

Paper Type: Original Article



Comparison of Traditional Morphological Methods and Geometric Morphometric Method for species of *Acanthopagrus* Peters, 1855 (Perciformes: Sparidae) in Persian Gulf and Gulf of Oman

Bita Dehghani¹, Faeze Yazdani Moghaddam^{1,2,*}, Mastoore Doustdar³, Seyyed Ahmadreza Hashemi⁴, Ehsan Damadi¹

¹ MSc Student, Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; bita_dh76@outlook.com.

² Assistant Professor, Department of Animal Biological Innovation, Applied Zoology Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Iran; (**Corresponding author**: yazdani@um.ac.ir).

³ PhD, National Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran; mastooreh.doustdar@gmail.com.

⁴ Assistant Professor, Far Water Fisheries Research Center, National Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Chabahar, Iran; seyedahmad91@gmail.com.

Citation:

Dehghani, B., Yazdani Moghaddam, F., Doustdar, M., Hashemi, S. A., & Damadi, E. (2023). Comparison of traditional morphological methods and geometric morphometric method for species of *Acanthopagrus* peters, 1855 (perciformes: sparidae) in Persian Gulf and Gulf of Oman. *The quarterly scientific journal of applied biology*, 36 (3), 49-59.

Received: 16/04/2023

Accepted: 12/06/2023

Abstract

Introduction: The study of fish in aquatic ecosystems is important from many aspects, including ecology, behavior, protection, and management of water resources, exploitation of reserves, and their cultivation the genus *Acanthopagrus* includes species with high economic importance and many challenges in their classification. The reason for this is the morphological similarity between a large number of their species.

Methods: The purpose of this study is to investigate the morphological diversity of 5 species of *Acanthopagrus* fishes using traditional morphometry, truss system and geometric morphometry in the Gulf of Oman and the Persian Gulf. In the present study, in traditional morphometry 17 morphometric and 10 meristic characteristics were examined. In the geometric method, 17 landmarks were placed on the images, and then morphological differences between species were subjected to Principal Component Analysis (PCA) and Canonical Variate Analysis (CVA).

Results: In the traditional approach, morphometric characteristics show the separation of *A. arabicus* species from two species, *A. bifasciatus* and *A. catenula*, meristic characteristics performed much better than quantitative characteristics and separated most of the species from each other. The number of lateral line scales and the number of scales above the lateral line showed the greatest role in the separation of the members of this genus. Also, the truss approach separated *A. catenula* and *A. bifasciatus* species from other species.

Conclusion: The geometric method shows the ability of separation of two species, *A. arabicus* and *A. sheim*.

Keywords: Traditional morphometrics, Geometric morphometric, Truss system, Persian Gulf and Gulf of Oman.



Corresponding Author: yazdani@um.ac.ir



<https://doi.org/10.22051/jab.2023.43467.1562>



مقایسه روش‌های ریخت‌شناسی سنتی و ریخت‌سنجی هندسی در گونه‌های جنس *Acanthopagrus* Peters, 1855 (Perciformes: Sparidae) در خلیج فارس و خلیج عمان

بیبا دهقانی^۱، فائزه یزدانی مقدم^{۱،۲}، مسطوره دوستدار^۳، سید احمدرضا هاشمی^۴، احسان دامادی^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
^۲ استادیار، گروه نوآوری زیستی جانوری، مرکز پژوهشی جانورشناسی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
^۳ دکترا، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
^۴ استادیار، مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران.

نویسنده مسئول: yazdani@um.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

چکیده

مقدمه: مطالعه ماهیان در بوم‌سازگان‌های آبی از بسیاری جهات از جمله بوم‌شناسی، رفتارشناسی، حفاظت و مدیریت منابع آبی و بهره‌برداری از ذخایر و پرورش آن‌ها حایز اهمیت است. جنس *Acanthopagrus* شامل گونه‌هایی با اهمیت اقتصادی بالا است و چالش‌های بسیاری در رده‌بندی آن‌ها وجود دارد که دلیل آن، شباهت ریخت‌شناسی بسیار زیاد بین تعداد زیادی از گونه‌های این جنس می‌باشد.

