بررسی انعطاف‌پذیری ریختی سیاه ماهی توئینی (*Capoeta damascina* Valenciennes, 1842) (شعاع بالگان: کپور ماهیان) در بخش ایرانی حوضه دجله با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

پریا رضوی‌پور[۱]، سهیل ایگدری[۱*]، هادی پورباقر[۱] و یزدان کیوانی[۲]

[۱] کرج، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

[۲] اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۲

چکیده

گونه سیاه‌ماهی توئینی (*Capoeta damascina*) از جمله ماهیان آب‌های داخلی است که پراکنش وسیعی در زیستگاه‌های مختلف دارد. با توجه به توانایی زیست این گونه در زیستگاه‌های مختلف، این تحقیق با هدف شناخت الگوهای ریختی مشترک که آنها را قادر به زیست در زیستگاه‌های مختلف می‌کند و روند انعطاف‌پذیری آنها با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا در آمد. برای این منظور تعداد ۱۵۰ نمونه ماهی از ۵ بوم سازگان آبی مختلف واقع در بخش ایرانی حوضه دجله نمونه-برداری گردید، از سمت جانبی چپ نمونه‌ها عکسبرداری و تعداد ۱۷ لندمارک (مرز نشانه) جهت استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی توسط نرم‌افزار TpsDig2 رقومی گردید. داده‌های حاصل پس از تحلیل پروکراست، توسط تحلیل‌های چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه همبستگی کانونی براساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت و تحلیل خوشه‌ای مورد تحلیل قرارگرفتند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن هر پنج جمعیت مورد مطالعه وجود دارد ($P<۰/۰۰۰۱$). عمده‌ی این تفاوت‌ها مربوط به تغییرات در ناحیه پوزه، عمق سر، موقعیت باله‌ی سینه‌ای و مخرجی و عرض ساقه‌ی دمی بودند، که بیانگر انعطاف‌پذیری این بخش‌ها در پاسخ به شرایط محیطی زیستگاه جمعیت‌های مورد بررسی می‌تواند باشد. داشتن دهان با موقعیت شکمی، شکل سر، شکل بدن کاملاً دوکی شکل به عنوان ویژگی‌های مشترک در بین اعضای این گونه بودند که می‌تواند بیانگر عام‌گرا بودن شکل بدن این گونه باشد، که برای گونه‌هایی که در محیط‌های متغییر مثل رودخانه‌ها زیست می‌کنند می‌تواند یک مزیت محسوب گردد.

واژه‌های کلیدی: توئینی، ریخت‌سنجی هندسی، عام‌گرا، انعطاف‌پذیری

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۶۹۵۴۲۰۴ ، پست الکترونیکی: soheil.eagderi@ut.ac.ir

مقدمه

جنس سیاه‌ماهی (*Capoeta* Valenciennes, 1842) پراکنش وسیعی در جنوب غربی آسیا با حدود ۲۰ گونه دارد، که تعداد هفت گونه آن از ایران گزارش شده‌اند (۸، ۱۱). اعضای جنس *Capoeta* دارای بدنی فشرده تا دوکی شکل می‌باشند که توسط فلس‌های ریز یا نسبتاً بزرگ پوشیده شده است. همچنین در اعضای این جنس دهان مورب و زیرین بوده و فک پایین آنها دارای یک صفحه سخت و شاخی شکل می‌باشد (۸). در بین اعضای این جنس در ایران، گونه سیاه‌ماهی توئینی (*Capoeta damascina* Valenciennes, 1842) پراکنش وسیعی داشته و در حوضه‌های دجله، هرمزگان، کرمان، جازموریان، کر، خلیج و کویر نمک یافت می‌شود (۳، ۱۱). این گونه علاوه بر

حوضه‌های فوق در ایران، در حوضه رودخانه اردن، حوضه رودخانه لوانت و سایر بخش‌های حوضه دجله در جنوب ترکیه، عراق و سوریه نیز یافت می‌شود (۸). تنوع ریختی بالایی در بین جمعیت‌های مختلف این گونه در ایران گزارش شده است (۸). به‌عنوان مثال سمائی و پاتزنر (۲۰۱۱) شش جمعیت این گونه را با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که براساس ویژگی‌های ریختی، جمعیت‌های مورد مطالعه قابل تفکیک بودند (۳۰). این مطالعه نشان داد که جمعیت‌های مورد مطالعه براساس ویژگی‌های قطر چشم، ارتفاع بدن، ارتفاع ساقه دمی، عمق سر، فاصله پیش مخرجی، طول پوزه و طول گونه قابل تفکیک می‌باشند (۳۰).

تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مختلف یک گونه می تواند به واسطه تفاوت‌های ژنتیکی و انعطاف‌پذیری ریختی تحت تاثیر شرایط محیطی باشد. فاکتورهای محیطی به واسطه‌ی انتخاب طبیعی سبب افزایش کارایی یک ریخت در بین افراد یک زیستگاه و در نتیجه جداسازی ریختی جمعیت‌های آن در زیستگاه‌های مختلف می‌گردد (۱، ۲، ۱۹، ۳۱). از عوامل زیستی موثر بر این فرایند تکاملی، می‌توان به رقابت، شکار، میزان دسترسی به منابع غذایی و به عوامل فیزیکی موثر به نوع بستر، عمق آب، پوشش گیاهی حوضه آبریز، اثرات دستکاری انسانی مانند سدسازی اشاره کرد. اثرهای متقابل این عوامل می‌تواند سبب ایجاد سازگاری‌ها و تغییرات در قالب صفاتی مانند شکل بدن، الگوهای تغذیه‌ای، الگوهای شنا و رفتارهای تولیدمثلی بروز می‌کند (۱۰، ۱۶). براساس ویژگی‌های خاص هر منطقه افزایش کارایی یک ریخت و انتخاب آن متفاوت است. پس این امکان وجود دارد که یک ویژگی ریختی در یک زیستگاه برتر باشد، اما در زیستگاه دیگر سبب کاهش قابلیت استفاده از منابع دیگر شود (۳۴).

جمعیت‌های جدا شده یک گونه به دلیل اثرات فاکتورهای فیزیکی و زیستی (بیرونی) و فاکتورهای ژنتیکی (درونی) در زیستگاه‌های مختلف به واسطه‌ی استفاده از منابع آن زیستگاه سازگاری‌های منطقه‌ای از جمله تنوع ریختی را به نمایش می‌گذارند (۳۴). در این بین برای آشکارسازی این تفاوت‌های ریختی، استفاده از ریخت‌سنجی هندسی به عنوان یک روش نوین در مطالعه‌ی اشکال زیستی و تغییرات شکل در بین جمعیت‌های مختلف توسعه پیدا کرده است (۴، ۷). این روش می‌تواند الگوهای مختلف تغییر شکل ایجاد شده در نتیجه فرایندهایی از قبیل رشد و سازگاری‌های محیطی را نمایان سازند (۹). برخلاف روش‌های سنتی که براساس فواصل اندازه‌گیری شده می‌باشد، در روش ریخت‌سنجی هندسی از مختصات نقاط مرزنشانه برای استخراج داده‌های شکل برای تحلیل های چند متغییره استفاده می‌شود.

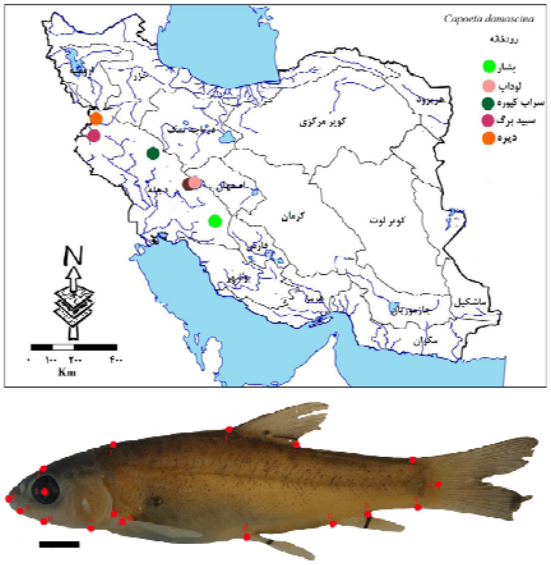
با توجه به پراکندگی بالای سیاه ماهی توئینی در بوم سازگان های آبی مختلف از جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نهرها، این سوال پیش می‌آید که اعضای این گونه دارای چه ویژگی‌های ریختی مشترکی هستند که آنها را قادر می‌سازد تا بتواند در انواع بوم سازگان ها با شرایط هیدرولوژیکی و فیزیکی متفاوت زیست نمایند. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی روند انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های مختلف این گونه جهت درک نحوه سازگاری ریختی آن به بوم سازگان های آبی مختلف به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق می‌تواند به درک بهتر شباهت‌های ریختی گونه‌های مختلف آب‌های شیرین کمک نموده و منجر به شناخت روند تاریخ تکامل اعضای این جنس نیز گردد. چرا که انشقاق بر اثر انعطاف‌پذیری ریختی یا تکامل فرد می‌تواند روند تکاملی در حال پیشرفت اعضای آن گونه را نیز ارائه نمایند (۲۳).

مواد و روشها

نمونه‌برداری: در مجموع تعداد ۱۵۰ نمونه (۳۰ نمونه از هر جمعیت) از گونه سیاه ماهی توئینی از پنج بوم سازگان

آبی مختلف شامل رودخانه‌های دیره، چم‌گران، بشار، لوداب و سراب‌کیوره از حوضه دجله در فصل پاییز سال ۱۳۹۱ با استفاده از دستگاه الکتروشوکر و تور سالیک صید گردیدند (شکل ۱ الف و جدول ۱). نمونه‌ها در محلول گل‌میخک بیهوش، در فرمالین ۱۰ درصد بافری تثبیت و سپس برای مطالعات بعدی به آزمایشگاه منتقل گردیدند. بمنظور کاهش تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بالغ و بزرگ‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر انتخاب شدند. بعلاوه تمامی نمونه‌های مورد بررسی فاقد بدشکلی غیرمعمول از جمله شکم برآمده بودند. همچنین با توجه به فقدان تفاوت ریخت‌سنجی بین دو جنس سیاه‌ماهی توئینی (۸، ۲۰، ۳۰)، نمونه‌ها براساس جنسیت از یکدیگر تفکیک نشدند. لازم به ذکر است که نمونه‌های مورد بررسی در خارج فصل تولیدمثل صید شده بودند و همچنین تنها تفاوت موجود بین دو جنس در فصل تولیدمثل وجود توبرکل بر روی پوزه جنس نر بیان شده است (۲۰). با این وجود از قراردادن لندمارک بر روی ناحیه شکمی به منظور حذف اثرات احتمالی مربوط به تفاوت برآمدگی ناحیه شکمی بواسطه تغذیه و یا توسعه گنادها اجتناب گردید.

