



یافته علمی کوتاه:

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

ندا داستانپور^۱، سهیل ایگدری^{*}^۱، حمید فرحمدن^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 پذیرش: مهر ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۰

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

مقدمه

ایگدری و همکاران، (۱۳۹۹a) اعضای جنس *Chondrostoma* کپورماهیان (Cyprinidae) با اندازه کوچک‌الی 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. orientale* و *C. cyri*, *C. esmaeilii*, *C. regium* و *C. esmaeilii* در ایران گزارش شده است که دو گونه *regium* در حوضه آبریز دجله زیست می‌کنند (*Eagderi et al.*, 2017). گونه ماهی نازک (*C. regium*) گونه‌ای بنتوپلازیک 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 ریخت‌سنگی

فرآیندهای زیست‌شناخنی از جمله بیماری، فردزادی^۱ سازگاری با فاکتورهای زیستگاهی و تنوع تکاملی سبب ایجاد تفاوت در اشکال ریختی بین افراد یک جمعیت می‌شود. بنابراین، می‌توان با استفاده از آنالیز شکل به الگوهای ریختی و نحوه تغییر آنها پی بردن (Zelditch, 2004). به طور معمول در زیست‌شناسی برای اندازه‌گیری، تفکیک و بررسی روابط میان گروههای مختلف آرایه‌شناخنی از صفات ریخت‌سنگی استفاده می‌شود. روش ریخت‌سنگی هندسی بر پایه الگوهای شکل نمونه‌ها و جایه‌جایی مختصات فضایی نقاط لندمارک استوار است که به عنوان بازنایی از تغییرات شکل در بین ساختارهای زیستی بررسی و مقایسه می‌شود (Adams and Funk, 1997).

^۱ Ontogeny

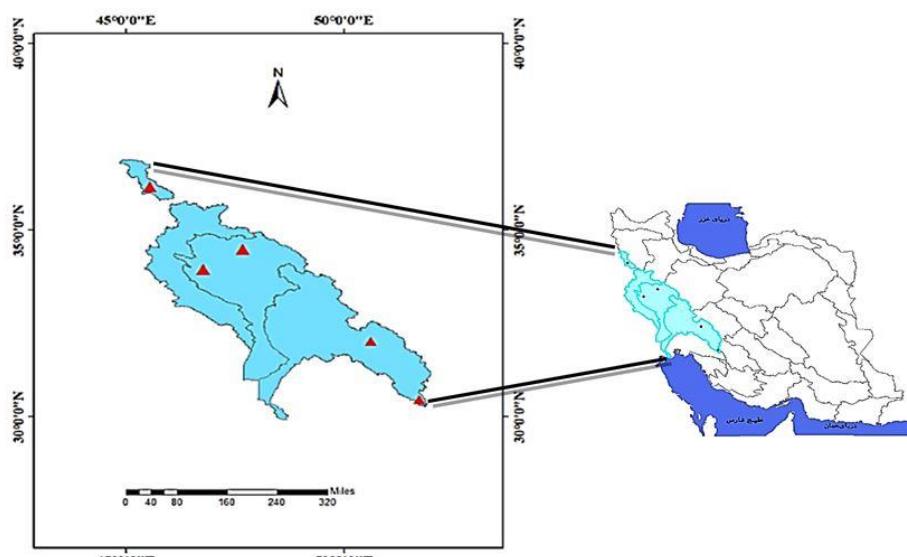
رودخانه کارون، ۱۴ قطعه از دینورآب و ۶ قطعه از رودخانه حمیل از زیر حوضه رودخانه کرخه مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. این ماهی‌ها براساس مجوزهای ۶۳۹۴۳۵۲ مورخ ۱۳۹۹/۸/۴ و ۷۵۳۰۹۵۱ و ۱۳۹۷/۷/۲۱ تهران براساس مقررات اخلاق زیستی صید شده بودند (شکل ۱). با استفاده از دوربین دیجیتال ۶ مگاپیکسلی Sony از نیمرخ چپ تمامی نمونه‌ها عکسبرداری گردید. تعداد ۱۵ نقطه لندهمارک (شکل ۲) بر روی تصاویر دو بعدی در نرمافزار TpsDig2 ۲.۳۱ قرار داده شدند. روی هم‌گذاری جایگاه لندهمارک‌های 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 ۲.۱۷b مورد تحلیل قرار گرفتند.

