یافته علمی کوتاه:

تنوع ریختی جمعیت‌های نازک ماهی جنوبی (*Chondrostoma regium*) در زیرحوضه‌های آبریز شمالی خلیج فارس با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی

ندا داستانپور[۱]، سهیل ایگدری*[۱]، حمید فرحمند[۱]، حامد موسوی ثابت[۲]، حمیدرضا اسماعیلی[۳]

*soheil.eagderi@ut.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران
۳- بخش جانورشناسی، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱٤۰۰ تاریخ پذیرش: مهر ۱٤۰۱

لغات کلیدی: تنوع ریختی، ریخت‌سنجی، نازک ماهی جنوبی، تحلیل چند متغیره

مقدمه

فرآیندهای زیست‌شناختی از جمله بیماری، فردزایی[۱]، سازگاری با فاکتورهای زیستگاهی و تنوع تکاملی سبب ایجاد تفاوت در اشکال ریختی بین افراد یک جمعیت می شود. بنابراین، می‌توان با استفاده از آنالیز شکل به الگوهای ریختی و نحوه تغییر آنها پی برد (Zelditch, 2004). به طور معمول در زیست‌شناسی برای اندازه‌گیری، تفکیک و بررسی روابط میان گروه‌های مختلف آرایه‌شناختی از صفات ریخت‌سنجی استفاده می‌شود. روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه الگوهای شکل نمونه‌ها و جابه‌جایی مختصات فضایی نقاط لندمارک استوار است که به عنوان بازتابی از تغییرات شکل در بین ساختارهای زیستی بررسی و مقایسه می‌شود (Adams and Funk, 1997؛ ایگدری و همکاران، ۱۳۹۹a).

اعضای جنس *Chondrostoma* کپورماهیان (Cyprinidae) با اندازه کوچک الی متوسط می‌باشند که از شمال مدیترانه تا غرب آسیا و خاورمیانه پراکنده شده‌اند (Robalo *et al*., 2005). این جنس ۲۴ گونه تأیید شده دارد (Froese *et al*., 2012) که ۴ گونه شامل *C. regium*، *C. esmaeilii*، *C. cyri* و *C. orientale* در ایران گزارش شده است که دو گونه *C. regium* و *C. esmaeilii* در حوضه آبریز دجله زیست می‌کنند (Eagderi *et al*., 2017). گونه ماهی نازک *C. regium* گونه‌ای بنتوپلاژیک می‌باشد (Kiani *et al*., 2016) که در بخش ایرانی حوضه‌های آبریز دجله و اصفهان پراکنش دارند (Eagderi *et al*., 2022). مطالعات متعددی در مورد خانواده کپورماهیان با استفاده از روش ریخت‌سنجی

[1] Ontogeny

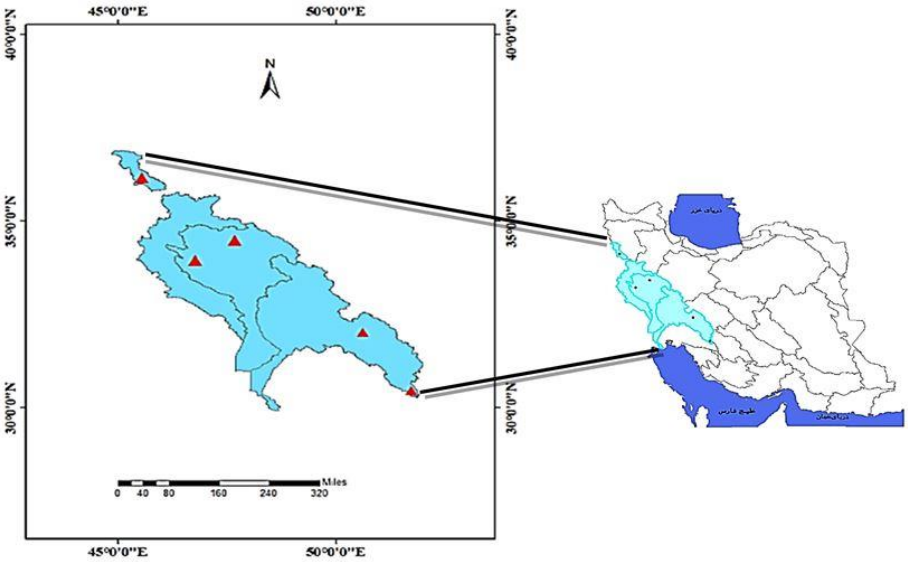
[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]

هندسی (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۵؛ ایگدری و همکاران، ۱۴۰۰؛ Mouludi-Saleh *et al.*, 2020) صورت گرفته است.

