انعطاف‌پذیری ریختی وابسته به زیستگاه در جمعیت‌های ماهی سه خاره (*Gasterosteus aculeatus*) حوزه دریای خزر

- **اسماعیل اسماعیل‌زادگان:** گروه شیلات، پردیس‌کشاورزی و منابع‌طبیعی کرج، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، صندوق‌پستی: ٤١١١
- **سهیل ایگدری*:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، صندوق‌پستی: ٤١١١
- **عارف پیربیگی:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، صندوق‌پستی: ٤١١١
- **شیوا ندائی:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، صندوق‌پستی: ٤١١١

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۱

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی انعطاف‌پذیری ریختی وابسته به زیستگاه جمعیت‌های مختلف ماهی سه خاره (*Gasterosteus aculeatus*) در حوضه‌ی دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک می‌باشد. از این‌رو تعداد ۱۰۱ نمونه ماهی سه خاره از جمعیت‌های رودخانه بابلرود در بخش مرکزی حوضه‌ی خزر و تالاب گمیشان در بخش شرقی حوضه‌ی خزر نمونه‌برداری گردید. از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری گردید. بر روی تصاویر دو بعدی حاصل تعداد ۲۳ نقطه لندمارک تعیین و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی آن‌ها قرار داده شد. داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست، توسط آنالیزهای DFA و Manova با استفاده از نرم‌افزارهای PAST و MorphoJ مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که از نظر شکل بدن دو جمعیت تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($P<۰/۰۰۱$) و این تفاوت‌ها مربوط به ارتفاع بدن، ارتفاع سر، ساقه دمی و پوزه می‌باشند که بیانگر تمایز ریختی وابسته به زیستگاه القا شده به‌واسطه پارامترهای محیطی در آن‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: انعطاف‌پذیری ریختی، زیستگاه، ماهی سه خاره– لندمارک، گمیشان، بابلرود

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Soheil.Eagderi@Ut.ac.ir

مقدمه

فاکتورهای محیطی و زیستی به‌صورت متقابل روی یک گونه اثر گذاشته و به‌وسیله انتخاب طبیعی سبب افزایش کارایی یک ریخت در بین افراد یک زیستگاه می‌شود. این اثرات به تدریج در نسل‌های بعدی روی کل جمعیت نمود پیدا کرده و سبب تمایزات جمعیتی در زیستگاه‌های مختلف و در مواردی سبب گونه‌زایی می‌گرددد که نشان‌دهنده سیر تکاملی جمعیت‌ها می‌باشد (Smith وSkulason، ۱۹۹۶). از جمله عوامل فیزیکی می‌توان به نوع بستر، رژیم جریان آب، عمق آب، پوشش گیاهی حوزه و اثرات دستکاری‌های انسانی مانند سدسازی اشاره کرد و رقابت، شکار، میزان دسترسی به منابع غذایی نیز از جمله عوامل زیستی موثر هستند. اثرات متقابل این عوامل سبب یک سری سازگاری‌ها و در نتیجه تغییرات در جمعیت‌های یک منطقه می‌شوند. این تعاملات و سازگاری‌ها در غالب صفاتی از جمله شکل بدن، الگوی شنا، الگوی تغذیه و رفتارهای تولیدمثلی نمود پیدا می‌کند (Lattuca و همکاران، ۲۰۰۷؛ Januszkiewicz و Robinson، ۲۰۰۷؛ Eklov و Jonsson، ۲۰۰۷؛ Spoljaric و Reimchen، ۲۰۰۷؛ Svanback و Eklov، ۲۰۰۶؛ ۲۰۰۳). افزایش کارایی یک ریخت و انتخاب آن بسته به ویژگی‌های خاص هر منطقه متفاوت است و ویژگی ریختی برتر در یک زیستگاه ممکن است در محیط دیگر باعث کاهش قابلیت استفاده از منابع دیگر شود (Webster و همکاران، ۲۰۱۱).

