(DOI): 10.22092/ISFJ.2025.134727 34(5) 81-92 Iranian Scientific Fisheries Journal

Morphological characteristics of the North Caucasian bleak species (*Alburnus hohenackeri*) in the Harirud basin

Gholami S.[1*]; Keyvani Y.[1]

[*]s_gholami@na.iut.ac.ir

1- Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: May 2025 Accepted: September 2025 Published: January 2026

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Fish biodiversity is fundamental to the stability and functionality of aquatic ecosystems. A detailed understanding of fish species, particularly native taxa, is essential for effective resource management and conservation planning. *Alburnus hohenackeri*, a native species of the Harirud River basin in the family Leuciscidae, typically inhabits vegetated riverine areas and freshwater lakes, but it can also tolerate slightly brackish waters. Although naturally distributed across the Caspian Sea basin, this species has been unintentionally introduced into several other aquatic systems, including Zarivar, Maravin, Hamun, Sistan, and Harirud (Naderi and Abdoli, 2004). Given the ecological heterogeneity of these habitats, investigating morphological variation among different populations is particularly important. Geometric morphometrics, which employs anatomical landmark points, provides a robust tool for analyzing shape variation and exploring habitat influences, phenotypic plasticity, and species identification (Park *et al.*, 2013).

Previous studies in Iran have revealed substantial morphological diversity among various fish species. Gholami and Keyvani (2024) examined 487 specimens of *Alburnus hohenackeri* from 12 rivers using 13 anatomical landmarks and reported pronounced differences in body shape, head structure, mouth position, and fin placement, particularly in populations from the Aras River. Comparable patterns of morphological variation have been documented in *Alburnus mossulensis* (Keivany *et al.*, 2016) and *Capoeta damascina* (Razavipoor *et al.*, 2014). Despite its ecological importance, however, the morphological characteristics of *A. hohenackeri* populations in the Harirud basin remain poorly understood. The present study therefore aims to investigate and compare the morphological features of these populations using geometric morphometric techniques. The results will provide critical baseline data to inform conservation initiatives, support sustainable resource management, and guide strategies for preserving freshwater biodiversity.

Methodology

This study employed geometric morphometric techniques to examine morphological variation among *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud River basin, focusing on three sites: Harirud Canal 1,

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

Harirud Canal 2, and the Harirud River. A total of 141 specimens were obtained from the reference collection of the Ichthyology Museum at Isfahan University of Technology. The samples were originally collected in 2009 from the three sampling stations, while laboratory procedures and data analysis were conducted in 2019. Specimens were captured using beach seines and electrofishing, fixed in 10% buffered formalin, and preserved in 70% ethanol for long-term storage. For morphometric analysis, the left lateral side of each specimen was photographed, and 13 anatomical landmarks were digitized using TpsDig2 software. These landmarks were chosen based on distinct anatomical reference points covering the head, fins, and caudal peduncle, following the standard protocol of Cavalcanti *et al*. (1999). The digitized coordinates were aligned and scaled using Procrustes superimposition, and multivariate statistical analyses—including Principal Component Analysis (PCA), Canonical Variate Analysis (CVA), and Cluster Analysis—were conducted to identify morphological similarities and differences among populations. All analyses were performed using PAST and MorphoJ software.

Results

Principal Component Analysis (PCA) indicated that the first five principal components accounted for 73.52% of the total shape variation among *Alburnus hohenackeri* populations. These components were identified as the primary factors differentiating population structures. The distribution of individuals along the first two principal components suggested some population grouping; however, considerable overlap among populations was observed, indicating relatively subtle morphological differentiation. Examination of body shape variation along the principal components revealed notable changes in several anatomical regions. Along PC1, variations were observed in the positions of the mouth, eye, operculum, pectoral, dorsal, pelvic, and anal fins, as well as in body height and the caudal peduncle. PC2 showed similar but less pronounced changes, primarily affecting eye position, head structure, fins, and the caudal peduncle. Canonical Variate Analysis (CVA) revealed significant morphological differences among the three populations, with clear separation and no overlap between Harirud Canal 1, Harirud Canal 2, and Harirud River groups. Shape changes along CV1 were mainly associated with posterior displacement of the mouth, shifts in eye and operculum positions, and fin attachment points. CV2 reflected variations primarily in mouth position, eye socket, dorsal fin insertion, and caudal peduncle landmarks. Cluster analysis corroborated these results, showing that the Harirud Canal 2 population was distinctly separated from the other two groups, indicating a higher degree of morphological divergence. In contrast, Harirud Canal 1 and Harirud River populations formed sister groups, displaying the closest morphological similarity.

Discussion and conclusion

Morphological variation among fish populations often reflects adaptations to diverse environmental conditions, including water flow, substrate type, vegetation cover, prey availability, and predation pressure (Mouludi-Saleh *et al.,* 2020). In this study, significant morphological differences were observed among *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud River basin, particularly between the Harirud Canal 2 population and those from Harirud Canal 1 and the Harirud River. While PCA indicated some degree of overlap among populations, Canonical Variate Analysis (CVA) revealed clear separation, suggesting that

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

environmental factors, geographic isolation, or a combination of both contribute to shape divergence. Cluster analysis further supported these findings, placing Harirud Canal 2 in a distinct group, whereas Harirud Canal 1 and Harirud River populations exhibited closer morphological similarity, possibly reflecting geographic proximity or shared ecological conditions. Differences in body depth, fin placement, caudal peduncle shape, and head dimensions likely represent ecological adaptations. Variations in swimming patterns, feeding behavior, hydrodynamic constraints, and predator-prey interactions may account for the observed morphological differences (Langerhans *et al.*, 2003; Andersson *et al.*, 2006). Previous studies on *A. hohenackeri* and other Cyprinid species in Iran have similarly highlighted environmental heterogeneity and geographic isolation as key drivers of morphological differentiation (Banimasani *et al.*, 2019; Gholami and Keyvani, 2024). Given the ecological significance of *A. hohenackeri* and the role of morphology in survival and resource utilization, these findings provide important insights into population-level diversity and adaptation. Future studies should integrate detailed ecological measurements—such as water flow, vegetation cover, and predator-prey dynamics—with genetic analyses to elucidate the mechanisms driving morphological variation. Such information will be valuable for conservation planning and sustainable management of *A. hohenackeri* populations, particularly in regions facing environmental stress and biodiversity loss.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Acknowledgment

The authors would like to sincerely thank the Ichthyology Museum of Isfahan University of Technology for providing access to specimens and facilities that made this research possible.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

مجله علمی شیلات ایران ۹۲-۸۱ (۵) ۳٤ (DOI): 10.22092/ISFJ.2025.134727

مقاله علمی – پژوهشی:

ویژگی‌های ریختی گونه مرواریدماهی قفقاز (*Alburnus hohenackeri*) در حوضه آبریز هریرود

سرور غلامی*[۱]، یزدان کیوانی[۱]

*s_gholami@na.iut.ac.ir

۱- دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱٤۰٤ تاریخ پذیرش: شهریور ۱٤۰٤ تاریخ چاپ: دی ۱٤۰٤

