

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

مریم نصرالله پورمقدم<sup>۱</sup>  
هادی پورباقر<sup>۲</sup>  
سهیل ایگدری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
۲. ۳. گروه شیلات، 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

### چکیده

هدف از مطالعه‌ی حاضر، بررسی تاثیر سطوح تغییرات مختلف دما و شوری بر تغییرات شکل بدن ماهی گورخری (*Aphanius sophiae*) با استفاده از روش ریخت‌سنگی 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 ریخت‌سنگی 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 تاثیرات اندازه، موقعیت و جهت، داده‌ها توسط آزمون‌های آماری چند متغیره PCA و خوش‌های مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین شکل بدن متغیرهای PCA و خوش‌های معنی داری وجود داشت ( $P < 0.05$ ). تغییرات شکل بدن در دمای ۱۶ درجه سانچی‌گراد و شوری صفر، شامل تغییر قدامی-تحتانی جایگاه نوک پوزه، طویل شدن طول سرپوش آبیشی، افزایش عمق سر و قطر چشم بود. در دمای ۱۶ درجه سانچی‌گراد و شوری ۱۴ گرم در لیتر، واضح ترین تغییرات به صورت کاهش ارتفاع در ناحیه سرپوش آبیشی بود. در دمای ۲۵ درجه سانچی‌گراد و شوری صفر، ارتفاع ناحیه سرپوش آبیشی افزایش یافت و در دمای ۲۵ درجه سانچی‌گراد 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، ریخت‌سنگی هندسی، ماهی گورخری، *Aphanius sophiae*

### مقدمه

انعطاف‌پذیری ریختی به معنی قابلیت یک ژنتیپ منفرد برای به نمایش گذاشتن دامنه‌ای از تغییرات ریختی در پاسخ به تغییرات محیطی می‌باشد (Taylor *et al.*, 1997). از این‌رو شکل بدن نه تنها انکاس دهنده‌ی ویژگی‌های ژنتیکی یک موجود، بلکه منعکس کننده‌ی 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 راجع 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)

پستانداران (1989) Williams and Moore, 1986)، حشرات (Schlichting, 1971) و گیاهان (Atchley, 1971) 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 غیرزندۀ محیطی در تعیین شکل ماهیان در طی فرآیند فردایی به عنوان عواملی قدرتمند شناخته شده اند (Costa and Cataudella, 2007). گزارشات متعددی از تاثیر 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 فیزیکوشیمیایی آب تعییر کند (Langerhans and Reznick, 2010). ایگدری و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان کردند که تفاوت شکل سر و تعییر جایگاه باله سینه ای در نمونه های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii*) احتمالاً مربوط به رفتار و نوع تغذیه می باشد.