جمعیت‌های جدا شده‌ی یک گونه در زیستگاه‌های مختلف، تخصص‌های منطقه‌ای را به‌واسطه استفاده از منابع آن زیستگاه‌ها به نمایش می‌گذارند و این سازگاری‌ها از جمله تنوع‌ریختی، رفتاری، استراتژی تغذیه و چرخه‌های زندگی می‌تواند به‌دلیل اثرات فاکتورهای بیرونی (فیزیکی و زیستی) و فاکتورهای درونی (ژنتیکی) باشد (Webster و همکاران، ۲۰۱۱). در این بین فاکتورهای فیزیکی به‌عنوان یک نیروی قدرتمند در شکل‌دهی ریخت موجودات شناخته شده است و در بسیاری از گونه‌ها ویژگی‌های ریختی یک همبستگی بالایی را با ویژگی‌های زیستگاه نشان می‌دهند و حتی تغییرات جزئی در شکل بدن به فاکتورهای سازشی از قبیل موفقیت تغذیه و نرخ رشد وابسته است (Webster و همکاران، ۲۰۱۱). ویژگی‌های ریختی ماهیان نسبت به تغییرات ناشی از محیط و فاکتورهای زیستی حساسیت بالایی دارند به‌طوری که معمولاً ماهیانی که در دوران اولیه زندگی دارای شرایط محیطی مشابهی هستند از لحاظ ریختی شباهت زیادی دارند (Poulet و همکاران، ۲۰۰۴). در خیلی از گونه‌های یک اکوسیستم، شباهت‌های ریختی علاوه بر رابطه تبارزایی می‌تواند به‌دلیل شباهت‌های زیستگاه و مشترک بودن منابع مورد استفاده باشد (Webster و همکاران، ۲۰۱۱). ماهی سه خاره (*Gasterosteus aculeatus*) دارای پراکنش وسیعی در نیمکره شمالی از مناطق قطب شمالی تا مناطق معتدله با جمعیت‌های آب شیرین، لب شور و دریایی می‌باشد (Coad، ۲۰۱۲؛ Bell و Foster، ۱۹۹۴). این ماهی با وجود این‌که هیچ ارزش تجاری ندارد اما به‌دلیل تنوع رفتاری و زیست‌شناختی به‌ویژه در رفتارهای تولیدمثلی و لانه‌سازی همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است (Coad، ۲۰۱۲؛ Bell و Foster، ۱۹۹۴). ماهی سه خاره یک گونه غیربومی در ایران محسوب می‌گردد و از ورود این گونه به آب‌های داخلی ایران زمان طولانی نمی‌گذرد (Abdoli، ۲۰۰۰). در مورد نحوه‌ی ورود این گونه بحث‌های زیادی مطرح است، از جمله این که به صورت ناخواسته همراه با غذای ماهیان وارد شده است. از منظر تبارزایی نیز به‌دلیل کامل بودن صفحات استخوانی روی بدن، این گونه را به جمعیت‌های دریایی نزدیکتر می‌دانند (Coad، ۲۰۱۲). ماهی سه خاره پراکنش وسیعی در ایران دارد و حضور آن در رودخانه‌ی تجن استان خراسان، تالاب گمشیان در شرق دریای خزر، حوزه مرکزی دریای خزر شامل رودخانه‌های بابلرود، چالوس و هراز و تالاب انزلی در غرب دریای خزر گزارش شده است. این گونه در سواحل دریای خزر، مناطق مصبی و ساحلی عمیق نیز صید شده است (Coad، ۲۰۱۲؛ Abdoli، ۲۰۰۰). با توجه به زمان کوتاه معرفی ماهی سه خاره به آب‌های داخلی ایران، این سوال مطرح است که چگونه جمعیت‌های متفاوت این گونه به فاکتورهای محیطی در زیستگاه‌های مختلف محل پراکنش پاسخ داده‌اند؟ آیا در جمعیت‌های آن‌ها جدایی ریختی وابسته به زیستگاه و فاصله جغرافیایی به‌وقوع پیوسته است؟ و پاسخ این گونه به زیستگاه-های مختلف به چه شکل بوده و چه تاثیری بر روی ریخت آن‌ها داشته است؟ از این‌رو این مطالعه با هدف بررسی تغییرات ریختی وابسته به زیستگاه دو جمعیت ماهی سه خاره در دو بخش شرق و میانه حوزه دریای خزر با ویژگی‌های زیستگاهی متفاوت و با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. دلیل انتخاب ماهی سه خاره به‌دلیل توانایی این گونه برای زیست در زیستگاه‌های متنوع و استفاده از منابع مختلف می‌باشد (Bell و Foster، ۱۹۹۴). نتایج این تحقیق می‌تواند به درک بهتر الگوی تغییرپذیری ریختی و تکامل در حال