روش کار: برای تهیه داده‌های مورد نیاز از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از پایه تصویربرداری مجهز به دوربین دیجیتال سونی با قدرت تفکیک شش مگاپیکسل عکس‌برداری شد. سپس با استفاده از نرم افزار TpsDig2 (۲۸) بر روی تصاویر دو بعدی تعداد ۱۷ مرزنشانه تعریف و رقومی شدند (شکل ۱ب). سپس برای استخراج داده‌های شکل و حذف داده‌های غیرشکل شامل اندازه، موقعیت و جهت، جایگاه مرزنشانه ها با استفاده از تحلیل پروکراست (Generalised procrustes analysis) روی‌هم‌گذاری شدند (۴، ۲۷). داده‌های حاصل از شکل بدن جمعیت‌های مورد بررسی با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis)، تجزیه همبستگی کانونی (Canonical Variate Analysis) براساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت (Permutation test) با ده هزار تکرار و تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) (آزمون جایگشت با هزار تکرار) مورد تحلیل قرارگرفتند. بعلاوه فواصل مهالانوبیس (Mahalanobis) بین گروه‌ها نیز در تحلیل تجزیه همبستگی کانونی استخراج گردید. تمامی تحلیل داده‌های شکل با استفاده از نرم‌افزارهای Past (۱۴) و MorphoJ (۲۱) انجام شد.



شکل ۱- (الف) نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و (ب) نقاط لندمارک تعیین شده برروی نمونه ماهیان برای استخراج داده‌های شکل بدن: ۱- ابتدایی‌ترین بخش پوزه، ۲-نقطه وسط چشم، ۳- امتداد خطی موازی از مرزنشانه شماره ۲ به سمت بالای بدن، ۴- انتهایی‌ترین نقطه سرپوش آبششی، ۵- امتداد خطی موازی از لندمارک شماره ۴ به سمت بالای بدن، ۶- ابتدای قاعده باله پشتی، ۷- انتهای قاعده باله پشتی، ۸- قسمت بالایی حداکثر تورفتگی ساقه دمی، ۹- انتهایی‌ترین بخش ساقه دمی، ۱۰- قسمت پایینی حداکثر تورفتگی ساقه دمی، ۱۱- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۲- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۳- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۱۴- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۱۵- بخش زیرین سرپوش آبششی، ۱۶- امتدادخطی موازی از لندمارک شماره ۲ به سمت پایین بدن، ۱۷- انتهایی‌ترین بخش شکاف دهانی.

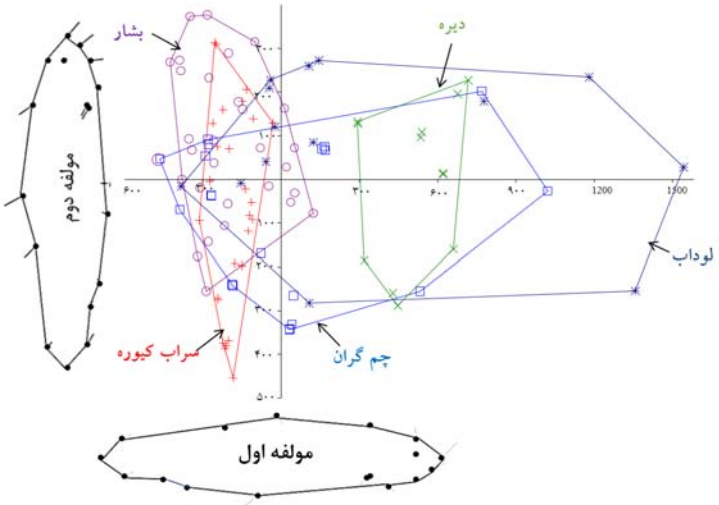
نتایج

تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی پنج جمعیت حوضه دجله نشان داد که دو مولفه اول و دوم در مجموع بیش از ۹۱ درصد از تغییرات شکل بدن را شامل می‌شوند (٪ ۱۸/۵=

مؤلفه اول و ٪ ۷۳= مؤلفه دوم) (شکل ۲). مولفه اول نشان دهنده تغییرات مربوط به جمع‌شدگی ناحیه پس‌سری، بزرگ شدن فاصله دهان و لبه زیرین چشم و فاصله بین باله سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی بود. مولفه‌ی دوم نیز بیانگر کوتاه شدن ناحیه‌ی پوزه، کاهش بین لبه‌ی زیرین چشم و شکاف آبششی بود (شکل ۲). تحلیل تجزیه همبستگی کانونی (CVA) پنج جمعیت مورد مطالعه را از هم متمایز نمود و آزمون جایگشت با ده هزار تکرار نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد (P <۰/۰۰۰۱) (شکل ۳). فواصل مهالانوبیس بین پنج جمعیت مورد مطالعه حوزه دجله در جدول ۲ آورده شده‌است. که کمترین فاصله را بین جمعیت‌های بشار و سراب‌کیوره (۵/۰۵) و بیشترین فاصله را بین جمعیت‌های لوداب و چم‌گران (۱۱/۸۷) را نشان می‌دهد.

