اقیانوس‌شناسی/ سال هفتم/ شماره ۲۷/ پاییز ۵۷/۹/۱۳۹۵-۴۹

بررسی مقایسه‌ای ریخت‌شناسی جمعیت‌های سگ‌ماهیان جویباری جنس *Paracobitis* در حوضه جنوب شرق دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

مریم شریفی‌نیا[1*]، حامد موسوی ثابت[2]

۱- دانشجوی دکتری شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، پست الکترونیکی: maryam.sharifiniya93@yahoo.com

۲- استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، پست الکترونیکی: mosavii.h@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۰ * نویسنده مسوول تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۰

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات شکل بدن جمعیت‌های مختلف سگ‌ماهیان جویباری جنس *Paracobitis* در حوضه جنوب شرق دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه انجام شد. در این بررسی، تعداد ۱۱۳ عدد سگ‌ماهی جویباری متعلق به جنس *Paracobitis* در فصل تابستان از رودخانه‌های تجن، بابلرود، اترک و گرگانرود، با استفاده از الکتروشوکر صید شدند. سپس از سطح جانبی سمت چپ بدن ماهی‌ها عکس‌برداری شد و تعداد ۱۵ عدد لندمارک با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 روی تصاویر دوبعدی قرار داده شد. داده‌های حاصل پس از تحلیل پروکراست با روش‌های آماری چند متغیره PCA و CVA و تحلیل خوشه‌ای تجزیه و تحلیل شدند و الگوهای تغییر شکل هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل جمعیت‌ها در شبکه تغییر شکل مصورسازی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های ریختی چهار جمعیت مورد بررسی وجود داشت ($P < ۰/۰۰۰۱$). نتایج تحقیق حاضر می‌تواند به درک بهتر الگوی تغییرپذیری ریختی در حال پیشرفت این ماهیان، در توده‌های آبی سیستم‌های رودخانه‌ای مختلف حوضه جنوب شرق دریای خزر و نیز شناسایی گونه‌های جمعیت‌های *Paracobitis* در رودخانه‌های تجن و بابلرود کمک نماید.

کلمات کلیدی: *تغییر پذیری ریختی، ریخت‌سنجی هندسی، Paracobitis، حوضه جنوب شرق دریای خزر.*

۱. مقدمه

درک علل واگرایی ریختی در بین جمعیت‌های طبیعی یک گونه از جمله مهم‌ترین اهداف مطالعات بوم‌شناسی تکاملی است (Torres-Dowdall et al., 2012). گام اول در این مسیر، شناخت تفاوت‌های موجود بین جمعیت‌ها است. ماهیان قادرند برای ادامه حیات خود با شرایط مختلف محیطی سازگار شوند (Nacua et al., 2010). عوامل محیطی به‌عنوان نیرویی قدرتمند در شکل‌دهی ریخت موجودات در طی فرایند تکامل شناخته شده‌اند (Costa and Cataudella, 2007). شکل بدن شاخص مهمی برای

رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه در ماهیان است (Webb, 1982) که نه تنها انعکاس‌دهنده ویژگی‌های ژنتیکی است، بلکه می‌تواند منعکس کننده وضعیت محیطی زیستگاه ماهی نیز باشد (Guill et al., 2003). انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های یک گونه در زیستگاه‌های متنوع، پدیده‌ای است که در نتیجه اثر عوامل محیطی بر اجداد جمعیت‌های یک گونه در پدیده گونه‌زایی ایجاد می‌شود (Adams and Collyer, 2009). به عبارت دقیق‌تر، تنوع ریخت‌شناسی ممکن است نتیجه انعطاف‌پذیری ریختی (زمانی فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۴)، سازگاری‌های منطقه‌ای، تغییرات خصوصیات بوم‌شناختی، عوامل زیستی یا رابطه متقابل هر یک از این فرآیندها باشد. بنابراین، تکامل جمعیت‌ها باعث ایجاد سازگاری آن‌ها به شرایط زیستی در مناطق مختلف شده که این امر، خود می‌تواند دلیل به وجود آمدن اختلافات ریخت‌شناختی و ژنتیکی بین جمعیت‌های مختلف یک گونه و همچنین بین گونه-های مختلف ماهیان باشد (Wotton, 1991). از این‌رو شناخت این تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های یک گونه از نظر حفاظت و درک روند تکامل آن‌ها به‌عنوان واحدهای تکاملی اهمیت بسزایی دارد (Nasri et al., 2013). روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه به عنوان روشی دقیق و مدرن برای توصیف و تحلیل آماری شکل، در زیست‌شناسی مطرح شده است. هر یک از نقاط لندمارک دارای یک موقعیت (مختصات دو یا سه بعدی) است که برخی از دسته‌بندی‌ها یا انواعی از همگنی‌های موجود در میان تمام نمونه‌های اندازه‌گیری شده را بیان می‌کند (Bookstein, 1997).