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) در حوضه هری، با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی صورت گرفت. برای این منظور، ۱۴۱ نمونه از رودخانه‌های مختلف حوضه هری شامل کانال هریرود ۱، کانال هریرود ۲ و هریرود جمع‌آوری شدند. تصاویر جانبی سمت چپ این نمونه‌ها تهیه شده و سپس ۱۳ نقطه لندمارک با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 رقومی‌سازی گردید. پس از انجام واکاوی پروکراست برای حذف اثر اندازه، داده‌های شکل با سه روش آماری چندمتغیره شامل: (۱) تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی کلی تغییرپذیری، (۲) تحلیل متغیرهای کانونی (CVA) برای تفکیک بین‌گروهی و (۳) تحلیل خوشه‌ای با الگوریتم UPGMA برای طبقه‌بندی جمعیت‌ها، مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان‌دهنده همپوشانی قابل‌توجه بین جمعیت‌ها بود که حاکی از عدم تفاوت معنادار ریختی بین آنهاست. اما در تحلیل متغیرهای کانونی، جدایی کامل بین سه جمعیت مشاهده شد و نتایج تحلیل خوشه‌ای نیز نشان داد که جمعیت کانال هریرود ۲ از دو جمعیت دیگر متمایز است. این تفاوت نتایج احتمالاً ناشی از تفاوت روش‌های آماری به‌کاررفته است به‌طوری‌که تحلیل متغیرهای کانونی تمرکز بیشتری بر تفکیک جمعیت‌ها و تغییرات بین گروه‌ها دارد درحالی‌که تحلیل مؤلفه‌های اصلی عمدتاً واریانس کلی داده‌ها را بررسی می‌کند. این نتایج نشان می‌دهند که عوامل محیطی ممکن است نقش مهمی در ایجاد تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌ها ایفاء کنند. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان داده پایه در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی به‌ویژه در زمینه حفظ تنوع زیستی، جلوگیری از کاهش ذخایر و تدوین استراتژی‌های بهره‌برداری پایدار مورد استفاده قرار گیرد. همچنین شناسایی تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌ها می‌تواند به مطالعات بعدی در زمینه ارتباط این تفاوت‌ها با عوامل محیطی کمک کند.

لغات کلیدی: مرواریدماهی قفقاز، ریخت‌سنجی هندسی، تحلیل مولفه‌های اصلی، تحلیل متغیرهای کانونی، واکاوی پروکراست

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

مقدمه

تنوع زیستی ماهیان در زیست‌بوم‌های آبی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این تنوع، نقش اساسی در حفظ پایداری و عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی ایفاء می‌کند. شناخت دقیق گونه‌های مختلف ماهی به‌ویژه گونه‌های بومی می‌تواند به مدیریت بهینه منابع آبی و توسعه راهکارهای حفاظتی کمک کند. یکی از گونه‌های بومی حوضه آبریز هریرود، مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) متعلق به خانواده Leuciscidae است. این گونه معمولاً در نواحی گیاهی زیرآب در قسمت‌های پایینی رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین زندگی می‌کند و از توانایی تحمل آبهای لب‌شور نیز برخوردار است. بیشترین فراوانی این گونه در نواحی مصب رودخانه‌ها مشاهده می‌شود. اگرچه *A. hohenackeri* در تمامی زیستگاه‌های دریای خزر پراکندگی دارد، اما انسان این گونه را به طور ناخواسته به برخی حوضه‌های آبی دیگر (زریوار، مراوین، هامون، سیستان و هریرود)، منتقل کرده است (Naderi and Abdoli, 2004). به دلیل تفاوت‌های زیستگاه و نوع رودخانه، بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی این گونه در مناطق مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیقات ریخت‌شناختی در حوزه زیست‌شناسی ماهی در طول تاریخ به عنوان ابزاری مهم برای تحلیل و شناسایی تفاوت‌های جمعیتی، رده‌بندی گونه‌ها و تفکیک آنها از یکدیگر شناخته شده است (Su *et al*., 2019). مطالعات ریخت‌شناسی می‌تواند اطلاعاتی را درباره تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی بر ساختار بدن و سازگاری‌های زیستی گونه‌ها فراهم کند. این بررسی‌ها معمولاً از ویژگی‌های ریخت‌شناسی برای تفکیک جمعیت‌های مختلف یک گونه استفاده می‌کنند و می‌توانند اطلاعاتی در خصوص پراکنش، وضعیت اکولوژیک و الگوی تغذیه‌ای گونه‌ها ارائه دهند (Nacua *et al*., 2010). تفاوت‌های ریخت‌شناسی در میان جمعیت‌های مختلف ماهیان می‌تواند ناشی از تأثیر انتخاب طبیعی و عوامل محیطی باشد (Gammanpila *et al*., 2017). به طور کلی، تغییرات در ویژگی‌های ریخت‌شناسی می‌تواند نشان‌دهنده تعاملات پیچیده میان محیط و ژنتیک باشد (Costa and Cataudella, 2007).

یکی از روش‌های رایج در مطالعات ریخت‌شناسی ماهیان، ریخت‌سنجی هندسی مبتنی بر نقاط مرجع است که از مختصات نقاط عطف بدن برای تحلیل تغییرات شکل بدن استفاده می‌کند. این روش توانایی بالایی در بررسی تفاوت‌های شکلی میان گروه‌های مختلف بیولوژیک دارد و می‌تواند در مطالعاتی مانند ارزیابی تأثیرات زیستگاه، انعطاف‌پذیری بدن، شناسایی گونه‌ها و ارزیابی ذخایر ماهیان کاربرد داشته باشد (Park *et al.,* 2013).

مطالعات متعدد در ایران نیز به بررسی تفاوت‌های ریختی گونه‌های مختلف ماهیان پرداخته‌اند به‌ویژه مطالعه‌ای بر ریخت‌شناسی گونه *Alburnus hohenackeri* انجام شده است (Gholami and Keyvani, 2024). در این پژوهش، ۴۸۷ ماهی از ۱۲ رودخانه نمونه‌برداری شدند و تغییرات شکلی آنها با استفاده از ۱۳ نقطه مرجع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که جمعیت ماهیان رودخانه ارس از نظر شکل بدن، سر، موقعیت دهان و باله‌ها تفاوت‌های معنی‌داری با سایر جمعیت‌ها دارد. این مطالعه، دلیل اصلی تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های رودخانه‌های حوضه خزر را سازگاری با شرایط محیطی جدید می‌داند و بیان می‌کند که ویژگی‌های خاص ریخت‌شناسی می‌توانند پاسخی به عوامل محیطی باشند در مطالعه‌ای دیگر، تنوع ریخت‌شناسی *Alburnus mossulensis* در ایران مورد بررسی صورت گرفته است (Keivany *et al.,* 2016) که شامل نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از پنج حوضه آبی مختلف بود. نتایج نشان داد که تفاوت‌های معنی‌داری در ویژگی‌های ریخت‌شناسی میان جمعیت‌های مختلف این گونه وجود دارد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر محققان به بررسی تفاوت‌های ریخت‌شناسی جمعیت‌های *Capoeta damascina* با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی پرداختند و نشان دادند که جمعیت‌های حوضه دریاچه نمک از نظر شکل بدن کاملاً متمایز هستند (Razavipoor *et al.,* 2014).

