بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های گونه سرماری (*Channa gachua*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

سهیل ایگدری[۱]*، آرش جولاده[۲]

۱- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشکده منابع طبیعی، کرج، ایران

۲- دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده شیلات و علوم دامی، ساری، ایران

*soheil.eagderi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹٤ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹٤

چکیده

مطالعه تفاوت درون گونه‌ای در ماهیان به‌واسطه عوامل محیطی و ژنتیکی اهمیت بالایی در شناخت روند تکاملی آن‌ها دارد. ماهیان در مسیر تکاملی به واسطه کسب ویژگی‌های ریختی از یکدیگر تمایز می‌یابند که مطالعات ریخت‌سنجی برای درک چنین روندی در آنها از بیشینه طولانی در علم ماهی‌شناسی برخوردار است. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی الگوی تفاوت‌های ریختی دو جمعیت ماهی سرماری (*Channa gachua*) از حوضه‌های جازموریان و مکران با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی لندمارک-پایه انجام شد. برای این منظور تعداد ۵۸ قطعه ماهی سرماری از رودخانه هلیل رود حوضه جازموریان و رودخانه سرباز از حوضه مکران نمونه‌برداری گردید. پس از عکس‌برداری از نیم‌رخ چپ ماهیان، تعداد ۱۶ نقطه لندمارک بر روی تصاویر دو بعدی تعریف و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 رقومی سازی شدند. داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست، با استفاده از تحلیل چندمتغیره DFA با ارزش P حاصل از آزمون جایگشت با ده هزار تکرار مورد تحلیل قرار گرفتند. از نظر ریختی، تفاوت معنی‌داری بین دو جمعیت مورد مطالعه مشاهده شد. این تفاوت‌ها مربوط به عمق بدن و سر و جایگاه‌های چشم، پوزه و قاعده باله سینه‌ای ساقه دمی بودند. تفاوت‌های ریختی مشاهده شده بین این دو جمعیت می‌تواند حاصل پاسخ‌های انعطاف‌پذیری ریختی آنها به ویژگی‌های زیستگاهی و یا مسیر تکاملی مجزا در آنها به‌واسطه فاصله جغرافیایی باشد.

کلمات کلیدی: ریخت‌شناسی، تکامل، سرماری، ریخت‌سنجی.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1395.3.1.4.3]

مقدمه

تاکنون ۲۵۷ گونه از ماهیان آب‌های داخلی ایران گزارش شده است (Jouladeh-Roudbar *et al*., 2015). گونه سرماری (*Channa gachua*) متعلق به خانواده‌ی ماهیان سرماری (Channidae) می‌باشد که در حوضه‌های آبریز جازموریان و مکران ایران پراکنش دارد (Jouladeh-Roudbar *et al*., 2015). این گونه به دلیل دارا بودن اندازه‌ای کوچک، فاقد ارزش صید ورزشی و یا اقتصادی می‌باشد اما با توجه به آن که در کشور ایران زیستگاه محدودی در حوضه‌های جازموریان و مکران دارد، دارای ارزش حفاظتی می‌باشد (Jouladeh-Roudbar *et al*., 2015). همچنین با توجه به مقاومت بالای این ماهی به شرایط نامساعد محیطی و ویژگی‌های زیباشناختی، می‌تواند به عنوان یک گونه بومی در صنعت ماهیان زینتی کشور مدنظر قرار گیرد. این گونه در رودخانه‌ی بمپور و ماشکیل در جنوب شرقی ایران، افغانستان، شرق و غرب پاکستان، هند، سری‌لانکا، بنگلادش، میانمار، تایلند، لائوس، کامبوج، مالزی، اندونزی، جاوا و شرق چین پراکنش دارد (Coad, 2015).

این ماهیان به علت دارا بودن توانایی تنفس از هوا، ماهیان سرسختی در زندگی شناخته می شوند (Hamilton Buchanan, 1822). این نوع تنفس با توجه به دمای زیستگاه، به آنان کمک می‌کند تا در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری بدون هیچ گونه مشکلی زندگی نمایند (Coad, 2015). این گونه عام‌گرا در زیستگاه‌های متنوعی زیست می‌کند، اگرچه از آب‌های با شدت جریان بالا اجتناب می‌کند (Hamilton Buchanan, 1822). گونه یاد شده مورد علاقه آکواریوم‌داران در سرتاسر دنیا می‌باشد و آکواریوم‌های با روشنایی اندک و حاوی پناهگاه‌های زیاد برای مخفی‌شدن (از جمله آکواریوم‌های با پوشش گیاهی بالا و شاخه‌های شناور) را ترجیح می‌دهد.

