



بررسی عوامل اکولوژیکی مؤثر بر ویژگی‌های ریخت‌سنجی ماهی شاه‌کولی

در رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود (*Alburnus atropatena* Berg, 1925)

علیرضا رادخواه*، هادی پورباقر، سهیل ایگدری

گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	این مطالعه با هدف بررسی صفات ریخت‌سنجی جمعیت‌های شاه‌کولی، در دو رودخانه سیمینه‌رود و زرینه‌رود صورت گرفت. علاوه بر این، نقش عوامل محیطی مؤثر بر خصوصیات ریخت‌سنجی در جمعیت‌های مذکور نیز مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، در مجموع ۹۳ قطعه ماهی شاه‌کولی در تابستان ۹۲ از رودخانه‌های سیمینه‌رود (۳۹ قطعه) و زرینه‌رود (۵۴ قطعه)، با استفاده از دستگاه الکتروشوکر صید شدند. ۲۱ صفت ریخت‌سنجی با عکس‌برداری از ماهیان و با استفاده از نرم‌افزار Image J اندازه‌گیری شد. براساس نتایج به دست آمده، دو جمعیت مورد مطالعه از نظر صفات ریخت‌سنجی، دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بودند ($P < 0.05$). همچنین، روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که این جمعیت‌ها از یکدیگر تفکیک شدند. در این مطالعه به منظور تعیین عوامل محیطی مؤثر بر ویژگی‌های ریختی ماهیان در جمعیت‌های مورد مطالعه از روش Two-block PLS استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده، در رودخانه زرینه‌رود عمق و سرعت جریان آب همبستگی مثبت بالایی با ویژگی‌های ریختی ماهیان داشتند در حالی که در رودخانه سیمینه‌رود دبی و عمق بالاترین میزان همبستگی مثبت را با خصوصیات ریختی ماهیان نشان دادند.
تاریخچه مقاله:	
دریافت: ۹۳/۱۲/۰۸	
اصلاح: ۹۴/۰۱/۲۴	
پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۷	
کلمات کلیدی:	
ریخت‌سنجی	
ماهی شاه‌کولی	
سیمینه‌رود	
زرینه‌رود	

مقدمه

یکی از مباحث مهم در علوم زیست‌شناسی، بررسی جمعیت‌ها و چگونگی تفکیک آن‌ها از یکدیگر می‌باشد (Watson and Balon, 1984). برای تفکیک جمعیت‌های مختلف از یک گونه، روش‌های متفاوتی وجود دارد. بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی یکی از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده در این زمینه می‌باشد. بررسی خصوصیات ریختی ماهیان کمک می‌کند تا موضوعاتی همچون تکامل، رفتارشناسی، حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی بیشتر مورد توجه قرار گیرد (Dynes *et al.*, 1999; Nacua *et al.*, 2010). این خصوصیات اطلاعات مفیدی در مورد پراکنش گونه‌ها، وضعیت اکولوژیکی و همچنین الگوی تغذیه‌ای آن‌ها ارائه می‌دهد (Watson and Balon, 1984; Winemiller, 1991; Hugueny and Pouilly, 1999). تمایز بین جمعیت‌های ماهیان با استفاده از صفات ریخت‌شناسی می‌تواند نشان‌دهنده ماهیت انتخاب طبیعی و تأثیر عوامل محیطی باشد (Grant and Grant, 1995). ویژگی‌های ریخت‌شناسی ماهیان اغلب دچار تغییرات درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای می‌شود، چرا که این خصوصیات متأثر از فاکتورهای محیطی می‌باشد (Costa and Cataudella, 2007). بنابراین در برخی موارد تفاوت‌های ریخت‌شناسی ناشی از ویژگی‌های محیطی هستند و ژنتیک نقش چندانی در این زمینه ندارد. در

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: radkhalireza@yahoo.com

حقیقت اختلاف فنوتیپی به وجود آمده در جمعیت‌ها که بعضاً منجر به تفکیک آن‌ها می‌شود، بیشتر تحت تأثیر شرایط بوم‌شناختی است (Poulet *et al.*, 2004). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principal Components Analysis) روش مناسبی برای بررسی داده‌های ریخت‌شناسی می‌باشد. از این روش به منظور نشان دادن تمایز جمعیت‌ها و جداسازی آن‌ها استفاده می‌شود (Kuliev, 1988). با روش مذکور می‌توان ابعاد داده مورد استفاده را کاهش داد، بنابراین مولفه‌هایی از مجموعه داده که دارای بیشترین تأثیر در مقدار واریانس هستند، حذف می‌شوند (Moghadam *et al.*, 1994).