این روش توانایی بالایی در آشکارسازی تفاوت‌های ریختی داشته و می‌تواند جزئی‌ترین تفاوت‌های ریختی را آشکار سازد (ایگدری و کمال، ۱۳۹۲؛ زمانی فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین در اهدافی مانند آشکارسازی تأثیر ویژگی‌های زیستگاه روی شکل بدن، پاسخ‌های انعطاف‌پذیری، شناسایی گونه‌ها و مطالعات ارزیابی ذخایر ماهیان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Walker, 1996; Demandt and Bergek, 2009; Zamani Faradonbe et al., 2015). مطالعه انعطاف‌پذیری ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های یک گونه که در محیط‌های متفاوتی از نظرخصوصیات زیستگاهی زندگی می‌کنند، امکان درک بهتر روند تغییرات ریختی تحت تاثیر تغییرات محیطی را در جمعیت‌ها فراهم می‌کند (Kuliev,1988؛ جمالی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۴). چنین وضعیتی ممکن است در مورد سگ ماهیان جویباری رودخانه‌های مختلف حوضه دریای خزر نیز مشاهده شود.

سگ‌ماهیان جویباری (Crested Loach) با نام علمی *Paracobitis* (Bleeker, 1863)، از خانواده (Nemacheilidae) و راسته کپورماهی شکلان (Cypriniformes) بوده و با ۱۷ گونه در غرب آسیا پراکنش دارند و حضور ۱۱ گونه از آن‌ها شامل: *P. iranica* (Nalbant and Bianco, 1998)؛ *P. malapterura* (Valenciennes, 1846)؛ *P. rhadinaeus* (Regan, 1906)؛ *P. smithi* (Greenwood, 1976)؛ *P. atrakensis* (Esmaeili et al., 2014)؛ *P. vignai* (Nalbant and Bianco, 1998)؛ *P. basharensis* (Freyhof et al., 2014)؛ *P. hircanica* (Mousavi-Sabet et al., 2015)؛ *P. longicauda* (Kessler, 1872)؛ *P. molavii* (Freyhof et al., 2014)؛ *P. persa* (Freyhof et al., 2014) در آب‌های ایران گزارش شده است (Jouladeh-Roudbar et al., 2015)؛ این درحالی است که برخی از جمعیت‌های این جنس در تعدادی از رودخانه‌های کشور (از جمله رودخانه تجن و گرگانرود در این مطالعه) هنوز نام گونه مشخصی ندارند و ابهامات در مورد نام گونه برخی جمعیت‌ها همچنان پابرجاست و این زمینه را برای توسعه مطالعات ماهی‌شناسی در این مورد گسترش می‌دهد.

مطالعات ریخت‌شناسی، به عنوان روشی مناسب جهت جدایی و تفکیک جمعیت‌ها و گونه‌های ماهی در نظر گرفته می‌شود. جعفری و همکاران (۱۳۹۴) خصوصیات ریخت‌شناسی سه گونه از جنس *Paracobitis* (*Paracobitis iranica*، *P. malapterura* و *P. rhadinaeus*) را با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه در رودخانه‌های قمرود، کردان، زرین‌گل و تجن مورد مقایسه قرار دادند.

ویژگی‌های کلیدی اعضای این جنس شامل فشرده بودن سر از بالا به پایین و ساقه دمی از طرفین بوده و ساقه دمی دارای یک تاج پشتی بلند و طویل است که از باله پشتی تا باله دمی کشیده شده است، ولی به بخش جلویی باله دمی اتصال ندارد (Coad, 2013). اعضای این جنس دارای الگوهای رنگی متفاوتی بوده و حتی در بین جمعیت‌های مختلف گونه‌های آن نیز تفاوت الگوهای رنگی گزارش شده است (Coad, 2013). با توجه به قابلیت‌های بالای روش ریخت‌سنجی هندسی در جداسازی اشکال زیستی، مطالعه حاضر با هدف بررسی و مقایسه شکل بدن جمعیت‌های مختلف جنس *Paracobitis* در رودخانه‌های گرگانرود (گونه *P. hircanica*)، اترک (گونه *P. atrakensis*)، تجن (جنس *Paracobitis* sp.) و بابلرود (جنس *Paracobitis* sp.) انجام شد.

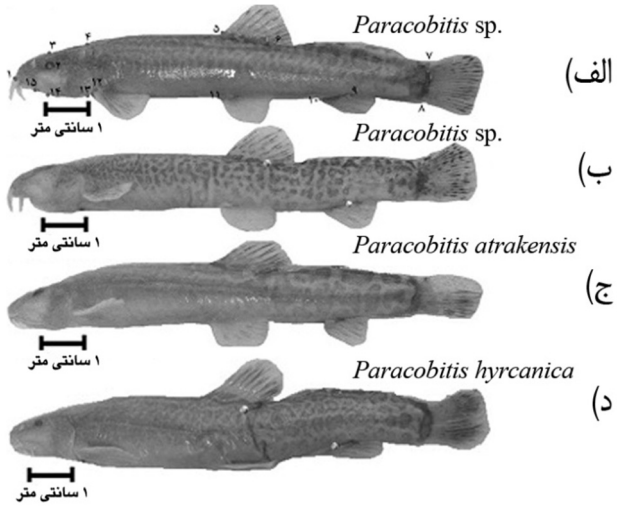
نتایج این تحقیق به واسطه کمی‌سازی ویژگی‌های ریختی شکل بدن اعضای این جنس می‌تواند به شناسایی صحیح‌تر و درک بهتر تاریخچه تکاملی آن‌ها در مناطق جغرافیایی مختلف کمک نماید.

