

بررسی تأثیر شوری و درجه حرارت بر تغییر شکل بدن ماهی گورخری (*Aphanius sophiae*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

چکیده

هدف از مطالعه‌ی حاضر، بررسی تأثیر سطوح تغییرات مختلف دما و شوری بر تغییرات شکل بدن ماهی گورخری (*Aphanius sophiae*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی می‌باشد. برای این منظور تعداد ۱۲۰ عدد ماهی گورخری در آزمایشگاه به مدت یک ماه در چهار تیمار با دو سطح دمایی ۱۶ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دو سطح شوری صفر و ۱۴ گرم در لیتر پرورش داده شدند. پس از این مدت برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، از سطح جانبی چپ نمونه‌ها عکس برداری گردید و تعداد ۱۷ نقطه لندمارک بر روی تصاویر دو بعدی حاصل تعیین و سپس با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 بر روی آن‌ها رقومی شد. پس از روی هم‌گذاری براساس آنالیز پروکراست به‌منظور حذف تأثیرات اندازه، موقعیت و جهت، داده‌ها توسط آزمون‌های آماری چند متغیره CVA، PCA و خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین شکل بدن تیمارهای بررسی شده اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). تغییرات شکل بدن در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر، شامل تغییر قدامی-تحتانی جایگاه نوک پوزه، طویل شدن طول سرپوش آبششی، افزایش عمق سر و قطر چشم بود. در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر، واضح‌ترین تغییرات به صورت کاهش ارتفاع در ناحیه سرپوش آبششی بود. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر، ارتفاع ناحیه سرپوش آبششی افزایش یافت و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر بیشینه تغییرات مربوط به ناحیه نوک پوزه بود. این نتایج بیانگر اثر مستقیم و تأثیرگذار درجه حرارت و شوری بر شکل بدن ماهی گورخری می‌باشد.

واژگان کلیدی: دما، شوری، شکل بدن، ریخت‌سنجی هندسی، ماهی گورخری، *Aphanius sophiae*

مقدمه

انعطاف‌پذیری ریختی به معنی قابلیت یک ژنوتیپ منفرد برای به نمایش گذاشتن دامنه‌ای از تغییرات ریختی در پاسخ به تغییرات محیطی می‌باشد (Taylor et al., 1997). از این رو شکل بدن نه تنها انعکاس دهنده ویژگی‌های ژنتیکی یک موجود، بلکه منعکس کننده وضعیت محیط زندگی و زیستگاه نیز می‌باشد (Guill et al., 2003; Price et al., 2003). تغییر خصوصیات ریخت‌شناسی در پاسخ به شرایط محیطی زیستگاه‌های مختلف، پدیده‌ای رایج است (Taylor et al., 1997)، که در طیف گسترده‌ای از موجودات از جمله ماهیان (Chapman et al., 2000)، دوزیستان (Newman, 1988)، خزندگان (Legler, 1981)، پرندگان (James, 1983)،

مریم نصراله پورمقدم^۱

هادی پورباقر^۲

سهیل ایگدری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد شایلات، دانشکده

منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. گروه شایلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه

تهران، کرج، ایران

* مسئول مکاتبات:

Soheil.eagderi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۰

کد مقاله: ۱۳۹۳۰۲۰۱۶۴

پستانداران (Williams and Moore, 1989)، حشرات (Atchley, 1971) و گیاهان (Schlichting, 1986) گزارش شده است. در این بین ماهیان این توانایی را دارند که برای بقای خود با شرایط مختلف محیطی سازگار شوند (Nacua et al., 2010). عوامل غیرزنده محیطی در تعیین شکل ماهیان در طی فرآیند فردزایی به عنوان عواملی قدرتمند شناخته شده اند (Costa and Cataudella, 2007). گزارشات متعددی از تأثیر فاکتورهای محیطی از جمله تغییر شرایط هیدرولوژیکی و ویژگی های رودخانه بر ویژگی های شکل بدن ماهیان وجود دارد (ایگدری و همکاران، ۱۳۹۲؛ Haas et al., 2011). از این رو شکل بدن در انتخاب زیستگاه توسط ماهیان از عوامل تعیین کننده می باشد (Webb, 1982). نوع شکل بدن ماهیان در محیط های طبیعی می تواند در ارتباط با نحوه تغذیه، دوری از شکارچی، نحوه جفت یابی و شرایط فیزیوشیمیایی آب تغییر کند (Langerhans and Reznick, 2010). ایگدری و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان کردند که تفاوت شکل سر و تغییر جایگاه باله سینه ای در نمونه های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii*) احتمالاً مربوط به رفتار و نوع تغذیه می باشد.