روش‌ها: هدف این مطالعه بررسی تنوع ریخت‌شناسی ۵ گونه از ماهیان جنس *Acanthopagrus* با استفاده از ریخت‌سنجی سنتی، سیستم شبکه‌ای تراس و ریخت‌سنجی هندسی در خلیج عمان و خلیج فارس است. در مطالعه حاضر، در ریخت‌سنجی سنتی ۱۷ صفت اندازه‌گیری و ۱۰ صفت شمارشی اندازه‌گیری شد. در روش هندسی ۱۷ نقطه لندمارک روی تصاویر قرار داده شد، سپس اختلافات ریختی بین گونه‌ها با آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) و آنالیز متغیر کانونی (CVA) بررسی شد.

یافته‌ها: در رویکرد سنتی، با استفاده از صفات اندازه‌گیری جدایی گونه‌ی *A. arabicus* از دو گونه‌ی *A. bifasciatus* و *A. catenula* امکان‌پذیر می‌باشد. صفات شمارشی نسبت به صفات اندازه‌گیری برای جداسازی گونه‌ها از هم مناسب‌تر بوده و اکثر گونه‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند. دو صفت تعداد فلس‌های روی خط جانبی و بالای خط جانبی بیشترین نقش را در جداسازی اعضای این جنس دارند. هم‌چنین رویکرد شبکه‌ای تراس، گونه‌های *A. bifasciatus* و *A. catenula* را از سایر گونه‌ها جدا کرد.

نتیجه‌گیری: در روش هندسی جدایی دو گونه‌ی *A. arabicus* و *A. sheim* از یکدیگر امکان‌پذیر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ریخت‌سنجی سنتی، ریخت‌سنجی هندسی، سیستم شبکه تراس، خلیج فارس و خلیج عمان.

۱- مقدمه

مطالعات آرایه‌شناسی یک بخش ضروری از بوم‌شناسی و حفاظت گونه محسوب می‌شود [1]. خانواده شانک ماهیان Sparidae Rafinesque, 1818 به‌ندرت در آب‌های شیرین یافت می‌شوند، عموماً کفزی هستند و در آب‌های کم عمق معتدل و گرمسیری اقیانوس اطلس، هند و اقیانوس آرام حضور دارند [2]. از این خانواده حدود ۳۹ جنس و ۱۶۵ گونه گزارش شده است [3]. از لحاظ ظاهری دارای بدنی عمیق و فشرده هستند. رنگ بدن

خاکستری کم‌رنگ متمایل به سفید، باله‌های لگنی و مخروطی متمایل به سفید با هاله زردرنگ و باله دم‌ی زرد روشن با حاشیه سیاه می‌باشد. سرپوش آبششی دارای یک خار کوتاه بوده و بالای آن یک لکه تیره وجود دارد. اندازه‌ی طول کل بدن آن‌ها از ۲۰ سانتی‌متر تا ۱۲۰ سانتی‌متر متغیر است [2]، [4]. جنس *Acanthopagrus Peters, 1855* با ۲۰ گونه از متنوع‌ترین جنس‌های این خانواده می‌باشد که با ۴۳ تا ۵۰ فلس شانه‌ای بر روی خط جانبی، وجود کمتر از ۵ فلس بین خط جانبی و چهارمین شعاع سخت باله پشتی، باله پشتی با ۳ شعاع سخت و ۸ تا ۹ شعاع نرم، باله‌ی مخروطی با شعاع سخت دوم طولی‌تر و ضخیم‌تر از شعاع سخت سوم، با دندان‌های آسیا در فضای درونی دهان و دندان‌های نیش بلند در جلوی دهان از سایر جنس‌های این خانواده مجزا می‌شود [5]. گونه‌های این جنس به‌طور گسترده در مصب‌ها و رودخانه‌های ساحلی خلیج‌فارس و تنگه هرمز از جمله اروندرود در مرز ایران و عراق در خوزستان یافت شده است [6]. تاکنون ۷ گونه از این جنس شامل *Acanthopagrus sheim* (شانک زرد باله منقوط) [6]، *Acanthopagrus arabicus* (شانک زرد باله عربی) [6]، *Acanthopagrus bifasciatus* (Forsskål, 1775) (شانک دو نواری)، *Acanthopagrus berda* (Fabricius, 1775) (شانک سیاه)، *Acanthopagrus randalli* (شانک خاورمیانه‌ای) [4]، (Lacepède, 1801) *Acanthopagrus omanensis* و *Acanthopagrus catenula* [7] در آب‌های خلیج‌فارس و خلیج عمان گزارش شده است [3].

