های شکلی احتمالی بین گروه‌های مورد مطالعه را نشان دهد، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. انتخاب مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار، براساس خط شکست و نقطه برش جولیف انجام شد (Jolliffe, ۲۰۰۲). به علاوه، داده‌های حاصل از جمعیت‌های مورد مطالعه به منظور



شکل ۱: لندمارک‌های تعیین شده بر روی نمونه ماهیان برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی

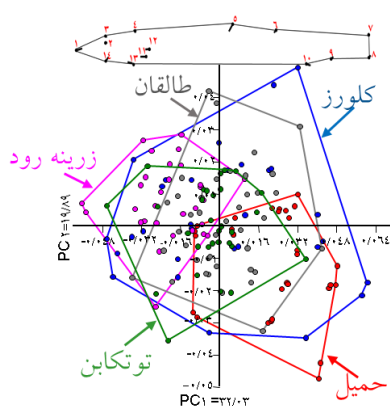
- ۱- جلوترین بخش فک بالا، ۲- مرکز حدقه چشم، ۳- محل تقاطع امتداد خط عمود بر لندمارک شماره ۲ در لبه بالای سر، ۴- انتهای سر یا ابتدای تنه، ۵- ابتدای قاعده باله پشتی، ۶- انتهای قاعده باله پشتی، ۷- لبه بالایی قاعده باله دم، ۸- لبه پایینی قاعده باله دم، ۹- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۰- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعده باله سینه‌ای، ۱۲- انتهای سرپوش آبششی، ۱۳- امتداد شکاف آبششی در سطح شکمی، ۱۴- محل تقاطع امتداد خط عمود بر لندمارک شماره ۲ در لبه پایینی سر



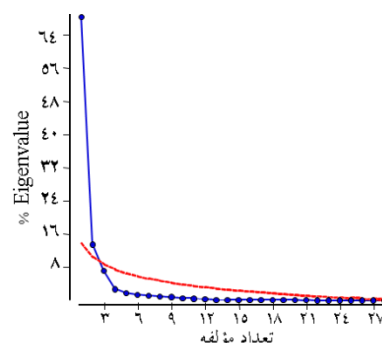
نتایج

(test) نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($P < 0.001$ و $f = 11.04$) بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۴). در این نمودار، جمعیت رودخانه حمیل (حوضه دجله) به واسطه ویژگی‌های ریختی به طور کامل از دیگر گروه‌ها جدا گردید (شکل ۳). فاصله Mahalanobis به عنوان درجه تمایز جمعیت‌های مورد مطالعه براساس ویژگی‌های شکل بدن در جدول ۱ آورده شده است.

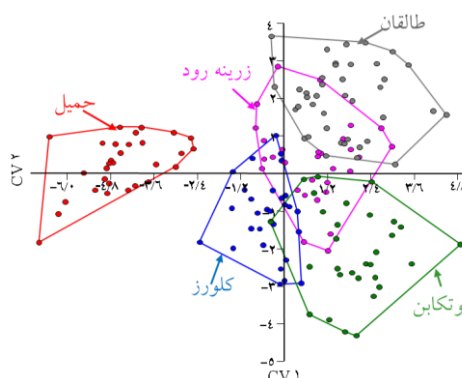
نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) دو عامل اول را که بالاتر از نقطه برش جولیف (۰/۰۰۲۹۴) قرار داشتند به عنوان عوامل اصلی تفکیک جمعیت‌ها انتخاب کرد (شکل ۲) که این دو مؤلفه در مجموع ۵۱/۹۲ درصد ($PC1 = 32/03$ و $PC2 = 19/89$) واریانس را به خود اختصاص می‌دادند. نحوه توزیع جمعیت‌های مورد مطالعه در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس دو مؤلفه اول در شکل ۳ آورده شده است. تحلیل همبستگی کانونیک (CVA) براساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت (Permutation)



شکل ۳: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن نمونه‌های جمعیت‌های سس ماهی کورا (*B. lacerta*) مورد مطالعه



شکل ۲: نمودار Screen plot تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمایش نقطه برش جولیف (خط نقطه چین) که نشان‌دهنده مرز مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار است