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 بوجود 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 ریخت‌سننجی هندسی در تفکیک اشکال زیستی، این مطالعه به منظور بررسی تنوع ریختی جمعیت‌های مختلف ماهی نازک *Chondrostoma regium* در زیر حوضه‌های مختلف حوضه آبریز دجله (خليج فارس) به اجرا درآمد.

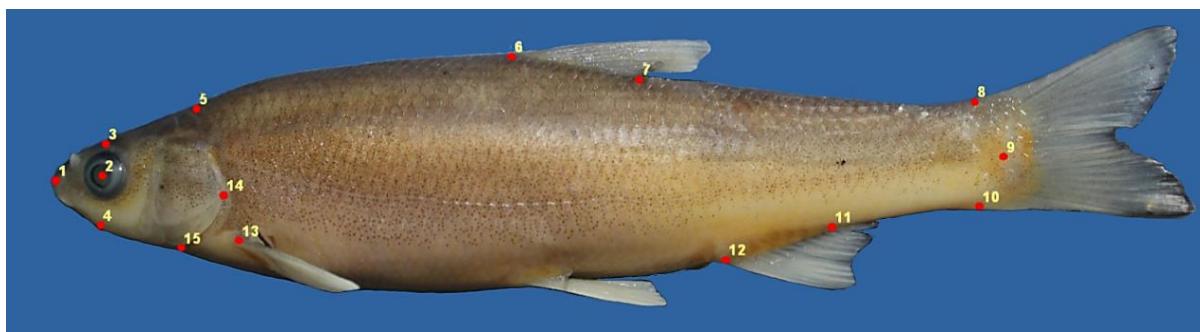
مواد و روش کار

طی فصل پاییز ۱۳۹۷-۹۹، تعداد ۸۰ قطعه ماهی نازک (شناسایی شده بر اساس کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵) ثبت 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



شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه‌برداری جمعیت‌های مختلف نازک ماهی جنوبی

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



شکل ۲: موقعیت های لندهارک های تعریف شده به منظور 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- انتهای تو رفتگی ساقه دمی در پایین ساقه دمی و باله دمی، ۱۰- بیشینه تو رفتگی ساقه دمی در پایین، ۱۱- انتهای قاعده باله مجرجی، ۱۲- ابتدای قاعده باله مجرجی، ۱۳- ابتدای تو رفتگی ساقه دمی در پایین، ۱۴- انتهای تو رفتگی ساقه دمی در سینه ای، ۱۵- امتداد شکاف آبششی در سطح شکمی بخش قاعده باله سینه ای.

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

مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج تجزیه به مؤلفه های 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 کننده ها بودند به ترتیب $52/59$ و $22/84$ درصد از واریانس را به خود اختصاص دادند.

همچنین جهت بیان درجه تمایز بین جمعیت های مورد مطالعه، فاصله ماهالانوبیس و پروکراست محاسبه شد. مصورسازی تغییرات شکل بدن نسبت به شکل میانگین^۱ با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم افزار MorphoJ صورت گرفت.

نتایج و بحث

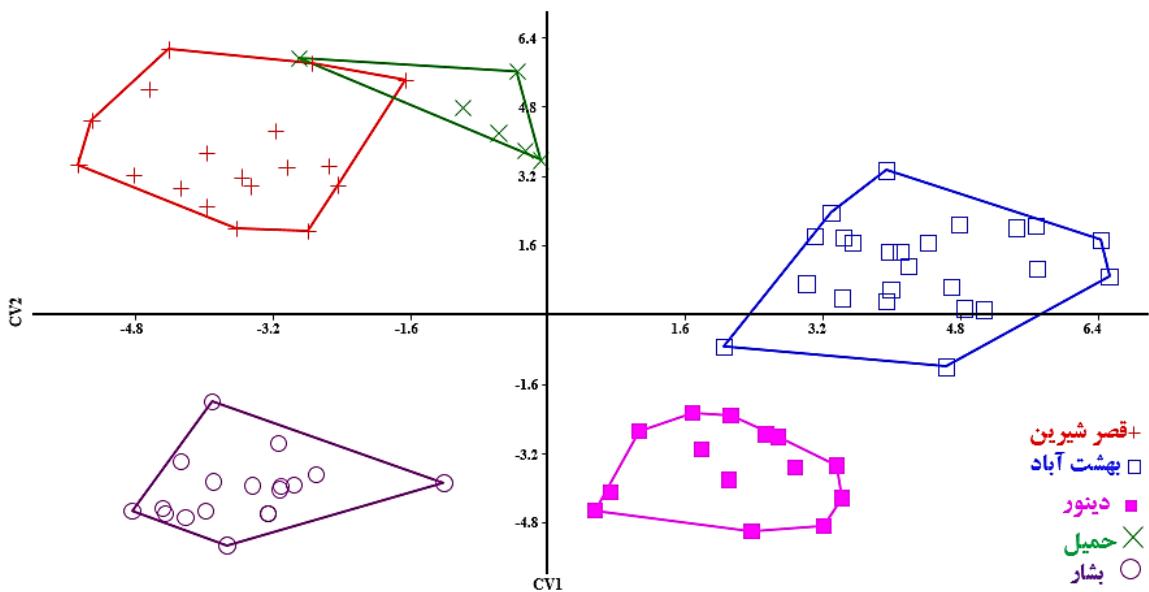
میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار طول های کل، چنگالی و استاندارد نمونه های صید شده از رودخانه های

