DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

بررسی تأثیر شوری بر تغییرات شکل بدن ماهی پلاتی (*Xiphophorus maculatus* Günther 1866) در مراحل اولیه تکوین با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

علیرضا رادخواه، سهیل ایگدری*، عبدالمجید عبدی، هادی پورباقر و غلامرضا رفیعی

ایران، کرج، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

چکیده

مطالعه تغییرات ریختی ماهیان به‌منظور درک روند سازگاری و تکامل آن‌ها و همچنین، مدیریت اکوسیستم‌های آبزی با توجه به نوسانات محیطی یکی از ضروریت‌های تحقیقاتی محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر شوری بر تغییرات ریختی ماهی پلاتی (*Xiphophorus maculatus*) در مراحل اولیه رشد انجام شد. برای این منظور، تعداد ۶۰ قطعه بچه‌ماهی پلاتی (۳۰ قطعه در هر تیمار) در محیط‌های مختلف شامل آب شیرین (۰ ppt) و آب شور (۱۲ ppt)، به‌مدت ۳۰ روز در شرایط آزمایشگاهی پرورش یافتند. پس از پایان دوره آزمایش، در شرایط یکسان از سمت چپ نمونه‌های ماهی با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری شد و تعداد ۱۶ لندمارک با استفاده از نرم‌افزار Tpsdig2 روی تصاویر دوبُعدی قرار داده شد. پس از روی هم‌گذاری نقاط و حذف تأثیرات اندازه و جهت با آنالیز پروکراست تعمیم‌یافته (GPA)، داده‌ها توسط آنالیزهای تجزیه به مؤلفه اصلی (PCA)، تابع متمایزکننده (DFA)، تی‌تست هاتلینگ و آنالیز خوشه‌ای (CA) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن ماهی پلاتی در تیمارهای مورد مطالعه وجود دارد ($P<۰/۰۰۱$). بچه‌ماهیانی که در تیمار با سطح شوری ۱۲ ppt پرورش یافته بودند، دارای سر و آبشش با عمق کمتر و پوزه طویل‌تری بودند. همچنین، این بچه‌ماهیان در مقایسه با تیمار آب شیرین (شوری صفر)، ساقه دمی کوتاه‌تر با عمق کمتر داشتند. نتایج نشان داد با تغییر شرایط محیطی از آب شیرین به آب شور، موقعیت فوقانی دهان در ماهی پلاتی به حالت تحتانی تمایل می‌یابد. علاوه بر این، عمق و طول بدن در ماهیانی که سطح شوری ۱۲ ppt را تجربه کردند، در مقایسه با تیمار آب شیرین کمتر بود. به‌طور کلی، پژوهش حاضر نشان داد که سطح شوری آب سهم قابل ملاحظه‌ای در مراحل رشد و توسعه اولیه ماهی پلاتی ایفا می‌کند.

واژه های کلیدی: ماهی پلاتی، انعطاف‌پذیری ریختی، ریخت‌سنجی هندسی، شوری، سازگاری

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

مقدمه

شکل بدن یک ماهی می‌تواند منعکس کننده ویژگی‌های مختلف زیستی مانند کارایی تغذیه، تحرک (۱۵)، رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه آن‌ها باشد (۲۵). ماهیان به هنگام مواجهه با شرایط مختلف محیطی قادر به سازگاری هستند تا بتوانند زنده بمانند (۸). این سازگاری با شرایط محیطی، در طی زمان منجر به تغییرات فیزیولوژی و رفتاری شده و در نهایت موجب تفکیک جمعیت‌ها و حتی گونه‌زایی می‌شود (۱۳). انعطاف‌پذیری ریختی توانایی یک موجود به تغییر ریخت در پاسخ به تغییرات محیطی است (۱ و ۹). این انعطاف در واقع روابط متقابل و کارکرد وسیعی از محیط و طیف وسیعی از فنوتیپ است و شامل تغییراتی است که در طول زندگی یک موجود رخ می‌دهد (۱۲). مطالعه انعطاف‌پذیری ویژگی‌های ریختی جمعیت های یک گونه که در محیط‌های متفاوت زیست می‌کنند، می‌تواند در جهت درک مکانیسم تغییرات ریختی که ناشی از نوسانات محیطی است، مورد استفاده قرار گیرد (۱ و ۶).

DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

از این‌رو، آگاهی از ویژگی‌های زیستگاهی، مکانیسم‌های فیزیولوژی و ویژگی‌های ریختی ماهیان به‌منظور درک سازگاری آن‌ها در محیط ضروری است.

بررسی تغییرات ریختی ایجاد شده در ماهیان می‌تواند برای درک روند سازگاری، مدیریت اکوسیستم‌ها و پی‌بُردن به روند تکامل موجودات با توجه به تغییرات محیطی بسیار سودمند باشد (۲۰). تاکنون مطالعات مختلفی به‌منظور بررسی تاثیر ویژگی‌های محیطی بر تغییرات شکل بدن و الگوی رشد در گونه‌های مختلف ماهیان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات Sfakianakis و همکاران (۲۰۱۱)، پورمقدم و ایگدری (۱۳۹۲)، پورمقدم و همکاران (۱۳۹۳) و ایگدری و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد که به‌ترتیب پیرامون گونه‌های دانیوی گورخری (*Danio rerio*)، آنجل (*Pterophyllum scalare*)، گورماهی صوفیا (*Aphanius sophia*) و ماهی دُم‌شمشیری (*Xiphophorus helleri*) انجام شده‌اند.