جدول ۱- جایگاه‌های نمونه برداری جمعیت‌های مورد مطالعه سیاه ماهی توئینی در حوضه دجله.

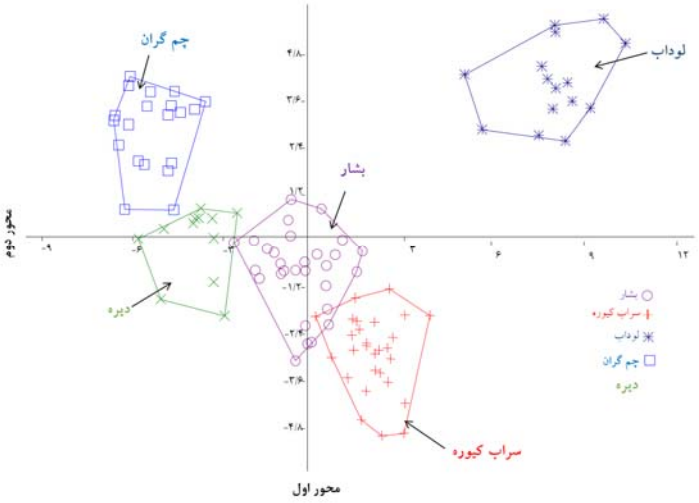
استان	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
کرمانشاه	دیره	۴۵ ° ۵۰' ۳۰"	۳۴° ۲۳' ۲۵"	۵۹۴
کردستان	چم‌گران	۴۶° ۲۰' ۴۲"	۳۵° ۱۸ ' ۴۷"	۱۰۹۴
لرستان	سراب‌کیوره	۴۸° ۴۳' ۲۲"	۳۳° ۴۸ ' ۵۹"	۱۵۲۱
کهگیلویه بویراحمد	بشار	۵۰° ۱۹' ۳۶"	۳۰°۵۷ ' ۵۹"	۲۴۱۶
کهگیلویه بویراحمد	لوداب	۵۱° ۱۵ ' ۲۹"	۳۰° ۵۷ ' ۶۰"	۱۴۵۳



شکل ۲ – نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی شکل بدن پنج جمعیت سیاه ماهی توئینی مورد مطالعه (نمودارهای برداری مربوط به تغییرات مولفه‌های اول و دوم می‌باشد).

نتایج مقایسه تغییرات شکل بدن در شبکه تغییر شکل (Deformation grid) نشان داد که تفاوت شکل بدن جمعیت‌های مختلف سیاه ماهی توئینی از الگوهای متنوعی تبعیت می‌کند (شکل ۴). با توجه به تغییر جایگاه مرزنشانه ها نسبت به شکل اجماع (Consensus) نمونه‌های رودخانه سراب‌کیوره دارای پوزه کوتاه‌تر و عمق سر کمتر هستند (مربوط به جابه‌جایی پشتی مرزنشانه های ۱، ۱۶ و ۱۷). در نمونه‌های رودخانه چم‌گران ناحیه پوزه کوچک‌تر (جابه-جایی پشتی مرزنشانه ۱)، عمق سر کمتر (جابه‌جایی شکمی و پشتی مرزنشانه های ۳ و۱۶)، باله مخرجی پشتی و عرض ساقه دمی بیشتر (جابه‌جایی مرزنشانه های ۸ و۱۰) می‌باشند. نمونه‌های رودخانه دیره دارای عمق سر و ناحیه پوزه کوچک‌تر (جابه‌جایی مرزنشانه های ۳، ۱و ۱۶) و باله سینه‌ای پشتی (جابه‌جایی مرزنشانه های ۴ و ۱۴)

است. نمونه‌های رودخانه لوداب دارای سری کوچک‌تر (جابه‌جایی مرزنشانه های ۳ و ۱۵)، نوک پوزه شکمی (جابه‌جایی مرزنشانه ۱)، موقعیت دهان شکمی‌تر (جابه-جایی مرزنشانه ۱۶)، باله سینه‌ای جلویی‌تر (جابه‌جایی مرزنشانه های ۴ و ۱۴) و ساقه دمی عریض‌تر (جابه‌جایی مرزنشانه های ۸ و۱۰) است. نمونه رودخانه بشار نیز دارای عرض بدن پهن‌تر (جابه‌جایی مرزنشانه‌های ۶ و ۱۳) و باله مخرجی جلوتر (جابه‌جایی مرزنشانه ۱۱و ۱۲) می‌باشد (شکل ۴). آنالیز خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه براساس ویژگی‌های شکل بدن در شکل ۴ نشان داده شده است (۰/۸۰۸۵= ضریب کوفنتیک (Cophenetic index)، که در آن نمونه‌ها به دو شاخه کلی شامل لوداب در یک شاخه و سایر جمعیت‌ها در شاخه‌ی دیگر قرارگرفته‌اند. در شاخه دوم نیز نمونه‌های دیره و چم‌گران در یک شاخه و بشار و سراب‌کیوره در شاخه دیگر واقع شده بودند (شکل ۴).