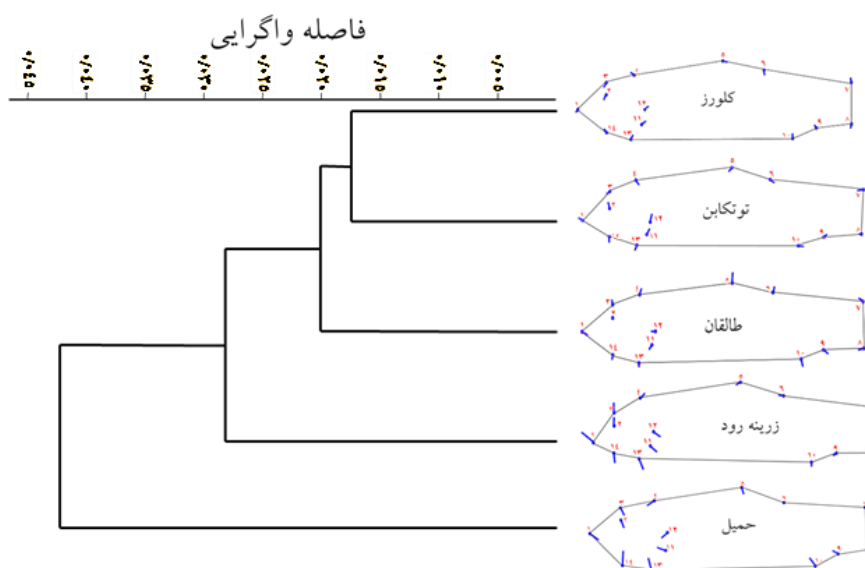
شکل ۴: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های سس ماهی کورا (*B. lacerta*) مورد مطالعه

جدول ۱: فواصل Mahalanobis شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های سس ماهی کورا (*B. lacerta*) مورد مطالعه

ایستگاه	توتکابن	کلورز	حمیل (دجله)
توتکابن	۴/۱۲۴		
کلورز	۳/۹۳۸	۳/۶۷۳	
زرینه رود	۳/۳۸۰	۳/۶۶۵	۳/۹۱۷
حمیل	۶/۴۳۹	۶/۱۸۴۱	۵/۷۴۷

به جایجایی لندمارک‌های ۵ و ۶ بودند. نمونه‌های رودخانه حمیل دارای سری دراز و عمیق (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۳، ۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۴)، بدنی عمیق (مربوط به جایجایی لندمارک شماره ۵) و ساقه دمی کوتاه و کم عمق (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۷ و ۸) بودند. در نهایت نمونه‌های رودخانه زربینه رود دارای سری کوچک و کم عمق (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۳، ۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۴)، باله پشتی قدامی تر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۵ و ۶) بودند. براساس نتایج تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های رودخانه توتکابن، کلورز، طالقان (مربوط به حوضه خزر) در یک شاخه قرار گرفتند و جمعیت رودخانه حمیل (مربوط به حوضه دجله) نیز کاملاً در یک گروه مجزا قرار گرفت و اعضای جمعیت رودخانه زربینه رود از نظر شکل بدن حدواسط جمعیت‌های حوضه خزر و دجله قرار داشتند (شکل ۵). ضریب کوپرنیک تحلیل خوشه‌ای ۰/۸۸۸۹ بود.

نتایج مصورسازی میانگین شکل بدن هر جمعیت نسبت به شکل اجماع جمعیت‌ها نشان داد که تفاوت‌های شکل بدن پنج جمعیت مورد مطالعه از الگوهای متنوعی تبعیت می‌کند (شکل ۵). براساس الگوی جایجایی نقاط لندمارک و مقایسه الگوی شکل بدن هر جمعیت با شکل اجماع یا میانگین جمعیت، اعضای جمعیت رودخانه طالقان دارای سری با عمق کم تر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های شماره ۶ و ۵)، سر درازتر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۱ و ۱۲)، بدنی کم عمق تر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۳، ۴، ۱۳ و ۱۴) بودند. نمونه‌های جمعیت توتکابن نیز دارای سر کوتاه (مربوط به جایجایی لندمارک شماره ۱)، بدنی کمی عمیق تر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۵ و ۶)، باله مخرجی خلفی تر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۹ و ۱۰) بودند. اعضای جمعیت رودخانه کلورز نیز دارای سری پهن تر و درازتر (مربوط به جایجایی لندمارک‌های ۱، ۳، ۴، ۱۲ و ۱۳)، بدنی اندکی مرتفع (مربوط