ماهی شاه‌کولی (*Alburnus atropatenae*) متعلق به خانواده کپورماهیان (Cyprinidae)، بومی حوضه دریاچه ارومیه بوده و از رودخانه‌های این حوضه گزارش شده است. این گونه در رودخانه‌های کاظم-چای، تلخه، اوزند و قره‌چای نیز به ثبت رسیده است (Khataminejad *et al.*, 2013; Coad, 2015). شاه‌کولی از سایر جنس‌های *Alburnus* به واسطه داشتن کیل شکمی برهنه و کوتاه متمایز شده است. همچنین روی سطح بدن این ماهی نواری تیره قرار دارد که از بخش چشم تا انتهای باله دمی امتداد یافته است. ماهی شاه‌کولی (*A. atropatenae*) از حشرات، سخت‌پوستان، کرم‌ها و جلبک‌های رشته‌ای تغذیه می‌کند (عبدلی، ۱۳۷۸). Holčík و Coad (۱۹۹۹) در طی مطالعه‌ای به بررسی تنوع در بین سه جمعیت از ماهیان شاه‌کولی در دریاچه ارومیه پرداختند. تفاوت‌های گزارش شده در این بررسی به اندازه‌ای نبود تا بتوان این سه جمعیت را از نظر تاکسونومیک از یکدیگر تفکیک کرد. با این حال، تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که این سه جمعیت، احتمالاً به واسطه جدایی جغرافیایی از یکدیگر متمایز شده‌اند، اگر چه عوامل زیست محیطی نیز نقش مهمی در ارتباط با این موضوع دارند (Coad, 2015). شرایط بیولوژیکی و اکولوژیکی ماهی شاه‌کولی (*A. atropatenae*) کاملاً شناخته شده نیست، بنابراین نیازمند انجام مطالعات بیشتر می‌باشد (Coad, 2015). با توجه به حضور این گونه در رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود، سؤالات متعددی در مورد ویژگی‌های ریخت‌شناسی این ماهی مطرح است. از آنجا که این دو رودخانه از لحاظ پارامترهای محیطی و بوم‌شناختی تا حدودی با یکدیگر متفاوت می‌باشند، بنابراین می‌توان انتظار داشت که تحلیل و بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی در این دو جمعیت جالب باشد.

در این‌جا، این سؤالات مطرح است که آیا بین جمعیت‌های شاه‌کولی در دو رودخانه سیمینه‌رود و زرینه‌رود از لحاظ ریخت‌سنجی (morphometric) تفاوتی وجود دارد؟ اگر تفاوت یا اختلافی هست، این تفاوت‌ها یا اختلاف‌ها در کدام خصوصیات وجود دارند؟ و اما سوال مهم‌تر اینکه چه عواملی موجب ایجاد این تفاوت‌ها و یا تغییرات ریختی شده‌اند؟ لذا این مطالعه قصد دارد در پاسخ به سؤالات مطرح شده، صفات اندازه‌ی ماهیان شاه‌کولی، در دو رودخانه سیمینه‌رود و زرینه‌رود را بررسی نموده و به تعیین صفاتی که باعث جداسازی این جمعیت‌ها از هم می‌شود، بپردازد. همچنین در ادامه، عوامل محیطی مؤثر بر تغییرات ریختی ماهیان در هر کدام از جمعیت‌های مورد مطالعه بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، در مجموع ۹۳ قطعه ماهی شاه‌کولی در تابستان ۱۳۹۲ توسط دستگاه الکتروشوکر از رودخانه‌های سیمینه‌رود (۳۹ قطعه) و زرینه‌رود (۵۴ قطعه)، با مختصات جغرافیایی (E: 46° 32', N: 36° 39') و (E: 46° 23', N: 36° 21') صید شدند. نمونه‌های صید شده در محلول فرمالین ۱۰ درصد تثبیت شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پارامترهای محیطی مانند دما، عمق، دبی، سرعت آب رودخانه و غیره در هنگام نمونه‌برداری از رودخانه‌ها ثبت شدند. تعداد ۲۱ صفت ریخت‌سنجی با عکس-برداری از ماهیان و با استفاده از نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد. این نرم‌افزار دارای ابزار تحلیلی مختلفی است که برای آنالیز تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های ریختی به منظور کاهش تغییرات ناشی از رشد آلومتریک استاندارد شدند. دامنه، میانگین و انحراف معیار کلیه صفات ریخت‌سنجی جهت بررسی تنوع ریختی محاسبه شدند (جدول ۱). به منظور تعیین اختلاف در بین جمعیت‌های مورد مطالعه و همچنین جهت تعیین صفات مناسب برای جداسازی جمعیت‌ها به ترتیب از آزمون Hotelling's t2 و روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در نرم‌افزار PAST استفاده شد. در این مطالعه از روش Two block PLS نیز به منظور نمایش اثر عوامل محیطی بر تغییرات شکلی ماهیان شاه‌کولی (*A. atropatenae*) استفاده شد. در این روش دو متغیر خصوصیات ریختی و پارامترهای محیطی در دو بلوک مجزا قرار گرفته و میزان اثرگذاری هر کدام از پارامترها بررسی شد. در روش Two-block PLS به دلیل اینکه داده‌هایی که دارای واحدهای متفاوت هستند را بتوان مورد استفاده قرار داد از

ماتریس همبستگی استفاده شد. در این ماتریس، ابتدا داده‌ها استانداردسازی شد تا اثر واحد اندازه‌گیری آن‌ها از بین برود (Rohlf and Corti, 2001).