شکل ۳ –نمودار تجزیه همبستگی کانونی شکل بدن پنج جمعیت سیاه ماهی توئینی مورد مطالعه در حوزه دجله.

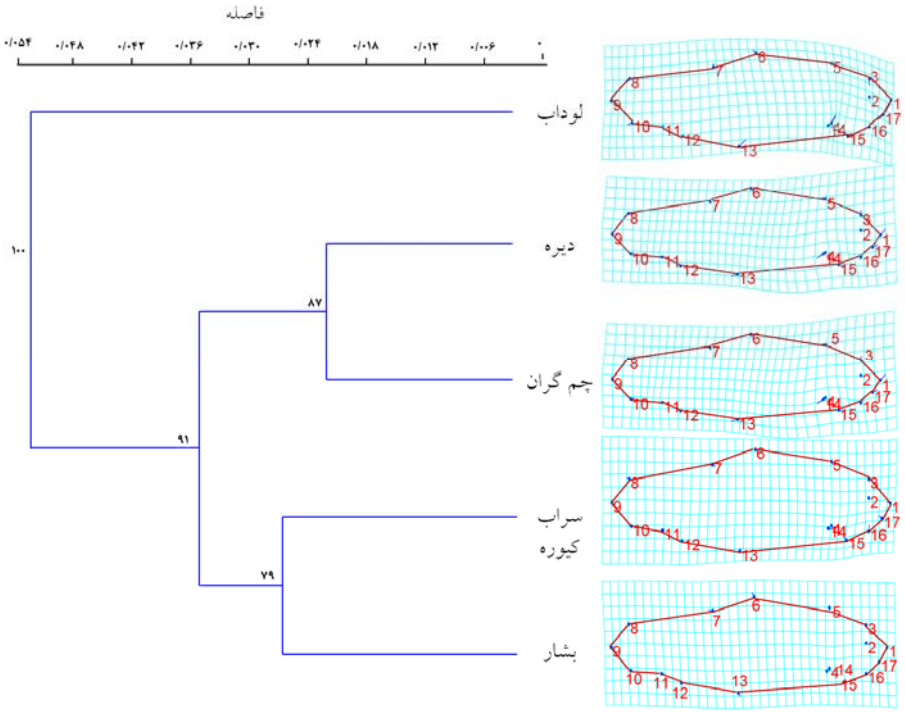
جدول ۲–فاصله‌های مهالانوبیس پنج جمعیت سیاه ماهی توئینی مورد مطالعه در حوضه دجله

	سراب‌کیوره	چم‌گران	دیره	لوداب
چم‌گران	۸/۶۰۶۳			
دیره	۷/۵۸۳۳	۵/۲۵۰۱		
لوداب	۸/۱۶۹۴	۱۱/۸۷۰۶	۱۱/۱۱۸۸	
بشار	۵/۰۵۵۵	۷/۰۵۷۲	۵/۹۸۱۳	۸/۴۶۷۴

بحث

در بین مهره‌داران، ماهیان بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات محیطی از خود نشان می‌دهند (۳۳). شرایط محیطی مختلف (دما، دسترسی به غذا، جریان آب، کدورت، عمق آب) سبب تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های مختلف یک گونه می‌گردد (۲۳، ۳۰). نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت معنی‌داری از لحاظ شکل بدن بین جمعیت‌های مورد بررسی در زیستگاه‌های مختلف وجود دارد که مربوط به ناحیه سر شامل موقعیت نسبی دهان (شکمی‌تر بودن)، پوزه و عمق سر، موقعیت باله سینه‌ای و مخرجی و عرض ساقه دمی بودند که تا حدودی با نتایج سمائی و پاتزنر (۲۰۱۱) با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی همخوانی دارد (۳۰). با این وجود قابلیت مصورسازی در روش ریخت‌سنجی هندسی توانست میزان یا درجه تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مورد بررسی

را نیز آشکار سازد و نشان داد که تفاوت‌های ذکر شده توسط سمائی و پاتزنر (۲۰۱۱) در برخی بخش‌ها شامل موقعیت چشم و طول گونه تمایز دهنده نمی‌باشند که این امر می‌تواند بیانگر قابلیت بالای روش ریخت‌سنجی هندسی در تفسیر اشکال زیستی باشد (۴).



شکل ۴ - آنالیز خوشه‌ای شکل بدن پنج جمعیت سیاه ماهی توئینی مورد مطالعه در حوزه دجله (شبکه های تغییر شکل بیانگر تفاوت‌های میانگین هر جمعیت از شکل اجماع جمعیت‌های مورد مطالعه است).