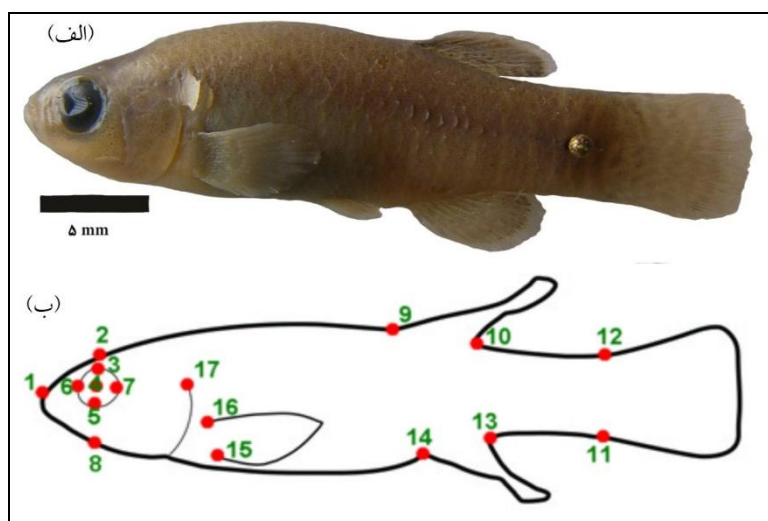
ماهیان جنس آفانیوس تنها جنس از خانواده کپورماهیان دندان دار (Cyprinodontidae) در ایران می باشد (Coad, 1988). این ماهیان قادر هستند دامنه وسیعی از دما و شوری را تحمل نمایند (Frenkel and Goren, 2000) و در محدوده هایی با شوری بالا که گونه های دیگر ماهی توانایی زیست ندارند، یافت می شوند (Leonardoes and Sinis, 1998). در بین اعضای این جنس، گونه ی ماهی گورخری (*A. sophiae*) دارای پراکنش وسیعی در آب های داخلی ایران شامل حوضه های دریاچه نمک، اصفهان و کر می باشد (عبدلی، ۱۳۷۸). ویژگی های این گونه داشتن لکه های بزرگ، بچه و لوزی شکل بر روی پای ساق دم در جنس ماده، ۳۰-۲۵ فلس بر روی خط جانبی، ۱۵-۱۱ شعاع باله پشعی، ۱۳-۱۰ شعاع باله مخرجی ۱۹-۱۴ شعاع باله سینه ای، ۶-۵ شعاع باله شکمی، ۱۳-۱۰ خار آبششی و ۲۹-۱۷ مهره می باشد (Coad, 2014).

شوری و درجه حرارت از مهم ترین فاکتورهای مؤثر بر زندگی ماهیان می باشند. ظرفیت تنظیم اسمزی ماهیان در رابطه با تغییرات شوری به طور وسیعی در گونه های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (Barlow, 1961). اما با این وجود، مطالعات اندکی در رابطه با پاسخ های ریختی ماهیان به تغییر شوری صورت پذیرفته است. درجه حرارت نیز از مهم ترین فاکتورهای محیطی است که زندگی ماهیان را تحت تأثیر قرار می دهد و با توجه به خونسرد بودن ماهیان، تغییرات دمایی روی عملکرد آن ها تأثیرگذار می باشد. مطالعات نشان داده است که درجه حرارت علاوه بر توسعه ساختارهای ماهیچه ای (Johnston et al., 2009)، روند تکوین اندام های داخلی (Gibson and Johnston, 1995)، جذب زرده (Fukuhara, 1990) و تعیین جنسیت (Koumoundouros et al., 2000) بر خصوصیات ریختی شکل ظاهری (Silva, 2003; Turan, 2004) و خصوصیات شمارشی (Turan, 2004) تأثیر می گذارد. اگرچه مطالعات انجام شده در مورد تأثیر درجه حرارت بر ماهیان متعدد می باشد، ولی تحقیقات بسیار اندکی در مورد تأثیر این فاکتور محیطی و تأثیر متقابل آن با فاکتور شوری بر ویژگی های ریختی، به ویژه شکل بدن ماهیان به واسطه انعطاف پذیری ریختی انجام شده است.