شکل ۵: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های سسی ماهی کورا (*B. lacerta*) (ابتدای خطوط برداری هر نقطه لندمارک نشان-دهنده شکل اجماع می‌باشد)

جمعیت رودخانه کلورز دارای ساقه دمی کم عمق برابر ۱۰/۳۳ درصد نسبت به طول استاندارد، جمعیت رودخانه زربینه رود دارای طول و عمق سر کم تر به ترتیب با ۲۱/۷۲ و ۱۲/۹۲ درصد نسبت به طول استاندارد و جمعیت رودخانه حمیل دارای طول و عمق سر بیشتر، عمق بدن بیشتر، طول پس باله مخرجی کم تر به ترتیب با ۲۵/۶۸، ۱۴/۵۴ و ۲۳/۹۴ و ۱۷/۶۸ درصد نسبت به طول استاندارد می‌باشند.

هم چنین تفاوت‌های ریختی مشاهده شده در شبکه تغییر شکل براساس نسبت به طول استاندارد بین جمعیت‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است که بر این اساس جمعیت رودخانه طالقان دارای عمق بدن کم تر و طول پس باله مخرجی طولی تر به ترتیب ۱۹/۸۸ و ۱۹/۵۵ درصد نسبت به طول استاندارد، جمعیت رودخانه توتکابن دارای عمق ساقه دمی بیش تر برابر ۱۱/۳۳ درصد نسبت به طول استاندارد،



جدول ۲: اندازه‌گیری برخی از شاخص‌های مهم بدن در جمعیت‌های سس ماهی کورا (*B. lacerta*)

صفت مهم اندازه‌گیری شده	طالقان n=۴۰	توتکابن n=۳۰	کلورز n=۳۰	زرینه‌رود n=۳۰	حمیل (دجله) n=۳۰
طول سر به طول استاندارد	۲۴/۳۸±۲/۷۶	۲۳/۳۳±۱/۵۱	۲۳/۷۷±۲/۱۰	۲۱/۷۲±۱/۲۷	۲۵/۶۸±۱/۶۵
عمق سر به طول استاندارد	۱۲/۹۵±۱/۱۴	۱۴/۲۴±۰/۷۵	۱۳/۲۲±۱/۵۹	۱۲/۹۲±۰/۹۱	۱۴/۵۴±۱/۱۱
عمق بدن به طول استاندارد	۱۹/۸۸±۰/۹۷	۲۱/۹۴±۰/۸۲	۲۱/۸۸±۰/۷۸	۲۱/۶۲±۱/۵۱	۲۳/۹۴±۱/۳۳
عمق ساقه دم به طول استاندارد	۱۰/۴۳±۰/۴۹	۱۱/۳۳±۰/۵۷	۱۰/۳۲±۰/۴۶	۱۱/۰۶±۰/۴۸	۱۱/۲۵±۰/۴۴
طول پس باله مخرجی به طول	۱۹/۵۵±۱/۴۲	۱۹/۲۹±۱/۰۹	۱۹/۲۷±۱/۲۲	۱۸/۵۷±۱/۲۰	۱۷/۶۸±۱/۳۹

راه‌نما: مقادیر ارائه شده به صورت میانگین \pm انحراف از استاندارد می‌باشد (Mean (mm) \pm SD). n: تعداد نمونه مورد مطالعه تمامی صفات مورد سنجش تفاوت معنی‌داری را بین جمعیت‌های مورد مطالعه نشان دادند.

بحث

نتایج نشان داد که شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه سس ماهی کورا متعلق به زیستگاه‌ها و حوضه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند که روش ریخت‌سنجی هندسی به خوبی توانست این تفاوت‌ها را آشکار کند. اساساً وجود تفاوت‌های ریختی در بین جمعیت‌های آلوپاتریک یک گونه به دلیل تفاوت در ویژگی‌های متفاوت زیستگاهی در مسیر تاریخچه تکامل آن‌ها یک پدیده معمول است (Antonucci و همکاران، ۲۰۰۹؛ Bertrand و همکاران، ۲۰۰۸) که به واسطه انتخاب جهت‌دار در زیستگاه‌ها حاصل شده و می‌تواند شانس پایداری و بقای آن‌ها را در زیستگاه خود افزایش دهد (Torres-Dowdall و همکاران، ۲۰۱۲).