نتایج

دامنه، میانگین و انحراف معیار صفات ریخت‌سنجی مربوط به هر کدام از جمعیت‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. همچنین تصاویر نمونه ماهیان شاه‌کولی صید شده از رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود نیز در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. دامنه، میانگین و انحراف معیار به دست آمده برای صفات ریخت‌سنجی جمعیت‌های شاه‌کولی (*A. atropatena*) در مناطق مورد مطالعه

رودخانه سیمینه‌رود		رودخانه زرینه‌رود		ویژگی ریخت‌سنجی
دامنه	انحراف معیار \pm میانگین	دامنه	انحراف معیار \pm میانگین	
۵۲-۸۹	۷۲/۴۸ \pm ۹/۲۵	۶۳-۱۳۰	۹۳/۰۳ \pm ۱۳/۶۳	طول کل
۴۸-۸۰	۶۵/۷۱ \pm ۷/۷۷	۵۸-۱۲۳	۸۶/۸۱ \pm ۱۳/۱۲	طول چنگالی
۴۴-۷۴	۵۹/۵۶ \pm ۷/۲۹	۵۳-۱۱۳	۸۰/۲۵ \pm ۱۲/۱۱	طول استاندارد
۱۰-۱۸	۱۴/۰۵ \pm ۲/۰۱	۱۱-۲۴	۱۶/۳۵ \pm ۲/۵۶	ارتفاع بدن
۷-۱۷	۱۳/۰۲ \pm ۲/۲۳	۱۲-۲۶	۱۷/۲۰ \pm ۳/۰۷	طول سر
۲-۴	۲/۵۶ \pm ۰/۵۵	۲-۷	۳/۴۲ \pm ۱/۰۹	طول پوزه
۳-۹	۶/۶۱ \pm ۱/۳۸	۵-۱۴	۸/۶۴ \pm ۱/۸۶	فاصله چشم تا سرپوش آبششی
۲-۵	۳/۳۰ \pm ۰/۷۶	۳-۷	۴/۵۷ \pm ۰/۹۰	قطر چشم
۲۳-۴۱	۳۲/۱۰ \pm ۴/۶۴	۲۸-۵۹	۴۲/۶۴ \pm ۶/۱۳	فاصله ابتدای باله پشتی تا پوزه
۲۰-۳۶	۲۸/۹۲ \pm ۳/۵۱	۱۳-۲۸	۱۸/۵۵ \pm ۳/۱۹	فاصله ابتدای باله شکمی تا پوزه
۲۹-۴۷	۳۹/۲۳ \pm ۴/۲۳	۳۵-۷۲	۵۲/۹۶ \pm ۸/۰۲	فاصله باله مخرجی تا پوزه
۵-۱۳	۹/۸۲ \pm ۱/۹۸	۷-۱۶	۱۲/۱۶ \pm ۲/۰۲	ارتفاع باله پشتی
۵-۹	۷/۰۷ \pm ۱/۰۶	۶-۱۴	۱۰/۰۹ \pm ۱/۶۲	قاعده باله پشتی
۴-۱۱	۷/۷۹ \pm ۱/۸۳	۷-۱۴	۱۰/۰۷ \pm ۱/۷۹	ارتفاع باله مخرجی
۵-۱۲	۸/۱۰ \pm ۱/۴۴	۷-۱۶	۱۰/۸۳ \pm ۲/۲۲	قاعده باله مخرجی
۵-۱۱	۷/۱۵ \pm ۱/۳۲	۶-۱۴	۱۰/۱۲ \pm ۱/۶۹	طول باله شکمی
۵-۱۴	۹/۷۴ \pm ۲/۱۸	۷-۲۰	۱۲/۲۲ \pm ۲/۲۷	طول باله سینه‌ای
۹-۲۰	۱۵/۲۰ \pm ۲/۲۳	۱۳-۲۷	۲۰/۲۹ \pm ۳/۱۶	فاصله باله شکمی تا سینه‌ای
۹-۲۰	۱۳/۶۴ \pm ۲/۷۴	۱۱-۲۹	۱۸/۰۰ \pm ۳/۳۰	طول ساقه دم
۴-۸	۶/۱۲ \pm ۰/۹۲	۵-۱۱	۷/۲۴ \pm ۱/۳۵	ارتفاع ساقه دم
۷-۱۴	۱۰/۷۴ \pm ۱/۵۳	۹-۲۳	۱۴/۴۲ \pm ۲/۵۵	ارتفاع سر