^۱ Consensus configuration

جدول ۱: بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار صفات ریختی در گونه جمعیت‌های نازک ماهی جنوبی *Chondrostoma regium*Table 1: Maximum, Minimum, Mean \pm SD of the morphometric traits of *Chondrostoma regium*

جمعیت‌ها	طول کل کمینه-بیشینه میانگین \pm انحراف معیار	طول چنگالی کمینه-بیشینه میانگین \pm انحراف معیار	طول استاندارد کمینه-بیشینه میانگین \pm انحراف معیار
قصرشیرین	۱۰/۲۲-۱۹/۳۳ $\pm ۱۴/۰۹$ ۲/۹۸	۸/۸۹-۱۷/۴۷ $\pm ۱۲/۸۱$ ۲/۹۲	۸/۲۷-۱۶/۲ $\pm ۱۱/۸۳$ ۲/۷۶
	۱۳/۱۲-۱۹/۷۳ $\pm ۱۶/۰۷$ ۱/۶۷	۱۲/۳۹-۱۸/۷۵ $\pm ۱۵/۱۹$ ۱/۶۴	۱۱/۳۴-۱۷/۲۲ $\pm ۱۴/۱۶$ ۱/۵۳
	۱۴/۰۲-۱۵/۰۱ $\pm ۱۴/۵۴$ ۰/۳۸	۱۲/۹۵-۱۳/۹۳ $\pm ۱۳/۴۳$ ۰/۳۶	۱۲/۰۴-۱۲/۸۵ $\pm ۱۲/۴۱$ ۰/۳۱
دینور	۵/۹۲-۱۶/۳۳ $\pm ۸/۱۲$ ۳/۴۲	۵/۳۹-۱۵/۳۴ $\pm ۷/۵۰$ ۳/۲۶	۵/۱۳-۱۴/۱۷ $\pm ۷/۱۵$ ۲/۹۲
	۵/۸۱-۶/۹۲ $\pm ۶/۳۴$ ۰/۴۹	۵/۳۴-۶/۳۶ $\pm ۵/۸۲$ ۰/۴۳	۴/۸۱-۵/۹۳ $\pm ۵/۲۸$ ۰/۴۲
	Walk's = ۰/۰۰۰۱ $F=۱۷/۶۴$ و $p<0/۰۰۰۱$, شکل ۳.	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.	مقدار

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 ($Walk's = 0/0001$) و $F=17/64$, $p<0/0001$, شکل ۳). مقدار 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.



شکل ۳: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های نازک ماهی جنوبی *Chondrostoma regium* (Figure 3: Canonical Variate analysis diagram of the body shape of *Chondrostoma regium* populations)

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 جمعیت‌های است. 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 Langerhans تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده است (Langerhans et al., 2003). از آنجایی که 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).