۲. مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر، تعداد ۱۱۳ قطعه ماهی(نر و ماده) متعلق به جنس *Paracobitis* در فصل تابستان از چهار رودخانه تجن (۱۱ قطعه)، بابلرود (۲۰ قطعه)، اترک (۳۵ قطعه) و گرگانرود (۴۷ قطعه) با استفاده از الکتروشوکر (Samus Mp750) صید شدند. نمونه‌ها بعد از صید در محلول گل میخک بیهوش شدند و سپس در فرمالین ۱۰ درصد خنثی بافری تثبیت و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا منتقل شدند. به منظور کاهش تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بزرگ‌تر از ۷۰ میلی‌متر (۸۴ عدد) انتخاب شدند و همچنین با توجه به فقدان تفاوت ریخت‌سنجی بارز میان دو جنس نر و ماده سگ‌ماهی جویباری جنس *Paracobitis*، نمونه‌ها بر اساس جنسیت از یکدیگر تفکیک نشدند. پس از آن با استفاده از دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک پذیری ۶ مگاپیکسل، از سمت چپ سطح جانبی بدن نمونه‌ها عکس‌برداری شد. برای استخراج داده‌های لازم برای روش ریخت سنجی هندسی از تصاویر تهیه شده، تعداد ۱۵ نقطه لندمارک هم‌ساخت انتخاب گردید (شکل ۱) و با نرم افزار TpsDig2 نسخه ۲,۱ روی تصاویر دو بعدی رقومی سازی شد (Rohlf, 2010). داده‌ها پس از انجام آنالیز پروکراست[1] که به منظور حذف تفاوت‌های غیرمرتبط با شکل بدنی (یعنی تفاوت‌های مربوط به اندازه، جهت و موقعیت) انجام می‌شوند (Klingenberg, 2011)، با استفاده از آنالیزهای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل همبستگی کانونی (CVA) و آنالیز خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین به منظور شناسایی متغیرهای فرضی (مؤلفه‌های اصلی (PC)) که نشان‌دهنده حداکثر تفاوت‌های شکلی بین جمعیت‌های مورد مطالعه هستند، از روش تحلیل PCA استفاده شد. برای انتخاب مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار از آزمون خط شکست و نقطه برش جولیف استفاده شد (Aguilar-Medrano et al., 2011; Jolliffe, 2002).

[1] Generalised Procrustes Analysis

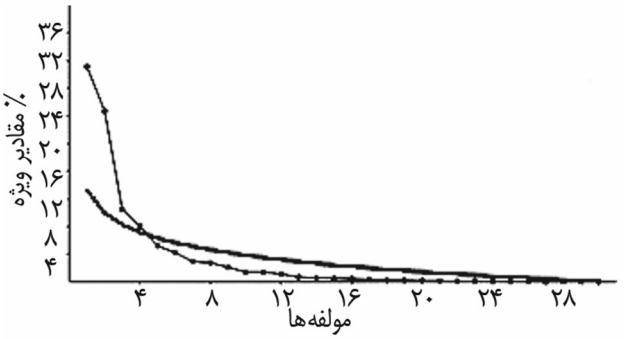
مصورسازی تفاوت شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه نسبت به یکدیگر در نمودار Wireframe برای نمایش تفاوت‌های شکل بدنی انجام شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزارهای Morpho J 1.05f و PAST نسخه 2.17c انجام شد (Klingenberg, 2011; Hammer, 2012).



شکل ۱: لندمارک‌های تعریف شده روی نمونه‌ها، ۱) ابتدایی‌ترین نقطه پوزه، ۲) مرکز چشم ، ۳) نقطه لبه بالایی سر در امتداد مرکز چشم ، ۴) نقطه انتهایی بخش سر، ۵) ابتدای قاعده باله پشتی، ۶) انتهای قاعده باله پشتی، ۷) قسمت بالای ساقه دمی در بخش بیشترین تورفتگی ساقه دمی، ۸)پایین ساقه دمی در قسمت بیشترین تورفتگی ساقه دمی، ۹) انتهای قاعده باله مخرجی ، ۱۰)ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۱) ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۱۲) ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۱۳) نقطه پایین شکاف سرپوش آبششی، ۱۴) نقطه لبه پایینی سر در امتداد مرکز چشم، ۱۵) ابتدایی‌ترین نقطه شروع جفت سبیلک زیرین. (الف: جمعیت رودخانه تجن، ب: جمعیت رودخانه بابلرود، ج: جمعیت رودخانه اترک، د: جمعیت رودخانه گرگانرود)

۳. نتایج و بحث

مطابق نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، چهار مؤلفه اول که بالاتر از خط برش جولیف (۰/۰۰۰۰۹۰۳) قرار داشتند، به‌عنوان عوامل اصلی تفکیک کننده جمعیت‌ها انتخاب شدند (شکل ۲). این چهار مؤلفه در مجموع ۷۵/۴۱ درصدواریانس را به خود اختصاص دادند (جدول ۱). نحوه توزیع جمعیت‌های مورد مطالعه و نیز تغییرات شکل بدنی جمعیت‌ها در راستای دو محور مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شکل ۳ آمده است.