فرم بدن ماهی شامل اندازه و شکل است و به عبارت دیگر شکل بدن کاملاً متمایز از اندازه می باشد. مطالعات متعددی در مورد تأثیر فاکتورهای محیطی بر ریخت ماهیان بر اساس روش های سنتی انجام شده است، ولی این مطالعه به هدف بررسی تأثیر دما و شوری بر شکل بدن ماهی گورخری (*A. sophia*)، یک گورب با دامنه وسیع تحمل دما و شوری، با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی به اجرا درآمد. کاربرد ریخت سنجی هندسی به عنوان یک روش نویی در مطالعه اشکال زیستی و تغییرات شکل در بین جمعیت های مختلف موجودات توسعه پیدا کرده است (Bookstein, 1991). این روش می تواند الگوهای مختلف تغییر شکل ایجاد شده در نتیجه فرآیندهایی از قبیل رشد و سازگاری های محیطی را نمایان سازد (ایگدری و همکاران، ۱۳۹۱). برخلاف روش های سنتی که براساس فواصل اندازه گیری شده می باشد، در روش ریخت سنجی هندسی از مختصات نقاط لندمارک برای استخراج داده های شکل برای آنالیزهای چندمتغیره استفاده می شود.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۲۰ عدد بچه ماهی گورخری (*A. sophiae*) جنس نر با استفاده از تور ساچوک از رودخانه شور اشتهارد ($35^{\circ}50' N$ و $51^{\circ}9' E$) صید و به آزمایشگاه انتقال داده شد. به منظور سازگاری با شرایط آزمایشگاهی، ماهیان به مدت یک هفته در دوازده آکواریوم ۲۰ لیتری حاوی آب کلرزدايي شده با هواي منظم، قرار گرفتند و طی این دوره دو بار در روز با آرتمیا و غذای دستی تغذیه شدند. هر روز به میزان ۲ گرم در لیتر از شوری آب آکواریوم‌های مورد نظر کاسته شد، به این صورت عمل سازگار شدن به آب شیرین برای نیمی از جمعیت ماهیان صورت پذیرفت. همچنین در این دوره با تغییر تدریجی دما، ماهیان به تیمارهای دمایی مورد نظر سازگار شدند. دو گروه دمایی ۱۶ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دو تیمار شوری صفر و ۱۴ گرم در لیتر در دو محدوده انتهایی توان تحمل بیان شده برای ماهی گورخری (*A. sophia*) بمصورت ترکیبی انتخاب گردید (Coad, 2014) و ماهیان به مدت یک ماه در چهار تیمار با سه تکرار (ده نمونه در هر تیمار) پرورش داده شدند. بعد از سپری شدن این مدت، ماهیان پس از بیهوشی در محلول گل میخک، در فرمالین چهار درصد بافري تثبيت شدند.



شکل ۱: (الف) نمای جانبی جنس نر ماهی گورخری (*A. sophiae*) رودخانه اشتهارد و (ب) نقاط لندمارک تعیین شده

بر روی بدن ماهی گورخری به منظور استخراج داده‌های شکل بدن.

- ۱- ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا (نوک پوزه)، ۲- امتداد خط عمود بر مرکز چشم در بالای سر، ۳- ابتدایی‌ترین نقطه چشم از بالا، ۴- مرکز چشم، ۵- انتهایی‌ترین نقطه چشم از پایین، ۶- انتهایی‌ترین نقطه چشم (سمت چپ)، ۷- ابتدایی‌ترین نقطه چشم (سمت راست)، ۸- امتداد خط عمود بر مرکز چشم در پایین بدن، ۹- ابتدای قاعده باله پشتی، ۱۰- انتهای قاعده باله پشتی، ۱۱- ابتدای باله دمی در بخش زیرین، ۱۲- ابتدای باله دمی در بخش فوقانی، ۱۳- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۴- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۵- قاعده پایین باله سینه‌ای، ۱۶- قاعده بالای باله سینه‌ای و ۱۷- انتهایی‌ترین قسمت سرپوش آبششی در جلوی بدن.

به منظور استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت سنجی هندسی، از سطح جانبی چپ نمونه‌ها با استفاده از دوربین عکاسی دیجیتال با قدرت تفکیک ۱۶ مگاپیکسل عکس‌برداری شد و پس از تعریف ۱۷ عدد لندمارک، توسط نرم افزار tpsDig2 بر روی تصاویر دو بعدی رقومی گردید (شکل ۱) و در نهایت پس از روی هم گذاری نقاط و حذف تاثیرات سایز و جهت با استفاده آنالیز پروکراست، داده ها توسط تحلیل‌های آماری چند متغیره تجزیه به مولفه های اصلی (Principal Component Analysis=PCA)، تجزیه همبستگی کانونی

(Canonical Variate Analysis=CVA) با ارزش P حاصل از آزمون Permutation و آنالیز خوشه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. به منظور بررسی تغییرات شکل بدن تیمارهای مورد بررسی، مصورسازی تغییرات شکل بدن تیمارها نسبت به میانگین شکل اجماع تیمارها (Consensus configuration) با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم افزار MorphoJ استفاده شد و در مقابل دندوگرام آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) ارائه گردید (Rohlf, 2001). تمامی آنالیزهای آماری در نرم افزارهای PAST 2.15 (Hammer et al., 2001) و MorphoJ 1.02 (Klingenberg, 2011) انجام شد.