تفاوت‌های ریختی بین ماهیان سه حوضه مورد مطالعه به‌طور عمده مربوط به ویژگی‌های سر، ارتفاع بدن و ساقه دم به همراه موقعیت باله‌های مخرجی و پشتی بود که می‌تواند یک ارتباطی با شرایط هیدرولیک و رژیم غذایی جمعیت‌ها داشته باشد (Chapman و همکاران، ۲۰۰۸؛ Schaefer و Kerfoot، ۲۰۰۶). با توجه به نتایج، نمونه‌های حوضه رودخانه سفیدرود علی‌رغم این‌که در یک حوضه رودخانه‌ای واقع شده بودند، الگوهای شکلی متنوعی را به نمایش گذاشتند ولی به‌طور کلی براساس نتایج فواصل Mahalanobis و تحلیل خوشه‌ای فاصله نزدیک‌تری از لحاظ شکل بدن داشتند که می‌تواند بیانگر تشابه بیش‌تری در شکل بدن آن‌ها در مقایسه با جمعیت‌های حوضه‌های دریاچه ارومیه و دجله باشد. این تنوع الگوی شکل بدن البته با درجه کم‌تر میزان تفاوت‌ها علی‌رغم فاصله جغرافیایی نزدیک‌تر می‌تواند دلیلی بر قابلیت بالای انعطاف‌پذیری شکل بدن سس ماهی کورا به‌عنوان یک گونه عام‌گرا باشد. گونه‌های عام‌گرا از نظر شکل بدن، آن‌هایی هستند که تغییرات ریختی مشابه موجودات

تخصصی‌گرا ولی با درجه کم‌تر را به نمایش می‌گذارند (رضوی‌پور، ۱۳۹۲؛ Bell و Kassen، ۱۹۹۸). این ویژگی عام‌گرا بودن شکل بدن برای زیست در محیط‌های بسیار متغیر از قبیل رودخانه‌ها مفید می‌باشد و قابلیت انعطاف‌پذیری بالای گونه‌های عام‌گرا می‌تواند شانس بقای یک گونه را در محیط‌های متنوع افزایش دهد (Chapman و همکاران، ۲۰۰۸). از این‌رو پراکنش بالای گونه سس ماهی کورا در تمامی حوضه‌های پراکنش خود در زیستگاه‌های مختلف می‌تواند به توانایی انعطاف‌پذیری بالای این گونه وابسته باشد.

نتایج هم‌چنین توانست به‌خوبی رابطه بین فاصله جغرافیایی و تمایز ریختی جمعیت‌های مختلف سس ماهی کورا را آشکار نماید (Motamedi و همکاران، ۲۰۱۱). براین اساس جمعیت‌های رودخانه حمیل متعلق به حوضه دجله که دارای فاصله جغرافیایی زیادتری می‌باشند، در یک شاخه کاملاً مجزا قرار گرفتند و نمونه‌های جمعیت رودخانه زرینه‌رود نیز در حد واسط بین نمونه‌های حوضه‌های رودخانه سفیدرود و حوضه دجله واقع شده‌اند. علاوه براین این جدایی جغرافیایی حتی در مورد جمعیت‌های یک حوضه (مثل حوضه رودخانه سفیدرود) به‌واسطه احداث سدهای متعدد در مسیر رودخانه و در نتیجه قطعه‌قطعه شدن زیستگاه احتمالاً به‌واسطه عدم جریان ژنی جدایی ژنی این جمعیت‌ها شده است.

Motamedi و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بین جمعیت‌های سه حوضه فرات-دجله، دریاچه ارومیه و حوضه جنوبی دریای خزر تفاوت‌های ژنتیکی را اثبات کردند. نتایج مطالعه آن‌ها به خوبی انطباق الگوی تفکیک جمعیت‌های سه حوضه با فاصله جغرافیایی نشان داد. در مطالعه آن‌ها آنالیزهای ژنتیکی (براساس توالی‌یابی سیتوکروم b و روش‌های Neighbour-joining و حداکثر parsimony) نشان داد که جمعیت حوضه دجله از دو



رودخانه کسلیمان استان مازندران. بیولوژی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. شماره ۷، صفحات ۵۳ تا ۶۳.