اغلب تفاوت‌های ویژگی‌های ریختی درون جمعیت‌های ماهیان وجود دارد (Hora, 1935) عوامل بسیاری در ایجاد این ویژگی‌ها دخیل هستند که در این بین عوامل محیطی به عنوان نیرویی قدرتمند در شکل‌دهی ریخت موجودات شناخته می‌شوند (Costa and Cataudella, 2007). در گذشته تصور می‌شد که تغییرات ریختی صرفاً ژنتیکی می‌باشد، اما امروزه مشخص شده است که منشأ این تغییرات هم محیطی و هم ژنتیکی است و حتی در پاره‌ای از موارد اختلافات ریخت‌شناسی تنها ناشی از محیط است (Swain and Foote, 1999). ماهیان یک گونه به واسطه‌ی جداسازی زیستگاه، جمعیت‌های متفاوتی را تشکیل می‌دهند؛ در واقع، به واسطه‌ی ویژگی‌های آن محیط، طی فرآیند سازگاری، دچار تغییرات ریختی متفاوتی شده و از سایر جمعیت‌های آن گونه متمایز می‌شوند (Wooton, 1991). جمعیت‌های جداشده‌ی یک گونه در هر زیستگاه، سازگاری‌های منطقه‌ای را به‌واسطه‌ی استفاده از منابع آن زیستگاه به نمایش می‌گذارند که سبب افزایش شانس بقاء و افزایش شایستگی زیستی می‌شود. این سازگاری‌ها از جمله تنوع ریختی، رفتاری، استراتژی تغذیه و چرخه‌های زندگی می‌توانند به دلیل اثرات فاکتورهای بیرونی (فیزیکی و زیستی) و فاکتورهای درونی (ژنتیکی) باشد (Meyer, 1987). از جمله عوامل فیزیکی می‌توان به نوع بستر، رژیم جریان آب، عمق آب، پوشش گیاهی حوضه و اثرات دستکاری های انسانی مانند سدسازی اشاره کرد و رقابت، شکار، میزان دسترسی به منابع غذایی نیز از جمله عوامل زیستی موثر هستند (Fontanier and Tobler, 2009). اثرات متقابل این عوامل سبب یک سری سازگاری‌ها و افزایش یافتن کارایی یک ریخت در یک محیط می‌شود اما باید توجه شود که ویژگی ریختی برتر در یک زیستگاه ممکن است در محیط دیگر باعث کاهش قابلیت استفاده از منابع دیگر شود، یعنی هر موجود فقط در یک محیط شایستگی بقا، دارد (Fontanier and Tobler, 2009).

با توجه به ارتباط نزدیک ویژگی‌های ریختی با عوامل محیطی، مطالعات ریختی ابزاری مفید برای پیش‌بینی تعامل گونه با محیط می‌باشد. بنابراین مطالعه‌ی ویژگی‌های ریخت‌شناسی با هدف تعریف و شناسایی واحدهای جمعیتی، از پیشینه‌ای طولانی در دانش زیست شناسی ماهی برخوردار است (Tudela, 1999). ریخت‌سنجی سنتی بر پایه‌ی مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های فواصل استوار است و از لحاظ توصیف تفاوت‌های شکل بدن دارای ضعف‌ها و معایبی است (Zelditch *et al*., 2004; Adams *et al*., 2004). در مقابل روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه‌ی نقاط لندمارک برای تجزیه و تحلیل شکل نمونه‌ها استفاده می‌شود (Adams *et al*., 2004). داده‌های حاصل از این روش برای استخراج شکل و با هدف حذف داده‌ی غیر شکل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bookstein, 1991) و علاوه بر قابلیت آنالیز آماری می‌توانند مصور سازی نیز گردد (Zelditch *et al*., 2004).