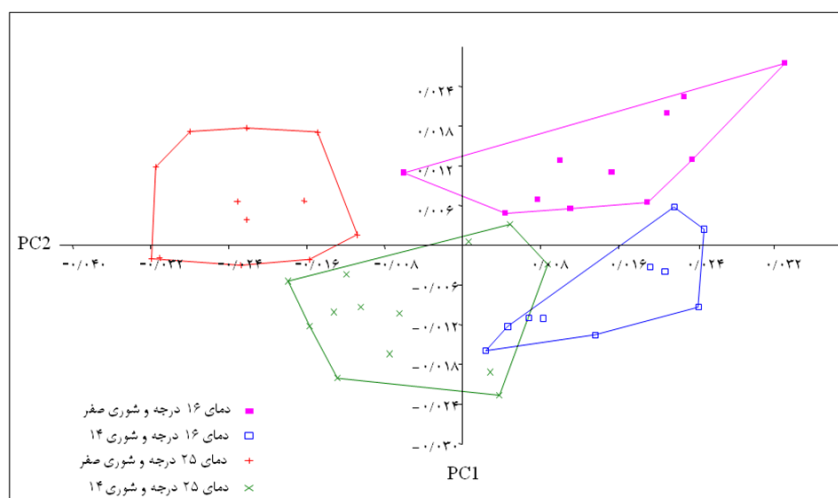
نتایج

آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی، دو مولفه‌ی اول را با مجموع ۹۲ درصد به عنوان عوامل اصلی نشان داد (مولفه اول با ۶۷/۲ و مولفه دوم با ۲۳/۸ درصد از تغییرات). نمودار PCA با پلات کردن دو مولفه‌ی اول در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که تیمارها بر اساس دما کاملاً از یکدیگر تفکیک شده‌اند (شکل ۲). همچنین آنالیز CVA بر اساس ارزش P حاصل از آزمون Permutation فواصل پروکراست، نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی به جز بین دو تیمار دمایی ۱۶ درجه سانتی گراد از نظر شکل بدن تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). (جدول ۱). آنالیز CVA در مجموع چهار عامل موثر را برای ایجاد تغییرات شکل بدن شناسایی نمود و نمودار حاصل از این آنالیز با پلات کردن دو مولفه‌ی اول با مجموع ۸۱ درصد از تغییرات کل توسعه گردید، که در آن چهار تیمار مورد بررسی کاملاً از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۳). آنالیز کلاستر (CA) نیز چهار تیمار مورد مطالعه را به دو خوشه بر اساس درجه حرارت تقسیم نمود (شکل ۴)، میانگین تفاوت شکل بدن در هر یک از تیمارها نسبت به شکل میانگین کل (اجماع) تیمارها در شبکه تغییر شکل در مقابل دندوگرام آنالیز کلاستر ارائه شده است (شکل ۴).

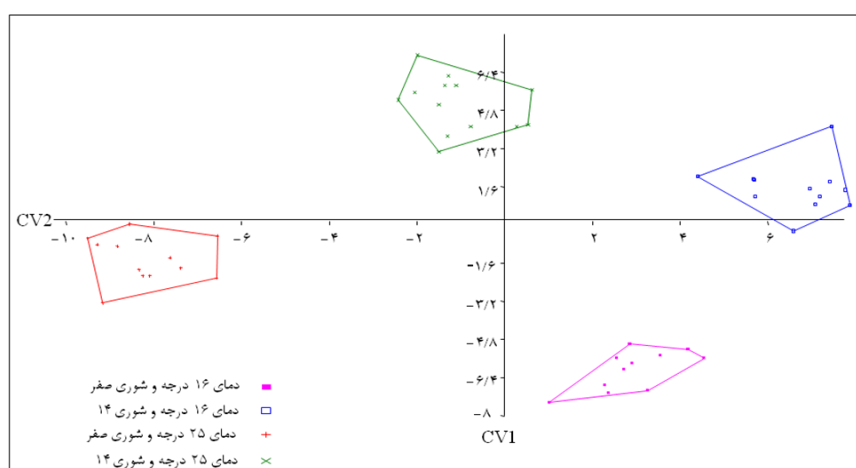
جدول ۱: جدول معنی‌داری بر اساس ارزش P حاصل از آزمون Permutation فواصل پروکراست بین تیمارهای

مورد بررسی.