پیشرفت این ماهیان و شناخت ذخایر جمعیتی این گونه در اکوسیستم‌های آبی مختلف حوزه خزری کمک نماید. مطالعات ریخت‌سنجی به‌دلیل انعکاس تعامل محیط و گونه و انعکاس تعامل گونه‌ها با یکدیگر اهمیت به‌سزایی دارند (Adams و همکاران، ۱۹۹۱). ریخت‌سنجی هندسی یک روش نوین در مطالعه ریخت‌شناسی می‌باشد که می‌تواند الگوهای مختلف تغییر شکل را در نتیجه فرآیندهایی از قبیل رشد و سازگاری-های محیطی نمایان سازد. در این روش برخلاف روش ریخت-سنجی سنتی، با استفاده از لندمارک‌ها و مختصات آن‌ها به-عنوان متغیرهای مرتبط با شکل، الگوهای مختلف تفاوت شکل استخراج و با استفاده از آنالیزهای چند متغیره مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (Rohlf و Marcus، ۱۹۹۳).

مواد و روش‌ها

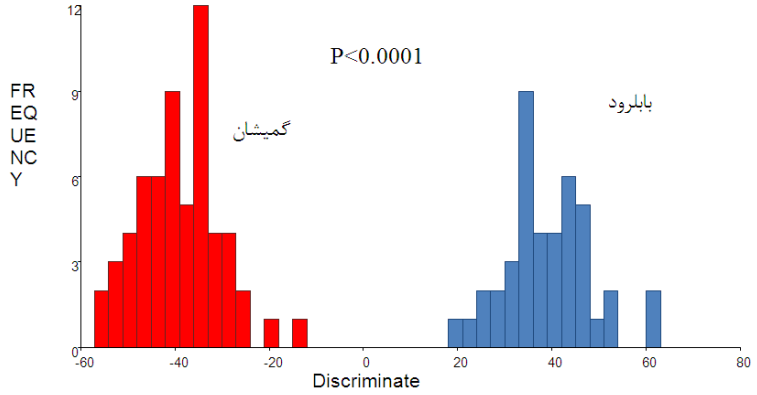
برای این مطالعه تعداد ۵۹ نمونه ماهی سه خاره از تالاب گمیشان واقع در جنوب شرق دریای خزر (شمال شرق بندر ترکمن) توسط تور گوشگیر صید شدند. برای جمعیت قسمت میانه حوزه دریای خزر، تعداد ۴۲ نمونه ماهی سه خاره از رودخانه بابلرود، از رودخانه‌های اصلی حوزه‌ی آبریز دریای خزر توسط الکتروشوکر (۲۲۰ ولت) صید گردید. نمونه‌ها پس از بی‌هوشی در محلول گل میخک، در فرمالین بافری ۱۰ درصد تثبیت شدند و سپس برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل گردیدند. به‌منظور کاهش تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بالغ و بزرگتر از ۶۰ میلی‌متر برای مقایسه شکل بدن انتخاب شدند. از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل عکس‌برداری شد. برای استخراج داده‌های شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی تعداد ۲۲ لندمارک تعیین گردید (شکل ۱). لندمارک‌ها با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 برروی تصاویر دو بعدی قرار داده شدند. روی‌هم گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست (GPA) به‌منظور حذف تغییرات غیرشکل شامل اندازه، جهت و موقعیت صورت پذیرفت (Zelditch، ۲۰۰۴). برای مقایسه اندازه نمونه‌های جمعیت‌های مورد مطالعه از اندازه مرکز (Centroid Size) که توسط نرم‌افزار Past محاسبه گردید، استفاده شد. اندازه‌های مرکز نرمال شده تمام نمونه‌های صید شده هر دو جمعیت مورد مطالعه توسط Ttest مورد مقایسه قرار گرفتند. داده‌های حاصل شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده آنالیزهای چندمتغیره تحلیل تشخیصی (DFA) و تجزیه واریانس چند متغیره (Manova) توسط نرم‌افزارهای PAST (version ۲۰۱۰) و MorphoJ مورد تحلیل قرار گرفتند. مصورسازی تفاوت شکل بدن میانگین (Consensus configuration) دو جمعیت‌ها نسبت به یکدیگر با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ و توسط شبکه wireframe صورت پذیرفت.