در میان ماهیان زینتی در سراسر جهان، اعضای خانواده پشه‌ماهیان (Poecilidae) بسیار محبوب هستند. ماهی پلاتی (*Xiphophorus maculatus* Günther 1866) به‌عنوان یکی از اعضای متعلق به این خانواده به‌شمار می‌رود. این گونه، ماهی صلح‌جویی است و به‌همین علت گزینه بسیار مناسبی برای نگهداری در آکواریوم‌های اجتماعی محسوب می‌گردد (۱۱). پلاتی که جز ماهیان غیربومی و معرفی‌شده محسوب می‌شود، به‌دلیل برخورداری از دهان فوقانی از سطح آب تغذیه می‌کند و همه‌چیزخوار است (۱۱ و ۲۷). این گونه می‌تواند تا طول ۱۰ سانتی‌متر رشد کند (۱۴). محدوده پراکنش بومی ماهی پلاتی (*X. maculatus*) شامل آمریکای شمالی و مرکزی (سیوداد وراکروز، مکزیک تا شمال بلیز) می‌باشد (۲۷). با این حال، این گونه به بسیاری از کشورهای دیگر نیز معرفی شده است. بر اساس Froese و Pauly (۲۰۲۲)، پراکنش جغرافیایی ماهی پلاتی حداقل در ۲۱ کشور در سطح جهان ثبت شده است (۱۱). این گونه می تواند طیف وسیعی از نوسانات محیطی شامل دما، شوری و اکسیژن محلول را تحمل کند (۱۰).

پرورش ماهیان زینتی در اکوسیستم‌های طبیعی نامتعارف از جمله آب لب‌شور می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین برای توسعه آبزی‌پروری و ایجاد شغل در این مناطق مطرح باشد (۵). ماهی پلاتی به‌دلیل اندازه کوچک و همچنین نگهداری آسان آن، قابلیت پرورش در اکوسیستم‌های نامتعارف کشور مانند آب‌های شور را دارا می‌باشد. از این‌رو، بررسی تاثیر فاکتورهای محیطی چنین اکوسیستم‌هایی روی توسعه این ماهی و امکان‌پذیری پرورش آن به‌عنوان یک ضرورت مهم تحقیقاتی مطرح می‌باشد.

با توجه به موارد فوق، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات ریختی ماهی پلاتی در برابر تغییرات شوری در مراحل اولیه رشد پس از تولد در شرایط آزمایشگاهی به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق می‌تواند به درک بهتر روند سازگاری این گونه غیربومی معرفی شده به اکوسیستم‌های داخلی کمک نماید و در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به‌ویژه فعالیت‌های شیلاتی آتی در مورد این گونه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روشها

پرورش مولدین و بچه‌ماهیان: این تحقیق در خردادماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. برای این منظور، ۶۰ قطعه بچه‌ماهی پلاتی از یکی از مراکز پرورش ماهیان زینتی در شهر تهران تهیه شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده شامل ماهیانی بودند که از آمیزش چندین نسل در این مرکز و از اجداد مشترک حاصل شده بودند. در واقع، بچه‌ماهیان مورد بررسی در این مطالعه، حاصل چندین نسل درون‌آمیزی (Inbreeding) بودند. از این‌رو، این نمونه‌ها از لحاظ ژنتیکی تفاوت بسیار اندکی با یکدیگر داشتند.

مطالعات مربوط به ریخت‌سنجی ماهیان در آزمایشگاه تکوین و بیوسیستماتیک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه

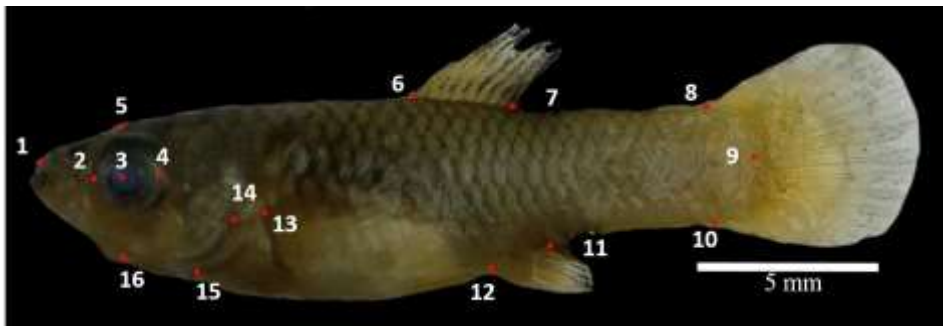
DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

تهران انجام گرفت. مولدین با نسبت جنسی ۳ ماده به‌ازای یک نر در تانک‌های فایبرگلاسی ۵۰ لیتری نگهداری شدند. به‌منظور ترغیب ماهیان برای زادآوری از گیاهان آبزی مختلف از جمله علف شاخی (*Ceratophyllum demersum* L.) و روتالا (*Rotala rotundifolia*) در محیط استفاده شد که هردو تاثیر قابل توجهی بر نرخ زادآوری داشتند. رای القای رسیدگی جنسی، ماهیان به‌وسیله آرتمیا و غذای فرموله شده بیومار تغذیه شدند. بچه ماهیان بلافاصله پس از تولد به تیمارهای آماده شده معرفی شدند.