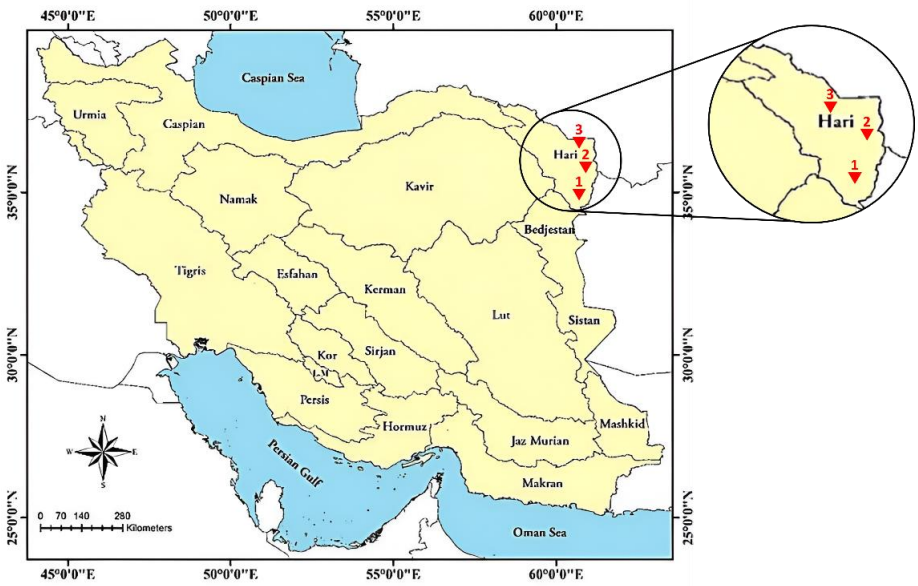
با توجه به اهمیت گونه *A. hohenackeri* در تنوع زیستی حوضه هریرود و کمبود اطلاعات در زمینه ویژگی‌های ریخت‌شناسی این گونه، این تحقیق به بررسی و مقایسه ویژگی‌های ریخت‌شناسی جمعیت‌های مختلف این گونه با

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی پرداخته است. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان داده‌های بنیادین و کلیدی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد به‌ویژه در زمینه حفظ تنوع زیستی، این اطلاعات می‌توانند به جلوگیری از کاهش ذخایر طبیعی و تدوین استراتژی‌های بهره‌برداری پایدار کمک شایانی نمایند. همچنین شناسایی تفاوت‌های ریختی بین جمعیت‌های مختلف، فرصت‌های جدیدی را برای تحقیقات بعدی فراهم می‌آورد. این تفاوت‌ها می‌توانند به بررسی و تحلیل ارتباطات میان عوامل محیطی منجر شوند. بدین‌ترتیب، درک بهتری از چگونگی اثرگذاری این عوامل بر تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم‌ها به‌دست آید. علاوه‌براین، این یافته‌ها می‌توانند به شکل‌گیری مدل‌های مدیریتی نوین و مؤثر در عرصه حفظ و ارتقاء تنوع زیستی و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی کمک کنند. به طور کلی، این پژوهش نه‌تنها به غناء دانش علمی می‌افزاید بلکه می‌تواند به عنوان یک مبنای معتبر برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی آگاهانه و مبتنی بر داده در زمینه حفاظت از محیط‌زیست و منابع طبیعی عمل کند.

مواد و روش کار

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی هندسی جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) در حوضه هریرود، شامل سه رودخانه کانال هریرود ۱، کانال هریرود ۲ و رودخانه هریرود، تعداد ۱۴۱ نمونه از مجموعه مرجع موزه ماهی‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شده‌اند که طی سال‌های ۱۳۸۸ و از سه ایستگاه شامل کانال هریرود ۱، کانال هریرود ۲، و رودخانه هریرود جمع‌آوری شده‌اند. همچنین تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و بخش آزمایشگاهی این پژوهش در سال ۱۳۹۸ انجام شد (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری شده گونه‌های ماهی مروارید ماهی مورد مطالعه

Figure 1: Map of the geographical locations of the sampling sites of the studied North Caucasian bleak species

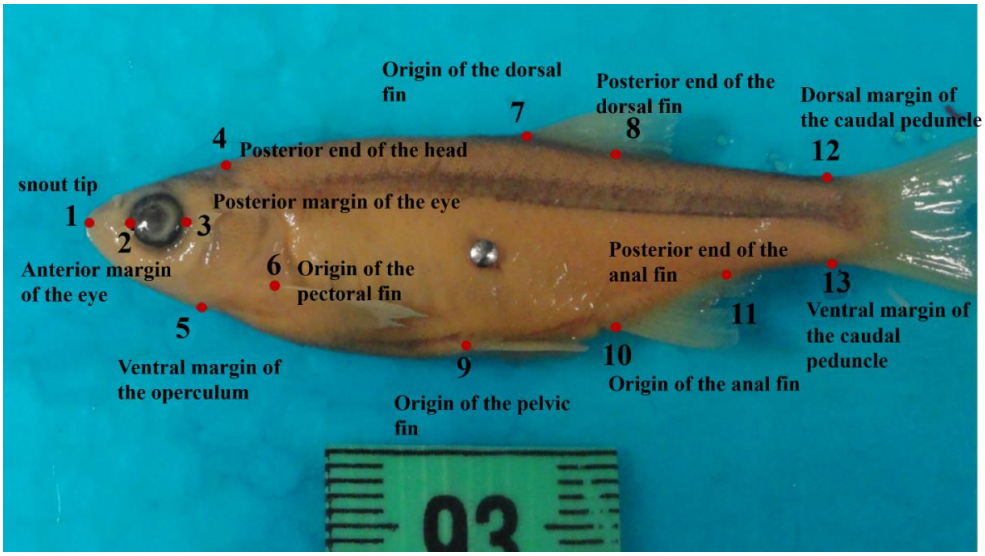
جدول ۱: مشخصات مناطق نمونه‌برداری شده

Table: 1 Characteristics of the sampled areas

Basin and Total Samples		River	Sample Count	Coordinates
1	Harirud (141)	Harirud	18	61°09'29.4"E, 36°17'15.72"N
2		Harirud Canal 2	50	61°10'22.32"E, 36°16'39.54"N
3		Harirud Canal 1	73	61°08'48.96"E, 36°28'5.52"N