شکل ۱: لندمارک‌های تعیین شده بروی ماهی سه خاره

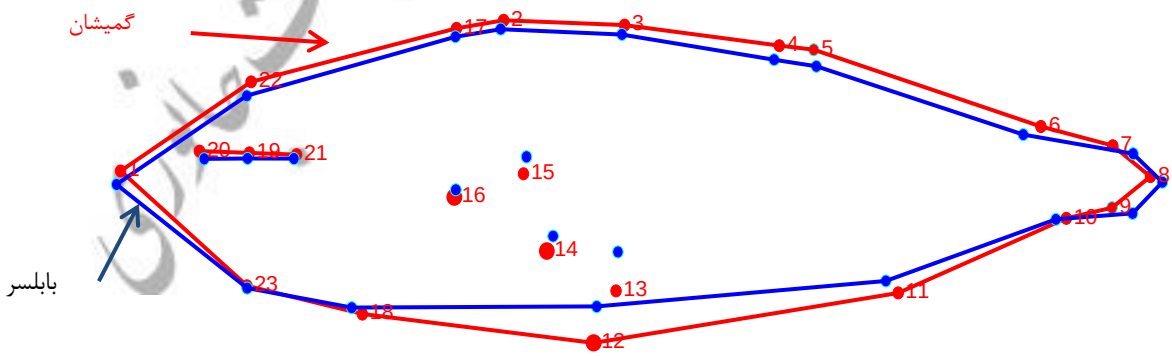
۱- ابتدایی‌ترین بخش پوزه درقسمت فک بالا (نوک پوزه)، ۲- ابتدای قاعده‌ی خار پشتی اول، ۳- ابتدای قاعده‌ی خار پشتی دوم، ۴- ابتدای قاعده‌ی خار پشتی سوم، ۵- ابتدای قاعده‌ی باله پشتی، ۶- انتهای قاعده‌ی باله پشتی، ۷- حداکثر تورفتگی ساقه دمی در بالای ساقه دمی، ۸- انتهای ساقه دمی در محل اتمام خط جانبی و شروع باله دمی، ۹- حداکثر تورفتگی ساقه دمی در محل پایین ساقه دمی۱۰- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۲- قاعده‌ی خار شکمی در پایین، ۱۳- قاعده‌ی خار شکمی در بالا، ۱۴- قاعده پایینی باله سینه‌ای، ۱۵- قاعده شکمی باله سینه‌ای در بالای بدن، ۱۶- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی، ۱۷- خطی موازی با انتهای سرپوش آبششی به سمت بالای بدن، ۱۸- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی در زیر بدن، ۱۹- وسط قطر چشم،۲۰- انتهای‌ترین نقطه‌ی چشم (سمت چپ)، ۲۱- ابتدایی ترین نقطه‌ی چشم (سمت راست)، ۲۲- امتدادخطی موازی از لندمارک شماره ۱۴ به سمت بالای بدن، ۲۳- امتداد خطی موازی از لندمارک شماره ۱۴به سمت پایین بدن.