طرح آزمایش: در این آزمایش از دمای پایین‌تر از حد اُپتیمم ماهی استفاده شد. از این‌رو، سطوح دما در حد اُپتیمم ماهی (دمای پرورشی در آکواریوم‌ها) یعنی ۲۶-۲۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. در این آزمایش، دو سطح شوری برای تیمارها طراحی شد که شامل آب لب-شور (۱۲ در هزار یا معادل شوری آب دریای خزر) و آب شیرین (شوری صفر) بود. لازم به ذکر است که سطح شوری ۱۲ در هزار (12 ppt) به‌عنوان نقطه ایزواُسموتیک در ماهیان استخوانی شناخته می‌شود (۱۰). از این‌رو، این سطح از شوری با توجه به مطالعات قبلی (۱۰ و ۱۱)، شرایط محیطی و قابلیت سازگاری و بقای ماهی پلاتی انتخاب شد. به‌منظور ایجاد شوری ۱۲ درهزار، ۱۲۰ گرم نمک دریا به آب اضافه شد. در هر تیمار ۳۰ بچه‌ماهی تازه متولد شده رهاسازی شد. در هر مخزن، دستگاه هواده تعبیه شد و طول دوره آزمایش یا پرورش بچه‌ماهیان ۳۰ روز به-طول انجامید.

استخراج داده‌های ریخت‌شناختی: پس از اتمام دوره پرورش ۳۰ روزه، ماهیان در محلول گل میخک بیهوش و سپس از سمت چپ جانبی ماهیان با استفاده از لوپ مجهز به دوربین دیجیتال کانُن (Cannon) با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل مستقر شده بر روی Copystand عکس‌برداری شدند. به‌منظور استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۱۶ نقطه لندمارک تعریف و توسط نرم‌افزار TPSDig2 بر روی تصاویر دو بعدی رقومی گردیدند. (شکل ۱).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: در این مطالعه، تغییرات ریختی ماهی پلاتی در دو تیمار مختلف شامل آب شیرین (۰ ppt) و آب شور (۱۲ ppt) قبل از ظاهر شدن دوشکلی جنسی (Dimorphism) مورد بررسی قرار گرفت. از این‌رو، دوشکلی جنسی در بین تیمارها مشاهده نشد.



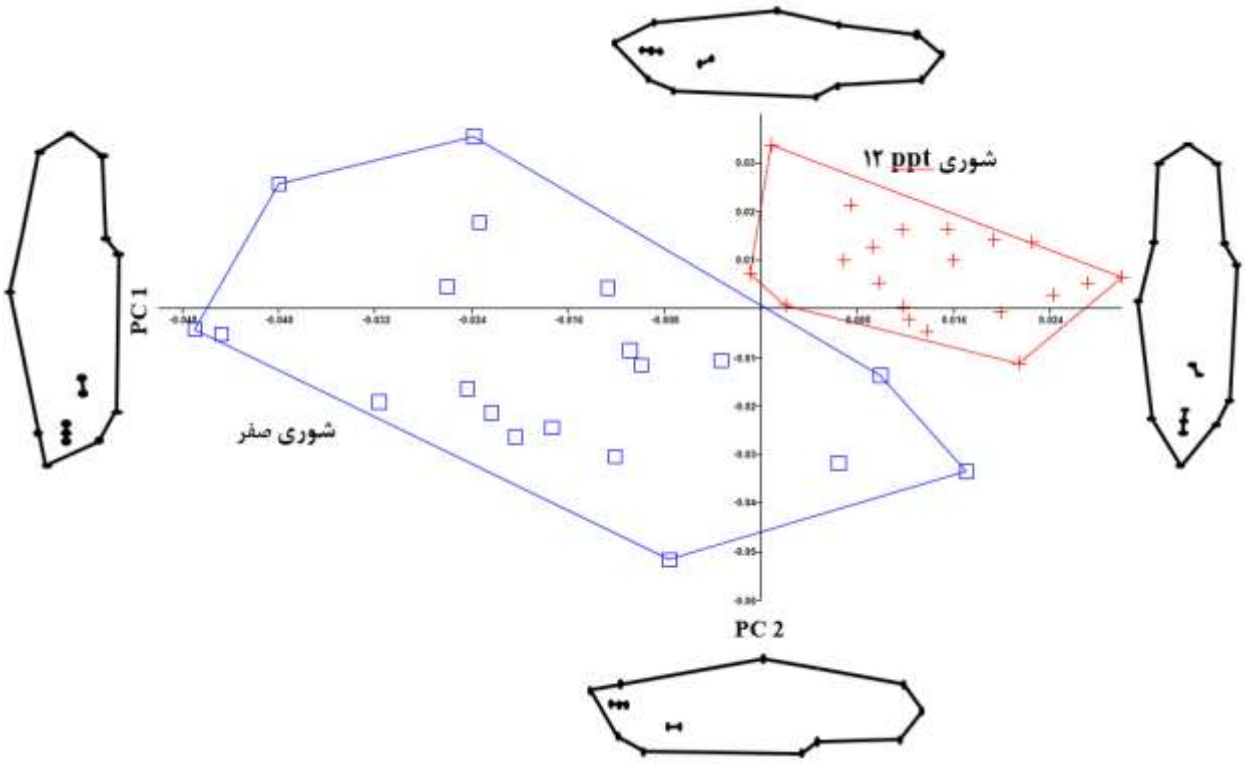
شکل ۱- نقاط لندمارک تعیین شده بر روی ماهی پلاتی. ۱) ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا (نوک‌پوزه)، ۲) ابتدای چشم، ۳) قسمت مرکزی چشم، ۴) انتهای چشم، ۵) امتداد خط عمود بر مرکز چشم در بالای‌سر، ۶) ابتدای قاعده باله پشتی، ۷) انتهای قاعده باله پشتی، ۸) نقطه‌ی بالای انتهای ساقه دمی، ۹) بخش انتهایی ساقه دُمی، ۱۰) نقطه پایین انتهای ساقه دمی، ۱۱) انتهای قاعده باله مخرجی (لگنی)، ۱۲) ابتدای قاعده‌ی باله مخرجی (لگنی)، ۱۳) ابتدای قاعده باله‌ی سینه‌ای، ۱۴) انتهایی‌ترین قسمت سرپوش آبششی در جلوی بدن، ۱۵) ابتدایی‌ترین قسمت سرپوش آبششی، ۱۶) امتداد خط عمود بر مرکز چشم در پایین بدن.

DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

به‌منظور حذف تغییرات غیرشکلی شامل اندازه، جهت و موقعیت داده‌ها از آنالیز پروکراست استفاده شد. همچنین، تفاوت‌های شکل بدن در بین تیمارهای مورد مطالعه با استفاده از آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis = PCA) و تابع متمایزکننده (Discriminant Function Analysis = DFA) در نرم‌افزار PAST Version 2.15 انجام شد (۲۱). تفاوت شکل نیز براساس ارزش *P* حاصل از آزمون تی‌تست هاتلینگ مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی تفاوت شکل بدن در تیمارهای مورد مطالعه، تغییرات شکل بدن هر تیمار (با سه تکرار) بر اساس میانگین شکل بدن (Consensus configuration)، با یکدیگر و شکل اجماع کل تیمارها در شبکه تغییر شکل (Deformation grids) توسط برنامه Thin-Plate Spline در نرم‌افزار PAST مصورسازی و مقایسه شدند. در این تحقیق، از آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) برپایه فاصله اقلیدسی به‌منظور تفکیک جمعیت‌های مورد مطالعه استفاده شد.

نتایج

نتایج آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل اول شامل PC1 و PC2 به‌ترتیب ۴۳/۵۲ و ۲۵/۱۴ درصد از تغییرات را به‌عنوان گروه‌های عاملی اصلی به خود اختصاص دادند که در مجموع ۶۸/۶۶ درصد از تغییرات را شامل شدند (جدول ۱). نتایج PCA نشان داد که دو گروه مورد مطالعه از نظر تغییرات شکل بدن از یکدیگر متمایز می‌شوند (شکل ۲). آنالیز تابع متمایزکننده نیز دو گروه را از یکدیگر متمایز نمود، و تی‌تست هاتلینگ نیز بیانگر تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن ماهیان پلاتی در دو تیمار شوری بود (*P*<۰/۰۰۱؛ شکل ۳).



شکل ۲- آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن ماهیان در دو تیمار شوری

DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

جدول ۱- نتایج آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)

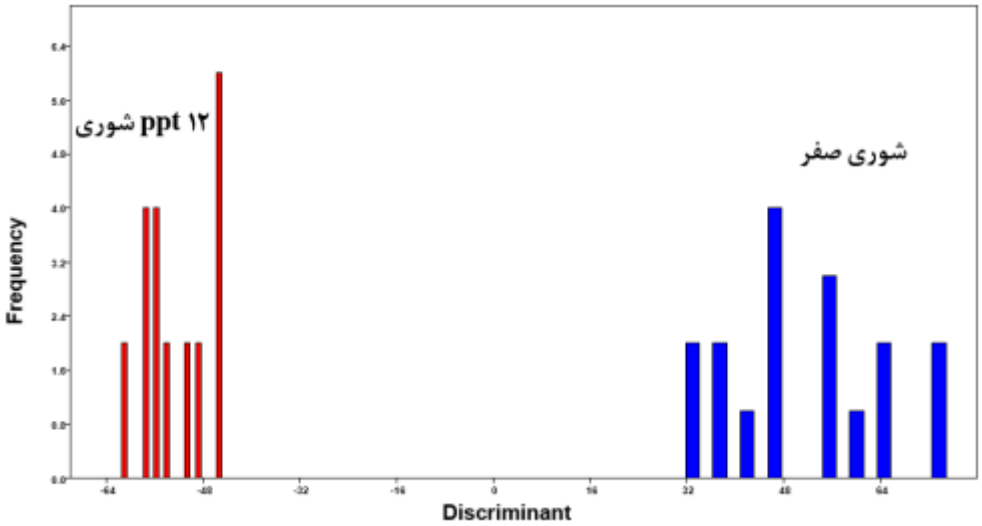
مولفه‌ها	مقادیر ویژه	درصد واریانس
۱	۱۲/۱۲	۴۳/۵۲
۲	۳/۲	۲۵/۱۴