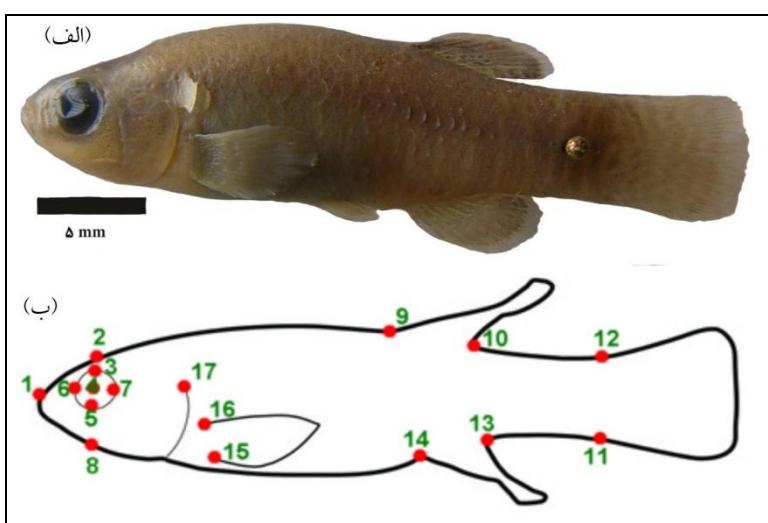
ماهیان جنس آفانیوس تنها جنس از خانواده کپورماهیان دندان دار (Cyprinodontidae) در ایران می باشند (Coad, 1988). این ماهیان قادر هستند دامنه‌ی وسیعی از دما و شوری را تحمل نمایند (Frenkel and Goren, 2000) و در محیط هایی با شوری بالا که گونه های دیگر ماهی توانایی زیست ندارند، می توانند (Leonardoes and Sinis, 1998) در بین اعضای این جنس، گونه ماهی گورخری (*A. sophiae*) دارای پراکنش وسیعی در آب های داخلی ایران شامل حوضه های دریاچه نمک، اصفهان و کر می باشد (عبدی، ۱۳۷۸). ویژگی های این گونه داشتن لکه های بزرگ، بیوه و لوزی شکل بر روی پائی ساقه دمی در جنس ماده، ۲۵-۳۰ فلس بر روی خط جانی، ۱۱-۱۵ شاعر باله پشتی، ۱۰-۱۳ شاعر باله مخرجی ۱۴-۱۹ شاعر باله سینه ای، ۶-۵ شاعر 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 تاثیر قرار می دهد و با توجه به خونسرد بودن ماهیان، تغییرات دمایی روی عملکرد آن ها تاثیرگذار 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) تاثیر می گذارد. اگرچه مطالعات انجام شده در مورد تاثیر درجه حرارت بر ماهیان متعدد می باشد، ولی تحقیقات بسیار اندکی در مورد تاثیر این فاکتور محیطی و تاثیر متقابل آن با فاکتور شوری بر ویژگی های ریختی، بیوه 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 تاثیر فاکتورهای محیطی بر ریخت ماهیان بر اساس روش های سنتی انجام شده است، ولی این مطالعه به هدف بررسی تاثیر دما و شوری بر شکل بدن ماهی گورخری (*A. sophiae*), یک گروه با دامنه‌ی وسیع تحمل دما و شوری، با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی به اجرا درآمد. کاربرد ریخت سنجی هندسی به عنوان یک روش نوئی در مطالعه ای اشکال زیستی و تغییرات شکل در بین جمعیت های مختلف موجودات توسعه بیشتر کرده است (Bookstein, 1991). این روش می تواند الگوهای مختلف تغییر شکل ایجاد شده در نسخه فرآیندهایی از قبیل رشد و سازگاری های محیطی را نماین سازد (ایگدری و همکاران، ۱۳۹۱). برخلاف روش های سنتی که بر اساس فواصل اندازه گیری شده می باشد، در روش ریخت سنجی هندسی از مختصات نقاط لندرمارک برای استخراج داده های شکل برای آنالیز های چندمتغیره استفاده می شود.

## مواد و روش‌ها

تعداد ۱۲۰ عدد بچه ماهی گورخری (*A. sophiae*) جنس نر با استفاده از تور ساقچوک از رودخانه شور اشتهراد ( $51^{\circ}9' E$  و  $35^{\circ}50' N$ ) 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 کلرزدایی شده با هوادهی منظم، قرار گرفتند و طی این دوره دو بار در روز با آرتミا 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 ماهی گورخری (*A. sophiae*) بهصورت 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 بافری ثبت شدند.



شکل ۱: (الف) نمای جانبی جنس نر ماهی گورخری (*A. sophiae*) رودخانه اشتهراد و (ب) نقاط لندمارک تعیین شده بر روی بدن ماهی گورخری به منظور استخراج داده‌های شکل بدن.