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

ابتدا نمونه‌ها از این رودخانه‌ها با استفاده از تور پره و دستگاه الکتروشوک صید و پس از تثبیت در محلول فرمالین ۱۰ درصد بافری، به آزمایشگاه منتقل شدند. برای نگهداری طولانی‌مدت، نمونه‌ها در محلول الکل ۷۰ درصد ذخیره شدند. در مرحله بعد، برای استخراج داده‌های ریخت‌سنجی، تصاویر دیجیتال از سمت چپ بدن هر نمونه ثبت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2، ۱۳ لندمارک مشخص بر تصاویر رقومی‌سازی شدند (شکل ۲). معیار انتخاب ۱۳ لندمارک بر اساس نقاط آناتومیک شاخص در ریخت‌سنجی هندسی توضیح داده شد و این نقاط شامل نواحی سر، باله‌ها، و ساقه دمی بوده و انتخاب آنها بر مبنای روش استاندارد Cavalcanti و همکاران (۱۹۹۹) صورت گرفته است. این لندمارک‌ها که ویژگی‌های مهم ریختی ماهی‌ها را پوشش می‌دهند، برای تحلیل‌های آماری استفاده شدند. داده‌های رقومی‌شده پس از آماده‌سازی، با به‌کارگیری آنالیز پروکراست، تحت تحلیل‌های آماری چندمتغیره قرار گرفتند. این تحلیل‌ها شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل متغیرهای کانونی و آنالیز خوشه‌ای برای شناسایی شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در میان جمعیت‌ها بود. در نهایت، نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای PAST و MorphoJ تحلیل شدند.



شکل ۲: موقعیت نقاط نشانه (لندمارک‌ها) در یک نمونه مروارید ماهی مورد مطالعه

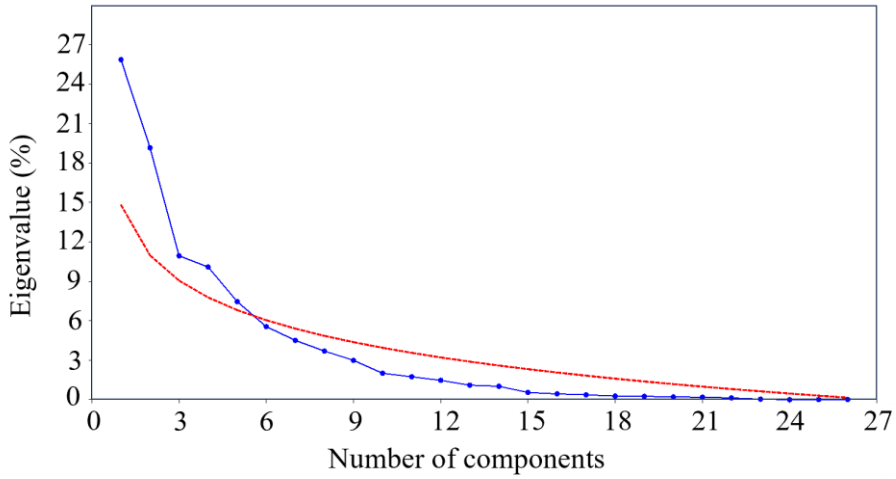
Figure 2: Landmark positions in a specimen of the studied *Alburnus hohenackeri*

نتایج

در این تحقیق، نتایج تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که پنج مؤلفه اصلی که بالاتر از خط برش جولیف قرار داشتند، عوامل اصلی تفکیک‌کننده جمعیت‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل ۳). این پنج مؤلفه در مجموع ۷۳/۵۲ درصد واریانس داده‌ها را توضیح دادند (جدول ۲). در شکل ۴، توزیع جمعیت‌ها و تغییرات شکلی بدن آنها در راستای دو محور اول و دوم مؤلفه‌های اصلی نشان داده شده است که گروه‌بندی جمعیت‌ها به‌وضوح قابل شناسایی است. با این وجود، تفاوت قابل‌توجهی بین جمعیت‌های مختلف مشاهده نشد و هم‌پوشانی قابل‌توجهی بین آنها دیده می‌شود.

در شکل ۵، تغییرات الگوهای شکل بدن جمعیت‌ها بررسی شده است که با حرکت در جهت مثبت محور PC1، تغییراتی در موقعیت‌های مختلف بدن از جمله دهان، چشم، سرپوش، باله‌ها و ساقه دمی مشاهده می‌شود. این تغییرات شامل عقب رفتن دهان (لندمارک ۱)، تغییر در موقعیت ابتدای چشم (لندمارک ۲)، تغییر در موقعیت پایین سرپوش (لندمارک ۵)، جابه‌جایی باله‌های سینه‌ای (لندمارک ۶)، پشتی (لندمارک‌های ۷ و ۸)، شکمی (لندمارک ۹) و مخرجی (لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱)، افزایش ارتفاع بدن و تغییر در ساقه دمی (لندمارک‌های ۱۲ و ۱۳) است.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]



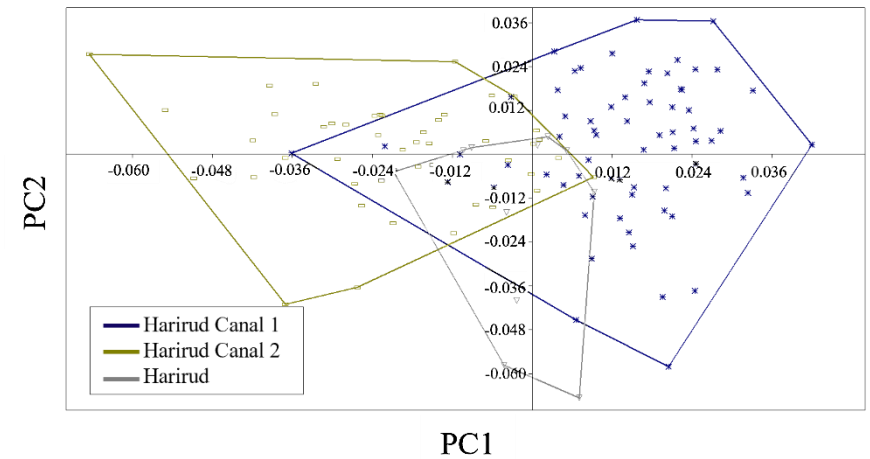
شکل ۳: نمودار ریگی تحلیل مولفه‌های اصلی و نمایش خط برش جولیف (خط قرمز رنگ) که نشان‌دهنده مرز مولفه‌های معنادار است.

Figure 3: Scree plot of principal components analysis and display of cut-off (red line).