شکل ۱. نمونه ماهی شاه‌کولی (*A. atropatena*) صید شده از رودخانه زرینه‌رود



شکل ۲. نمونه ماهی شاه‌کولی (*A. atropatena*) صید شده از رودخانه سیمینه‌رود

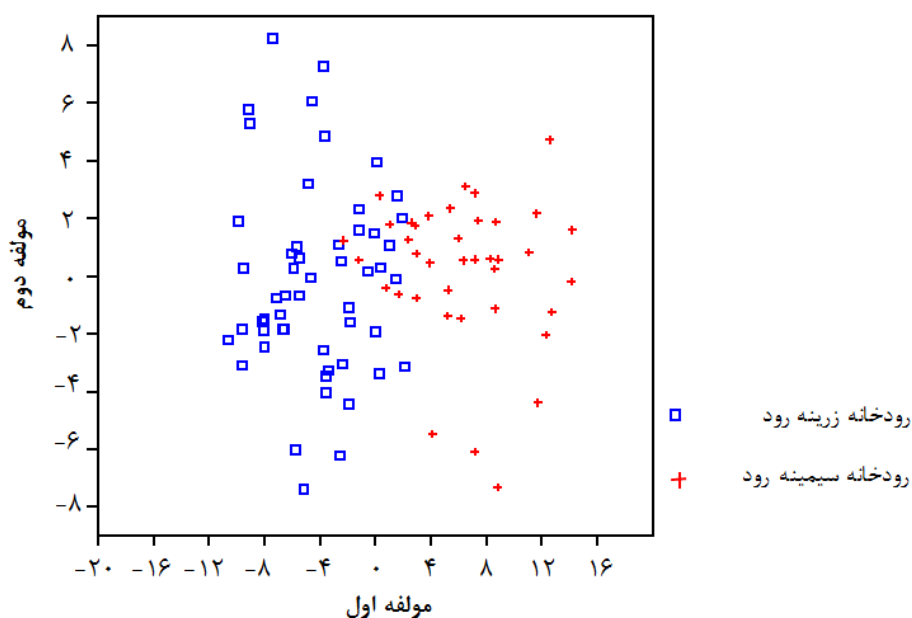
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و آزمون Hotelling's t^2 نشان داد که جمعیت‌های مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های ریخت‌سنجی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$). در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی خصوصیات ریخت‌سنجی، ۹ مؤلفه با مقادیر ویژه بزرگتر از یک انتخاب شدند که در مجموع ۹۳/۲۷ درصد تنوع صفات را شامل شدند (جدول ۲). از بین مؤلفه‌های یاد شده، مؤلفه اول (PC1) ۵۵/۱۶ درصد و مؤلفه دوم (PC2) ۱۲/۸۰ درصد و در مجموع دو مؤلفه اول ۶۷/۹۶ درصد تغییرات بین گروهی را توضیح می‌دهند. مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در بین جمعیت‌ها شامل طول استاندارد، طول چنگالی، ارتفاع بدن، فاصله ابتدای باله پشتی تا پوزه، فاصله ابتدای باله شکمی تا پوزه، فاصله باله مخرجی تا پوزه، قاعده باله پشتی، قاعده باله مخرجی، طول باله شکمی، طول باله سینه‌ای، فاصله باله شکمی تا سینه‌ای، ارتفاع ساقه دم و ارتفاع سر روی مؤلفه اول و موارد طول چنگالی، طول استاندارد، ارتفاع بدن، طول سر، طول پوزه، فاصله چشم تا سرپوش آبششی، فاصله ابتدای باله پشتی تا پوزه، فاصله ابتدای باله شکمی تا پوزه، فاصله باله مخرجی تا پوزه، قاعده باله پشتی، قاعده باله مخرجی، طول باله سینه‌ای، فاصله باله شکمی تا سینه‌ای، طول ساقه دم و ارتفاع سر روی مؤلفه دوم بودند. نمودار پراکنش افراد براساس مؤلفه‌های اصلی صفات ریخت‌سنجی در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر ویژه، درصد واریانس و عوامل استخراجی صفات ریخت‌سنجی ماهیان شاه‌کولی (*A. atropatena*) در جمعیت‌های مورد مطالعه