- ۱- ابتدایی ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا (نونک پوزه)، -۲- امتداد خط عمود بر مرکز چشم در بالای سر، -۳- ابتدایی ترین نقطه چشم از بالا، -۴- مرکز چشم، -۵- انتهایی ترین نقطه چشم از پایین، -۶- انتهایی ترین نقطه چشم (سمت چپ)، -۷- ابتدایی ترین نقطه چشم (سمت راست)، -۸- امتداد خط عمود بر مرکز چشم در پایین بدن، -۹- ابتدایی قاعده باله پشتی، -۱۰- انتهایی قاعده باله دمی در بخش زیرین، -۱۱- ابتدایی باله دمی در بخش فوقانی، -۱۲- انتهایی قاعده باله مخرجی، -۱۳- ابتدایی قاعده باله مخرجی، -۱۴- قاعده پایین باله سینه‌ای، -۱۵- قاعده بالای باله سینه‌ای و -۱۷- انتهایی ترین قسمت سرپوش آبشیشی 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 برروی 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، داده‌ها توسط تحلیل‌های آماری چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA=Principal Component Analysis)، تجزیه همبستگی کانونی

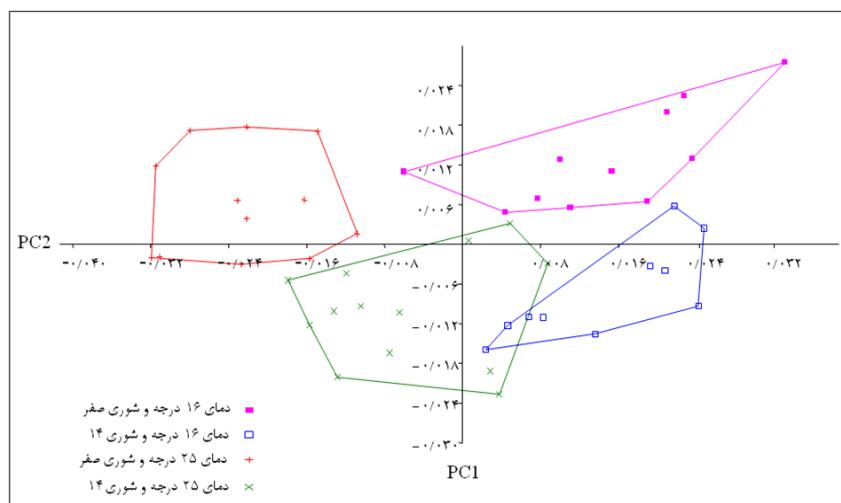
(Canonical Variate Analysis=CVA) با ارزش P حاصل از آزمون Permutation و آنالیز خوشای مورد تحلیل قرار گرفتند. به منظور بررسی تغییرات شکل بدن تیمارهای مورد بررسی، مصورسازی تغییرات شکل بدن تیمارها نسبت به میانگین شکل اجماع تیمارها (Consensus configuration) با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم افزار MorphoJ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

## نتایج

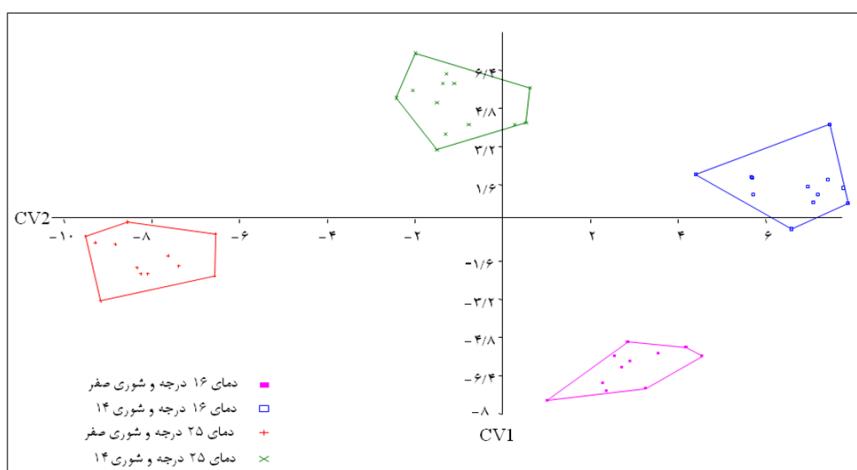
آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی، دو مولفه‌ی اول را با مجموع ۹۲ درصد به عنوان عوامل اصلی نشان داد (مولفه اول با ۶۷/۲ و مولفه دوم با ۲۳/۸). نمودار PCA با پلات کردن دو مولفه‌ی اول در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که تیمارها بر اساس دما کاملاً از یکدیگر تفکیک شده‌اند (شکل ۲). همچنین آنالیز CVA بر اساس ارزش P حاصل از آزمون Permutation فواصل پروکراس است، نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی به جز بین دو تیمار دمایی ۱۶ درجه سانتی‌گراد 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 مؤلفه‌ی اول با مجموع ۸۱ درصد از تغییرات کل بتسریع 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 خوشی 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 پروکراس است بین تیمارهای مورد بررسی.**