جدول ۲: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه پنج مؤلفه اصلی اول تحلیل شکل بدن جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) درحوضه هریرود

Table 2: Variance values and eigenvalues of the first five main components of body shape analysis of *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud basin

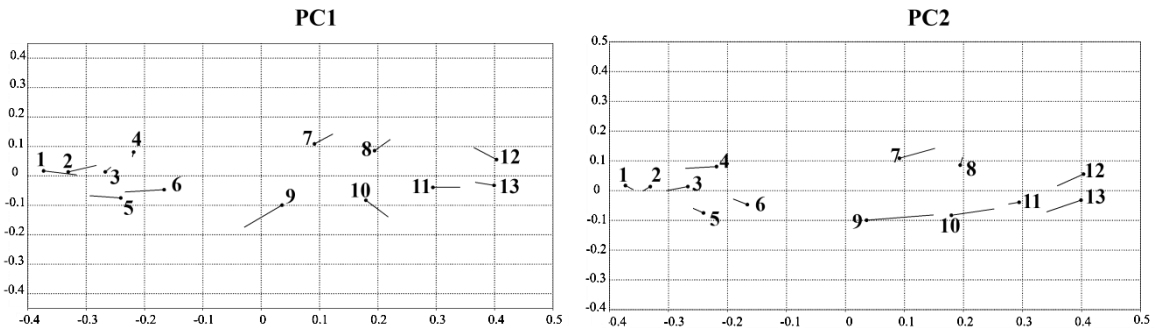
Components	Eigenvalue	Variance
1	0.000446	25.87
2	0.000330	19.17
3	0.000188	10.94
4	0.000173	10.09
5	0.000128	7.45
Total		73.52



شکل ۴: نمودار تجزیه به مولفه‌های اصلی بدن جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) حوضه هریرود

Figure 4: Principal component decomposition diagram of the body shape *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud basin

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

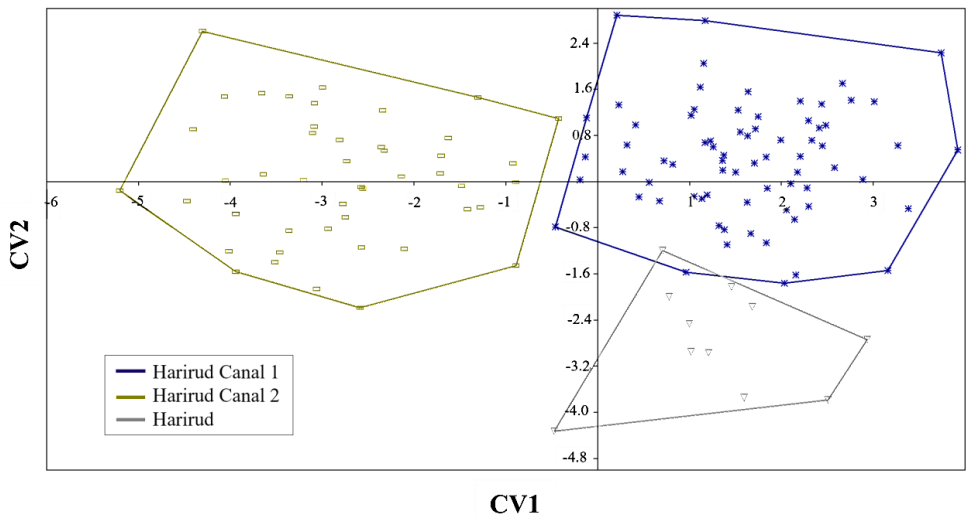


شکل ۵: تغییرات شکل بدن جمعیت‌های مرواریدماهی در حوضه هریرود در جهت هر یک از محورهای PC1 و PC2

Figure 5: Body shape changes of *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud basin in the direction of each of the PC1 and PC2 axes

به‌علاوه، با حرکت در جهت مثبت محور PC2، تغییرات مشابهی در موقعیت‌های مختلف بدن از جمله چشم، سر، باله‌ها و ساقه دمی مشاهده شد.

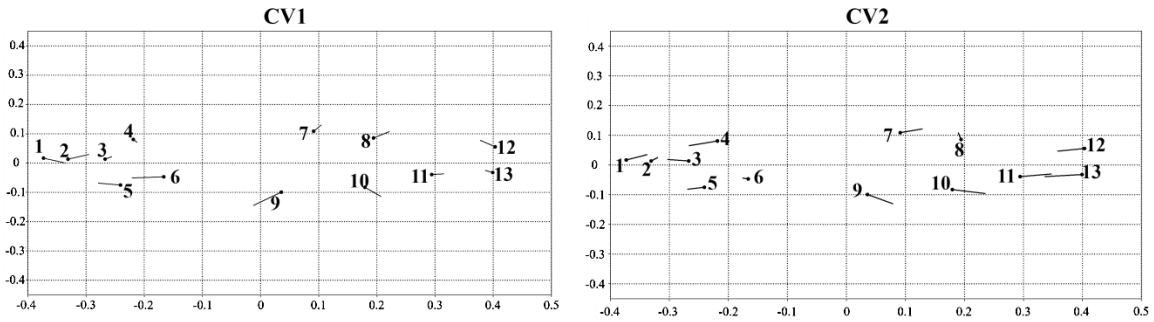
نتایج تحلیل همبستگی کانونی نیز تفاوت‌های معناداری را در میان شکل‌های بدن جمعیت‌ها نشان داد (شکل ۶). در این نمودار، جمعیت‌های سه رودخانه کانال‌هریرود ۱، کانال‌هریرود ۲ و هریرود به‌طور واضح از یکدیگر تفکیک شده و هیچ هم‌پوشانی بین آنها دیده نمی‌شود. با توجه به شکل ۷، با حرکت در جهت مثبت محور CV1، تغییرات عمده‌ای در موقعیت‌های دهان، چشم، سرپوش و باله‌ها مشاهده شد که شامل عقب رفتن دهان (لندمارک ۱)، تغییر در موقعیت ابتدای چشم (لندمارک ۲)، تغییر در موقعیت پایین سرپوش (لندمارک ۵) و باله‌ها (لندمارک‌های ۶، ۹، ۱۰ و ۱۱) است. همچنین تغییرات شکل در امتداد محور دوم متغیرهای کانونی (CV2) عمدتاً شامل جابه‌جایی نقاط آناتومیک کلیدی مانند: عقب‌نشینی دهان (لندمارک ۱)، تغییر موقعیت حدقه چشم (لندمارک ۲) و جابجایی نقاط اتصال باله‌های پشتی (لندمارک‌های ۸-۷) و دمی (لندمارک‌های ۱۳-۱۲) بود.



شکل ۶: نمودار تحلیل همبستگی کانونی شکل بدنی جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) حوضه هریرود

Figure 6: Canonical Variate Analysis diagram of body shape of *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud basin

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]



شکل ۷: تغییرات شکل بدنی جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) در حوضه هریرود در جهت هر یک از محورهای CV1 و CV2

Figure 7: Body shape changes of *Alburnus hohenackeri* populations in the Harirud basin in the direction of each of the CV1 and CV2 axes

نتایج تحلیل فاصله‌های ماهالانوبیس و پروکراست نشان‌دهنده تمایز قابل توجه بین جمعیت‌هاست. بیشترین فاصله ماهالانوبیس بین جمعیت‌های کانال‌هریرود ۲ و هریرود مشاهده شد درحالی‌که بیشترین فاصله پروکراست بین جمعیت‌های کانال‌هریرود ۱ و هریرود گزارش گردید (جداول ۳ و ۴).