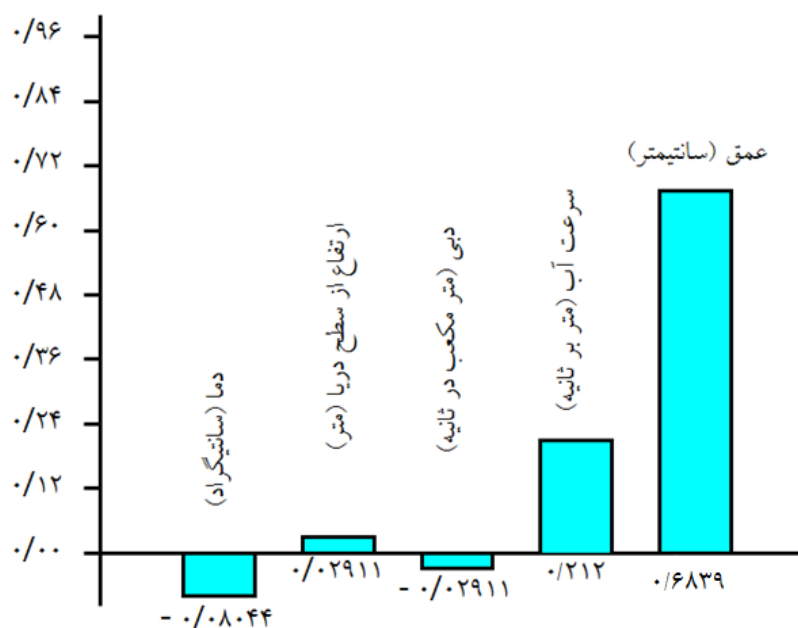
مؤلفه	مقادیر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس
۱	۴۰/۳۵۹	۵۵/۱۶	۵۵/۱۶
۲	۹/۳۶۵	۱۲/۸۰	۶۷/۹۶
۳	۶/۵۲۱	۸/۹۱	۷۶/۸۷
۴	۳/۲۰۷	۴/۳۸	۸۱/۲۵
۵	۲/۵۳۵	۳/۴۶	۸۴/۷۱
۶	۱/۹۶۹	۲/۶۹	۸۷/۴۰
۷	۱/۷۵۹	۲/۴۰	۸۹/۸۰
۸	۱/۹۸۶	۱/۸۹	۹۱/۶۹
۹	۱/۱۶۲	۱/۵۸	۹۳/۲۷

به منظور بررسی تأثیر عوامل محیطی بر تغییرات ریختی از روش Two-block PLS استفاده شد. نمودارهای به دست آمده از این روش در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همچنین، مقادیر ویژه و درصد کوواریانس هر کدام از پارامترهای محیطی در رودخانه‌های مورد مطالعه، در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است. منظور از محور در این جدول‌ها، همان مؤلفه در PCA می‌باشد که در Two-block PLS محور نامیده می‌شود. درصد کوواریانس در جمعیت رودخانه زربینه‌رود ۹۹/۹۵ درصد و در

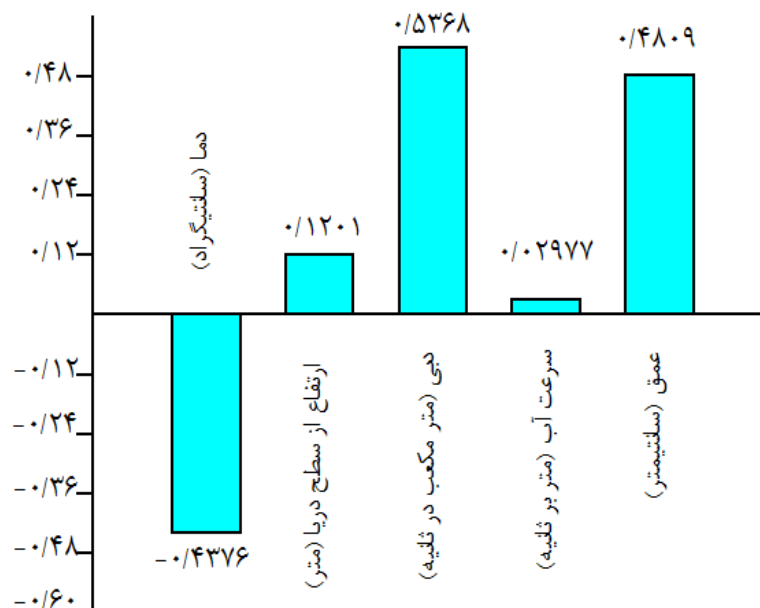
جمعیت رودخانه سیمینه رود ۹۱/۲۶ درصد بود. با استفاده از این داده‌ها مقدار واریانس توضیح داده شده توسط روش و به عبارتی میزان قابل استناد بودن این نتایج نشان داده می‌شود. همچنین مقادیر ویژه مربوط به هر متغیر، مقدار اهمیت یک پارامتر محیطی در تأثیرگذاری بر شکل بدن را نشان می‌دهد. بنابراین، درصد کوواریانس جداول نشان می‌دهد که نمودارهای به دست آمده در هر دو جمعیت، در حد بسیار بالایی، تأثیر فاکتورهای محیطی بر تغییرات ریختی ماهیان را نشان می‌دهد.