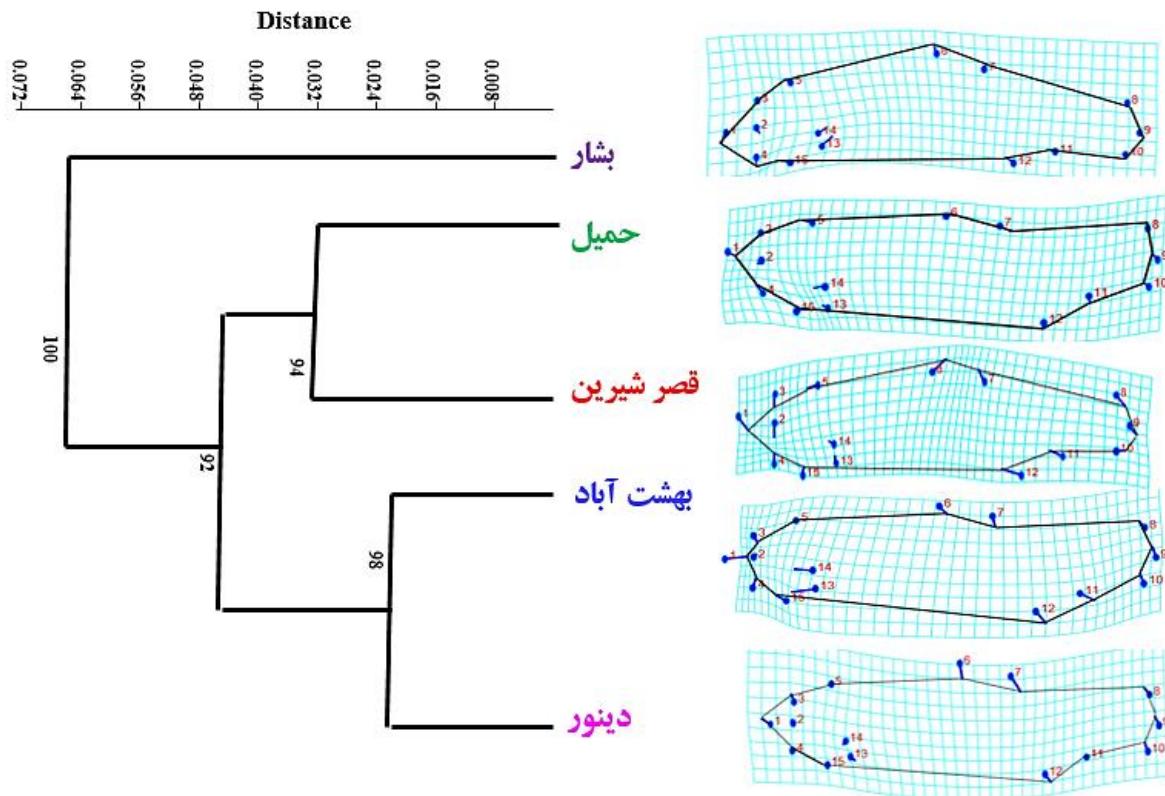
جدول ۲: فواصل ماهalanobis حاصل از آنالیز CVA در

جمعیت‌های نازک ماهی *Chondrostoma regium*

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

بهمشت آباد	دینور آب	قصر شیرین	حمیل
	۷/۹۴۰.۵		
	۱۰/۰۰۶۹	۸/۱۰۵۱	
۹/۸۹۰۱	۱۰/۲۱۹	۹/۲۱۵۷	
۱۲/۳۵۳	۸/۴۳۹	۷/۴۸۹۵	۷/۹۰۳۲

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



شکل ۴: نمودار آنالیز خوشمای جمعیت‌های نازک ماهی جنوبی
Figure 4: Body shape cluster analysis diagram of *Chondrostoma regium* populations

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 ریخت‌سنگی هندسی. مجله علمی شیلات ایران، DOI: (۱) ۵۸-۴۹: ۱۰.22092/ISFJ.2019.120442

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 آبریز تیگریس تفاوت‌های شکل بدن بالایی دارند که بیانگر قابلیت بالای انعطاف‌پذیری ریختی این گونه به ویژگی‌های محیطی

- 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 Semiroom, 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 ethological perspective. Science Publishers Inc. First Edition. pp 200-248.
- Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Cicek, E.**
- 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 ریخت‌سنگی هندسی لندمارک‌پایه. نشریه شیلات، ۷۴(۲): ۲۷۰-۲۵۹. DOI: 10.22059/jfisheries.2021.319416.1232
- رادخواه، ع.. پورباقر، م.. ایگدری، س.. و نوفrstی، م.. ۱۳۹۵. بررسی تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های ماهی *Hemiculter leucisculus* () تیزه کولی (Basilewsky, 1855) در رودخانه زرینه رود و تالاب انزلی با استفاده از روش ریخت‌سنگی هندسی. مجله بهره برداری و پرورش آبزیان، ۱۵(۱): ۷۳-۸۲. DOI: 10.22069/japu.2016.3509
- کیوانی، ی.. نصری، م.. عباسی، ک.. و عبدالی، 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 bebbiana* 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

- 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.

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