شبکه تغییرات شکل بدن ماهی پلاتی در تیمارهای شوری بالا و شوری صفر (آب شیرین) در شکل ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج، تفاوت‌های ریختی بین دو تیمار مورد مطالعه مربوط به نواحی سر، آبشش، موقعیت دهان، ساقه دمی و طول و عمق بدن بود، به‌طوری‌که در شوری بالاتر ناحیه آبششی از عمق کمتری برخوردار بود و علاوه بر این، در تیمار شوری در مقایسه با تیمار آب شیرین، طول پوزه ماهیان بیشتر بود. همچنین، در بخش ساقه دمی، ماهیانی که تیمار با شوری بالا را تجربه کرده بودند، در مقایسه با تیمار آب شیرین، دارای ساقه دمی با طول کوتاه‌تر و همچنین، عمق کمتر بودند. نتایج نشان داد با تغییر شرایط ماهی پلاتی از آب شیرین به آب شور، موقعیت فوقانی دهان آن به حالت تحتانی تمایل یافته بود و عمق و طول بدن در مقایسه با تیمار آب شیرین کوچکتر شده بود (شکل ۴).

بحث و نتیجه گیری

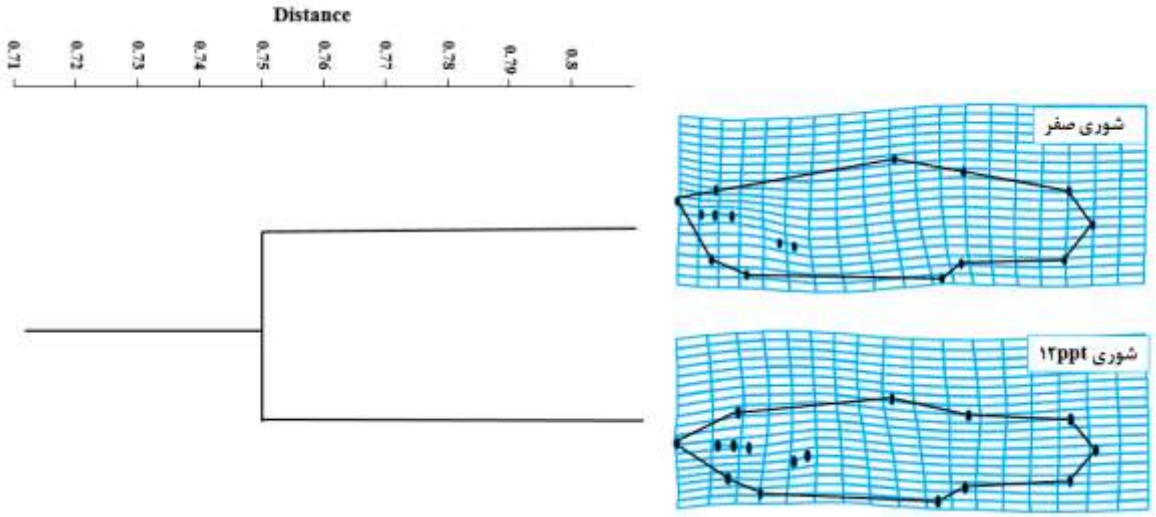
مکانیسم تنظیم فرآیندهای اسمزی در ماهیان نیازمند انرژی است (۷). بنابراین منطقی است که انتظار داشته باشیم بسیاری از بچه‌ماهیان به دلیل کمبود انرژی نتوانند در مراحل اولیه رشد زنده بمانند، چراکه به جای رشد، باید بخشی از انرژی خود را برای تنظیم اسمزی مصرف نمایند (۱۸). این وضعیت اگرچه در برخی از مطالعات پیشین از جمله ایگدری و همکاران (۲۰۱۹) در مورد برخی گونه‌ها از جمله ماهی دُم‌شمشیری (*Xiphophorus helleri*) صورت گرفته است، اما با این حال، در مطالعه حاضر مرگ و میری در خصوص بچه‌ماهیان پلاتی در طول دوره آزمایش مشاهده نشد که این امر حاکی از قابلیت سازگاری بچه-ماهیان پلاتی با سطح شوری مورد مطالعه (۱۲ ppt) بود.

نقطه ایزواسمزی پلاسما در ماهیان استخوانی معمولاً با شوری آب ۱۲ در هزار (ppt) مطابقت دارد (۱۷ و ۲۴). علاوه بر این، شوری بهینه برای سرعت رشد به گونه و مراحل رشد بستگی دارد (۱۷). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ماهی پلاتی قادر به تحمل شوری در نقطه ایزواسمزی در طول دوره اولیه رشد می‌باشد.