جدول ۳: فواصل ماهالانوبیس شکل بدن حاصل از آزمون تحلیل متغیرهای کانونی در جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) حوضه هریرود

Table 3: Mahalanobis distances of body shape resulting from CVA analysis in populations of *Alburnus hohenackeri* from Harirud basin

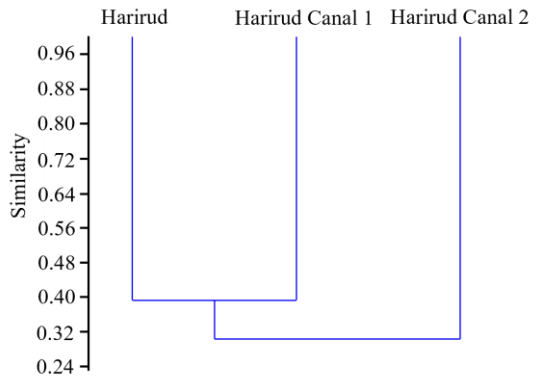
	Harirud Canal 1	Harirud Canal 2
Harirud Canal 2	19.719	
Harirud	10.902	25.834

جدول ۴: فواصل پروکراست شکل بدن حاصل از آزمون تحلیل متغیرهای کانونی در جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) حوضه هریرود

Table 4: Procrustes distances of body shape resulting from CVA analysis in populations of *Alburnus hohenackeri* from Harirud basin

	Harirud Canal 1	Harirud Canal 2
Harirud Canal 2	1.969	
Harirud	6.090	5.458

در نهایت، تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌ها با ضریب کوپرنیک ۰/۶۲۵۶ نشان داد که جمعیت کانال‌هریرود ۲ از سایر جمعیت‌ها تمایز بالایی دارد و به طور مشخص از سایر جمعیت‌ها جدا شده است (شکل ۸). بر اساس نتایج تحلیل خوشه‌ای (بر اساس میانگین هر جمعیت است.)، جمعیت کانال هریرود ۲ در یک شاخه جداگانه قرار گرفته است و بیشترین تمایز را نسبت به سایر جمعیت‌ها نشان می‌دهد. در ضمن، باید اشاره کرد که جفت جمعیت‌های کانال هریرود ۱ و هریرود جمعیت‌های خواهری هستند که دارای کمترین فاصله با یکدیگر هستند.



شکل ۸: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های مرواریدماهی (*Alburnus hohenackeri*) حوضه هریرود

Figure 8: Cluster analysis of body shape for *Alburnus hohenackeri* populations in Harirud basins

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

بحث

جمعیت‌های ماهیان در شرایط محیطی مختلف، شکل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Mouludi-Saleh *et al.*, 2020). ویژگی‌های ریختی ماهیان تحت تأثیر شاخص‌های محیطی (رقابت، میزان دسترسی به منابع غذایی، جریان آب، نوع بستر و پوشش گیاهی)، قرار دارد. بسیاری از ماهیان طی روند تکامل، جمعیت‌هایی را با ویژگی‌های ریختی متفاوتی کسب می‌کنند و از آن‌جایی‌که بین جمعیت‌های مرواریدماهی مورد مطالعه از لحاظ ریختی تفاوت معنی‌داری یافت شد، درک دلایل این تفاوت‌ها اهمیت بالایی خواهد داشت (Dastanpoor *et al.*,2021).

در مطالعه حاضر، تمایز بین جمعیت‌های مرواریدماهی در سه رودخانه در حوضه هریرود با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی کاملاً آشکار شد. جمعیت‌ها با روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با یکدیگر همپوشانی داشتند و اختلاف معنی‌داری بین آنها دیده نشد و این روش نتوانست جمعیت‌ها را از هم تفکیک کند، زیرا ویژگی آنها به‌هم نزدیک بوده است. تفاوت در الگوی جدایش جمعیت‌ها در روش‌های PCA و CVA به دلیل ماهیت آماری متفاوت این دو روش است درحالی‌که تمایز ریختی جمعیت‌ها می‌تواند تحت تأثیر عوامل محیطی قرار گیرد. اما در تحلیل متغیرهای کانونی جمعیت‌ها تقریباً با هم هیچ‌گونه همپوشانی نداشتند و با این روش جمعیت‌ها از یکدیگر تفکیک شدند که بیانگر تمایز ریختی وابسته به فاصله جغرافیایی، سازگاری به ویژگی‌های زیستگاه آنها و حتی تعلق احتمالی آنها به آرایه‌های متفاوت است (Langerhans *et al.*, 2003). همچنین در آنالیز خوشه‌ای، صفات ریختی حوضه هریرود، جمعیت رودخانه کانال هریرود ۲ به‌تنهایی در یک گروه قرار گرفتند و از سایر جمعیت‌ها جدا شده بودند و از آن‌جایی‌که جمعیت‌های رودخانه کانال هریرود ۱ و هریرود که به دلیل شباهت‌های شکل بدنی در یک گروه قرار می‌گیرند، بیانگر رابطه فاصله جغرافیایی و شکل بدن یا به عبارت دیگر، رابطه ژنتیکی نزدیک‌تر آنهاست (Mohadasi *et al.*, 2013). جداشدن جمعیت رودخانه کانال هریرود ۲ از سایر رودخانه‌های حوضه هریرود می‌تواند به ویژگی‌های رژیم غذایی مرتبط باشد. شکل بدن می‌تواند در موفقیت در تغذیه و اجتناب از شکارچی مؤثر باشد (Andersson *et al.*, 2006). از این‌رو، تفاوت در شکل بدن احتمالاً مربوط به رفتار و نوع تغذیه است. بر اساس مطالعات پیشین، تفاوت در شدت جریان آب می‌تواند بر ویژگی‌های هیدرودینامیک بدن ماهی اثر بگذارد و منجر به تغییراتی در عمق بدن یا شکل ساقه دمی شود. (Langerhans *et al.*, 2003) همچنین تغییرات در دمای آب می‌توانند بر نرخ رشد و نسبت ابعاد بدنی اثر بگذارند (Imre *et al.*, 2002) و تفاوت در رژیم غذایی می‌تواند موجب تغییرات در شکل سر، موقعیت دهان و اندازه چشم شود (Andersson *et al.*, 2006).