شکل ۳. پراکنش افراد براساس مؤلفه‌های اول و دوم صفات ریخت‌سنجی ماهیان شاه‌کولی (*A. atropatena*) در جمعیت‌های مورد مطالعه



شکل ۴. نقش عوامل محیطی بر تغییرات شکل بدن جمعیت شاه‌کولی (*A. atropatena*) در رودخانه زرينه‌رود



شکل ۵. نقش عوامل محیطی بر تغییرات شکل بدن جمعیت شاه‌کولی (*A. atropatena*) در رودخانه سیمینه‌رود

جدول ۴. مقادیر ویژه و درصد کوواریانس پارامترهای محیطی در رودخانه سیمینه‌رود

محور	مقدار ویژه	درصد کوواریانس
۱	۲/۳۳۰	۹۱/۲۶
۲	۰/۶۲۹	۶/۶۵
۳	۰/۲۸۳	۱/۳۵
۴	۰/۲۰۸	۰/۷۳
۵	۰/۰۸۱	۰/۰۱

جدول ۳. مقادیر ویژه و درصد کوواریانس پارامترهای محیطی در رودخانه زرینه‌رود

محور	مقدار ویژه	درصد کوواریانس
۱	۵۹/۷۵۰	۹۹/۹۵
۲	۲/۵۴۶	۰/۰۳۸۲
۳	۰/۵۷۰	۰/۰۰۱
۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۸
۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷

بحث

تنوع در شکل بدن می‌تواند منعکس کننده تفاوت‌های رفتاری و اکولوژیکی موجود باشد (Guill et al., 2003; Webb, 1984). به دلیل متراکم بودن محیط آبی، شکل بدن می‌تواند روی رفتار و ویژگی‌های عملکردی ماهی و سایر موجودات آبی تأثیرگذار باشد (Webb, 1984). از طرف دیگر، ویژگی‌های ریخت‌شناسی ماهیان تحت تأثیر شرایط محیطی مانند نوع بستر، جریان آب، پوشش گیاهی، رقابت و میزان دسترسی به منابع غذایی قرار دارد (Nicieza, 1995). ماهیان برای ادامه حیات باید با این شرایط محیطی سازگار شوند (Helland et al., 2007). سازگاری این موجودات با شرایط محیطی باعث ایجاد تغییرات ریختی در آنها می‌شود (Wootton, 1990). بنابراین تغییرات ریختی، توانایی موجود برای تغییر فنوتیپ خود در پاسخ به تغییرات محیطی است (Ohlberger et al., 2008). گاهی، ماهیان یک گونه نیز در پاسخ به تغییرات محیطی که به واسطه جدایی زیستگاه صورت می‌گیرد، جمعیت‌های متفاوتی را شکل می‌دهند و مسیر تکاملی مجزایی را طی می‌کنند (Wootton, 1990). شواهد نشان داده است که شکل بدن شاخص قابل اعتمادی است که رفتار شنا و انتخاب زیستگاه ماهیان را نشان می‌دهد (Webb, 1982). بنابراین شکل بدن ماهیان نه تنها ویژگی‌های ژنتیکی را نشان می‌دهد بلکه می‌تواند منعکس کننده وضعیت زیستگاه ماهی نیز باشد (Guill et al., 2003).

بر طبق نتایج به دست آمده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، جمعیت‌های شاه‌کولی براساس صفات ریخت‌سنجی از یکدیگر متمایز شدند. براساس مطالعات انجام شده توسط Elliot و همکاران (۱۹۹۵) بسیاری از ماهیان روند گونه‌زایی خاصی را طی کرده و در ادامه این روند، جمعیت‌هایی با ویژگی‌های ریخت‌شناسی متفاوت تشکیل می‌دهند. با وجود یافتن تفاوت در بین جمعیت‌های شاه‌کولی و همچنین تفکیک آن‌ها، این سؤال پیش می‌آید که تفاوت‌های ریختی مشاهده شده، چگونه ایجاد شده‌اند. Turan و همکاران (۲۰۰۴)، وجود زیستگاه‌های تولیدمثلی متفاوت را به عنوان یکی از دلایل اختلافات ریختی در ماهیان می‌داند. عباسی و همکاران (۱۳۹۲) وجود تفاوت‌های محیطی و تغذیه‌ای را مهم‌ترین عامل در جهت تفکیک جمعیت‌های سیاه‌کولی *Vimba persa* در سواحل جنوبی دریای خزر معرفی کردند. Helland و همکاران (۲۰۰۷) نیز سازگاری ماهیان با شرایط محیطی را عامل اصلی در ایجاد چنین تغییراتی می‌دانند.