از آنجایی که یکی از اهداف این تحقیق بررسی و مقایسه شکل بدن جمعیت‌های مختلف سیاه ماهی توئینی در حوضه دجله بود، نتایج توانست تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های مختلف مورد بررسی این گونه را آشکار نماید. براین اساس جمعیت رودخانه‌های سراب‌کیوره و چم‌گران و دیره دارای پوزه کوتاه و عمق سر کم بودند ولی در بین این سه جمعیت، نمونه‌های چمگران بواسطه عرض ساقه‌ی دمی بیشتر و نمونه‌های دیره به‌واسطه باله‌ی سینه‌ای پشتی‌تر قابل تفکیک بودند. همچنین جمعیت رودخانه لوداب با داشتن سر کوچک، نوک پوزه و موقعیت دهان شکمی‌تر، باله‌ی سینه‌ای جلویی‌تر و ساقه‌ی دمی عریض‌تر قابل تمایز می‌باشند. جمعیت بشار نیز بواسطه عرض بدن بیشتر و باله‌ی مخرجی جلوتر از بقیه جمعیت‌ها قابل شناسایی هستند. این ویژگی‌های ریختی می‌تواند به واسطه‌ی انعطاف‌پذیری ریختی تحت تاثیر فاکتورهای محیطی یا تفاوت ژنتیکی در طی فرایند تکامل آنها حاصل شده باشد (۹، ۱۲). البته تغییرات در محیط خیلی سریع‌تر از زمان شکل‌گیری یک ویژگی در موجود بوقوع می‌پیوندد و از این‌رو کارایی فرایند انعطاف‌پذیری ریختی بدلیل عقب افتادن از تغییرات محیطی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین انعطاف‌پذیری ریختی عمدتاً یک را حل برای تغییرات محیطی طولانی مدت می‌باشد (۲۹).

علی‌رغم تفاوت‌های ریختی ذکر شده، شباهت‌های متعددی نیز در بین جمعیت‌های مختلف سیاه‌ماهی توئینی مشاهده گردید که می‌تواند بیانگر ویژگی‌هایی باشد، که این ماهی‌ها را قادر می‌سازند تا بتوانند در بوم‌سازگان‌های آبی مختلف

زیست نماید. در این بین داشتن دهان با موقعیت شکمی در بین اعضای این گونه یک ویژگی برای عمل جستجوی غذا و تغذیه از ناحیه بستر می‌تواند باشد (۲۲). تغییر شکل در ناحیه سر و دهان منعکس کننده تفاوت در تغذیه است، که شامل نوع و جهت تغذیه می‌باشد (۲۲). با توجه به نوع تغذیه این گونه که کفزی‌خوار است (۳۲)، تغذیه آن از منابع بستر مانند جلبک‌های رشته‌ای و انواع حشرات شیرونومیده، تیپولیده و اپیدیده صورت می‌گیرد (۳، ۸). از این‌رو این شکل دهانی یک مزیت اصلی برای اعضای این گونه را فراهم می‌آورد و علی‌رغم تفاوت در طول و عرض سر، اما همواره موقعیت دهان در اعضای این گروه حفظ شده و حتی در جمعیت لوداب در ناحیه شکمی‌تر واقع شده است. بنابراین این گونه برای داشتن تغذیه کافی در قسمت‌های کم‌عمق آب زیست می‌نمایند (۲۶). از این رو همه‌چیزخواری سیاه‌ماهی می‌تواند تفاوت در شکل را کم نماید. البته با توجه به تغذیه از بستر، سر عریض و پوزه پهن برای خراشیدن یک مزیت محسوب می‌گردد. در ضمن پوزه پهن با نحوه تغذیه خراشیدن در ارتباط می‌باشد (۵، ۱۷، ۳۵، ۳۶). تفاوت‌های مشاهده شده می‌توانند بیانگر مزیت عملکردی مرتبط با زیستگاه بواسطه انعطاف‌پذیری ریختی باشد (۹، ۲۴). سر کوچک یا به عبارت دیگر اندازه سر مورد مشاهده در این تحقیق می‌تواند به واسطه‌ی تفاوت در سطوح غذایی یا منابع غذایی مورد استفاده باشد (۲۹) و همچنین ساقه‌ی دمی کوتاه و عریض می‌تواند نشان‌دهنده کارایی این اندام در جریان‌های سریع آب در زیستگاه‌های رودخانه‌ای باشد. نقش اصلی ساقه‌ی دمی در کارایی هر چه بهتر امر شنا از قبیل تسهیل شتاب بیشتر و افزایش سرعت در شروع شنا می‌باشد (۱۵).