5. Antonucci, F.; Costa, C.; Aguzzi, J. and Cataudella, S., 2009. Ecomorphology of morpho-functional relationships in the family of sparidae: A quantitative statistic approach. J. Morphol. Vol. 270, No. 7, pp: 843-855.
6. Benítez, H.A.; Vidal, M.; Briones, R. and Jerez, V., 2012. Sexual dimorphism and morphological variation in populations of *Ceroglossus chilensis* (Eschscholtz, 1829) (Coleoptera, Carabidae). J. Entomol. Res. Sci. Vol. 12, No. 2, pp: 87-95.
7. Bertrand, M.; Marcogliese, D.J. and Magnan, P., 2008. Trophic polymorphism in brook charr revealed by diet, parasites and morphometrics. J. Fish. Biol. Vol. 72, No. 3, pp: 555-572.
8. Chapman, L.; Albert, J. and Galis, F., 2008. Developmental plasticity, genetic differentiation, and hypoxia-induced trade-offs in an African cichlid fish. Open Evol. J. Vol. 2, pp: 75-88.
9. Coad, B.W., 2014. Freshwater Fishes of Iran. Retrives from www.briancoad.com at5/6/2014.
10. Demandt, M.H. and Bergek, S., 2009. Identification of cyprinid hybrids by using geometric morphometrics and microsatellites. J. Appl. Ichthyol. Vol. 25, No. 6, pp: 695-701.
11. Elliot, N.G.; Haskard, K. and Koslow, J.A., 1995. Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) of the continental slope of Southern Australian. J Fish Biol. Vol. 46, pp: 202-220.
12. Erguden, D.; Öztürk, B.; Erdogan, Z.A. and Turan, C., 2009. Morphologic structuring between populations of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Black, Marmara, Aegean, and northeastern Mediterranean Seas. Fisheries Sci. Vol. 75, No. 1, pp: 129-135.
13. Guill, J.; Hood, C. and Heins, D., 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). Ecol. Freshw. Fish. Vol. 12, No. 2, pp: 134-40.
14. Hammer, Ø.; Harper, D. and Ryan, P., 2001. Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica. Vol. 4, No. 1, pp: 9-17.
15. Heidari, A.; Mousavi-Sabet, H.; Khoshkholgh, M.; Esmaili, H.R. and Eagderi, S., 2013. The impact of Manjil and Tarik dams (Sefidroud River, southern Caspian Sea basin) on morphological traits of Siah Mahi *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae). Intl. J. Aquat. Biol. Vol. 1, No. 4, pp: 195-201.
16. Jolliffe, I.T., 2002. Principal Components in Regression Analysis. Principal Component Analysis. pp: 167-98.
17. Kassen, R. and Bell, G., 1998. Experimental evolution in *Chlamydomonas*. IV. Selection in environments that vary through time at different scales. Heredity. Vol. 80, No. 6, pp: 732-741.
18. Kerfoot, J.R. and Schaefer, J.F., 2006. Ecomorphology and habitat utilization of *Cottus* species. Environ. Biol. Fish. Vol. 76, No. 1, pp: 1-13.
19. Klingenberg, C.P.; Barluenga, M. and Meyer, A., 2003. Body shape variation in cichlid fishes of the *Amphilophus citrinellus* species complex. Biol. J. Linn. Soc. Vol. 80, No. 3, pp: 397-408.

حوضه دیگر کاملاً مجزا می باشد. هم چنین جمعیت های حوضه های خزر و دریاچه ارومیه از هم مجزا هستند هر چند که در جمعیت های دو حوضه همپوشانی دیده می شود.