در مطالعه حاضر، نتایج به دست آمده از روش Two block PLS نشان داد که از بین پارامترهای محیطی ثبت شده، فاکتورهای عمق، سرعت آب و ارتفاع از سطح دریا در زیستگاه زرینه‌رود، همبستگی مثبتی با ویژگی‌های ریخت‌سنجی ماهیان داشتند. از طرف دیگر، دما و دبی نیز دارای همبستگی منفی با خصوصیات مورد نظر بودند. با این حال، نتایج نشان داد که عمق رودخانه و سرعت جریان آب رودخانه زرینه‌رود نسبت به سایر پارامترهای محیطی، همبستگی بیشتری با صفات ریخت‌سنجی ماهیان شاه‌کولی داشته‌اند. طبق نتایج به دست آمده، در رودخانه سیمینه‌رود نیز فاکتورهای عمق، سرعت آب، دبی و ارتفاع از سطح دریا از همبستگی مثبتی با ویژگی‌های ریخت‌سنجی ماهیان برخوردار بودند. علاوه بر این، دما نیز به عنوان پارامتری که همبستگی منفی با صفات ریختی داشت، معرفی گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که فاکتورهای هیدرولوژیکی نقش موثری بر ویژگی‌های ریختی ماهیان در هر دو رودخانه داشته‌اند. پارامترهای هیدرولوژیکی مانند عمق و سرعت جریان آب می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات ریخت‌شناسی ماهیان داشته باشد. همان‌طور که اشاره شد فاکتورهای عمق و سرعت جریان آب از مهم‌ترین پارامترهای محیطی در رودخانه زرینه‌رود هستند که با خصوصیات ریختی ماهیان شاه‌کولی در ارتباط می‌باشند. به نظر می‌رسد، جمعیت ماهیان رودخانه زرینه‌رود به علت سرعت جریان آب و عمق بیشتر، تقریباً در محیط متلاطم‌تری حضور دارند. مقایسه بین جمعیت ماهیان سیمینه‌رود و زرینه‌رود نشان می‌دهد که ماهیان زرینه‌رود نسبت به ماهیان رودخانه سیمینه‌رود بدن کشیده‌تری دارند، این کشیدگی در طول بدن، می‌تواند در پاسخ به شرایط محیطی باشد (Webb, 1984). در واقع به نظر می‌رسد که قرارگیری این جمعیت از ماهیان در جریان تند رودخانه، موجب سازگاری آن‌ها با این شرایط شده است. بنابراین، زندگی ماهیان در رودخانه‌ها تحت تأثیر جریان قوی آب می‌باشد و این موجودات به طور مداوم با این عامل محیطی روبه‌رو هستند (Boily and Magnan, 2002). مقایسه شکل بدن در بین ماهیان رودخانه‌ای و دریاچه‌ای، نشان داده است که ماهیان رودخانه‌ای نسبت به ماهیان ساکن در دریاچه‌ها دارای بدن کشیده‌تری هستند، در حالی که ماهیان دریاچه‌ای برخلاف ماهیان رودخانه، بدن عریض‌تر و پهن‌تری دارند. بنابراین نوع زیستگاه و شرایط اکولوژیکی حاکم بر آن می‌تواند در توسعه شکل بدن ماهیان مؤثر باشد (Spoljaric and Reimchen, 2008; Burns et al., 2009). در مطالعه‌ای که پیرامون تنوع ریختی در گونه *E. caeruleum* انجام داد، متوجه ارتباط مستقیم و معنی‌دار بین عرض بدن ماهی و سرعت جریان آب رودخانه شد. او این ارتباط را نشان‌دهنده تأثیر شرایط محیطی بر تغییرات شکل بدن ماهیان عنوان نمود. بر اساس مطالعات Dynes و همکاران (۱۹۹۹) نیز تفاوت در خصوصیات ریخت‌شناسی یا تغییرات شکل بدن با توجه به سازگاری ماهیان با شرایط زیست‌محیطی قابل توجیه می‌باشد. این تغییرات ایجاد شده، نیازی به انعکاس از طریق ژنتیکی ندارد، اما ممکن است منجر به تحولات فیزیولوژیکی و رفتاری در موجود شود. عادل (۱۳۷۷)، تغییرات ریختی به وجود آمده در ماهیان را به شرایط مختلف اکولوژیکی حاکم بر زندگی آن‌ها مرتبط می‌داند. ایشان بیان می‌دارد که تغییرات ایجاد شده، در مسیر فرآیند انشعاب‌زایی و تکامل اکولوژیکی ماهیان صورت می‌گیرد. مطالعات ذکر شده نشان می‌دهد که تفاوت در زیستگاه و شرایط محیطی، عوامل اصلی ایجاد اختلاف‌های ریختی در بین جمعیت‌های ماهیان می‌باشد. در مطالعه حاضر نیز مشخص شد که جمعیت‌های شاه‌کولی در دو رودخانه زرینه‌رود و سیمینه‌رود از نظر خصوصیات ریخت‌سنجی، با یکدیگر تفاوت دارند. نتایج به دست آمده نشان داد که تفاوت‌های ریختی ایجاد شده در بین جمعیت‌های شاه‌کولی، تحت تأثیر عوامل اکولوژیکی و شرایط محیطی حاکم بر زیستگاه‌های آن‌ها می‌باشد.