شکل ۳- آنالیز تابع متمایزکننده (DFA) شکل بدن ماهیان در دو تیمار شوری

DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8



شکل ۴- مقایسه شکل بدن ماهی پلاتی در دو تیمار با سطح شوری مختلف

این در حالی است که برخی دیگر از گونه‌های زینتی از جمله ماهی دُم‌شمشیری نمی‌توانند شوری بالاتری را حتی در نقطه ایزواسمزی تحمل کنند. از این رو، برخی از محققان از جمله پورمقدم و همکاران (۱۳۹۳)، ایگدری و همکاران (۲۰۱۹) و استیگا و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که در یک محیط آب شور، رژیم غذایی متفاوتی برای غلبه بر این کمبود انرژی، در مورد بچه ماهیان باید اعمال شود (۲، ۱۰ و ۲۳). با این حال، با توجه به نتایج مطالعه حاضر و قابلیت ماهی پلاتی برای سازگاری با شوری بالا، به‌نظر می‌رسد که این مسئله در مورد این گونه متفاوت است. تفاوت‌های شکل بدن نه تنها منعکس‌کننده ویژگی‌های ژنتیکی جمعیت‌ها بلکه پارامترهای محیطی نیز می‌باشد (۱۵، ۲۰ و ۲۶). عوامل محیطی مختلف می‌توانند بر ویژگی‌های بیولوژیک ماهیان مانند خصوصیات ریخت-شناسی تأثیر بگذارند و چالش‌های زیست‌محیطی و تکاملی جدیدی را برای آن‌ها ایجاد کنند (۴ و ۵). متعاقباً، این شرایط جدید می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در شکل بدن ماهیان شود، زیرا آنها باید برای زنده ماندن به این محیط جدید پاسخ دهند (۵) و تأثیر نامطلوب فشارهای ناشی از آن را کاهش دهند یا آمادگی خود را برای بهره‌برداری بهتر از شرایط جدید محیط افزایش دهند (۱۰ و ۲۳). تاکنون تاثیر فاکتور شوری روی شکل بدن گونه‌های مختلفی از ماهیان از جمله آفانیوس (*A. sophia*) و ماهی دُم‌شمشیری (*X. helleri*) مورد بررسی قرار گرفته است (۲ و ۱۰). در مطالعه حاضر نیز برای نخستین بار تاثیر این پارامتر بر تغییرات ریخت‌شناسی ماهی پلاتی بررسی گردید. نتایج نشان داد که تغییرات شکلی ماهیان پلاتی در تیمارهای مختلف بیشتر در ناحیه سرپوش آبششی، موقعیت دهانی و ساقه دمی اتفاق می‌افتد، به‌طوری‌که بخشی از این نتایج با مطالعات قبلی از جمله پورمقدم و همکاران (۲۰۱۴) تاحدودی هم‌خوانی داشت. پورمقدم و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی که به‌منظور بررسی تاثیر شوری بر تغییرات شکل بدن ماهی آفانیوس (*A. sophia*) انجام دادند، تفاوت کاملاً معنی‌داری بین شکل بدن ماهیان در دو تیمار شوری مشاهده کردند. مهم‌ترین و شاخص‌ترین تغییرات شکلی این ماهیان به‌گونه‌ای بود که در شوری صفر، لبه فوقانی سرپوش آبششی، دارای جابه‌جایی فوقانی بوده و باعث افزایش ارتفاع در دهانه سرپوش آبششی گردید. مشابه این حالت در مطالعه حاضر برای ماهی پلاتی در شوری صفر (آب شیرین) نیز مشاهده شد. پورمقدم و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی موقعیت دهانی ماهی آفانیوس بیان داشتند که در سطح شوری صفر، دهان این گونه تا حدودی حالت

DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

جابه‌جایی تحتانی از خود نشان می‌دهد. این نتیجه با آنچه در مطالعه حاضر در مورد ماهی پلاتی مشاهده شد، مطابقت نداشت، چراکه بر اساس شبکه تغییرات شکل بدن، موقعیت دهان ماهی پلاتی در محیط آب شیرین به سمت فوقانی تمایل می‌یابد. با توجه به اینکه این گونه از سطح آب تغذیه می‌کند، برخورداری از دهان فوقانی کاملاً قابل توجیه است (۱۴)، اما با این حال، این مسئله نشان می‌دهد که با تغییر شرایط محیطی ماهی پلاتی از آب شیرین به آب شور، موقعیت فوقانی دهان آن به حالت تحتانی تمایل می‌یابد. این امر ممکن است روی عملکرد تغذیه‌ای این گونه و رژیم غذایی آن در گذر زمان، تاثیر قابل توجهی داشته باشد.

ایگدری و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که شکل بدن ماهی دُم‌شمشیری در شوری آب بالاتر به سمت ساقه دمی کوتاه‌تر، عمق سر پایین‌تر و پوزه نوک تیزتر سوق پیدا می‌کند. آن‌ها در توجیه این مسئله بیان داشتند که افزایش شوری آب می‌تواند ویسکوزیته و چگالی آب را افزایش دهد و در نتیجه، ماهی شکل بدن خود را به حالت دوکی‌شکل تغییر می‌دهد تا به‌واسطه این مکانیسم، هزینه انرژی آن برای شنا در آب‌های شور کاهش یابد (۲۶). به عبارت دیگر، حالت دوکی‌شکل بدن ماهی باعث می‌شود که موجود در محیط آب به راحتی قدرت مانور داشته باشد. مشابه حالتی که در مورد ماهی دُم‌شمشیری توسط ایگدری و همکاران (۲۰۱۹) بیان گردید، در ماهی پلاتی نیز صادق است. در مطالعه حاضر، شکل بدن ماهی پلاتی با افزایش شوری به حالت دوکی شکل تمایل یافته است. این مسئله با استناد به نتایج شبکه تغییرات شکل قابل توجیه است و نشان می‌دهد ماهیانی که سطح شوری بالا را تجربه کردند، عمق و طول بدن کوچکتری در مقایسه با تیمار آب شیرین (شوری صفر) داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات شکلی ایجاد شده در ماهی پلاتی در پاسخ به نوسانات شوری رخ داده است و در عین حال، مکانیسمی برای ذخیره انرژی، حفظ بقا و سازگاری ماهی با شرایط جدید محیطی است (۱۰ و ۱۹).