تکامل جمعیت‌های ماهیان همراه با ایجاد سازگاری به شرایط زیستگاهی سبب به‌وجود آمدن اختلافات ریخت‌شناختی و ژنتیکی بین جمعیت‌ها و در نتیجه گونه‌زایی می‌شود. از این‌رو، با توجه به پراکنش بالای این گونه و قابلیت بالای روش ریخت‌سنجی هندسی در تفکیک اشکال زیستی، ایـــن مطالعـــه به منظور بررســـی تنوع ریختی جمعیت‌های مختلف ماهی نازک *Chondrostoma regium* در زیر حوضه‌های مختلف حوضه آبریز دجله (خلیج فارس) به اجرا درآمد.

مواد و روش کار

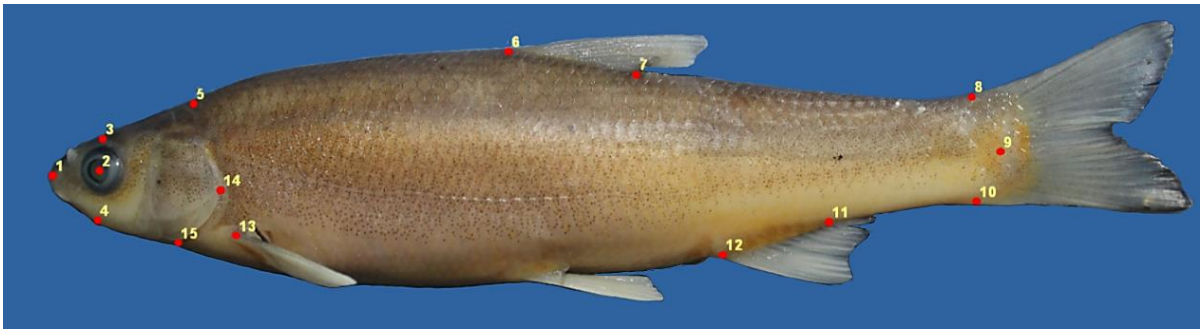
طی فصل پاییز ۹۹-۱۳۹۷، تعداد ۸۰ قطعه ماهی نازک (شناسایی شده بر اساس کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵) تثبیت شده در فرمالین بافری ده درصد از موزه ماهی‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران شامل ۱۸ قطعه از حوضه رودخانه الوند، ۲۴ قطعه از رودخانه بهشت‌آباد و ۱۸ قطعه از رودخانه بشار از زیر حوضه رودخانه کارون، ۱۴ قطعه از دینورآب و ۶ قطعه از رودخانه حمیل از زیر حوضه رودخانه کرخه مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. این ماهی‌ها براساس مجوزهای ۶۳۹۴۳۵۲ مورخ ۱۳۹۷/۷/۲۱ و ۷۵۳۰۹۵۱ مورخ ۱۳۹۹/۸/۴ دانشگاه تهران براساس مقررات اخلاق زیستی صید شده بودند (شکل ۱). با استفاده از دوربین دیجیتال ۶ مگاپیکسلی Sony از نیمرخ چپ تمامی نمونه‌ها عکسبرداری گردید. تعداد ۱۵ نقطه لندمارک (شکل ۲) بر روی تصاویر دو بعدی در نرم‌افزار TpsDig2 2.31 قرار داده شدند. روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از تحلیل پروکراست و حذف تغییرات غیرشکل (شامل: مقیاس، جهت و موقعیت) صورت گرفت. داده‌های حاصل از شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیزهای چند متغیره تجزیه همبستگی کانونی (CVA) بر اساس ارزش عدد P حاصل از آزمون جایگشت (Permutation test) با ده هزار بار تکرار حاصل آنالیز واریانس چندمتغیره ناپارامتریک NPMANOVA و آنالیزخوشه‌ای (CA) با انتخاب الگوریتم‌های Paired group در نرم‌افزار PAST 2.17b مورد تحلیل قرار گرفتند.



شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه‌برداری جمعیت‌های مختلف نازک ماهی جنوبی *Chondrostoma regium*

Figure 1: Sampling site stations of *Chondrostoma regium* populations

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]



شکل ۲: موقعیت های لندمارک‌های تعریف شده به‌منظور استخراج شکل بدن نازک ماهی جنوبی *C. regium*: ۱- نوک پوزه، ۲- مرکز چشم، ۳- امتداد خطی عمود از بالای سر ماهی به سمت مرکز چشم، ۴- امتداد خطی عمود از پایین سر ماهی به سمت مرکز چشم، ۵- انتهای سر، ۶- ابتدای قاعده پشتی، ۷- انتهای قاعده پشتی، ۸- بیشینه تو رفتگی ساقه دمی در بالا، ۹- انتهایی‌ترین بخش ساقه دمی مرز بین ساقه دمی و باله دمی، ۱۰- بیشینه تو رفتگی ساقه دمی در پایین، ۱۱- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۲- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۳- ابتدایی‌ترین بخش قاعده باله سینه‌ای، ۱۴- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی به سمت بدن، ۱۵- امتداد شکاف آبششی درسطح شکمی

Figure 2: The defined landmark points for extracting the body shape data of *C. regium*. (1) anterior-most point of the snout tip on the upper jaw, (2) center of eye, (3) dorsal edge of the head perpendicular to the center of eye, (4) ventral edge of the head perpendicular to the center of eye, (5) the line extends perpendicularly to the posterior edge of the opercle above the head, (6) origin and (7) insertion point of the dorsal-fin base, (8) postero-dorsal end of the caudal peduncle at its connection to caudal fin, (9) the end of lateral line, (10) postero-ventral end of the caudal peduncle at its connection to caudal fin, (11) insertion and (12) origin point of the anal-fin base, (13) most anterior point of the pectoral fin, (14) ventral end of the gill slit

همچنین جهت بیان درجه تمایز بین جمعیت‌های مورد مطالعه، فاصله ماهالانوبیس و پروکراست محاسبه شد. مصورسازی تغییرات شکل بدن نسبت به شکل میانگین[1] با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم‌افزار MorphoJ صورت گرفت.

نتایج و بحث

میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار طول‌های کل، چنگالی و استاندارد نمونه‌های صید شده از رودخانه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از تعداد ۳۰ مؤلفه استخراج شده، دو مؤلفه اولی که بالاتر از خط برش جولیف قرار داشتند که به عنوان عوامل اصلی تفکیک جمعیت کننده‌ها بودند به‌ترتیب ۵۲/۵۹ و ۲۲/۸۴ درصد از واریانس را به‌خود اختصاص دادند.

[1] Consensus configuration

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]

جدول ۱: بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار صفات ریختی در گونه جمعیت‌های نازک ماهی جنوبی *Chondrostoma regium*

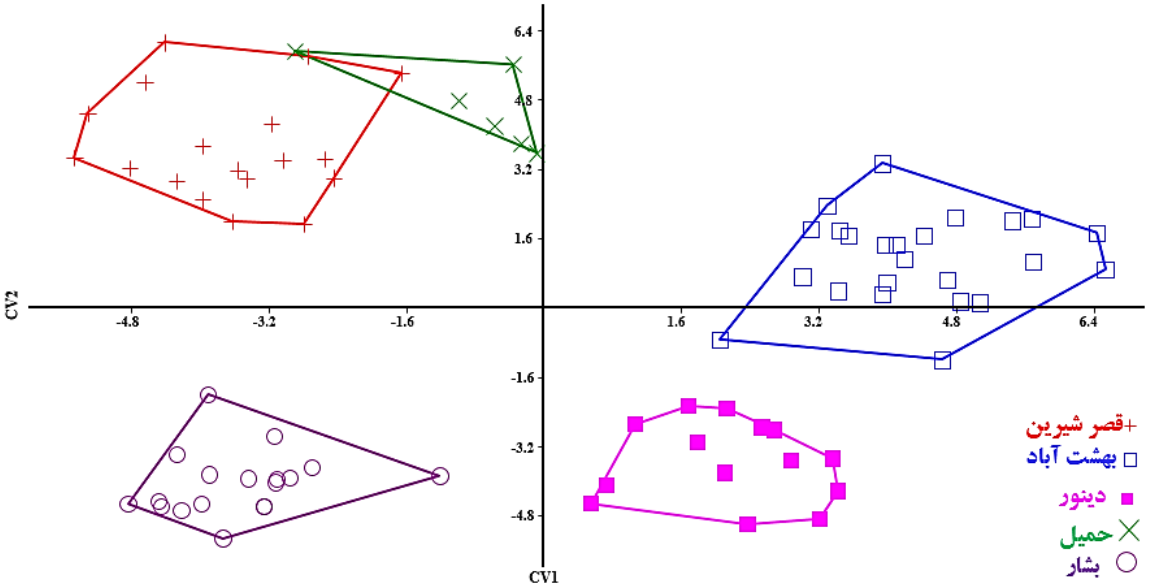
Table 1: Maximum, Minimum, Mean±SD of the morphometric traits of *Chondrostoma regium*