این تحقیق در سال ۱۳۹۴ با هدف بررسی تفاوت ریختی دو جمعیت ماهی سرماری (*C. gachua*) در دو حوضه‌ی آبریز مکران و جازموریان با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی بر پایه‌ی نقاط لندمارک به اجرا در آمد تا این فرضیه را بررسی نماید که آیا این دو جمعیت ماهی طی مسیر تکامل خود به علت تفاوت‌های زیستگاهی و فاکتورهای محیطی از لحاظ ریختی از هم جدا شده‌اند یا خیر؟ مقایسه ریختی دو جمعیت می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره روند تکامل در حال پیشرفت آن‌ها ارائه دهد.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1395.3.1.4.3]

مواد و روش‌ها

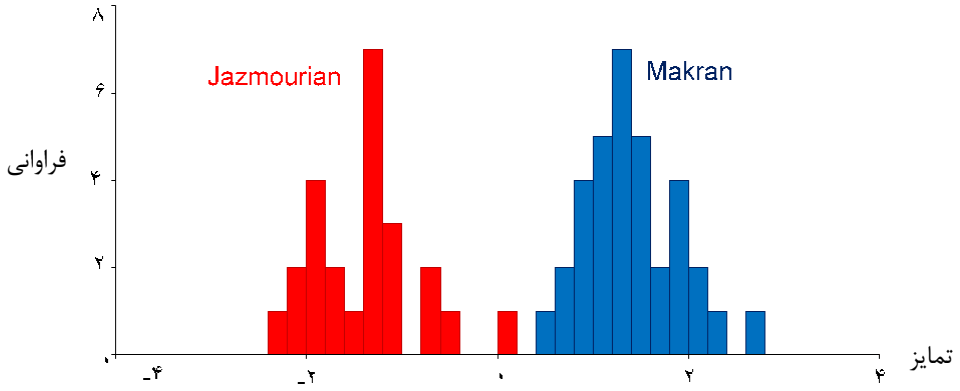
برای این تحقیق، تعداد ۲۴ نمونه ماهی سرماری از رودخانه هلیل رود حوضه‌ی جازموریان و ۳۴ قطعه رودخانه سرباز حوضه‌ی مکران (جمعا ۵۸ قطعه) توسط الکتروشوکر صید و پس از بیهوشی در محلول گل میخک، در فرمالین بافری ۱۰ درصد تثبیت شدند. سپس برای مطالعات بعدی به آزمایشگاه منتقل گردیدند. برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی از سمت چپ سطح جانبی ماهی‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل عکس‌برداری، تعداد ۱۶ لندمارک تعریف و سپس با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 بر روی تصاویر دو بعدی رقومی گردید (شکل ۱). به منظور حذف تغییرات غیرشکل، شامل اندازه، جهت و موقعیت، روی‌هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست (GPA) انجام شد (Klingenberg, 1998). داده‌های پس از آنالیز پروکراست، توسط آزمون آماری چندمتغیره آنالیز تابع تشخیص (DFA) و ارزش P حاصل از permutation test (آزمون جایگشت) با ده هزار تکرار مورد تحلیل قرار گرفتند و همچنین فاصله ماهالانوبیس (Mahalanobis) بین دو گروه نیز در آنالیز DFA استخراج گردید. تفاوت شکل بدن دو جمعیت مورد مطالعه، در شبکه تغییر شکل (Deformation grids) در نرم افزار MorphoJ مصورسازی و مقایسه شدند.

شکل ۱: نقاط لندمارک تعریف شده برای استخراج شکل بدن ماهی سرماری (*C. gachua*) در روش ریخت سنجی هندسی. ۱-جلویی‌ترین بخش پوزه در فک بالایی (نوک پوزه)، ۲- مرکز چشم، ۳- امتداد خط عمود بر مرکز چشم در بالای سر، ۴- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۵. انتهای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۶- انتهای بالایی ساقه‌ی دمی، ۷- انتهای ساقه‌ی دمی، ۸. انتهای پایینی ساقه‌ی دمی، ۹- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۰- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۱. ابتدای قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای، ۱۲. انتهایی‌ترین قسمت سرپوش آبششی در جلوی بدن، ۱۳- ابتدایی‌ترین قسمت سرپوش آبششی، ۱۴- امتداد خط عمود بر ابتدایی-ترین قسمت سرپوش آبششی در بالای سر، ۱۵- نقطه انتهایی شکاف دهانی در فک بالایی و ۱۶- امتداد خط عمود بر مرکز چشم در پایین بدن.