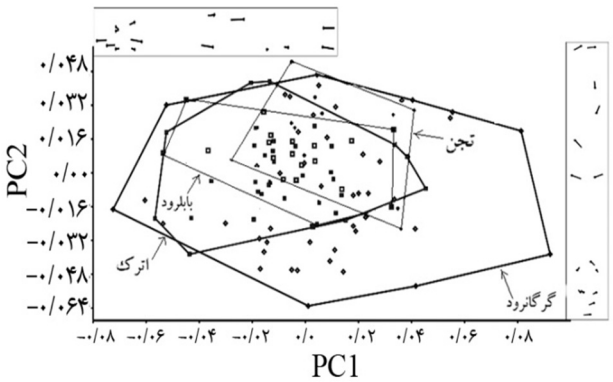


شکل ۲: نمودار scree plot تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمایش خط برش جولیف (خط تیره) که نشان‌دهنده مرز مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار است.

جدول ۱: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه چهار مؤلفه اصلی اول تحلیل شکل بدن جمعیت‌های ماهی *Paracobitis* مورد مطالعه.

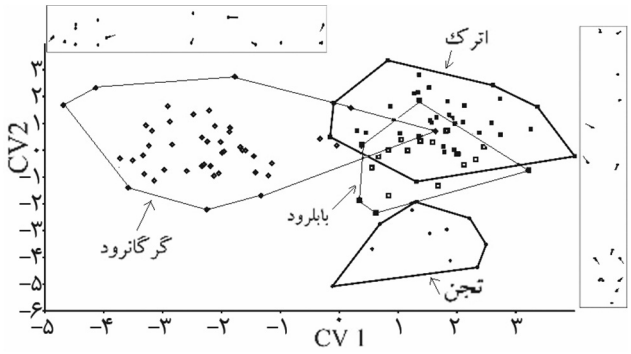
مؤلفه‌ها (PCs)	مقادیر ویژه (٪)	واریانس
۱	۰/۰۰۰۷۸۷	۳۲/۱۳
۲	۰/۰۰۰۶۲۵	۲۴/۷۱
۳	۰/۰۰۰۲۶۵	۱۰/۴۹
۴	۰/۰۰۰۲۰۴	۸/۰۸
جمع		۷۵/۴۹

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، جمعیت‌های *Paracobitis* در طول محورهای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم پراکنش داشتند و در دو سوی محورها نیز تغییرات شکل بدنی افراد نمایش داده شده است (شکل ۳). مؤلفه اصلی اول، مربوط به ویژگی‌هایی از قبیل کاهش ارتفاع بدن، کاهش طول ساقه دمی در اثر حرکت باله مخرجی به سمت انتهای بدن، حرکت رو به بالای نوک پوزه و نیز کاهش اندازه سر و تغییر موقعیت چشم و مؤلفه اصلی دوم، بیان‌کننده کوچک شدن اندازه سر، حرکت رو به جلوی باله پشتی و افزایش طول ساقه دمی است.



شکل ۳: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی *Paracobitis* مورد مطالعه.

تحلیل همبستگی کانونیک (CVA) بر اساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت[1] نشان داد که حدود ۱۰۰ درصد واریانس، مربوط به سه مؤلفه اول بود به طوری که هر یک به ترتیب ۶۲/۳۹، ۲۹/۷۷ و ۷/۸۴ از واریانس را به خود اختصاص داده‌اند (**Error! Reference source not found.**) و دو مؤلفه اول با ۹۲/۱۶ درصد واریانس به عنوان عوامل اصلی رسم شدند (شکل ۴۴).



شکل ۴: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های ماهی *Paracobitis* مورد مطالعه.

براساس تحلیل همبستگی کانونیک (CVA) تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود داشت (۰/۰۰۰۰۱ >P و f=۵/۱۷) (Wilks lambda=۰/۰۵۷۴). در نمودار CVA، همه جمعیت‌ها را تا حد زیادی از یکدیگر متمایز نموده است. در این نمودار جمعیت‌های متعلق به رودخانه‌های تجن (گونه *Paracobitis* sp.) و گرگانرود (گونه *P. hircanica*) از یکدیگر و از دو جمعیت اترک (گونه *P. atrakensis*) و بابلرود (گونه *Paracobitis* sp.) به طور کامل جدا شده‌اند. آزمون جایگشت نیز نشان داد که بین شکل بدنی تمام جمعیت‌های مورد مطالعه *Paracobitis* اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰۰۰۰۱). در آزمون CVA، مؤلفه اصلی اول مربوط به ویژگی‌هایی مانند افزایش ارتفاع بدن، افزایش طول ساقه دمی و نیز کاهش اندازه سر و مؤلفه اصلی دوم بیان کننده بزرگ شدن اندازه سر و حرکت رو به عقب باله پشتی است. فاصله ماهالوبینس[2] بین شکل بدن گروه‌های مطالعه شده در جدول ۱ آورده شده است. مطابق مقادیر فاصله ماهالانوبیس که نشان‌دهنده تمایز جمعیت‌ها است و به نوعی با تمایز رابطه مستقیم دارد، بیشترین فاصله را بین