در مطالعات مختلف، تفاوت‌های تغذیه‌ای و محیطی به عنوان عامل اصلی در تفکیک جمعیت‌ها بیان شده است (Abbasi *et al.*, 2023). تغییرات در اندازه و ریخت سر جمعیت‌های مرواریدماهی می‌تواند در نتیجه عمل جستجوی غذا باشد که بر راندمان جستجوی غذا و موفقیت آن تأثیرگذار است. همچنین موقعیت و شکل باله دمی با موقعیت ماهی در ستون آبی در ارتباط است و می‌توان تغییرات مورد مشاهده در موقعیت باله سینه‌ای، جمعیت‌های مورد مطالعه را به تفاوت در الگوی شنای آنها نسبت داد (Langerhans *et al.*, 2003). عمق بدن بیشتر در نواحی با جریان کم و پوشش گیاهی حاشیه‌ای کارآمد است. از این‌رو، شکل بدنی مورد مشاهده در این جمعیت‌ها احتمالاً به منظور افزایش قابلیت مانور سریع به‌ویژه برای یافتن غذا در محل‌هایی با شدت جریان کم و پوشش گیاهی حاشیه‌ای است. از آن‌جایی که نمونه‌ها از مجموعه‌های موزه‌ای دریافت شدند و نگارندگان نمونه‌برداری مستقیم را انجام ندادند، اطلاعات کمی و دقیق درباره شدت جریان آب یا پوشش گیاهی هر منطقه در دسترس نبوده است. با این‌حال، با توجه به موقعیت جغرافیایی رودخانه‌ها (طبق داده‌های جدول ۱ و شکل ۱) و استناد به مطالعات محیط‌زیستی انجام‌شده در این ناحیه در پژوهش‌های پیشین، می‌توان فرض کرد که شرایط هیدرودینامیک و پوشش گیاهی در این مناطق دارای تفاوت‌هایی بوده‌اند (Loodin and Warner, 2022). این تفاوت‌های بالقوه می‌توانند از دلایل شکل‌گیری تفاوت‌های ریختی مورد مشاهده بین جمعیت‌ها باشند. در مطالعات آتی، پیشنهاد می‌شود که داده‌های محیطی دقیق‌تری ثبت و

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

تحلیل گردد. این موضوع در بخش محدودیت‌ها توضیح داده شده است.

همچنین عمق بدن بیشتر، می‌تواند روشی برای مقابله با شکار شدن باشد که در این حالت به واسطه عمق بدن نسبت به دهان و دستگاه گوارش شکارچیان صورت می‌گیرد. اگرچه اطلاعات میدانی مستقیمی درباره گونه‌های شکارچی در هر منطقه در دسترس نیست، اما بر اساس مطالعه‌ای در مورد حوضه رودخانه هریرود شامل اکوسیستم‌های متنوعی (تالاب‌ها، جنگل‌های ساحلی و نواحی بیابانی)، است که نقش مهمی در حمایت از گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری دارند (Mohammadi and Çelekli, 2023). همچنین مطالعه حاضر به‌وضوح اشاره می‌کند که تنوع زیستی منطقه در سال‌های اخیر به علت خشکسالی، جنگ و بهره‌برداری بیش از حد کاهش یافته است، اما همچنان گونه‌های مختلف ماهی (*Rhinogobius similis* و *Cyprinion heratensis*)، در این حوضه حضور دارند که احتمال وجود زنجیره‌های غذایی فعال و شکارگر طعمه را تأیید می‌کند.

بنابراین، با توجه به تفاوت‌های ساختاری و زیستگاهی در بخش‌های مختلف حوضه (جریان، پوشش گیاهی، و کاربری اراضی)، تفاوت در ترکیب شکارچیان احتمالی بین مناطق سه‌گانه را می‌توان منطقی و قابل استناد دانست. بررسی مستقیم این موضوع در مطالعات آینده می‌تواند به درک بهتر ارتباط میان فشار شکار و تفاوت‌های ریختی کمک کند.

به‌علاوه، پژوهشی نیز بر مرواریدماهی انجام شده است که می‌تواند در مقایسه و تبیین نتایج مطالعه حاضر مفید باشد. برای مثال، Gholami و Keyvani (۲۰۲۴) به مقایسه ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های مرواریدماهی قفقاز (*Alburnus hohenackeri*) در حوضه سیستان با روش ریخت‌سنجی هندسی پرداختند. تحلیل‌های آماری نشان داد که تفاوت‌های معنی‌داری در ریخت‌شناسی میان جمعیت‌های مختلف وجود دارد به‌ویژه در ناحیه سیستان از پاشنه که این تفاوت‌ها به‌وضوح مشاهده می‌شود. این امر احتمالاً به دلیل انزوای جغرافیایی و تفاوت در شرایط زیستگاه‌های مختلف است که تأثیر قابل‌توجهی بر ریخت‌شناسی جمعیت‌ها دارد.

در مطالعه‌ای بر ماهیان سفید (*Rutilus kutum*) در سواحل جنوبی دریای خزر، از روش ریخت‌سنجی هندسی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای با پشتیبانی دو جمعیت ماهی سفید کیاشهر و بندر ترکمن را در یک گروه جدا از سایر جمعیت‌ها قرار داد. با توجه به این‌که جمعیت‌های ماهی سفید کیاشهر و بندر ترکمن از نظر شکلی در یک گروه قرار گرفتند و با توجه به فاصله جغرافیایی نسبتاً بالای این دو جمعیت، شباهت مورد مشاهده بین آنها را می‌توان حاصل انعطاف‌پذیری ریختی در پاسخ به شرایط محیطی مشابه دانست. نتایج این مطالعه قابلیت انعطاف‌پذیری ریختی بالایی را برای این ماهی نشان داد (Ghojoghi *et al.*, 2018) که می‌تواند دلیل مشاهده شباهت‌هایی در رودخانه هریرود و کانال هریرود ۱ باشد.

تفاوت‌هایی که در نواحی باله‌های پشتی و مخرجی و ساقه دمی مشاهده می‌شود به عنوان تفاوت‌های ریختی مرتبط با حرکت در نظر گرفته می‌شود. تفاوت‌های مربوط به ارتفاع بدن و ابعاد سر هم می‌توانند به عنوان سازگاری‌های مربوط به شرایط هیدرودینامیک یا تغذیه‌ای قلمداد شوند (Sun *et al.*, 2023) که می‌تواند دلیلی برای نتایج مطالعه حاضر باشد.

تفاوت‌های ریخت‌شناسی در ماهی‌های حوضه هریرود نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای مثال، مطالعه‌ای بر جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) در حوضه‌های کویر و هریرود انجام شده است (Banimasani *et al.*, 2019). در این مطالعه با استفاده از روش‌های ریخت‌سنجی هندسی تفاوت بین جمعیت‌های مورد بررسی به‌وضوح آشکار شد که بیانگر تمایز ریختی وابسته به فاصله جغرافیایی و سازگاری به ویژگی‌های زیستگاه گونه‌هاست. همچنین در مطالعه‌ای دیگر که بر جمعیت‌های شیرماهی در دو حوضه هریرود و دشت‌کویر انجام شده، تفاوت‌های ریختی به‌وضوح قابل مشاهده است (Mouludi-Saleh *et al.*, 2020). طبق نتایج حاصله، میان جمعیت‌های مورد بررسی، تفاوت‌های معناداری در شکل بدن مشاهده شد. عمده این تفاوت‌ها به موقعیت پوزه، عمق بدن، عمق سر و طول ساقه دمی مربوط می‌شود. به‌نظر می‌رسد، این تغییرات ناشی از سازگاری با ویژگی‌های محیطی زیستگاه آنها باشد.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

در نهایت، یافته‌های مطالعه حاضر، نشان‌دهنده پیچیدگی تنوع شکل بدن در جمعیت‌های مورد بررسی و تأثیرات متقابل عوامل زیست‌محیطی بر این ویژگی‌ها هستند. تحقیقات آینده باید بیشتر به بررسی عواملی بپردازند که بر این تنوع تأثیر می‌گذارند تا بتوانند درک بهتری از سازوکارهای شکل‌گیری تنوع در این جمعیت‌ها به‌دست آورند.