ریخت‌شناسی یکی از ابزارهای کارآمدی است که در مطالعه و شناسایی جمعیت‌ها و گونه‌های ماهی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد [8]. شکل بدن یک موجود زنده می‌تواند نشان‌دهنده سازگاری‌های محیطی و هم‌چنین انعکاس‌دهنده تغییرات ژنتیکی جاندار باشد [9]. هم‌چنین، ریخت بدن به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های مهمی مانند کارایی تغذیه، تولیدمثل و بقا تاثیر می‌گذارد [10].

تکنیک‌های مختلفی برای ریخت‌سنجی وجود دارد که به‌طورکلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته سنتی و هندسی تقسیم نمود. در ریخت‌سنجی سنتی از تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره آماری برای متغیرهای کمی مانند طول، عرض و ارتفاع استفاده می‌شود [11]. از دیگر روش‌های ریخت‌سنجی، ریخت‌سنجی بر اساس شبکه ترانس است که کاربردهای زیادی از جمله ریخت‌شناسی، رشدشناسی، شناسایی ذخایر و تفکیک گونه‌ها دارد [12]. این سیستم بر پایه لندمارک است که نقاط موقعیت (مختصات ۲ یا ۳ بعدی) روی نمونه هستند [9] و متغیرها فاصله‌های خطی بین دو لندمارک روی بدن می‌باشند که ترانس نامیده می‌شوند [13].

ریخت‌سنجی هندسی رویکردی جدید و دقیق می‌باشد که برای تجزیه و تحلیل آماری شکل بدن ارایه شده است. این رویکرد شامل یک سری روش‌های ریخت‌سنجی می‌باشد که کلیه داده‌ها نظم و ترتیب فضایی را در طی یک آنالیز حفظ می‌کنند. این روش اجازه مجسم کردن گروه‌ها و اختلافات فردی، تنوع نمونه‌ها و سایر نتایج در فضای اولیه نمونه‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد [14].

به دلیل تنوع بالا در خانواده شانک ماهیان و جنس *Acanthopagrus* و هم‌چنین وجود شباهت‌های زیاد بین گونه‌های این خانواده، مطالعه ریخت‌شناسی با استفاده از روش سنتی، سیستم شبکه‌ای ترانس و هندسی برای شناسایی ۵ گونه از ماهیان جنس *Acanthopagrus* در خلیج‌فارس و خلیج عمان انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

در کل در این مطالعه تعداد ۵۵ نمونه متعلق به پنج گونه از نه ایستگاه مختلف در خلیج عمان و خلیج‌فارس جمع‌آوری شد (شکل ۱). نمونه‌ها در جعبه‌های حاوی یخ به صورت منجمد شده برای انجام مطالعات دقیق‌تر به آزمایشگاه منتقل و سپس بر اساس کلیدشناسی موجود شناسایی شدند [15]. برای استخراج داده‌های شکل بدن در مطالعات ریخت‌شناسی، از نیم‌رخ چپ نمونه‌ها تصاویر دیجیتال دو بعدی تهیه شد. جهت عکس‌برداری از نمونه‌ها در آزمایشگاه نکاتی مانند نور، فاصله دوربین تا نمونه، نوع دوربین، بزرگ‌نمایی و قرار دادن یک مقیاس طول مانند یک خط‌کش در کنار نمونه مورد توجه قرار گرفت.

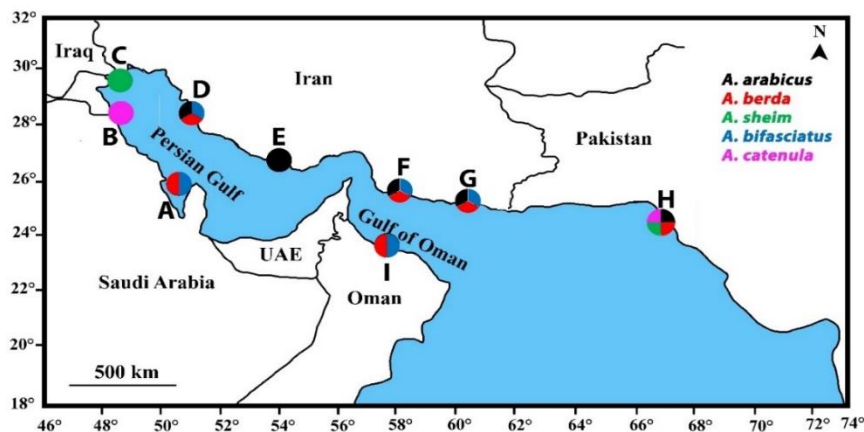
۲-۱- ریخت‌سنجی سنتی

برای مطالعه صفات ریخت‌سنجی در نمونه‌های جمع‌آوری شده از جنس *Acanthopagrus* ۱۷ صفت اندازه‌شی با استفاده از نرم‌افزار Version Image J 1.57 اندازه‌گیری شد و ۱۰ صفت شمارشی برای انجام تحلیل‌های آماری استفاده شد (جدول ۱). داده‌های اندازه‌شی و شمارشی ریختی با استفاده از نرم‌افزار PAST Version 4.03 آنالیز شدند [16]. در ابتدا دوریختی جنسی و تاثیر آن بر صفات مورد مطالعه توسط آنالیز MANOVA