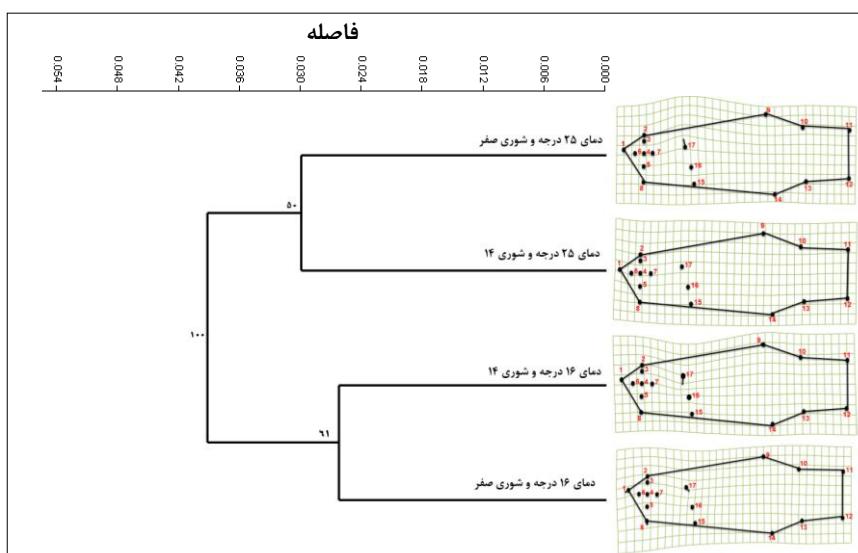
دما <sup>۱</sup> درجه سانتی‌گراد	دما <sup>۱</sup> درجه سانتی‌گراد و شوری	دما <sup>۱</sup> درجه سانتی‌گراد و شوری صفر	دما <sup>۱</sup> درجه سانتی‌گراد و شوری صفر
دما <sup>۱</sup> درجه سانتی‌گراد و شوری صفر			
<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲



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



شکل ۳: آنالیز تجزیع همبستگی کانوئی (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 جایه‌جایی 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 جایه‌جایی قدامی-تحتانی جایگاه نوک پوزه (جایه‌جایی لندمارک شماره ۱)، طویل و کم عمق شدن سرپوش آبششی (جایه‌جایی خلفی-تحتانی لندمارک شماره ۱۷) افزایش عمق سر (جایه‌جایی لندمارک‌های شماره ۲ و ۸) و قطر چشم بود. در تیمار ترکیبی با دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۶ گرم در لیتر، واضح‌ترین تغییر مربوط به ناحیه سرپوش آبششی به صورت کاهش عمق (جایه‌جایی تحتانی لندمارک شماره ۱۷) آن بود. در شکل بدن تیمار سوم با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری صفر ارتفاع ناحیه سرپوش آبششی (جایه‌جایی فوقانی لندمارک شماره ۱۷) افزایش یافته و همچنین طول قاعده باله پشتی تا حدودی افزایش (جایه‌جایی لندمارک‌های شماره ۹ و ۱۰) و طول ساقه دمی کاهش (جایه‌جایی قدامی لندمارک‌های مستقر در ناحیه دمی) یافته بود. در آخرین تیمار با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۶ گرم در لیتر بیشینه تغییرات مربوط به ناحیه نوک پوزه (جایه‌جایی لندمارک شماره ۱) بود که به صورت جایه‌جایی خلفی دهان فوقانی آن می‌باشد.