یکی از محدودیت‌های اصلی مطالعه حاضر، استفاده از نمونه‌های موجود در مجموعه مرجع موزه ماهی‌شناسی بود که اطلاعات جزئی درباره فصل نمونه‌برداری، شدت جریان، دمای آب و برخی شاخص‌های محیطی در زمان برداشت در دسترس نبود. همچنین مطالعه حاضر تنها بر ویژگی‌های ریختی تمرکز داشت و داده‌های ژنتیکی برای بررسی ارتباط بین تمایز مورفولوژیک و ساختار ژنتیکی جمعیت‌ها گردآوری نشد. به‌علاوه، حجم نمونه هر ایستگاه محدود به تعداد موجود در مجموعه موزه بود و امکان افزایش آن وجود نداشت. این محدودیت‌ها باید در تفسیر نتایج مد نظر قرار گیرند و پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آتی با ترکیب داده‌های محیطی و ژنتیکی و حجم نمونه بالاتر، انجام گیرند تا درک دقیق‌تری از علل تغییرات ریختی فراهم شود.

منابع

Abbasi, K., Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Bagheri, S., Sarpanah, A. and Pourgholami-Moghaddam, A., 2023. Investigation of morphological changes in Golden Mullet, *Chelon auratus* (Risso, 1810) from the Southern Caspian Sea Basin using the geometric morphometric yechnique. *Taxonomy and Biosystematics*, 15(55):1-18. DOI:10.22108/tbj.2022.134542.1209 (In Persian)

Andersson, J., Johansson, F. and Söderlund, T., 2006. Interactions between predator- and diet-induced phenotypic changes in body shape of crucian carp. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1585):431–437. DOI:10.1098/rspb.2005.3343

Banimasani, M., Keivany, Y. and Ebrahimi, E., 2019. Comparative geometric morphometric study of *Capoeta fusca* populations in Kavir and Harirud basins. *Experimental Animal Biology*, 7(4):107-115. (in Persian)

Cavalcanti, M.J., Monteiro, L.R., and Lopes, P.R., 1999. Landmark-based morphometric analysis in selected species of serranid fishes (*Perciformes*: *Teleostei*). *Zoological Studies-Taipei*, 38(3):287-294.

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*, 73:115-123. DOI:10.1007/s10641-006-9081-9

Dastanpoor, N., Eagderi, S., Farahmand, H. and Mousavi-Sabet, H., 2021. Morphological variations and diagnostic characteristics of *Chondrostoma regium* populations in Iranian inland waters. *Taxonomy and Biosystematics*, 13(46):79-92. DOI:10.22108/tbj.2021.127110.1149 (In Persian)

Gammanpila, M., Amarasinghe, U. and Wijeyaratne, M., 2017. Morphological correlates with diet of fish assemblages in brush park fisheries of tropical estuaries. *Environmental Biology of Fishes*, 100(10):1285–1299. DOI:10.1007/s10641-017-0642-x

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

Ghojoghi, F., Eagderi, S. and Nasri, M., 2018. Body shape comparison of Kutum fish *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) from southern Caspian Sea using Geometric Morphometric methods. *Journal of Aquaculture Development*, 12(1):63-73. (In Persian)

Gholami, S. and Keyvani, Y., 2024. Geometric morphometric comparison of northern Caucasian bleak populations (*Alburnus hohenackeri*) in the Caspian Basin. *Taxonomy and Biosystematics*, 16(59):41-56. DOI:10.22108/tbj.2024.141024.1260 (In Persian)

Gholami, S., Keyvani, Y. and Jafari-Patkan, A., 2024. Comparing the diversity of northern Caucasian bleak (*Alburnus hohenackeri*) in Sistan basin. *Journal of Fisheries* (In Persian)

Imre, I., McLaughlin, R.L. and Noakes, D.L.G., 2002. Phenotypic plasticity in brook charr: changes in morphology with water velocity. *Journal of Fish Biology*, 61(5):1171–1181.

Keivany, Y., Mousavi, S.M.A., Dorafshan, S. and Zamani-Faradonbe, M., 2016. Morphological diversity of *Alburnus mossulensis* (Heckel, 1843) populations in Karun River basin. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 4(1):87-104. (In Persian)

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

Loodin, N. and Warner, J., 2022. A review of hydro-hegemonic dynamics on the transboundary Harirud River Basin: 2001–present. *Water*, 14(21):3442.

Mohadasi, M., Shabanipour, N. and Eagderi, S., 2013. Habitat-associated morphological divergence in four Shemaya, *Alburnus chal*coides (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in the southern Caspian Sea using geometric morphometrics analysis. *International Journal of Aquatic Biology*, 1(2):82-92. DOI:10.22034/ijab.v1i2.30 (In Persian)

Mohammadi, M. and Çelekli, A., 2023. A review of Hari Rud River Basin in Afghanistan. *Afghan Journal of Science,* 1(2):21-33.

Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Latif-Nejad, S. and Nasri, M., 2020. The morphological study of *Transcaspian marinka* (Schizothorax pelzami) in Harirud and Dasht-e Kavir basins using the geometric morphometric technique. *Nova Biologica Reperta*, 7(2):185-191. (In Persian)

Nacua, S., Torres, M. and Demayo, C., 2010. Landmark-based geometric morphometrics in visualizing body shape dimorphism in the endemic cyprinid, *Puntius tumba* (Herre, 1924), from Lake Lanao, Philippines. *International Conference on Environmental Engineering and Applications*, 10-12 September 2010, Singapore, Singapore. pp 86-90. DOI:10.1109/ICEEA.2010.5596096.

Naderi, B. and Abdoli, A., 2004. Atlas of Inland Water Fishes of Iran. Iranian Fisheries

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

Science Research Institute. 80 P. (In Persian)

Park, P.J., Aguirre, W.E., Spikes, D.A. and Miyazaki, J.M., 2013. Landmark-based geometric morphometrics: What fish shapes can tell us about fish evolution. *Proceedings of the Association for Biology Laboratory Education*, 34:361-371.

Razavipoor, P., Eagderi, S., Poorbagher, H., Javanshir, A. and Keivany, Y., 2014. Comparative study of morphological characteristics of Tuini fish (*Capoeta damascina*) in inland water of Iran using geometric morphometric method. *Journal of Fisheries*, 68(1):79-90. DOI:10.22059/jfisheries.2015.53873. (In Persian)

Su, G., Villeger, S. and Brosse, S., 2019. Morphological diversity of freshwater fishes differs between realms, but morphologically extreme species are widespread. *Global Ecology and Biogeography*, 28(2):211-221. DOI:10.1111/geb.12843.

Sun, L., Liao, L., Chen, M., Li, J. and An, R., 2023. Relation between fish morphological differentiation and pressure drag difference. *Ecological Indicators*, 156:111071

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]