جمعیت‌ها	طول کل کمینه-بیشینه میانگین± انحراف معیار	طول چنگالی کمینه-بیشینه میانگین± انحراف معیار	طول استاندارد کمینه-بیشینه میانگین± انحراف معیار
قصرشیرین	۱۰/۲۲-۱۹/۳۳ ±۱۴/۰۹ ۲/۹۸	۸/۸۹-۱۷/۴۷ ±۱۲/۸۱ ۲/۹۲	۸/۲۷-۱۶/۲ ±۱۱/۸۳ ۲/۷۶
بهشت آباد	۱۳/۱۲-۱۹/۷۳ ±۱۶/۰۷ ۱/۶۷	۱۲/۳۹-۱۸/۷۵ ±۱۵/۱۹ ۱/۶۴	۱۱/۳۴-۱۷/۲۲ ±۱۴/۱۶ ۱/۵۳
دینور	۱۴/۰۲-۱۵/۰۱ ±۱۴/۵۴ ۰/۳۸	۱۲/۹۵-۱۳/۹۳ ±۱۳/۴۳ ۰/۳۶	۱۲/۰۴-۱۲/۸۵ ±۱۲/۴۱ ۰/۳۱
حمیل	۵/۹۲-۱۶/۳۳ ±۸/۱۲ ۳/۴۲	۵/۳۹-۱۵/۳۴ ±۷/۵۰ ۳/۲۶	۵/۱۳-۱۴/۱۷ ±۷/۱۵ ۲/۹۲
بشار	۵/۸۱-۶/۹۲ ±۶/۳۴ ۰/۴۹	۵/۳۴-۶/۳۶ ±۵/۸۲ ۰/۴۳	۴/۸۱-۵/۹۳ ±۵/۲۸ ۰/۴۲

براساس تحلیل، متغیرهای کانونی همه جمعیت‌ها از یکدیگر تفکیک شده‌اند، هر چند دو جمعیت رودخانه الوند و حمیل اندکی دارای هم‌پوشانی بودند. نتایج واریانس چندمتغیره ناپارامتریک نیز بیانگر تفاوت معنی‌دار شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه بود (Walk's lambda =۰/۰۰۰۱، F=۱۷/۶۴ و p<۰/۰۰۰۱، شکل ۳). مقادیر فاصله ماهالانوبیس به عنوان درجه تمایز شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است که بیشترین فاصله ماهالانوبیس بین جمعیت‌های بشار و حمیل مشاهده شد.

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]



شکل ۳: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت های نازک ماهی جنوبی *Chondrostoma regium*

Figure 3: Canonical Variate analysis diagram of the body shape of *Chondrostoma regium* populations

جدول ۲: فواصل ماهالانوبیس حاصل از آنالیز CVA در جمعیت‌های نازک ماهی *Chondrostoma regium*

Table 3: Mahalanobis distances of CVA analysis of body shape of *Chondrostoma regium* populations