اگرچه تفاوت‌ها بیشتر در ناحیه سر و ساقه دمی مشاهده شد ولی میزان یا درجه این تغییرات کم بود که می‌تواند بیانگر انعطاف‌پذیری جزئی به شرایط محیطی مربوط به تغذیه و شنا باشد. بنابراین می‌توان پیشنهاد نمود که گونه-های عام‌گرا مثل سیاه‌ماهی توئینی دارای ابزارهای تخصصی مشابه همانند موجودات تخصص‌گرا البته با درجه کمتر می‌باشند. موجودات با سازش تخصصی در یک محیط ثابت زیست می‌نمایند و موجودات عام‌گرا مثل گونه سیاه‌ماهی توئینی که در محیط‌های متغییر زیست می-نمایند، تغییرات در آنها جزئی می‌باشد (۱۸). زیستگاه‌های رودخانه‌ای به‌عنوان یک زیستگاه با رژیم متغییر محسوب می‌شوند و تکامل برای داشتن یک ریخت عام‌گرا در این محیط یک مزیت محسوب می‌شود. بنابراین تشابه شکل کلی بدن یا به عبارت دیگر داشتن شکل دوکی شکل (به-واسطه سر و دم کم عرض نسبت به تنه) در سیاه‌ماهی توئینی یک مزیت برای آنها می‌باشد. البته جمعیت رودخانه بشار دارای عرض بدن بیشتر با درجه کمتر بودند. بنابراین ماهیانی مثل سیاه ماهی توئینی که در یک آب جاری مثل رودخانه زیست می‌کند دارای بدنی دوکی شکل هستند (۱۳، ۲۵) که به دلیل نوع زیستگاه (آب جاری)، با کاهش ارتفاع بدن برای مقابله با شسته شدن توسط جریان سریع آب و ذخیره انرژی سازگاری یافته‌اند. از این‌رو داشتن بدن دوکی شکل در اعضای این گونه یک مزیت محسوب می گردد (۶، ۲۵).

زیستگاه‌های رودخانه‌ای به عنوان یک زیستگاه با رژیم متغییر محسوب می‌شوند و از این‌رو در چنین محیطی داشتن یک ریخت عام‌گرا در سیاه‌ماهی توئینی یک مزیت محسوب می‌شوند. اگرچه تفاوت‌های در بخش‌های از پوزه، اندازه سر، موقعیت باله‌ی مخرجی و ساقه‌ی دمی مشاهده شد ولی این پاسخ‌ها در حدی نبود که سبب تغییر در شکل کلی بدن دوکی شکل آنها گردد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که فرایند انعطاف‌پذیری در فنوتیپ‌های عام‌گرا مثل سیاه‌ماهی توئینی می‌تواند تغییرات در شکل بدن را تحت تاثیر ویژگی‌های محیطی نسبت به گونه‌های تخصص‌گرا البته با درجه کمتر ایجاد کند. در نتیجه ریخت حاصل می‌تواند یک ریخت میانه باشد و چنین استراتژی منعطف‌پذیرتر امکان زیست در شرایط غالب را برای این گونه‌ها فراهم نماید.

تشکر و قدردانی: این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تهران به اجرا درآمده است.

منابع

۱. پیرمحمدی، م.، عبدلی، ا.، و قربانی، ر.، ۱۳۹۳. برخی خصوصیات زیستی گاوماهی سرگنده، *Neogobius gorlap* در جنوب شرقی دریای خزر، محدوده استان گلستان، مجله پژوهشهای جانوری (مجله زیست شناسی ایران)، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحات ۲۱-۱۳.

۲. یگانه، م.، سیف آبادی، ج.، کیوانی، ی.، و کاظمی، ب.، ۱۳۹۲. مقایسه رابطه طول-وزن در جمعیت‌ها و جنس‌های مختلف دو گونه از کپوردندان ماهیان ایران *Aphanius vladykovi* و *Aphanius sophiae*.مجله پژوهشهای جانوری (مجله زیست شناسی ایران)، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحات ۱۸۵-۱۸۱.

3. Abdoli, A., 2000. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife, Tehran. In Farsi, 378 p.

4. 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, PP: 5-16.

5. Barel, C.D.N., 1983. Towards a constructional morphology of cichlid fishes (Teleostei, Perciformes). Netherlands Journal of Zoology. 33, PP: 357-424.

6. Blake, R.W., 1983. Fish locomotion. Cambridge University Press, Cambridge, 208 pp..

7. Bookstein, F.L., 1991. Morphometric Tools for Landmark Data. Geometry and Biology. Cambridge University Press, 512 pp.

8. Coad, B., 2014. Fresh water fishes of Iran. Available at http://www.briancoad.com.

9. Eagderi, S., Esmaeilzadegan, E., and Madah, A., 2013. Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. Journal of Taxonomy and Biosystematics, 5(4): 1-8. (In Farsi).

10. Eklov, P., and Jonsson, P., 2007. Pike predators induce morphological changes in young perch and roach. Journal of Fish Biology. 70, PP: 155-164

11. Esmaeili, H.R., Coad, B.W., Gholamifard, A., Nazari, N., and Teimori, A., 2010. Annotated checklist of the freshwater fishes of Iran. Zoosystematica Rossica. 19, PP: 361-386.

12. Guill, J.M., Hood, C.S., and Heins, D.C., 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). Ecology of Freshwater Fish. 12, PP: 134-140.

13. Haas, T.C., Blum, M.J., and Heins, D.C., 2011. Morphological responses of a stream fish to water impoundment. Biology Letter. doi:10.1098/rsbl.2010.0401.

14. Hammer, O., Harper, D.A.T., and Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica. 4(1), 9 p.

15. Hawkins, D.K., and Quinn, T.P., 1996. Critical swimming velocity and associated morphology of juvenile coastal cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki clarki*), steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*), and their hybrids. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 53, PP: 1487–1496.

16. Januszkiewicz, A.J., and Robinson, B.W., 2007. Divergent walleye (*Sander vitreus)* mediated inducible defenses in the centrarchid pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*). Biological Journal of the Linnaean Society. 90, PP: 25-36.