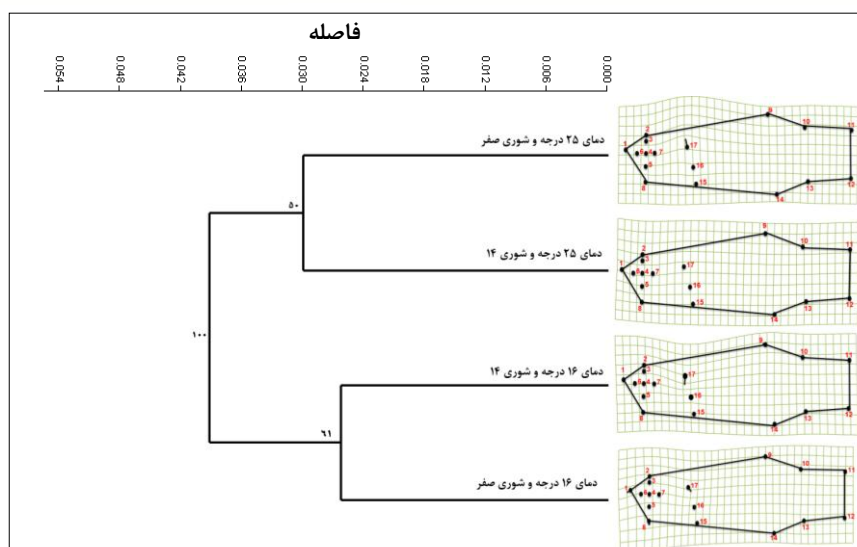
دمای ۱۶ درجه سانتی گراد و شوری ۱۴ قسمت در هزار	دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شوری صفر	دمای ۱۶ درجه سانتی گراد و شوری صفر
۰/۰۶۱۳		دمای ۱۶ درجه سانتی گراد و شوری ۱۴ قسمت در هزار
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شوری صفر
۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۶	دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شوری ۱۴ قسمت در هزار



شکل ۲: آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بین تیمارهای مورد بررسی بر اساس شکل بدن.



شکل ۳: آنالیز تجزیه همبستگی کانوری (CVA) تیمارهای مورد مطالعه بر اساس شکل بدن.



شکل ۴: نمودار آنالیز خوشه‌ای و تفاوت‌های شکل بدن در چهار تیمار مورد بررسی نسبت به شکل میانگین (اجماع) در شبکه تغییر شکل.

بر اساس جابه‌جایی نقاط لندمارک تیمارها نسبت به شکل اجماع نشان داد که در تیمار ترکیبی با دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر، تغییرات شکل بدن به صورت جابه‌جایی قدامی-تحتانی جایگاه نوک پوزه (جابه‌جایی لندمارک شماره ۱)، طویل و کم عمق شدن سرپوش آبششی (جابه‌جایی خلفی-تحتانی لندمارک شماره ۱۷) افزایش عمق سر (جابه‌جایی لندمارک‌های شماره ۲ و ۸) و قطر چشم بود. در تیمار ترکیبی با دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر، واضح‌ترین تغییر مربوط به ناحیه سرپوش آبششی به صورت کاهش عمق (جابه‌جایی تحتانی لندمارک شماره ۱۷) آن بود. در شکل بدن تیمار سوم با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر ارتفاع ناحیه سرپوش آبششی (جابه‌جایی فوقانی لندمارک شماره ۱۷) افزایش یافته و همچنین طول قاعده باله پستی تا حدودی افزایش (جابه‌جایی لندمارک‌های شماره ۹ و ۱۰) و طول ساقه دم کاهش (جابه‌جایی قدامی لندمارک‌های مستقر در ناحیه ی دم) یافته بود. در آخرین تیمار با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر بیشینه تغییرات مربوط به ناحیه نوک پوزه (جابه‌جایی لندمارک شماره ۱) بود که به صورت جابه‌جایی خلفی دهان فوقانی آن می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

موجودات در محیط زیست خود، جهت بقا و ادامه حیات، نیازمند کسب توانایی برای سازش با تغییرات محیطی هستند. این توانایی، بقای آن‌ها را در پاسخ به شرایط زیست محیطی متغیر تضمین کرده و نسبت به موجودات با دامنه تحمل محدود و بومی شده، می‌توانند پراکنش بالاتری را از خود نشان دهند (Price et al., 2003).

مطالعات ریختی در مقیاس آزمایشگاهی و بر مبنای روش‌های ریخت‌سنجی هندسی جدیداً رواج یافته و در ایران بیشتر مطالعات پیش از این در سطح جمعیتی صورت گرفته است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای نیز که با استفاده از همین روش صورت پذیرفت توانستند دو گونه *Cobitis faridpaki* و *Cobitis keyvani* را از یکدیگر شناسایی نمایند (Mousavi-Sabet and Anvarifar, 2013). این مطالعه که با هدف بررسی چگونگی تغییرات ریختی ماهی گورخری (*A. sophia*) به عنوان یک گونه ی مقاوم به تغییرات محیطی (Leonardoes and Sinis, 1998)، در ارتباط با سطوح متفاوت دما و شوری به اجرا درآمد، نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه نسبت