نتایج

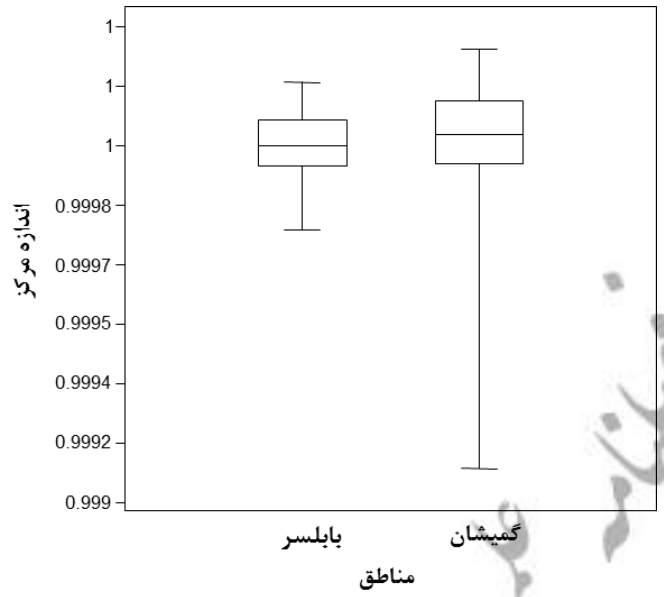
تحلیل تشخیصی (DFA) نشان داد که از نظر شکل بدن دو جمعیت کاملاً از یکدیگر جدا بوده و براساس تجزیه واریانس چندمتغیره (Manova) تفاوت معنی‌داری با هم دارند (P<۰/۰۰۰۱) (شکل ۲). آنالیز Ttest نیز نشان داد که نمونه‌های گمیشان اندازه بزرگ‌تری نسبت به نمونه‌های بابلرود دارند (P<۰/۰۵) (شکل ۴). بر اساس نتایج آنالیز ریخت‌سنجی و مقایسه شکل اجماع دو جمعیت، در بسیاری از لندمارک‌های تعریف شده تفاوت محسوسی قابل مشاهده بود. تفاوت‌های مشاهده شده در جایگاه‌های ارتفاع بدن، نوک پوزه و ساقه دمی بودند (شکل ۳). نمونه‌های تالاب گمیشان دارای ارتفاع بدنی بیش‌تر (مربوط به لندمارک‌های شماره ۱۷، ۲، ۳ و ۱۲)، دهانی رو به بالا (لندمارک شماره ۱) و سر پهن‌تر (لندمارک شماره۲۲) می‌باشند و به‌عبارت دیگر نمونه‌های بابلرود دارای بدنی کشیده و ارتفاع بدنی کم‌تر هستند. ساقه دمی ماهیان جمعیت گمیشان نسبت به جمعیت بابلرود کوتاه‌تر و پهن‌تر بودند (لندمارک‌های شماره ۶، ۸ و ۱۰).



شکل ۲: نمودار تحلیل تشخیصی (DFA) داده‌های مختصات لندمارک‌های مربوط به شکل بدن دو جمعیت ماهی سه خاره (*G. aculeatus*) گمیشان و بابلرود



شکل ۳: نمودار مقایسه شکل بدن دو جمعیت ماهی سه خاره (*G. aculeatus*) گمیشان و بابلرود به‌صورت گراف Wireframe



شکل ۴: نمودار تنوع اندازه بدن دو جمعیت ماهی سه خاره (*G. aculeatus*) گمیشان و بابلرود

بحث

ماهیان در مقایسه با سایر مهره‌داران حساسیت بیش‌تری نسبت به تغییرات ناشی از محیط داشته و تحت تاثیر آن‌ها بیش‌تر دچار تغییرات درون و بین گونه‌ای می‌شوند (Turan، ۲۰۰۰). اساساً شرایط محیطی متفاوت (دما، کدورت، دسترسی به غذا، عمق آب و جریان آب) می‌تواند سبب جدایی جمعیت ماهیان از یکدیگر شود (Samaee و همکاران، ۲۰۰۶). براساس نتایج این تحقیق، تفاوت بارز ریختی از نظر شکل بدن بین دو جمعیت مورد مطالعه مشاهده گردید که حاکی از حساسیت و انعطاف‌پذیری ریختی بالای این گونه نسبت به تغییرات محیطی می‌باشد. آن ثابت شده که ماهی سه خاره نسبت به کوچکترین تغییرات زیستگاهی به شدت واکنش نشان می‌دهد (Webster و همکاران، ۲۰۱۱؛ Bell و Foster، ۱۹۹۴).

بارزترین تفاوت‌های مشاهده شده بین دو جمعیت مربوط به ارتفاع بدن، عرض سر، ساقه دمی و پوزه می‌باشد. براساس نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که الگوی ریختی شایستگی بقا بین این دو جمعیت متفاوت می‌باشد، Jeff (۱۹۹۶) نیز پس از بررسی اثر تاثیرات محیط بر روی ماهیان سه خاره، بیان کرد که محیط بر روی شکل ظاهری این گونه‌ها تاثیرات معنی‌داری ایجاد کرده است (۱۳).