[1] Permutation test
[2] Mahalanobis

جمعیت‌های رودخانه‌های تجن با اترک و گرگانرود، جمعیت‌های رودخانه‌های بابلرود با گرگانرود و جمعیت‌های رودخانه‌های اترک با گرگانرود نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقادیر ویژه و درصد واریانس هر یک از محورهای آنالیز CVA.

CV	مقادیر ویژه	٪ واریانس
۱	۳/۱۴	۶۲/۳۹
۲	۱/۵۰	۲۹/۷۷
۳	۰/۳۹	۷/۸۴
جمع		۱۰۰

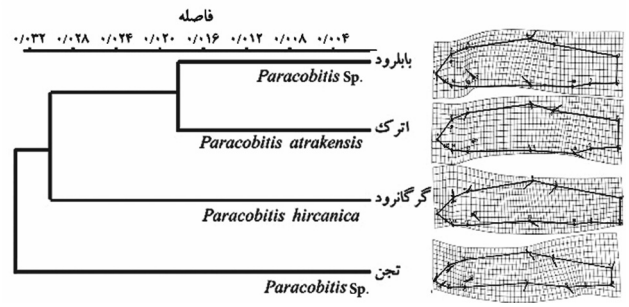
جدول ۱: فواصل Mahalanobis شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های ماهی *Paracobitis* مورد مطالعه.

جمعیت‌ها	تجن	بابلرود	اترک
بابلرود	۳/۵۸		
اترک	۴/۴۰	۲/۲۱	
گرگانرود	۴/۸۹	۳/۵۷	۳/۸۲

تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه در شکل ۵۵ آمده است. ضریب کوپرنیک تحلیل خوشه‌ای برابر با ۰/۸۹۵۶ محاسبه شد. مطابق با تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه ماهی *Paracobitis* دارای دسته‌بندی مشابه نتایج آزمون CVA هستند، به‌طوری که جمعیت رودخانه تجن بیشترین تمایز را از سایرین نشان می‌دهد و سپس جمعیت گرگانرود از دو جمعیت اترک و بابلرود متمایز گشته است.

با بررسی الگوهای شکل بدنی جمعیت‌های جنس *Paracobitis* مورد مطالعه با کمک نتایج مصورسازی شده در شبکه تغییر شکل می‌توان بیان کرد که شکل بدن این جنس در رودخانه‌های مختلف از الگوهای خاص و متنوعی پیروی می‌کنند (شکل ۵). براساس الگوی جابجایی لندمارک‌ها در جمعیت رودخانه بابلرود (جنس *Paracobitis* sp.)، بیشترین تغییرات مربوط به جابجایی در موقعیت لندمارک‌های ناحیه سر، باله پشتی و باله مخرجی بود. افراد این جمعیت دارای دهان پایین‌تر (جابجایی لندمارک ۱)، باله پشتی عقب‌تر (جابجایی لندمارک‌های ۵ و ۶) و باله شکمی در موقعیت بالاتر (جابجایی لندمارک ۱۱) بودند. افراد جمعیت رودخانه اترک (گونه *P. atrakensis*) دارای سری کوچک‌تر (جابجایی لندمارک ۳ و۴)، پایه باله پشتی بلندتر (جابجایی لندمارک‌های ۵ و۶)، پایه باله مخرجی بزرگ‌تر (جابجایی لندمارک ۱۰)، باله شکمی در موقعیت بالاتر (جابجایی لندمارک ۱۱) و ارتفاع بدن کمتر (جابجایی لندمارک ۵ و ۱۱) بودند.

جمعیت رودخانه گرگانرود (گونه *P. hircanica*) نیز تغییراتی را در موقعیت بسیاری از لندمارک‌ها نشان داد. افراد این جمعیت دارای سری بزرگتر (جابجایی لندمارک‌های ۳، ۴، ۱۲) ارتفاع بدن کمتر (جابجایی لندمارک‌های ۵ و ۶) و حرکت پایه باله شکمی به سمت انتهای بدن (جابجایی لندمارک ۱۱) بودند.



شکل ۵: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های ماهی *Paracobitis* مورد مطالعه.

همچنین در بررسی جمعیت رودخانه تجن (جنس *Paracobitis* sp.) نیز می‌توان بیان کرد که نوک پوزه و موقعیت چشم به سمت بالا (جابجایی لندمارک ۱ و ۲) حرکت داشته و اندازه سر نیز تا حدی در حال کوچک شدن است (جابجایی موقعیت لندمارک‌های ۱، ۱۲ و ۱۵)، طول پایه باله پشتی نیز در حال کاهش (جابجایی لندمارک‌های ۵ و ۶) و باله شکمی دارای حرکت به سمت پایین بود (جابجایی لندمارک ۱۱) و در نتیجه ارتفاع بدن بیشتر بوده و باله مخرجی نیز به سمت پایین و انتهای بدن در حال حرکت بود (جابجایی لندمارک ۱۰) که منجر به کاهش طول ساقه دمی می‌شود.

نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه جنس *Paracobitis* در زیستگاه‌های مختلف متفاوت بوده و این تفاوت‌ها، جدایی ریختی وابسته به زیستگاه را در جمعیت‌های *Paracobitis* حوضه دریای خزر آشکار می‌سازند. تفاوت‌های ریختی در موجودات چنانچه بتوانند به‌صورت یک مورد عملکرد در نتیجه سازگاری ترجمه شوند، می‌توانند مهم باشند. در بوم‌سامانه‌های آبی چنین سازگاری‌هایی در نتیجه نیاز به سازش با نیروهای هیدرودینامیکی برای حفظ انرژی طی رفتارهای زیستی مرتبط است (Vogel, 1994; Nacua et al., 2010). سگ‌ماهیان جویباری در آب‌های جریان‌دار زیست می‌کنند و در چنین آب‌هایی برای برآوردن نیازهای زیستی خود

نیازمند شنای فعال هستند (Huet. 1949., Lusk. 1995; Tabatabaei et al., 2015).

جعفری و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خود با بررسی شکل بدنی سه گونه از جنس *Paracobitis* (*Paracobitis iranica*، *P. malapterura* و *P. rhadinaeus*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بیان داشتند که سه گونه مورد مطالعه در ویژگی‌های طول و عرض سر، پهنای بدن، طول ساقه دمی، جایگاه چشم و موقعیت باله پشتی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۰۰۱). نتایج مطالعه جعفری و همکاران (۱۳۹۴)، بیانگر انعطاف‌پذیری ریختی تحت تاثیر عوامل محیطی است که در نتیجه سازگاری به شرایط محیطی زیستگاه در فرآیند تکامل موجودات حاصل شده است و تا حدودی با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد.

احتمالاً دلیل اصلی جدایی جمعیت‌های این ماهیان در رودخانه‌های مختلف، ناشی از جدایی جغرافیایی این جمعیت‌ها است. از طرف دیگر شرایط محیطی متفاوت (دما، کدورت، عمق آب و جریان آب) سبب جدایی جمعیت‌ها از یکدیگر در رودخانه‌های مختلف می‌شوند (جعفری و همکاران.، ۱۳۹۴؛ زمانی فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۴). تفاوت شکل بدن جمعیت‌های مناطق مختلف، حتی در گونه‌های یک رودخانه نشان‌دهنده متفاوت بودن نوع سازگاری ماهیان با توجه به نوع زیستگاه (نهرهای سنگلاخی با جریان سریع در مقایسه با آب‌های با جریان کمتر) است (طباطبایی و همکاران.، ۱۳۹۳). علاوه بر آن، درجه حرارت، شدت جریان آب، تفاوت دمای آب بین قسمت‌های بالادست و پایین‌دست آب یک رودخانه نیز روی شکل بدن جمعیت‌های ساکن یک منطقه می‌تواند موثر باشد (Dadikyan, 1973; Zamani Faradonbe et al., 2015).

نتایج نشان داد که بیشترین میزان تغییرات بین جمعیت‌های مورد مطالعه مربوط به اندازه سر، ارتفاع بدن و موقعیت باله شکمی بود و این تفاوت‌ها سبب تمایز معنی‌دار شکل بدن بین جمعیت‌های مورد مطالعه شده است. تغییر در شکل بدن و به ویژه سر به طور غیرمستقیم به واسطه تغییرات در عمل جستجوی غذا بوده و بر بازده عمل جستجوی غذا تاثیر می‌گذارد (Anderson et al., 2005). جمعیت رودخانه گرگانرود (گونه *P. hircanica*) دارای بدنی مرتفع‌تر و سر بزرگتر هستند که احتمالاً ناشی از سازگاری برای افزایش قابلیت مانور سریع است و این شکل بدن در شنای مداوم به خصوص برای یافتن غذا در محل‌هایی با جریان کمتر کارآمد است (Blake., 1983; Spoljaric and Reimchen., 1983؛ جعفری و همکاران.، ۱۳۹۴).