بنابراین می توان بیان نمود که بخش های عمده ای از تفاوت های ریختی جدا شده به واسطه رانش ژنتیکی به واسطه انتخاب طبیعی به وقوع پیوسته است (Patzner و Samaee, ۲۰۱۱). علاوه بر این بخشی از این تفاوت های ریختی نیز می تواند ناشی از سازگاری به شرایط محیطی برای افزایش بقای این گونه عام گرا باشد. براساس نتایج و با توجه به هدف تحقیق در نمونه های رودخانه سفیدرود جمعیت رودخانه طالقان به واسطه بدن کم عمق تر (۱۹/۸۸ درصد طول استاندارد) و طول پس باله مخرجی طولی تر (۱۹/۵۵ درصد طول استاندارد)، جمعیت رودخانه توتکابن به واسطه ساقه دم عمیق تر (۱۱/۳۳ درصد طول استاندارد)، جمعیت رودخانه کلورز به واسطه ساقه دمی کم عمق تر (۱۰/۳۳ درصد طول استاندارد)، جمعیت رودخانه زرینه رود به واسطه سر کم عمق تر و کوتاه تر (به ترتیب ۲۱/۷۲ و ۱۲/۹۲ درصد طول استاندارد) و جمعیت رودخانه حمیل به واسطه سر عمیق تر و طویل تر (به ترتیب ۲۵/۶۸، ۱۴/۵۴ درصد طول استاندارد)، بدن عمیق تر (۲۳/۹۴ درصد طول استاندارد) و پس باله مخرجی کوتاه تر (۱۷/۶۸ درصد طول استاندارد) از یکدیگر قابل تفکیک هستند. مطابق نتایج می توان گفت که جمعیت های سه حوضه مورد مطالعه به طور ژنتیکی و مورفولوژیکی از هم مجزا هستند و از لحاظ تاکسونومیک نیز ممکن است مجزا باشند (Motamedi و همکاران، ۲۰۱۱).

منابع

۱. ایگدری، س. و شفق، ک.، ۱۳۹۲. کاربرد روش ریخت سنجی هندسی در مطالعات انعطاف پذیری ریختی ماهیان، مطالعه موردی مقایسه شکل بدن جمعیت های ماهی گورخری *Aphanius sophiae* (Heckel, 1847) چشمه علی دامغان و رودخانه شور اشتهارد. دوره ۲، شماره ۱، صفحات ۴۷ تا ۵۲.
۲. رضوی پور، پ.، ۱۳۹۲. تاکسونومی سیاه ماهی *Capoeta damascina* در آب های داخلی ایران براساس صفات ریختی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران، ایران. ۱۰۵ صفحه.
۳. عبدلی، ا.، ۱۳۷۸. ماهیان آب های داخلی ایران. موزه طبیعت و حیات وحش ایران. تهران. ۳۷۸ صفحه.
۴. گرجیان عربی، م.ح.، وطن دوست، ص. و جانبازی، ا.، ۱۳۸۹. بررسی تنوع ریختی جمعیت سس ماهی کورا در



20. Klingenberg, C.P., 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol. Ecol. Resour.* Vol. 11, No. 2, pp: 353-357.
21. Motamedi, M.; Madjzadeh, S.M.; Teimori, A.; Esmaili, H.R., 2011. Systematic and biogeography of the *Barbus lacertacomplex* (Pisces: Cyprinidae) from Iran-inferred by molecular and morphological evidence. 12th Annual Meeting of the Society of Biological Systematics (Gesellschaft für Biologische Systematik, GfBS). *BioSystematics Berlin*. 208 p.
22. Park, P.J.; Aguirre, W.E.; Spikes, D.A. and Miyazaki, J. M., 2013. Landmark-based geometric morphometrics: What fish shapes can tell us about fish evolution. *Proc. Assoc. Biol. Lab. Educ.* Vol. 34, pp: 361-371.
23. Rohlf, F.J., 2001. Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric interpretations. *Evolution*. Vol. 55, No. 11, pp: 2143-2160.
24. 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. *J. Appl. Ichthyol.* Vol. 27, No. 3, pp: 928-933.
25. Torres-Dowdall, J.; Handelsman, C.A.; Reznick, D.N. and Ghalambor, C.K., 2012. Local adaptation and the evolution of phenotypic plasticity in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution*. Vol. 66, No. 11, pp: 3432-3443.
26. Walker, C. 1996. *Signs of the Wild*. Struik press, 216 papers.
27. Webb, P.W., 1982. Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. *Am. Zool.* Vol. 22, No. 2, pp: 329-42.
28. Wimberger, P.H., 1992. Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae). *Biol. J. Linn. Soc.* Vol. 45, No. 3, pp: 197-218.
29. Wootton, R.J., 1990. *Ecology of teleost fishes*: Chapman & Hall. 404 p.
30. Zelditch, M.L.; Swiderski, D.L. and Sheets, H.D., 2012. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*: Academic Press. 416 p.