منابع

- عادلی، ی. ۱۳۷۷. کپورماهیان و سوف ماهیان حوضه جنوبی و میانی خزر (ساختار جمعیت ها، اکولوژی، پراکنش و تدابیری برای بازسازی ذخایر) (ترجمه). مرکز تحقیقات شیلاتی استان گیلان. بندر انزلی. ۴۴ ص.
- عباسی، ک.، اکبرزاده، آ.، سرپناه، ع.ن. ۱۳۹۲. بررسی ساختار جمعیتی ماهی سیاه‌کولی خزری *Vimba persa* در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از ویژگی‌های ریخت‌سنجی تراس و شمارشی. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان. سال دوم، شماره ۲، صفحات ۴۸-۳۳. عبدلی ا. ۱۳۷۸. ماهیان آبهای داخلی ایران. چاپ اول. موزه طبیعت و حیات وحش ایران. ۳۷۸ ص.
- Boily, P., Magnan, P. 2002. Relationship between individual variation in morphological characters and swimming costs in brook charr, *Salvelinus fontinalis* and yellow perch *Perca flavescens*. The Journal of Experimental Biology. 205: 1031-1036.
- Burns, J.G., Nardo, P.D., 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.
- Coad, B.W. 2015. Freshwater fishes of Iran. Available from: www.briancoad.com. Retrieved 3/14/2015.
- Coad, B.W., Holčík, J. 1999. Systematics of the cyprinid fish *Chalcalburnus atropatenae* (Berg, 1925) from the Lake Orumiyeh basin in northwest Iran. Biologia, Bratislava. 54(2): 179-186.
- Costa, C., Cataudella, S. 2007. Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian Sea). Environmental Biology Fish. 78: 115-123.
- Dynes, J., Magnan, P., Bernatchez, L., Rodriguez, M.A. 1999. Genetic and morphological variation between Two forms of lacustrine brook charr. Journal of Fish Biology. 54: 955-972.
- Elliot, N.G., Haskard, K., Koslow, J.A. 1995. Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of southern Australia. Journal of Fish Biology. 46: 202-220.
- Grant, P.R., Grant, BR. 1995. Predicting microevolutionary responses to directional selection on heritable variation. Evolution. 49(2): 241-251.
- Guill, J.M., Hood, C.S., Heins, D.C. 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: Percidae). Ecology of Freshwater Fish. 12: 134-140.
- Helland, I.P., Freyhof, J., Kasprzak, P., Mehner, T. 2007. Temperature sensitivity of vertical distributions of zooplankton and planktivorous fish in a stratified lake. Oecologia. 151: 322-330.
- Hugueny, B., Pouilly, M. 1999. Morphological correlates of diet in an assemblage of West African freshwater fishes. Journal of Fish Biology. 54: 1310-1325.
- Khataminejad, S., Mousavi-Sabet, H., Sattari, M., Vatandoust, S. 2013. First record of *Alburnus atropatenae* (Berg, 1925) (Cyprinidae) in Namak basin, central Iran. Croatian Journal of Fisheries. 71(2): 37-41.
- Kuliev, Z.M. 1988. Morphometric and ecological characteristics of Caspian Vimba "Vimba vimba persa". Journal of Ichthyology. 28: 29-37.
- Moghadam, N., Mohammadi, A., Aghaie, M. 1994. Multivariate statistical methods a primer. Pishtaz-Ealm. Iran. 208 p.
- Nacua, S.S., Dorado, E.L., Torres, M.A.J., 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.
- Nicieza, A.G. 1995. Morphological variation between geographically disjunct populations of Atlantic salmon: the effects of ontogeny and habitat shift. Functional Ecology. 9: 448-456.
- Ohlberger, J., Mehner, T., Staaks, G., Hölker, F. 2008. Is ecological segregation in a sympatric species pair of coregonines supported by divergent feeding efficiencies? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 65: 2105-2113.
- Page, L.M. 1983. Handbook of darters. Neptune City, NJ: TFH Publications. 271 p.
- Poulet, N., Berrebi, P., Crivelli, A.J., Lek, S., Argillier, C. 2004. Genetic and morphometric variation in the pikeperch (*Sander lucioperca*) of a fragmented delta. Archives of Hydrobiology. 159: 531-554.
- Rohlf, F.J., Corti, M. 2001. Use of Two-Block Partial Least-Squares to Study Covariation in Shape. Systematic Biology. 49(4): 740-753.

- Spoljaric, M.A., Reimchen, T.E. 2008. Habitatdependent reduction of sexual dimorphis in geometric body shape of Haida Gwaii threespine stickleback. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2: 505-516.
- Turan, C., Erguden, D., Gurlek, M., Turan, F. 2004. Morphometric structuring of the Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Black, Aegean and Northeastern Mediterranean Seas. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 28: 865-871.
- Watson, D.J., Balon, E.K. 1984. Ecomorphological analysis of taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. *Journal of Fish Biology*. 25: 371-384.
- Webb, P.W. 1982. Locomotor patterns in the evolution of actinopterygian fishes. *American Zoologist*. 22: 329-342.
- Webb, PW. 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*. 24: 107-120.
- Winemiller, K.O. 1991. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. *Ecological Monographs*. 61: 343-365.
- Wootton, R.J. 1990. *Ecology of teleost fishes*. Chapman and Hall Limited, London. 404 p.