با توجه به نتایج دو جمعیت *P. atrakensis* و *Paracobitis* sp. مربوط به رودخانه‌های اترک و بابلرود به علت شباهت‌های متعدد به یکدیگر در یک شاخه تحلیل خوشه‌ای واقع شدند. در ماهیان رودخانه تجن (جنس *Paracobitis* sp.)، باله مخرجی به سمت انتهای بدن و باله دمی در حال حرکت است که منجر به کاهش طول ساقه دمی می‌شود و به نظر می‌رسد این تفاوت شکل بدنی با تفاوت در محیط زیست ماهیان مرتبط باشد. بدین معنی که ماهیان ساکن آب‌های با جریان تندتر، نیاز بیشتری به خاصیت هیدرودینامیکی داشته و از طریق ساقه دمی کوتاه خود مقدار نیروی رانش بیشتری را جهت مبارزه با جریان آب فراهم می‌کنند. باله سینه‌ای در ماهیان رودخانه تجن به سمت پایین و نیز نزدیک سر در حال حرکت است، که تغییر جایگاه باله سینه‌ای ممکن است برای افزایش قدرت مانور برای مقابله با مسیر جریان آب باشد. شکل بدن همچنین می‌تواند در موفقیت تغذیه و اجتناب از شکارچی موثر باشد (Langerhans and Reznick, 2010).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که هر یک از گونه‌ها و جمعیت‌های *Paracobitis* مورد بررسی، براساس ویژگی‌های ریختی قابل تفکیک هستند. روش ریخت سنجی هندسی این قابلیت را دارد که تفاوت‌های ریختی را بهتر و دقیق‌تر از روش ریخت سنجی سنتی استخراج نماید و می‌تواند برای بسیاری از گونه‌ها با اندازه بدنی کوچک به عنوان ابزاری جایگزین الگوهای رنگی بدن برای مطالعات ریخت شناسی و ارایه شناسی مورد استفاده قرار گیرد. به خصوص که جمعیت‌های دو رودخانه تجن و بابلرود هنوز شناسایی گونه نشده‌اند و نتایج این مطالعه می‌تواند پایه‌ای برای تعیین اسم گونه این جمعیت‌ها در نظر گرفته شود.

منابع

جمالی آشتیانی، ع.؛ ایگدری، س.؛ خراسانی، ن.؛ زمانی فرادنبه، م.، ۱۳۹۴. 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. مجله محیط زیست جانوری. سال هفتم. شماره ۴. صفحات ۱۵۰-۱۴۳.

جعفری، ا.؛ ایگدری، س.؛ نصرالله پورمقدم، م.؛ نوفرستی، ه.؛ موسوی ثابت، ح.، ۱۳۹۴. بررسی مقایسه‌ای ریخت شناسی سه گونه از جنس *Paracobitis* با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی: با مروری بر وضعیت تاکسونومیک این جنس در ایران. مجله تاکسونومی و بیوسیستماتیک. سال هفتم. شماره ۲۲. صفحات ۱۲-۱.

زمانی فرادنبه، م.؛ ایگدری، س.؛ پورباقر، ه.؛ شهبازی ناصرآباد، س.، ۱۳۹۴. ریخت بوم‌شناسی سس ماهی کورا (*Barbus cyri*, De Filippi 1865) در حوضه رودخانه سفیدرود. مجله بوم‌شناسی آبزیان. سال پنجم. شماره ۵. صفحات ۳۳-۲۴.

ایگدری، س .؛ کمال، ش.، ۱۳۹۲ . کاربرد روش ریخت سنجی هندسی در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی در ماهیان؛ مطالعه موردی مقایسه شکل بدن جمعیت‌های ماهی گورخری *Aphanius siphia*, (Heckel, 1847) چشمه علی دامغان و رودخانه شور اشتهارد. پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. سال دوم. شماره ۱. صفحات ۵۲-۴۷.

طباطبایی، ن.؛ هاشم زاده سقرلو، ا.؛ ایگدری، س.؛ زمانی فرادنبه، م.، ۱۳۹۳. عوامل تعیین کننده در زیستگاه انتخابی ماهی *Paracobitis iranica* (Nalbant and Bianco 1998) در رودخانه کردان، حوضه دریاچه نمک. مجله بوم‌شناسی آبزیان. سال سوم. شماره ۴. صفحات ۹-۱.

Adams, D.C.; Collyer, M.L., 2009. A general framework for the analysis of phenotypic trajectories in evolutionary studies. Evolution, 63: 1143-1154.

Aguilar-Medrano, R.; Frederich, B.; De Luna, E.; Balart, E., 2011. Patterns of morphological evolution of the cephalic region in damselfishes (Perciformes: Pomacentridae) of the Eastern Pacific. Biological Journal of the Linnean Society, 102(3): 593-613.

Andersson, J.; Frank, J.; Tony, S., 2005. Interactions between predator-and diet-induced phenotypic changes in body shape of crucian carp. Environmental Biology of Fishes, 273: 431-437.

Blake, R.W., 1983. Fish locomotion. Journal of Ichthyology, 13: 58-68.

Bleeker, P., 1863. Onzieme notice sur la faune ichthyologique de l'ile d'Obi. Neder, I. 228-238.

Bookstein, F.L., 1997. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. University of Cambridge Press, Cambridge, 439P.

Coad, B., 2013. Fresh water fishes of Iran. Retrieved May 19, 2013. http://www.briancoad.com/contents.htm.

Costa, C.; 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: 115-123.

Dadikyan, M.G., 1973. Variability of the Armenian riffle minnow (*Alburnoides bipunctatus eichwaldi* (Filippi)) in relation to the altitude at which it occurs. Journal of Ichthyology, 13: 68-78.

Demandt, M.H.; Bergek, S., 2009. Identification of cyprinid hybrids by using geometric morphometrics and microsatellites. Journal of Applied Ichthyology, 25(6): 695-701.