## بحث و نتیجه‌گیری

موجودات در محیط زیست خود، جهت بقاء 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 پراکش 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 Anvarifard, 2013). این مطالعه که با هدف بررسی چگونگی تغییرات ریختی ماهی گورخری (*A. sophiae*) به عنوان یک گونه‌ی مقاوم به تغییرات محیطی مطالعه کرد (Leonardo and Sinis, 1998)، در ارتباط با سطوح متفاوت دما و شوری به اجرا درآمد، نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه ریخت

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، طولی شدن طول سرپوش آبیشی، افزایش عمق سر و قطر چشم بود. تنظیم شوری، بیای آبزیان امری حیاتی است و مهم‌ترین ساختار در تنظیم اسمزی آبیش ها می‌باشد (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 آبیش 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 آبیش ها پمپاژ نماید تا تواند 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 آبیشی بود. انعطاف پذیری نتیجه رژیم‌های استرسی و محرك‌های مکانیکی متفاوتی است که به ماهی وارد می‌شود، بنابراین انعطاف پذیری رفتاری مسئول تغییرات ریختی خواهد بود (Wimberger, 1992). در شوری بالا، ماهی هیپوسوموتیک می‌باشد و در این شرایط به طور غیرفعال مقدار زیادی آب از دست می‌دهد، در نتیجه، برای جبران این عمل مقدار زیادی آب شور می‌نوشد (Lee et al., 2006) و احتمالاً سطح آبیش را کاهش می‌دهند تا املاح کمیتی را توسط سلول‌های کلریدی از دست بدھند 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 آبیشی تا حدودی افزایش یافته است. همچنین در اعضای این تیمار، طول قاعده باله پشتی مقداری افزایش و طول و ارتفاع ساقه دمی کاهش یافته بود. آبزنلن 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 آبیش 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 جای‌بجا‌بی 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 می‌پاید (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 مبلغ 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 (نصرالله 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 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 ویژگی‌های ریختی ماهیان در دسترس نبود. از این‌رو نتایج این مطالعه تأثیر قابل ملاحظه‌ی دو فاکتور فوق بر روی ویژگی‌های ریختی ماهیان را به طور هم زمان نشان داد. از آن‌جایی که رودخانه شور اشتهرد، دارای تغییرات شدید شوری و دما می‌باشد، نتایج این تحقیق می‌توانند نشان دهنده‌ی توانایی بالای ماهی گورخری (*A. sophiae*) 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 بفراکتورهای مهم محیطی، یعنی دما و شوری که خود از عوامل جدا کننده در زیستگاه‌ها بوده و سازگاری‌های متفاوت ایجاد می‌کنند را توصیف نماید.

## منابع

- ایگدری، س.، اسماعیل زادگان، ا. و مراح، ع.، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) در ریخت سنجی هندسی. مجله تاکسونومی و بیوسیستماتیک، شماره ۱۴، صفحات ۱-۸.
- عبدلی، ا.، ۱۳۷۸. ماهیان آب‌های داخلی ایران. موزه طبیعت و حیات وحش ایران، ۳۷۸ ص.
- نصرالله 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 بوم‌شناسی آذربایجان، شماره ۳ (۲)، صفحات ۳۰-۳۶.
- 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 vladaykovi*, 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 and Biological*, 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 Dalmary, 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.
- Leonardoes, 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 deserts. *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.