افزایش شوری آب باعث کاهش اکسیژن محلول می شود (۱۹). بنابراین، برخی از گونه‌ها مانند ماهی دُم‌شمشیری برای جبران این مشکل با سوق دادن موقعیت دهان به حالت فوقانی سازگاری پیدا می‌کنند. موقعیت فوقانی دهان می‌تواند به استفاده موثر از آب سطحی که حاوی اکسیژن محلول بیشتری است، کمک کند (۲، ۱۰، ۱۶، ۲۸). با این حال، این مسئله در مطالعه حاضر، در مورد ماهی پلاتی صدق نمی‌کند و نشان دهنده وجود تفاوت در مکانیسم‌های سازگاری بین ماهیان دُم‌شمشیری و پلاتی در محیط‌های آب شور می‌باشد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، مطالعه حاضر نشان داد که شوری نقش مهم و حیاتی در رشد اولیه ماهی پلاتی (*X. maculatus*) دارد. بر اساس نتایج، این گونه به‌واسطه تغییرات شکل بدن، قابلیت سازگاری در شرایط مختلف از نظر سطح شوری را پیدا می‌کند. این مکانیسم به‌منظور تامین نیازهای بیولوژیکی برای بقای موجود و همچنین، کاهش اثرات نامطلوب فشارهای ناشی از شوری اتخاذ می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله کلیه نگارندگان مراتب قدردانی و سپاس خود را از حمایت‌های ارزنده دانشگاه تهران در راستای اجرای این پروژه اعلام می‌نمایند.

منابع

۱. مهدیان، م.، خلجی پیربلوطی، و.ا.، ملک‌محمد، خ.، اورعی، ح.، ۱۴۰۱. بررسی جمعیت‌های مختلف منتسب به *Gammarus lordeganensis* با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست شناسی ایران)، دوره ۳۵، شماره ۳، صفحات ۲۵۰-۲۳۳.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۸۹-۱۸۰
DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

۲. پورمقدم، م.، پورباقر، ه.، و ایگدری، س.، ۱۳۹۳. بررسی تاثیر شوری و درجه حرارت بر تغییر شکل بدن ماهی گورخری (*Aphanius sophiae*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. زیست‌شناسی دریا، دوره ۶، شماره ۲، صفحات ۹-۱.

۳. پورمقدم، م.، و ایگدری، س.، ۱۳۹۲. تأثیر درجه حرارت بر شکل بدن ماهی آنجل (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823) در مراحل اولیه رشد با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله بوم‌شناسی آبزیان، دوره ۳، شماره ۲، صفحات ۳۶-۳۰.

۴. رادخواه، ع.ر، ایگدری، س.، پورباقر، ه.، ۱۴۰۱. بررسی ارتباط بین فاکتورهای محیطی و پراکنش جویبارماهی کرمانشاه (*Sasanidus kermanshahensis*) در رودخانه دینورآب با استفاده از مدل تجمعی تعمیم‌یافته (GAM). مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست‌شناسی ایران)، دوره ۳۵، شماره ۳، صفحات ۲۸۱-۲۶۵.

۵. رادخواه، ع.ر، ایگدری، س.، شمس، ی.، حسینی، س.و.، ۱۴۰۱. ارزیابی یکپارچگی اکولوژیکی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از شاخص‌های زیستی ماهیان: مطالعه موردی تاثیر شهر شاهین‌دژ (استان آذربایجان غربی). مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست‌شناسی ایران)، دوره ۳۵، شماره ۱، صفحات ۱۱-۲.