به تغییرات دما و شوری، تغییرات ریختی متفاوتی را از خود بروز داده‌اند. بر این اساس در تیمار دمایی ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر، تغییرات ریختی شامل تغییر قدامی-تحتانی جایگاه نوک پوزه، طولیل شدن طول سرپوش آبششی، افزایش عمق سر و قطر چشم بود. تنظیم شوری، بوی آبزیان امری حیاتی است و مهم‌ترین ساختار در تنظیم اسمزی آبشش‌ها می‌باشند (Evans, 1993). فعالیت این اندام، در محیطی با شوری پایین با جذب آهسته سدیم و کلر و در شوری‌های بالاتر با ترشح نسبتاً سریع آن‌ها، همراه است (Evans, 1993). از این‌رو به نظر می‌رسد که تغییرات مشاهده شده در آبشش کپور ماهی گورخری (*A. sophia*) در این تیمار می‌تواند مربوط به عملکرد تنظیم اسمزی این ماهی باشد. در شوری صفر، ماهی باید مقدار بیشتری آب از داخل آبشش‌ها پمپاژ نماید تا بتواند مقدار املاح بدن خود را از محیط بیرون بیشتر نگه دارد و فشار اسمزی را متعادل نماید. در این تیمار احتمالاً به دلیل کاهش دمای آب و شوری و افزایش انحلال اکسیژن (Motimer, 1971)، دهان نسبت به تیمارهای دیگر اندکی حالت فوقانی پیدا کرده است.

در تیمار دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر، واضح‌ترین تغییرات به صورت کاهش ارتفاع در ناحیه سرپوش آبششی بود. انعطاف پذیری نتیجه رژیم‌های استرسی و محرک‌های مکانیکی متفاوتی است که به ماهی وارد می‌شود، بنابراین انعطاف پذیری رفتاری مسئول تغییرات ریختی خواهد بود (Wimberger, 1992). در شوری بالا، ماهی هیپواسموتیک می‌باشد و در این شرایط به طور غیر فعال مقدار زیادی آب از دست می‌دهد، در نتیجه، برای جبران این عمل مقدار زیادی آب شور می‌نوشد (Lee et al., 2006) و احتمالاً سطح آبشش را کاهش می‌دهند تا املاح کمتری را توسط سلول‌های کلریدی از دست بدهند و در نتیجه فشار اسمزی را تنظیم کنند.

بررسی شکل بدن ماهیان تیمار با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر نشان داد که ارتفاع ناحیه سرپوش آبششی تا حدودی افزایش یافته است. همچنین در اعضای این تیمار، طول قاعده باله پستی مقداری افزایش و طول و ارتفاع ساقه دمی کاهش یافته بود. آب‌زکنی برای بقاء باید خود را با محیط زیست سازش دهند تا هزینه کمتری را در برابر این فشارهای محیطی بپردازند (Fuiman and Batty, 1997). افزایش دما و کاهش شوری سبب کاهش چگالی آب می‌گردد و ماهی برای این که از اثر نیروی کششی آب در انتهای بدن خود بکاهد فرمی را انتخاب خواهد کرد که سطح اصطکاک کمتری با آب داشته باشد و نیروی وارد بر قسمت جلو و عقب بدن را یکنواخت نماید (Bolton and Havenhand, 1997). بنابراین به نظر می‌رسد شرایط متفاوتی که ماهی در آن شنا می‌کند نیازمند پاسخ‌های حرکتی متفاوت است که لازمه‌ی آن تغییرات شکل ظاهری بدن ماهی است (Sfakianakis et al., 2011). از طرف دیگر افزایش دما می‌تواند تا حدودی سبب کاهش اکسیژن محلول نیز گردد (Motimer, 1971) که در این صورت ماهی می‌تواند با افزایش سطح آبشش خود به چنین وضعیتی سازش پیدا کند.

در آخرین تیمار با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر، بیشینه تغییرات مربوط به ناحیه نوک پوزه بود، که به صورت جامع‌جایی خلفی دهان فوقانی آن بود. افزایش دما و شوری می‌تواند به طور مشخص سبب کاهش انحلال اکسیژن محلول در آب گردد و از طرفی در این شرایط میزان اکسیژن خواهی ماهی افزایش می‌یابد (Motimer, 1971). بنابراین ماهی برای سازش در این شرایط می‌تواند سازگاری‌های ریختی به صورت دهان در موقعیت بالاتر را داشته باشد چرا که ماهی با موقعیت فوقانی دهان می‌تواند به شکل مؤثرتری از آب سطحی حاوی اکسیژن استفاده نماید (Kramer et al., 1982).