بررسی شد. برای حذف اثر اندازه در ریخت‌سنجی سنتی، از نسبت صفات به طول استاندارد استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با تست Shapiro-Wilk مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آماره‌های توصیفی شامل میانگین و انحراف برای مشخص کردن تفاوت‌های معنادار متغیرها بین گروه‌ها انجام شد. در تمام آزمون‌ها سطح معناداری $p < 0.05$ در نظر گرفته شد. تحلیل‌های چندمتغیره شامل آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل متغیر کانونی (CVA) برای تایید جدایی جمعیت‌ها و گونه‌ها انجام شد [11]. برای انجام آنالیزهای ذکر شده از نرم‌افزارهای PAST Version 4.03 و SPSS استفاده شد [16]، [17].

۲-۲- سیستم شبکه‌ای ترانس

در مطالعه ریخت‌شناسی به روش سیستم شبکه‌ای ترانس، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار tpsUtil Version 1.76 [18] از تصاویر دیجیتالی، فایل tps تهیه و سپس روی تصاویر نمونه‌ها با نرم‌افزار tpsDig2 Version 2.31 [19]، ۱۷ نقطه لندمارک گذاشته شد (شکل ۲ [20]). ۱۵۳ فاصله ترانس بین ۱۷ نقطه لندمارک بر اساس فاصله اقلیدسی در نرم‌افزار PAST Version 1.98 اندازه‌گیری شد [16].



شکل ۱- پراکنندگی جغرافیایی گونه‌های مورد مطالعه جنس *Acanthopagrus*: A- المالکیه بحرین، B- دوحه کویت، C- جزیره بوبیان عراق، D- بوشهر، E- بندرلنگه، F- جاسک، G- چابهار، H- کراچی پاکستان و I- بندر جیسه عمان.

Figure 1- Geographical distribution of the studied species of *Acanthopagrus* genus: A- Bahrain, B- Doha Kuwait, C- Bobian Island Iraq, D- Bushehr, E- Bandar Lengeh, F- Jask, G- Chabahar, H- Karachi Pakistan, I- Bandar Jissah Oman.

با توجه به این که صفات اندازه‌های ماهی برخلاف صفات شمارشی در دوران زندگی ثابت نمی‌باشد و وابسته به اندازه بدن است [12]؛ بنابراین، در مطالعات ریخت‌سنجی ماهیان اثر اختلاف اندازه حذف می‌شود، زیرا اختلاف بین گروه‌ها نباید به دلیل اختلاف در اندازه نسبی آن‌ها باشد بلکه اختلاف در شکل بدن اهمیت دارد [13]. برای حذف اثر اندازه، آنالیز پروکراست^۱ انجام شد. برای تعیین اختلاف بین گونه‌های مورد مطالعه در هر یک از صفات از آنالیز واریانس یک‌طرفه^۲ استفاده شد. تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و هم‌چنین تحلیل متغیر کانونی (CVA) برای فاصله‌ها به منظور بررسی تمایز گونه‌ها با نرم‌افزار PAST Version 4.03 انجام شد [21].