6. Adams, D.C., and Collyer, M., 2009. A General Framework for the Analysis of Phenotypic Trajectories in Evolutionary Studies. Evolution, 63, 1143-1154. https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2009.00649.x
7. Cao, Q., Gu, J., Wang, D., Liang, F., Zhang, H., Li, X., and Yin, S., 2018. Physiological mechanism of osmoregulatory adaptation in anguillid eels. Fish Physiology and Biochemistry, 44, 423–433. https://doi.org/10.1007/s10695-018-0464-6
8. Chuang, C., Sunglin, Y., and Hsiung liang, S.H., 2005. Ecological comparison and habitat preference of two cyprinid fishes, *varicorhinus barbatulus* and *candidia barbatus*, in Happen Creek of northern Taiwan. Journal of Zoological studies,45, 114-123.
9. Douglas, W., and Anurag A., 2002. what is phenotype plasticity and why is it important? Journal of Biological Sciences and Ecological and Evolutionary Biology, 63, 1-10.
10. Eagderi, S., Poorbagher, H., and Parsazadeh, F., 2019. Effect of salinity on the body shape of sword tail, Xiphophurus helleri, during early developmental stage. Survey in Fisheries Sciences, 5, 11-17.
11. Froese, R., and Pauly, D., 2022. Fish Base. World Wide Web Electronic Publication. Available at: www.fishbase.org. Accessed 12 March 2022.
12. Futuyma, D.J., 2013. Evolutionary Biology. 3rd Edition. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Oxford University Press, 656 p.
13. Goldspink, G., 1995. Adaptation of fish to different environmental temperature by qualitative and quantitative changes in gene expression. Journal of Thermal Biology, 20, 167-174.
14. Goodwin, D., 2003. The aquarium fish hand book. Island Books Publ. Co. Devon, England, 256 p.
15. Guill, J.M., Heins, D.C., and Hood, C.S., 2003. The Effect of Phylogeny on Interspecific Body Shape Variation in Darters (Pisces: Percidae). Systematic Biology, 52, 488-500. https://doi.org/10.1080/10635150309314
16. Kramer, D.L., and McClure, M., 1982. Aquatic surface respiration, a widespread adaptation to hypoxia in tropical freshwater fishes. Environmental Biology of Fishes, 7, 47-55.
17. Lisboa, V., Barcarolli, I.F., Sampaio, L.A., and Bianchini, A., 2015. Effect of salinity on survival, growth and biochemical parameters in juvenile Lebranch mullet *Mugil liza* (Perciformes: Mugilidae). Neotropical Ichthyology, 13, 2015. https://doi.org/10.1590/1982-0224-20140122
18. Martin, G., Greenwell, M.G., Johanna Sherrill, J., and Clayton, L.A., 2003. Osmoregulation in fish. Veterinary Clinics of North America Exotic Animal Practice, 6, PP:169-189. https://doi.org/10.1016/S1094-9194(02)00021-X
19. Mortimer, C.H., 1971. Chemical exchanges between sediments and water in the Great Lakes-speculations on probable regulatory mechanisms. Limnology and Oceanography, 16, 387-404.
20. Radkhah, A.R., Poorbagher, H., and Eagderi, S., 2017. Habitat effects on morphological plasticity of Saw-belly (*Hemiculter leucisculus*) in the Zarrineh River (Urmia Lake basin, Iran). Journal of Bioscience and Biotechnology, 6, 37-41.
21. Rohlf, F.J., 2001. Comparative methods for the analysis of continuous variables: Geometric interpretations. Evolution, 55, 2143-2146. https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2001.tb00731.x

22. Sfakianakis, D.G., Leris, I., Laggis, A., and Kentouri, M., 2011. The effect of rearing temperature on body shape and meristic characters in zebrafish (*Danio rerio*) juveniles. Environmental Biology of Fishes, 92, 197-205.

23. Styga, J.M., Pienaar, J., Scott, P.A., and Earley, R.L., 2019. Does Body Shape in *Fundulus* Adapt to Variation in Habitat Salinity? Frontiers in Physiology, 2019, 2-8. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01400

24. Tsuzuki, M.Y., Sugai, J.K., Maciel, J.C., Francisco, C.J., and Cerqueira, V.R., 2007. Survival, growth and digestive enzyme activity of juveniles of the fat snook (*Centropomus parallelus*) reared at different salinities. Aquaculture, 271, 319-325.

25. Webb, P.W., 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. American Zoologist, 24, 107-120.

26. Wimberger, P.H., 1992. Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae). Biological Journal of the Linnean Society, 45, 197–218. https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1992.tb00640.x

27. Zhang, Z., Wang, Y., Wang, S., Liu, J., Warren, W., Mitreva, M., and Walter, R.B., 2011. Transcriptome analysis of female and male *Xiphophorus maculatus* Jp 163 A. PLoS ONE, 6(4):e18379. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018379

28. Zgong, X., Huang, X., and Wen, W., 2018. Influence of salinity on the early development and biochemical dynamics of a marine fish, *Inimicus japonicus*. Journal of Oceanology and Limnology, 36: 427–437. https://doi.org/10.1007/s00343-017-6223-1

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۸۹-۱۸۰ DOR: 20.1001.1.23832614.1402.36.3.3.8

The effect of salinity on the body shape of Platy fish (*Xiphophorus maculatus* Günther 1866) during early stages of development using geometric morphometric method

Radkhah A.R., Eagderi S.*, Abdi A., Poorbagher H. and Rafiee G.R.

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

Abstract

Investigating the morphological changes of fish in order to understand the process of their adaptation and evolution, as well as the management of aquatic ecosystems according to environmental fluctuations, is considered one of the research necessities. This study was aimed to investigate the effect of salinity on phenotypic plasticity of Platy fish (*Xiphophorus maculatus*) during early stages of development. For this purpose, 60 platy fish fry (30 specimens in each treatment) were raised in different environments, including fresh water (0 ppt) and salt water (12 ppt), for 30 days in laboratory conditions. After the end of this period, the left side of the fish samples was photographed with a digital camera and 16 landmarks were placed on the two-dimensional images using Tpsdig2 software. After removing size and direction effects using Generalized Procrustes Analysis (GPA), landmark data were analyzed using Principal Component Analysis (PCA), Discriminant Function Analysis (DFA), Hotelling's T test and Cluster Analysis (CA). The results showed that there is a significant difference between the body shape of platy fish among the studied treatments ($P<0.001$). The fry that were reared in the treatment with a salinity level of 12 ppt had a shallower head and gills with a longer snout. Also, these fish had a shorter caudal peduncle with less depth compared to fresh water treatment (0 ppt). The results showed that with the change of environmental conditions from fresh water to salt water, the upper position of the mouth in platy fish tends to the lower position. In addition, body depth and length were lower in fish exposed to a salinity level of 12 ppt compared to the freshwater treatment. Overall, the present study showed that water salinity plays a significant role in the early life stages of platy fish.

Key words: Platy fish, phenotypic plasticity, geometric morphometrics, salinity, adaptability.