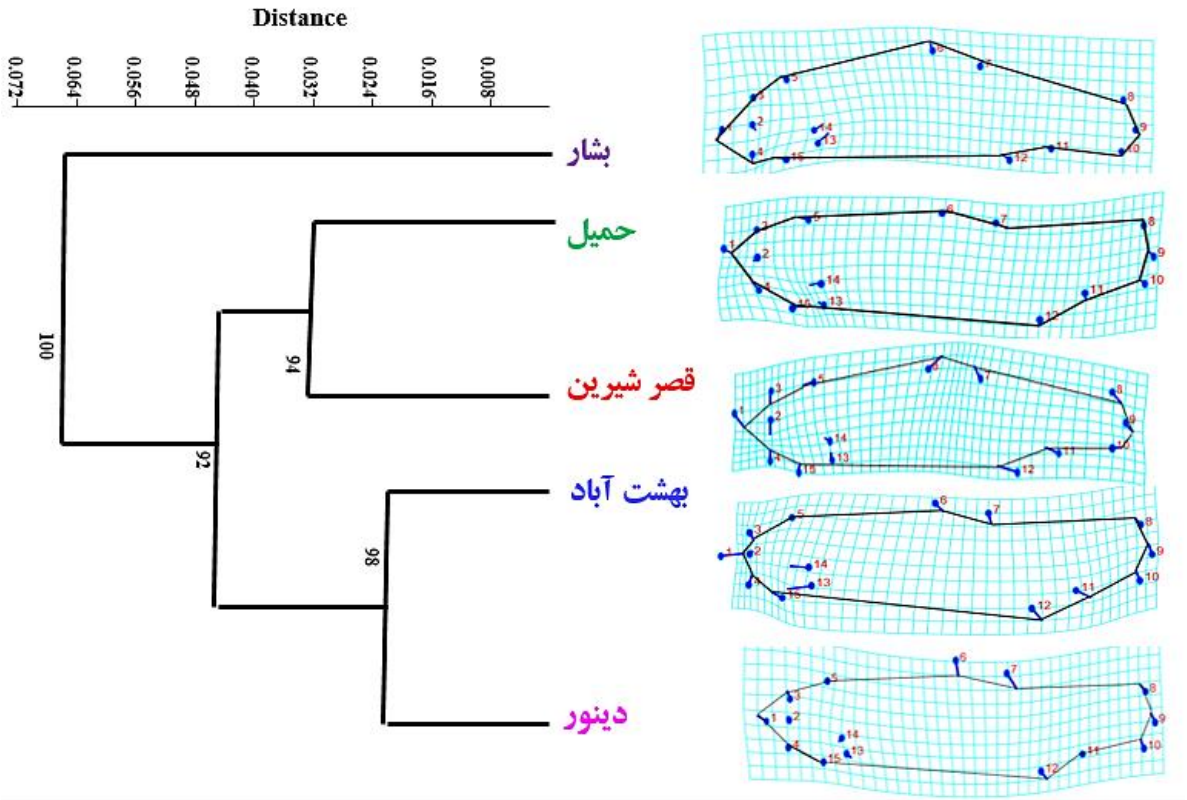
	بهشت اباد	دینور آب	قصرشیرین	حمیل
دینورآب	۷/۹۴۰۵			
الوند	۸/۱۰۵۱	۱۰/۰۰۶۹		
حمیل	۹/۲۱۵۷	۱۰/۲۱۹	۹/۸۹۰۱	
بشار	۷/۹۰۳۲	۷/۴۸۹۵	۸/۴۳۹	۱۲/۳۵۳

براساس نتایج تحلیل خوشه‌ای، جمعیت رودخانه بشار با ۱۰۰ درصد درخت‌های احتمالی از سایر جمعیت‌ها جدا و جمعیت‌های دینور آب و بهشت آباد در یک خوشه و رودخانه الوند و حمیل (با ۹۴ درصد درخت‌های احتمالی) نیز در یک خوشه دیگر قرار گرفته‌اند (شکل ۴). جمعیت رودخانه بشار به‌واسطه عمق بدن بیشتر و موقعیت پوزه شکمی‌تر از سایر جمعیت‌ها تفکیک شد. همچنین دو جمعیت رودخانه‌های حمیل + الوند و بهشت‌آباد + دینورآب نیز به‌ترتیب به‌واسطه اندازه سر و طول ساقه دمی کمتر و پوزه کوتاه‌تر و سر کوچک‌تر هر یک در یک خوشه واقع شدند.