تغییرات ریختی ماهی‌ها به واسطه‌ی انعطاف‌پذیری ریختی در پاسخ به شرایط زیستگاهی می‌تواند به دلیل تغییر در الگوهای تکاملی ماهیچه‌ها و استخوان‌ها باشد (Wimberger, 1992). در مطالعه‌ای که بلهدف بررسی سطوح مختلف دمایی بر فنوتیپ بچه‌ماهیان آنجل (*Pterophyllum scalare*) انجام شد، نتایج نشان داد شکل بدن به طور قابل توجهی در مراحل اولیه‌ی زندگی تحت تاثیر دما قرار دارد (نصراله پورمقدم و ایگدری، ۱۳۹۳). Sfakianakis و همکاران (۲۰۰۱) نیز با بررسی تاثیر دما بر شکل بدن بچه‌ماهیان گورخری (*Danio rerio*)، گزارش کرد که دما تاثیر زیادی بر شکل بدن این ماهیان دارد. مشابه این نتیجه نیز در گونه‌ی باس دریایی (*Dicentrarchus labrax*) توسط Georgakopoulou و همکاران (۲۰۰۷) به دست آمد. بنابراین می‌توان بیان داشت که در اکثر مطالعات صورت گرفته نیز روش ریخت سنجی هندسی به خوبی توانسته است واکنش ماهی جهت تغییر شکل بدن را در ارتباط با عوامل

محیطی تأثیر گذار به نمایش گذارد. ولی مطالعه‌ای در مورد تأثیر ترکیبی دو عامل شوری و دما بر ویژگی های ریختی ماهیان در دسترس نبود. از این رو نتایج این مطالعه تأثیر قابل ملاحظه‌ای دو فاکتور فوق بر روی ویژگی های ریختی ماهیان را به طور هم زمان نشان داد. از آنجایی که رودخانه شور اشتهارد، دارای تغییرات شدید شوری و دما می‌باشد، نتایج این تحقیق می‌تواند نشان دهنده‌ی توانایی بالای ماهی گورخری (*A. sophia*) در پاسخ به تغییرات محیطی به صورت تغییر ویژگی‌های ریختی باشد. از سوی دیگر، مطالعه حاضر به خوبی توانست نحوه تغییر ریخت ماهی در ارتباط با فاکتورهای مهم محیطی، یعنی دما و شوری که خود از عوامل جدا کننده در زیستگاه ها بوده و سازگاری‌های متفاوت ایجاد می‌کنند را توصیف نماید.

منابع

- ایگدری، س.، اسماعیل زادگان، ا. و مداح، ع.، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات شکل بدن در جمعیت های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) دریای خزر با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی. مجله تاکسونومی و بیوسیستماتیک، شماره ۱۴، صفحات ۸-۱.
- عبدلی، ا.، ۱۳۷۸. ماهیان آب‌های داخلی ایران. موزه طبیعت و حیات وحش ایران، ۳۷۸ ص.
- نصراله پورمقدم، م.، ایگدری، س.، ۱۳۹۲. تأثیر درجه حرارت بر شکل بدن ماهی آنجل (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823) در مراحل اولیه رشد با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی. مجله بوم شناسی آبزیان، شماره ۳ (۲)، صفحات ۳۶-۳۰.
- Atchley, W. R., 1971. A comparative study of the causes and significance of morphological variation in adults and pupae of Culicoides: a factor analysis and multiple regression study. *Evolution*, 25: 563-583.
- Barlow, G., 1961. Causes and significance of morphological variation in fishes. *Systematic Zoology*, 10: 105-117.
- Bolton, T. F. and Havenhand, J. N., 1997. Physiological versus viscosity-induced Effects of water temperature on the swimming and sinking velocity of larvae of the serpulid polychaete *Galeolaria caespitosa*. *Marine Ecology Progress Series*, 159: 209-218.
- Bookstein F. L., 1991. *Morphometric Tools for Landmark Data. Geometry and Biology*. University Press, Cambridge, 456 p.
- Chapman, L. J., Galis, F. and Shinn, J., 2000. Phenotypic plasticity and the possible role of genetic assimilation. Hypoxia-induced trade-offs in morphological traits of an African cichlid. *Ecology Letters*, 3: 387-393.
- Coad, B. W., 1988. *Aphanius vladkovii*, a new species of tooth-carp from the zagros mountains of Iran. (osteichthyes: cyprinodontidae). *Environmental Biology of Fishes*, 23: 115-125.
- Coad, B., 2014. Fresh water fishes of Iran. Retrieved from <http://www.briancoad.com>.
- Costa, C. and 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.
- Evans, D. H., 1993. Osmotic and Ionic Regulation. In *The Physiology of Fishes*, Evans, D.H. (Ed.). CRC Press, Boca Raton, pp. 315-342.
- Frenkel, V. and Goren, M., 2000. Factors affecting growth of killifish, *Aphanius dispar*, a potential biological control of mosquitoes. *Aquaculture*, 184: 255-265.
- Fuiman, L. and Batty, R., 1997. What a drag it is getting cold: partitioning the physical and physiological effects of temperature on fish swimming. *Journal of Experimental Biology*, 200 (12): 45-55.
- Fukuhara, O., 1990. Effects of temperature on yolk utilization, initial growth, and behaviour of unfed marine fish-larvae. *Marine Biology*, 106: 169-174.
- Georgakopoulou, E., Sfakianakis, D. G., Kouttouki, S., Divanach, P., Kentouri, M. and Koumoundouros, G., 2007. The influence of temperature during early life on phenotypic expression at later ontogenetic stages in sea bass. *Journal of Fish Biology*, 70(1): 278-291.