اما آشکارسازی علل تفاوت‌ها کمی مشکل است، زیرا در این تغییرات مجموعه عوامل فیزیکی- زیستی و ژنتیکی دخالت دارند و هر یک سهم نامعلومی می‌توانند داشته باشند. ولی با توجه به الگوهای بدنی ماهیان رودخانه‌ای و آب‌های راکد می‌توان تا حدودی این سازگاری‌های ریختی را تشریح کرد. جمعیت ماهیان سه خاره گمیشان دارای الگوی ریختی با بدنی پهن و سری نسبتاً بزرگ می‌باشند که این الگوی بدنی به‌خوبی سازگاری و انطباق با آب‌های راکد را نشان می‌دهد (Eagderi و همکاران، ۲۰۱۳). در منطقه تالاب گمیشان آب نسبتاً ساکن بوده و دارای حجم و عمق بیش‌تری می‌باشد، با گذشت زمان آب‌های راکد تمایل به حالت یوتروفی دارند و میزان مواد غذایی از جمله پلانکتون‌ها و حشرات آبزی که مورد تغذیه ماهی سه خاره هستند در این منطقه افزایش می‌یابد (Wetzel، ۱۹۹۰؛ Kimmel و Groeger، ۱۹۸۶؛ Ploskey، ۱۹۸۵). اندازه بزرگ‌تر نمونه‌های گمیشان نسبت به نمونه‌های بابلرود می‌تواند موید فراوانی غذا و در نتیجه رشد بیش‌تر آن‌ها می‌باشد.

مهمترین عامل تفکیک میان دو جمعیت مورد مطالعه، ارتفاع بدن می‌باشد و با توجه به تفاوت بارز جریان آب زیستگاه‌های آن‌ها به‌نظر می‌رسد که جریان آب در بین عوامل محیطی بیش‌ترین تاثیر را بر ریخت دارد (McGuigan و همکاران، ۲۰۰۳). شکل بدن پهن‌تر برای استقرار در محیط‌های ساکن و فاقد جریان مناسب می‌باشد، زیرا که بدن پهن و سر بزرگ یک سازگاری برای قابلیت مانور سریع را پیشنهاد می‌کند و می‌تواند به یافتن غذا در آن‌ها کمک نماید (Langerhans و همکاران، ۲۰۰۳). به‌علاوه در بین عوامل زیستی مهم‌ترین عامل

موثر بر ارتفاع بدن می‌تواند فشار شکار باشد. شکارچیان منطقه گمیشان علاوه بر آبزیان، پرندگان نیز هستند که فشار شکار زیادی را ایجاد می‌کنند. افزایش ارتفاع بدن می‌تواند یک استراتژی برای مقابله با شکار شدن باشد که در آن به‌واسطه‌ی افزایش ارتفاع بدن به نسبت دهان و دستگاه گوارش شکارچیان بوقوع می‌پیوندد (Lattuca و همکاران، ۲۰۰۷). افزایش سایز خارهای بدنی در ماهیان سه خاره نیز می‌تواند سبب افزایش زمان صید شدن توسط شکارچی و افزایش شانس فرار آن‌ها شود (Nilsson و Bronmark، ۲۰۰۰؛ Pettesson و Bronmark؛ Hoogland و همکاران، ۱۹۵۷).

از سوی دیگر ماهیانی که در یک آب جاری مثل رودخانه زیست می‌کند دارای بدنی دوکی شکل هستند (Haas و همکاران، ۲۰۱۱؛ Ostrand و همکاران، ۲۰۰۱). از این رو ماهیان منطقه بابلرود به‌دلیل نوع زیستگاه (آب جاری)، با کاهش ارتفاع بدن برای مقابله با شسته شدن توسط جریان سریع آب و ذخیره انرژی سازگاری یافته‌اند. کشیدگی ساقه دمی آن‌ها نیز نشان از کارایی این اندام در جریان‌های سریع آب دارد، چراکه الگوی ریختی ساقه دمی میزان عملکرد و کارایی این عضو را نشان می‌دهد (Hass و همکاران، ۲۰۱۱؛ Burns و همکاران، ۲۰۰۹؛ Spoljaric و Reimchen، ۲۰۰۸؛ Blake، ۱۹۸۳). برخلاف جمعیت بابلرود، ماهیان منطقه گمیشان دارای ساقه دمی کوتاه و پهن هستند که بیانگر سازگاری آن‌ها به آب‌های راکد برای تسریع شروع حرکت شنا مثل فرار از شکارچی می‌باشد (Webb، ۱۹۸۴).