نتایج نشان داد که پنج جمعیت مورد مطالعه در رودخانه‌های مختلف حوضه تیگریس به لحاظ شکل بدن یکدیگر تفکیک شدند. نتایج تحلیل خوشه‌ای نیز تأیید کننده نتایج PCA و CVA بود که نشان می‌داد که جمعیت رودخانه بشار به لحاظ ویژگی‌های ریختی متمایز از سایر جمعیت‌هاست. تفاوت‌های ریختی مشاهده شده در شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه مربوط به شکل و اندازه سر، ارتفاع بدن، جایگاه پوزه، و قاعده باله سینه‌ای بودند. به طور عمده، تغییر شکل در ناحیه سر و دهان به‌نحوی انعکاس‌دهنده تفاوت در تغذیه، شامل نوع و جهت تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده است (Langerhans *et al.*, 2003). از آن‌جایی‌که تخصص تغذیه‌ای ماهی ارتباط نزدیکی با استفاده از زیستگاه آن دارد، بررسی این موضوع نیازمند ویژگی‌های عملکردی چندگانه است که در شکل بدن ماهیان انعکاس پیدا کرده است. ماهی نازک یک گونه همه‌چیزخوار است و از لارو حشرات، تخم و سایر ماهی‌ها تغذیه می‌کند (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵).

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]



شکل ۴: نمودار آنالیز خوشه‌ای جمعیت های نازک ماهی جنوبی *Chondrostoma regium*

Figure 4: Body shape cluster analysis diagram of *Chondrostoma regium* populations

تفاوت‌های مربوط به ارتفاع بدن و ابعاد سر می‌توانند به عنوان سازگاری‌های مربوط به شرایط هیدرودینامیک یا تغذیه‌ای قلمداد شوند (Hawkins and Quinn, 1996). تغییر جایگاه باله سینه‌ای ممکن است برای افزایش قدرت مانور برای مقابله با مسیر جریان آب باشد (Langerhans and Reznick, 2010). وجود تفاوت‌های ریختی در بین جمعیت‌های مختلف گونه مورد مطالعه با وجود یک دودمان مشترک می‌تواند بیانگر روند تکاملی در حال وقوع به‌واسطه جدایی جغرافیایی یا تحت تأثیر شرایط فیزیک و شیمیایی، مواد غذایی در دسترس و شرایط هیدرولوژیک زیستگاه‌های متفاوت باشد. به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که جمعیت‌های مختلف ماهی نازک در زیر حوضه‌های مختلف حوضه آبزیز تیگریس تفاوت‌های شکل بدن بالایی دارند که بیانگر قابلیت بالای انعطاف‌پذیری ریختی این گونه به ویژگی‌های محیطی زیستگاه محل زندگی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از آقای عطا مولودی صالح جهت کمک در آنالیز داده‌ها تشکر و قدردانی می‌نماییم. این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شد.

منابع

ایگدری، س.، مولودی صالح، ع.، احمدی، س. و جوادزاده، ن.، ۱۳۹۹a. بررسی انعطاف‌پذیری ریختی شکل بدن ماهی کاراس (*Carassius gibelio*) به ایستگاه‌های آبی جاری و ساکن با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله علمی شیلات ایران، ۲۹(۱): ۴۹-۵۸. DOI: 10.22092/ISFJ.2019.120442

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]

ایگدری، س.، مولودی صالح، ع.، رستمی، م. و هرسینی، ج.، ۱۴۰۰. الگوی تنوع ریختی گونه‌های جنس *Alburnoides* (Pisces: Cyprinidae) در آب‌های داخلی ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک‌پایه. نشریه شیلات، ۷۴(۲): ۲۷۰-۲۵۹. DOI: 10.22059/jfisheries.2021.319416.1232

رادخواه، ع.، پورباقر، ه.، ایگدری، س. و نوفرستی، ه.، ۱۳۹۵. بررسی تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های ماهی تیزه کولی (*Hemiculter leucisculus* Basilewsky, 1855) در رودخانه زرینه رود و تالاب انزلی با استفاده از روش ریخت سنجی هندسی. مجله بهره برداری و پرورش آبزیان، ۵(۱): ۸۲-۷۳. DOI: 10.22069/japu.2016.3509

کیوانی، ی.، نصری، م.، عباسی، ک. و عبدلی، ا.، ۱۳۹۵. اطلس ماهیان آبهای داخلی ایران (فارسی و انگلیسی). انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. تهران. ۲۱۸ صفحه.