- Gibson, S. and Johnston, I. A., 1995.** Temperature and development in larvae of the turbot *Scophthalmus maximus*. Marine of Biology, 124: 17-25.
- 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: 134-140.
- Haas, T. C., Blum, M. J. and Heins, D. C., 2011.** Morphological responses of a stream fish to water impoundment. Biology Letter, 6: 803-806.
- Hammer Ø., Harper D. A. T. and Ryan P. D., 2001.** Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 4(4): 1-9.
- James, F. C., 1983.** Environmental component of morphological variation in birds. Science, 221: 184-186.
- Johnston, I. A., Lee, H. T., Macqueen, D. J., Paranthaman, K., Kawashima, C., Anwar, A., Kinghorn, J. R. and Dalmay, T., 2009.** Embryonic temperature affects muscle fibre recruitment in adult zebrafish: Genome-wide changes in gene and microRNA expression associated with the transition from hyperplastic to hypertrophic growth phenotypes. Journal of Experimental Biology, 21: 21-78.
- Klingenberg, C. P., 2011.** MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources, 11: 353-357.
- Koumoundouros, G., Pavlidis, M., Anezaki, L., Kokkari, C., Sterioti, A., Divanach, P. and Kentouri, M., 2002.** Temperature sex determination in the European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (Teleostei, Perciformes, Moronidae): critical sensitive ontogenetic phase. Journal of Experimental Zoology, 292: 573-579.
- 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.
- Langerhans, R. B. and Reznick, D. N., 2010.** Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. In: Fish locomotion: an ecoethological perspective (eds. Domenici, P. and Kapoor, B. G.) 200-248. Science Publishers Inc, Enfield.
- Lee, K. M., Kaneko, T., Katoh, F. and Aida, K., 2006.** Prolactin gene expression and gill chloride cell activity in fugu *Takifugu rubripes* exposed to a hypoosmotic environment. General and Comparative Endocrinology, 149: 285-293.
- Legler, J. M., 1981.** The taxonomy, distribution, and ecology of the Australian freshwater turtles (Testudines: Pleurodira: Chelidae). National Geographic Society Research, 13: 391-404.
- Leonardos, I. and Sinis, A., 1998.** Reproductive strategy of *Aphanius fasciatus* Nardo, 1827 (Pisces: Ciprinodontidae) in the Mezolongy and Etolikon lagoons (W. Greece). Fisheries Research, 35: 171-181.
- Mortimer, C. H., 1971.** Chemical exchanges between sediments and water in the Great Lakes speculation on probable regulatory mechanisms. Limnology and Oceanography, 16(2): 387-440.
- Mousavi-Sabet H., Anvarfar, H., 2013.** Landmark-based morphometric variation between *Cobitis keyvani* and *Cobitis faridpaki* (Pisces: Cobitidae), with new habitat for *C. faridpaki* in the southern Caspian Sea basin. Folia Zoologica, 62(3): 167-175.
- Nacua, S. S., Dorado, E. L., Torres, M. A. J. and Demayo, C. G., 2010.** Body shape variation between two populations of the white goby, *Glossogobius giuris*. Research Journal of Fisheries and Hydrobiology, 5: 44-51.
- Newman, R. A., 1988.** Adaptive plasticity in development of *Scaphiopus couchi* tadpoles in deserponds. Evolution, 42: 774-783.
- Price, T. D., Qvarnstrom, A. and Irwin, D. E., 2003.** The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 270: 1433-1440.
- Rohlf, F. J., 2001.** Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric interpretations. Evolution, 55: 2143-2160.
- Schlichting, C. D., 1986.** The evolution of phenotypic plasticity in plants. Annual Review of Ecology and Systematics, 17: 667-693.

- 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 Fish*, 18: 1-6.
- Silva, A., 2003.** Morphometric variation among sardine (*Sardina pilchardus*) populations from the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 13-52.
- Taylor, E., Harvey, S., Pollard, S. and Volpe, J., 1997.** Postglacial genetic differentiation of reproductive ecotypes of kokanee *Oncorhynchus nerka* in Okanagan Lake. British Columbia. *Molecular Ecology*, 6: 503-517.
- Turan, C., 2004.** Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *Journal of Marine Science*, 61: 774-781.
- Webb, P. W., 1982.** Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. *American Zoologist*, 22: 329-342.
- William, C. K. and Moor, R. J., 1989.** Phenotypic adaptation and natural selection in the wild rabbit, *Oryctolagus cuniculus*, in Australia. *Journal of Animal Ecology*, 58: 495-507.
- Wimberger, P. H., 1992.** Plasticity of jaw and skull morphology in the neotropical cichlids *Geophagus brasiliensis* and *G. steindachneri*. *Evolution*, 45: 1545-1563.