17. Kassam, D.D., Adams, D.C., Ambali, A.J.D., and Yamaoka, K., 2003. Body shape variation in relation to resource partitioning within cichlid trophic guilds coexisting along the rocky shore of Lake Malawi. Animal Biology. 53, PP: 59-70

18. Kassen, B., and Bell, G., 1998. Experimental evolution in Chlamydomonas. IV. Selection in environments that vary through time at different scales. Heredity. 80, PP: 732-741.

19. Keeley, E.R., Parkinson, E.A., and Taylor, E.B., 2007. The origin of ecotypic variation of rainbow trout: a test of environmental vs. genetically based differences in morphology. Journal of Evolutionary Biology. 20(2), PP: 725-736.

20. Khalaf, G., 1987. Le cycle sexuel de *Capoeta damascina* (Cyprinidae) dans les cours d'eau libanais. Cybium. 11(4), PP: 395-401.

21. Klingenberg, C.P., 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources. 11, PP: 353-357.

22. 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.

23. Luck, G.W., Daily, G.C., and Ehrlich, P.R., 2003. Population diversity and ecosystem services. Trends in Ecology and Evolution. 18, PP: 331-336.

24. Mohadasi, M., Shabanipour, N., and Eagderi, S., 2013. Habitat-associated morphological divergence in four Shemaya, *Alburnus chalcoides* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in the southern Caspian Sea using geometric morphometrics analysis. International Journal of Aquatic Biology. 1(2), PP: 82-92.

25. Ostrand, K.G., Wilde, G.R., Strauss, R.E., and Young, R.R., 2001. Sexual Dimorphism in Plains Minnow, *Hybognathus placitus*. Copeia. 2, PP: 563-565.

26. Ribbink, A.J., Marsh, A.B., Marsh, A.C., Ribbink, A.C., and Sharp, B.J., 1983. A preliminary survey of the cichlid fishes of rocky habitats in Lake Malawi. South African Journal of Zoology. 18, PP: 149-310.

27. Rohlf, F.J., 2001. Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric interpretations. Evolution. 55, PP: 2143-2160.

28. Rohlf, F.J., 2005. Tps Dig, digitize landmarks and outlines, version 2.05. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.

29. 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. 7, PP: 801-819.

30. Samaee, S.M., and Patzner, R.A., 2011. Morphometric differences among populations of tu'ini, *Capoeta damascina* (Teleostei: Cyprinidae), in the interior basins of Iran. Journal of Applied Ichthyology. 27(3), PP: 928-933.

31. Smith, T.B., and Skulason, S., 1996. Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. Annual Review of Ecology and Systematics. 1996, PP: 111-133.

32. Spataru, P., and Gophen, M., 1986. Food and feeding habits of *Capoeta damascina* (Cyprinidae) in Lake Kinneret, Israel. Journal of Aquaculture in the Tropics. 1, PP: 147-153.

33. Turan, C., 2000. Otolith shape and meristic analysis of Herring (*Clupea harengus*) in the northeast Atlantic. Arch. Fish. Mar. Res. 48, PP: 283-295.

34. Webster, M.M., Atton, N., Hart, P.J.B., and Ward, A.J.W., 2011. Habitat-specific morphological variation among threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) within a drainage basin. PloS one. 6 , PP: e21060.

35. Winemiller, K.O., 1991. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. Ecological Monographs. 61, PP: 343-365.

36. Winemiller, K.O., Kelso-Winemiller, L.C., and Brenkert, A.L., 1995. Ecomorphological diversification and convergence in fluvial cichlid fishes. Environmental Biologyof Fishes.44, PP: 235-261.

Phenotypic plasticity of the Tuini fish, *Capoeta damascina* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in Iranian part of Tigris basin using geometric morphometric approach

Razavi Pour P.[1], Eagderi S.[1], Poorbagher H.[1] and Keivany Y.[2]

[1] Fisheries Dept., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

[2] Fisheries Dept., Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. of Iran

Abstract

The Tuini (*Capoeta damascina*) is one of Freshwater fishes distributing in various habitats. Regarding the ability of this species to inhabit at various environmental conditions, this study was conducted to investigate their common features which able them to reside in different habitats and phenotypic plasticity process among its populations using geometric morphometrics technique. In total 150 specimens of the Tuini fish collected from five different aquatic ecosystem from Iranian part of Tigris basin. Then lateral face of their left side photographed and 17 landmark-points defined and digitized using TpsDig2 software. The coordinate data after GPA superimposing, analyzed using multivariate analyses including principal component, canonical vitiate and cluster analyses. The results revealed a significant difference in the body shape of studied populations associating to snout, head width, the position of pectoral and pelvic fins and depth of caudal peduncle. These differences can show plasticity of these body parts in response to environmental condition of their habitats. Possessing a ventral mouth, head shape and fusiform body shape can be considered to be common characteristics of the Tuini fish reflecting being plastic generalist. Therefore, observed differences in this plastic generalist species have similarities with plastic specialist but with lesser degree indicating an advantage to inhabit in unstable environments i.e. rivers.

Key words: Tuini, Geometic morphometrics, Generalist, Phenotypic plasticity