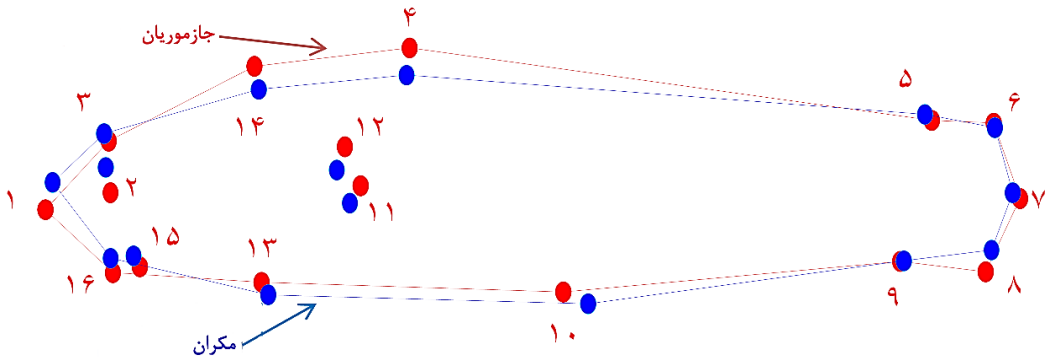
نتایج

نتایج آنالیز DFA نشان داد که بین شکل بدن دو جمعیت مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P<0/0001$) (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، جمعیت‌های رودخانه‌های سرباز و هلیل‌رود به طور کامل متمایز شده‌اند. براساس نتایج، شکل بدن جمعیت ماهیان حوضه‌ی جازموریان نسبت به مکران پهن‌تر بوده (مربوط به جابجایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴) و موقعیت پوزه و چشم در آن‌ها پایین‌تر (مربوط به جابجایی لندمارک‌های ۱ و ۲) است. همچنین موقعیت انتهای سرپوش آبششی و قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای در ماهیان رودخانه هلیل رود موقعیت خلفی دارد (مربوط به جابجایی لندمارک‌های ۱۱ و ۱۲) (شکل ۳). به‌علاوه فاصله ماهالانوبیس دو جمعیت از لحاظ شکل بدن ۳۵/۳۶ به دست آمد.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1395.3.1.4.3]



شکل ۲: نمودار آنالیز تابع تشخیص (DFA) شکل بدن ماهی سرماری در دو جمعیت حوضه‌های مکران و جازموریان



شکل ۳: نمودار قاب پیرامونی برای مقایسه میانگین شکل بدن دو جمعیت ماهی سرماری در دو جمعیت حوضه‌های مکران و جازموریان

بحث

ریخت همواره در تعامل با فاکتورهای محیطی و زیستی می‌باشد که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم برروی شکل بدن موجودات اثر گذاشته و با انتخاب صفات مطلوب در یک محیط شانس بقاء و تولید مثل آنها را بیشتر می‌کند که این پدیده سبب ایجاد جمعیتی جدید یا گاهی سبب گونه‌زایی می‌شود (Spoljaric and Reimchen, 2007). نتایج این مطالعه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی نشان داد که شکل بدن دو جمعیت ماهی سرماری متفاوت بوده و از نظر ویژگی‌های ریختی از یکدیگر قابل تفکیک هستند. تفاوت‌های مشاهده شده مربوط به ارتفاع بدن، ارتفاع سر، جایگاه پوزه و چشم و قاعده باله سینه‌ای بودند که به‌عنوان مهم‌ترین صفات متمایز کننده این جمعیت‌ها می‌باشند. تفاوت‌های ریختی بین دو جمعیت مورد بررسی می‌تواند به‌واسطه تفاوت در فاکتورهای اکولوژیکی رودخانه‌های محل زیست آن‌ها و یا به واسطه مسیر تکاملی متفاوت دو جمعیت باشد. فنوتیپ تحت کنترل دو عامل ژنوتیپ و شرایط محیطی است اما با وجود شرایط محیطی متفاوت تغییرات ریخت‌شناسی به سرعت به وجود می‌آیند در مطالعه فوق نیز به نظر می‌رسد شرایط محیطی متفاوت حاکم بر حوضه آبریز مکران و جازموریان باعث شده تا ماهی سر ماری فنوتیپ دارای تفاوت معنی‌داری باشد (Poulet *et al.*, 2004).