Esmaeili, H.R., Mousavi- Sabet, H.; Sayyadzadeh, G.; Vatandoust, S.; Freyhof, J., 2014. *Paracobitis atrakensis*, a new species of crested loach from northeastern Iran (Teleostei: Nemacheilidae). Ichthyological Exploration of Freshwaters, 25(3): 237-242.

Freyhof, J.; Esmaeili, H.R.; Sayyadzadeh, G.; Geiger, M., 2014. Review of the crested loaches of the genus *Paracobitis* from Iran and Iraq with the description of four new species (Teleostei: Nemacheilidae). Ichthyological Exploration of Freshwaters, 25(1): 11-38.

Greenwood, P.H., 1976. A new and eyeless cobitid fish (Pisces, Cypriniformes) from the Zagros Mountains, Iran. Journal of Zoology, 180: 129-137.

Guill, J.M.; Hood, C.S.; Heins, D.C., 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). Ecology of Freshwater Fish,

2010. Body shape variation between two populations of the white goby, *Glossogobius giuris*. Research Journal of Fisheries and Hydrobiology, 5: 44-51.

Nalbant, T.T.; Bianco, P.G., 1998. The loaches of Iran and adjacent regions with description of six new species (Cobitoidea). Italian Journal of Zoology, 65: 109-123.

Nasri, M.; Eagderi, S.; Farahmand, H.; Hashemzade-SegharLoo, I., 2013. Body shape comparison of *Cyprinion macrostomum* (Heckel, 1843) and *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) using geometric moprphometric method. International. Journal of Aquatic Biology, 1(5): 240-244.

Regan, C.T., 1906. Two new cyprinoid fishes from the Helmand basin. Journal of the Asiatic Society of Bengal, 2(1): 8-9.

Rohlf, F.J., 2010. TpsDig2–Thin Plate Spline Digitise. University of New York Press. New York, 476P.

Spoljaric, M.A.; Reimchen, T.E., 2008. Habitat dependent reduction of sexual dimorphis in geometric body shape of Haida Gwaii threespine stickleback. Biological Journal of the Linnean Society, 95: 505-516.

Tabatabaei, S.N.; Segherloo, I.H.; Eagderi, S.; Faradonbeh, M.Z., 2015. Habitat use of two nemacheilid fish species, *Oxynoemacheilus bergianus* and *Paracobitis* sp. in the Kordan River, Iran. Hydrobiologia, 762(1): 183-193.

www.Fishbase.org (accessed on 17 June 2014).

Torres-Dowdall, J.; Handelsman, C.A.; Reznick, D.N.; Ghalambor, C.K., 2012. Local adaptation and the evolution of phenotypic plasticity in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). Evolution, 11(66): 3432-3443.

Valenciennes, A., 1846. Histoire naturelle des poissons. International Journal of the Bioflux Society, 520-553.

Vogel, S., 1994. Life in moving fluids. Princeton University Press, Princeton, 226P.

Walker, C., 1996. Signs of the Wild. Struik press, 216P.

12: 134-140.

Hammer, H., 2012. PAST: Paleontological Statistics. Natural History Museum University of Oslo Press, 226P.

Huet, M., 1949. Apercu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweizerische Zeitschrift fur Hydrologie, 11: 332-351.

Jolliffe, H., 2002. Principal components in regression analysis. Principal Component Analysis, 167-98PP.

Jouladeh-Roudbar, A.; Vatandoust, S.; Eagderi, S.; Jafari-Kenari, S.; Mousavi-Sabet, H., 2015. Freshwater fishes of Iran; an updated checklist. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation-International Journal of the Bioflux Society (AACL Bioflux), 8(6): 228-252.

Klingenberg, S., 2011. Morpho J: An integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources, 11: 353-357.

Kuliev, Z.M., 1988. Morphometric and ecological characteristics of Caspian Vimba, *Vimba vimba* persa. Journal of Ichthyology, 28: 29-37.

Langerhans, R.B.; Reznick, D.N., 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics, In: Fish locomotion: an eco-ethological perspective (eds. Domenici, P.; Kapoor, B.G). Science Publishers Inc. First Edition, 200-248PP.

Lusk, S., 1995. Influence of valley dams on the changes in fish communities inhabiting streams in the Dyke drainage area. Folia Zoology, 44: 45-56.

Mousavi-Sabet, H.; Sayyadzadeh, G.; Esmaeili, H.R.; Eagderi, S.; Patimar, P.; Freyhof, J., 2015. Paracobitis hircanica, a new crested loach from the southern the Caspian Sea basin (Teleoste: Nemacheilidae). Ichthyological Exploration of Freshwaters, 25: 339-346.

Nacua, S.S.; Dorado, E.L.; Torres, M.A.J.; Demayo, C.G.,

Patterns of body shape variation in *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae) in relation to environmental variables in Sefidrud river basin. Iran. Journal of Applied Biological Sciences, 9(1): 36-42.

Webb, P.W., 1982. Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. American Zoologist, 22: 329-342.

Zamani Faradonbe, M.; Eagderi, S.; Moradi, M., 2015.