این نتایج با مطالعه‌ای مشابه که تفاوت‌های ریختی چند جمعیت ماهی سه خاره را در بین آب‌های راکد و جاری بررسی کرده بود هم‌خوانی دارد و کامل انعکاس‌دهنده قابلیت سازگاری ریختی بالای ماهی سه خاره در آب‌های راکد و جاری می‌باشد به‌طوری که در این مطالعه هم افزایش ارتفاع بدن در مناطق دریاچه‌ای دیده شد(Webster و همکاران، ۲۰۱۱).

پایین بودن جایگاه دهان در ماهیان این جمعیت شاید یک انعطاف ریختی برای تغذیه از موجودات کف‌زی بستر باشد. تغییر شکل در ناحیه سر و دهان عمدتاً منعکس کننده تفاوت در تغذیه شامل نوع و جهت تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده می‌باشد (Langerhans و همکاران، ۲۰۰۳). با توجه به منابع غذایی ذکر شده در منطقه گمیشان الگوی پوزه رو به بالا را احتمالا می‌توان به مورفولوژی تغذیه نسبت داد، هم‌چنین اندازه بزرگ دهان آن‌ها نیز می‌تواند شاهدی بر این سازگاری باشد که با نتایج بررسی Cresko و Baker (۱۹۹۶) و Bentzen و Mcphali (۱۹۸۴) مطابقت دارد (۷ و ۳). در نهایت نتایج این تحقیق ارتباط بین شکل بدن ماهی سه خاره و رژیم جریان آب که در مطالعات مختلف و در محیط‌های متفاوت بررسی شده است، را در زیستگاه‌های مختلف حوزه دریای خزر تایید نمود. البته هنوز نوع تغییرات با توجه به نوع جریان، نیاز به بررسی بیش‌تر در گونه‌های مختلف دارد. علاوه براین با توجه به نتایج شکل بدن در ماهی سه خاره از الگوی کلی وابسته به نوع زیستگاه تبعیت می‌کند.

منابع

1. **Abdoli, A., 2000**. The inland water fishes of Iran. Tehran: Nature and Wildlife Meusume of Iran.
2. **Bell, M.A. and Foster, S.A.و 1994.** The evolutionary biology of the threespine stickleback. Oxford: Oxford University Publications.
3. **Bentzen, P. and McPhail, J.D., 1984.** Ecology and evolution of sympatric sticklebacks (*Gasterosteus*) specialization for alternative trophic niches in the Enos lake species pair Canadian. Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie.62:2280-2286.
4. **Blake, R.W., 1983.** Fish locomotion. Cambridge University Press, Cambridge.
5. **Burns, J.G.; Di Nardo, P. and Rodd, F.H., 2009**. The role of predation in variation in body shape in guppies Poecilia reticulata: a comparison of field and common garden phenotypes. Journal of Fish Biology. 75: 1144–1157.
6. **Coad, B., 2012.** Fresh water fishes of Iran. Retrieved from http://www.briancoad.com.
7. **Cresko, W.A. and Baker, J.A., 1996.** Two morphotypes of lacustrine threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, in Benka Lake, Alaska. Environmental Biology of Fishes. 45: 343-350.
8. **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. In press (in Farsi).
9. **Eklov, P. and Jonsson, P., 2007.** Pike predators induce morphological changes in young perch and roach. Journal of Fish Biology. 70: 155-164.
10. **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 Linnean Society. 90: 25-36.