افزایش فاصله‌ی جغرافیایی بین جمعیت‌ها اغلب منجر به کاهش جریان ژن بین جمعیت‌ها می‌گردد (Mayr and Ashlock, 1991; Menken and Raijmann,1996) و به عبارت دیگر اختلاف ژنتیکی و در نتیجه ریختی بین جمعیت‌ها با افزایش موانع جغرافیایی و یا ایزوله شدن افزایش می‌یابد. به دلیل جدا شدن حوضه‌های آبریز مکران و جازموریان به دلیل وقایع زمین‌شناسی جریان ژنی بین این دو گونه قطع گردیده و به مرور زمان این انفصال باعث تغییراتی در فنوتیپ شده است علاوه بر این سایر موانع نیز مانند کوه‌ها، کویرها و دریاچه‌ها می‌توانند در فراهم آوردن شرایط مناسب برای جلوگیری از حرکت افراد تولید مثل کننده و جریان ژن مؤثر باشند، به عنوان موانع جغرافیایی محسوب می‌شوند. همچنین شرایط بوم‌شناختی، جلوه‌های فیزیکی جغرافیایی و زیستگاه نیز به

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1395.3.1.4.3]

عنوان سدهای مطلق و یا روانی برای حرکت یا پراکندگی ذکر شده‌اند (Ruggiero *et al.*, 2004). البته ذکر عوامل جدایی جمعیت‌ها به صورت دقیق تقریباً غیر ممکن است اما با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه آن با مطالعات پیشین می‌توان چنین استنباط نمود که اصلی ترین عامل در اختلاف در بین جمعیت‌ها اغلب نتیجه جدایی جغرافیایی است با توجه به این مساله به نظر می‌رسد تمایز ریختی ماهیان سرماری این دو حوضه از هم به‌واسطه فاصله‌ی جغرافیایی نیز قابل توجیه می‌باشد.

منابع

Adams, D.C., Rohlf, F.J. and Slice, D.E., 2004. Geometric Morphometric: Ten Years of Progress Following the 'Revolution'. Italian Journal of Zoology, 71: 5-16.

Bookstein, F.L., 1991. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge University Press. 340 pp.

Coad, B.W., 2015. Freshwater Fishes of Iran (Available at http://www.briancoad.com) (accessed on 10 April 2015).

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). Environ-mental Biology of Fishes, 78: 115-123.

Fontanier, M.E., Tobler, M., 2009. A morphological gradient revisited: cave mollies vary not only in eye size. Environmental Biology of Fishes, 86: 285-292.

Hamilton, F., 1822. An account of the fishes found in the river Ganges and its branches. Constable, Edinburgh, 405 pp.

Hora, S.L., 1935. Physiology, bionomics, and evolution of air breathing fishes of India. Transactions of the National Institute of Sciences of India, I: 1-16.

Jouladeh-Roudbar, A., Vatandoust, S., Eagderi, S., Jafari-Kenari, S. and Mousavi-Sabet, H., 2015. Freshwater fishes of Iran; an updated checklist. AACL Bioflux, 8(6): 855-909.

Klingenberg, C.P., 1998. Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. Biological Reviews, 73: 79-123.

Langerhans, R.B., Layman, G.A., Langerhans, A.K. and Dewitt, T.J., 2003. Habitat association morphological divergence in two Neotropical fish species. Biological Journal of the Linnean Society, 8: 689-698.

Mayr, E. and Ashlock, P.D., 1991. Principles of systematic zoology McGraw-Hill, 475 pp.

Menken, J. and Raijmann, L., 1996. Biochemical Systematics: principles and perspectives for pest management, The Ecology of Agricultural Pests, Edited by W.O.C. Symondson and J. E. Liddell. (eds.), Published by Chapman & Hall, London.

Meyer, A., 1987. Phenotypic plasticity and heterochrony in *Cichlasoma managuense* **(**Pisces, Cichlidae) and their implications for speciation in cichlid fishes. Evolution, 41(6): 1357-69.

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. Archives for Hydrobiology, 159(4): 531-554.

Ruggiero, L.F., Aubry, K.B., Steven, W., Koehler, Gary, M., Charles J., McKelvey, K. and Squires, R., 2004. Ecology and conservation of lynx in the United States. General Technical Report RMRS-GTR-30. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 110-229

Spoljaric, M. and Reimchen, T.E., 2007. 10000 years later: evolution of body shape in Haida Gwaii three spine stickleback. Journal of Fish Biology, 70: 1484-1503.

Swain, D.P. and Foote, C.J., 1999. Stocks and chameleons: The use of phenotypic variation in stock identification. Fisheries Research, 43: 113-128.

Tudela, S., 1999. Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European anchovy, *Engraulis encrasicolus*. Fisheries Research, 42: 229-243.

Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D. and Fink W.L. 2004. Geometric morphometric for biologists*:* a primer. Elsevier Academic Press: London. 443 pp.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-15]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1395.3.1.4.3]