Adams, D.C. and Funk, D.J., 1997. Morphometric inferences on sibling species and sexual imorphism in *Neochlamisus bebbianae* leaf beetles: multivariate applications of the thin-plate spline. *Systematic Biology*, 46: 180-194. Doi: 10.1093/sysbio/46.1.180

Eagderi, S., Jouladeh-Roudbar, A., Birecikligil, S.S., Çiçek, E. and Coad, B.W., 2017. *Chondrostoma esmaeilii*, a new cyprinid species from the Tigris basin in Iran (Teleostei: Cyprinidae). *Vertebrate Zoology*, 67(2): 125-132.

Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Esmaeili, H.R., Sayyadzadeh, G. and Nasri, M. 2022. Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology*, 46(6): 500-522. DOI: 10.55730/1300-0179.3104

Froese, R. and Pauly, D. 2012. FishBase. World Wide Web electronic publication, www. fishbase. org.

Hawkins, D.K. and Quinn, T.P., 1996. Critical swimming velocity and associated morphology of juvenile coastal cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki clarki*), steelhead trout (*O. mykiss*) and their hybrids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 1487-1496.

Kiani, F., Keivany, Y. and Paykan-Heyrati, F., 2016. Age and growth of king nase, *Condrostoma regium* (Cyprinidae), from Bibi-Sayyedan River of Semirom, Isfahan. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(3): 1214-1223.

Langerhans, R.B., Layman, C.A., Langerhans, A.K. and DeWitt, T.J., 2003. Habitatassociated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80: 689-698. Doi: 10.1111/j.1095-8312.2003.00266.x

Langerhans, R.B. and Reznick, D.N., 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. In: (Domenici, P., Kapoor, B.G. (ed) Fish locomotion: an eco-ethological perspective. Science Publishers Inc. First Edition. pp 200-248.

Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Cicek, E.

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]

and Sungur, S., 2020. Morphological variation of Transcaucasian chub, *Squalius turcicus* in southern Caspian Sea basin using geometric morphometric technique. *Biologia*, 75(10): 1585-1590. Doi: 10.2478/s11756-019-00409-6.

Robalo, J.I., Doadrio, I., Almada, V.C. and Kottelat, M., 2005. *Chondrostoma oligolepis*, new replacement name for *Leuciscus macrolepidotus* Steindachner, 1866 (Teleostei: Cyprinidae). *Chthyological Exploration of Freshwaters*, 16(1): 47-48.

Zelditch, M., 2004. Geometric morphometrics for biologists: a primer. Elsivier Academic Press. New York. 423 P.

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]

Morphological diversity of Southern Nase, *Chondrostoma regium*, populations in the northern catchment sub-basins of the Persian Gulf using geometric morphometric technique

Dastanpoor N.[1]; Eagderi S.[1*]; Farahmand H.[1]; Mousavi-Sabet H.[2]; Esmaeili H.R.[3]

[*]soheil.eagderi@ut.ac.ir

1-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran.
3-Zoology Section, Department of Biology, School of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Abstract

The evolution of fish populations and adaptation to habitat conditions cause morphological differences between them. This study was conducted to investigate morphological variations between Southern Nase, *Chondrostoma regium*, populations in the sub-basins of the Persian Gulf basin, including the three-border western sub-basins, Karkheh and Karun, using geometric morphometric techniques. For this purpose, samplings were performed from the rivers of Alvand by 18 specimens, 24 from Behesht-Abad, 18 from Beshar (sub-basin of Karun), 14 from Diverab, and 6 from Homeil during 2018-2020. To extract body shape data, the left side of specimens was photographed, and 15 landmark points were digitized on obtained 2D pictures using tpsDig2. The extracted data were analyzed using multivariate analysis, including canonical variates analysis (MANOVA/CVA) and cluster analysis after GPA superimposition. The results revealed a significant difference between the Southern Nase populations of the studied rivers based on the body shape ($P<0.05$). The main differences in the body shape between the studied populations were in the head shape and size, body depth, snout position, and pectoral fin base. The results indicate the high phenotypic plasticity of this species in diverse habitats.

Keywords: Morphological diversity, Morphometric, Nase, Multivariate analysis

[*]Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2024-04-27]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1401.31.4.10.8]