11. **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
12. **Hoogland, M.; Morris, D. and Tinbergen, M., 1957**. The spines of sticklebacks (Gasterosteus and Pygosteus) as means of defence against predators (Perca and Esox). Behaviour. 10: 205–236.
13. **Jeff, A.W.**, 1996. Principal components of body shape variation within an endemic radiation of three spines stickle back. Department of Zoology Field Museum of Natural History Roosevelt Road at'Lakeshore Drive Chicago, Illinois 60605
14. **Langerhans, R.B.; Layman, C.A.; Langerhans, A.K. and De Witt, T.J., 2003.** Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. Biological Journal of the Linnean Society. 80: 689-698.
15. **Lattuca, M.E.; Ortubay, S.; Battini, M.A.; Barriga, J.P. and Cussac, V.E., 2007.** Presumptive environmental effects on body shape of Aplochiton zebra (Pisces, Galaxiidae) in northern Patagonian lakes. Journal of Applied Ichthyology. 23: 25-33.
16. **McGuigan, K.; Franklin, C.E.; Moritz, C. and Blows, M.W., 2003.** Adaptation of rainbow fish to lake and stream habitats. Evolution. 57: 104-118.
17. **Nilsson, P.A. and Bronmark, C., 2000.** Prey vulnerability to a gape-size limited predator: behavioural and morphological impacts on northern pike piscivory. Oikos. 88: 539-546.
18. **Ostrand, K.G.; Wilde, G.R.; Strauss, R.E. and Young, R.R., 2001.** Sexual Dimorphism in Plains Minnow, *Hybognathus placitus*. Copeia. 2: 563-565.
19. **Pettersson, L.B. and Bronmark, C., 1999.** Energetic consequences of an inducible morphological defence in crucian carp. Oecologia. 121: 12–18.
20. **Poulet, N.; Berrebi, P.; Crivelli, A.J.; Lek, S. and Argillier, C., 2004.** Genetic and morphometric variation in the pikeperch (*Sander lucioperca*) of a fragmented delta. Arch Hydrobiol. 159: 531-554.
21. **Samaee, S.M.R.; Mojazi-Amiri, B. and Hosseini-Mazinani, S.M.S.M., 2006**. Comparison of *Capoeta capoeta gracilis* (Cyprinidae, Teleostei) populations in the south Caspian Sea River basin, using morphometric ratios and genetic markers. Folia Zoology. 55: 323-335.
22. **Spoljaric, M.A. and Reimchen, T.E., 2007.** 10 000 years later: evolution of body shape in Haida Gwaii three-spined stickleback. Journal of Fish Biology. 70: 1484-1503.
23. **Svanback, R. and Eklov, P., 2003**. Morphology dependent foraging efficiency in perch: a trade-off for ecological specialization? Oikos. 102: 273–284.
24. **Svanback, R. and Eklov, P., 2006.** Genetic variation and phenotypic plasticity: causes of morphological and dietary variation in Eurasian perch. Evolutionary Ecology Research. 8: 37-49.
25. **Turan, C., 2000**. Otolith shape and meristic analysis of Herring (*Clupea harengus*) in the northeast Atlantic. Arch. Fish. Mar. Res. 48: 283-295.
26. **Webb, P.W., 1982.** Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. American Zoologist. 22: 329-342.
27. **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: e21060.
28. **Zelditch. M., 2004.** Geometric morphometrics for biologists: a primer. Elsevier Academic Press, New York.

Phenotypic plasticity of Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) populations diverged from habitat in Caspian Sea basin

- **Esmaeil Esmaeilzadegan:** Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box: 4111, Karaj, Iran
- **Soheil Eagderi*:** Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box: 4111, Karaj, Iran
- **Aref Pirbeigi:** Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box: 4111, Karaj, Iran
- **Shiva Nedaei:** Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box: 4111, Karaj, Iran

Received: February 2013 Accepted: May 2013

Keywords: Phenotypic plasticity, Habitat, Landmark, Gomishan, Babolrood

Abstract:

The objective of this study is to determine the phenotypic plasticity among two populations of Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) from the Caspian Sea basin using landmark-based geometric morphometric method. A total of 101 specimens were sampled from two location of this basin including the Babolroud River (central part of the Caspian Sea basin) and the Gomishan wetland (east part of Caspian Sea basin). The left side of specimens was photographed using digital camera and 23 landmarks points were digitized on two-dimensional images using TpsDig2. Landmark data after generalised procrustes analysis (GPA) were analyzed using DFA and Manova. Results displayed significant difference of body shape between to studied population ($P<0.001$) that were related to body and head depth, caudal peduncle length and depth. These difference revealed morphological divergence related to habitat induced due to environmental parameters.

* Corresponding author's email: soheil.Eagderi@ut.ac.ir