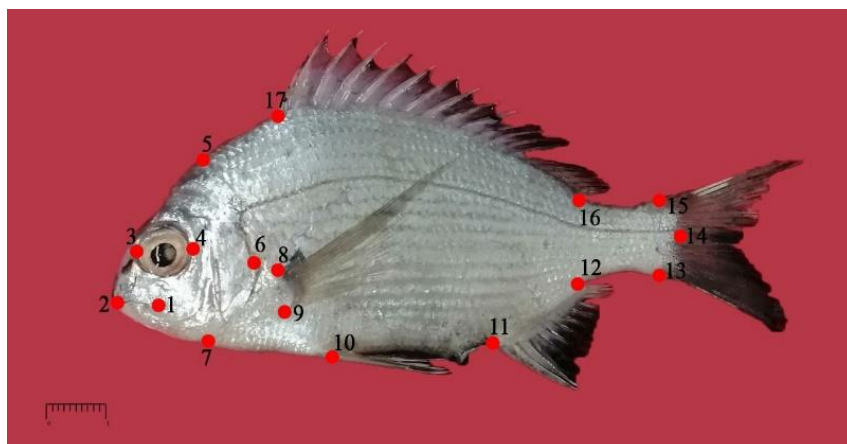
۲-۳- ریخت‌سنجی هندسی

در این مطالعه از رویکرد هندسی، برای آنالیزهای تکمیلی استفاده شد. برای استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، ۱۷ نقطه لندمارک بر روی تصاویر دوبعدی تعریف و با استفاده از نرم‌افزار tpsUtil Version 1.76 از تصاویر دیجیتالی [18]، فایل tps تهیه و لندمارک‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 Version 2.31 رقمی شدند (شکل ۲ [19]). داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست به منظور حذف اثر اندازه،

¹ Generalized Procrustes Analysis (GPA)

² One-Way-ANOVA

با استفاده از آنالیزهای تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و متغیر کانونی (CVA) مورد تحلیل قرار گرفتند. همه تحلیل‌های آماری و نمودارهای مربوط به ریخت‌سنجی هندسی توسط نرم‌افزار MorphoJ Version 1.07 انجام شد [22].



شکل ۲- مکان‌های نشانه‌گذاری مورد استفاده در مطالعه شبکه‌ای ترانس روی گونه *A. berda*: ۱- گوشه دهان، ۲- نوک دهان، ۳- لبه جلویی چشم، ۴- لبه عقبی چشم، ۵- محل اتصال سر به تنه، ۶- انتهای ترین بخش سرپوشش آبششی، ۷- بخش پایینی شکاف آبششی، ۸- ابتدای قاعده باله سینه‌ای، ۹- انتهای قاعده باله سینه‌ای، ۱۰- ابتدای قاعده باله شکمی، ۱۱- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۲- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۳- لبه پایینی محل اتصال باله دم، ۱۴- انتهای خط جانبی در قاعده باله دم، ۱۵- لبه بالایی محل اتصال باله دم، ۱۶- انتهای قاعده باله پشتی، ۱۷- ابتدای باله پشتی.

Figure 2- Landmark points on *A. berda* for truss network study; 1- Corner of the mouth, 2- Tip of the mouth, 3- Front edge of the eye, 4- Rear edge of the eye, 5- Head to trunk junction, 6- The most extreme part of the operculum, 7- The lower part of the operculum, 8- The beginning of the base of the pectoral fin, 9- The end of the base of the pectoral fin, 10- The beginning of the base of the abdominal fin, 11- The beginning of the base of the caudal fin, 12- The end of the base of the caudal fin, 13- The lower edge of the junction of the caudal fin, 14- The end of the lateral line at the base of the caudal fin, 15- The upper edge of the junction of the caudal fin, 16 - The end of the base of the dorsal fin, 17- The beginning of the dorsal fin.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج ریخت‌سنجی سنتی

آماره‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، واریانس و p-value برای ۱۷ صفت اندازه‌شی و ۱۰ صفت شمارشی روی ۵۵ نمونه محاسبه شده و در جدول ۱ ارائه شده است. با انجام آنالیزهای تک‌متغیره تفاوت معنادار بین دو جنس نر و ماده مشاهده نشد؛ بنابراین، نمونه‌های نر و ماده برای آنالیزهای آماری با هم ادغام شدند.

نتایج حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی بر اساس صفات شمارشی و اندازه‌شی روی گونه‌های جنس *Acanthopagrus* نشان داد که ۶۰/۲۸٪ از واریانس کلی را دو مولفه اول برای داده‌های اندازه‌شی (مولفه‌ی اول ۳۴/۹۸٪ و مولفه‌ی دوم ۲۰/۳۰٪) (شکل ۳-۱) و ۹۰/۷۷٪ واریانس کلی را دو مولفه اول برای داده‌های شمارشی (مولفه‌ی اول ۸۱/۵۵٪ و مولفه‌ی دوم ۹/۲۲٪) شامل می‌شود (شکل ۳-۲). در مولفه‌ی اصلی اول بر اساس صفات اندازه‌شی بیشترین تفاوت مربوط به عمق بدن و طول باله شکمی است. در حالی که در مولفه‌ی اصلی دوم بیشترین تفاوت مربوط به عمق بدن، طول باله شکمی، طول باله مخرجی و عمق سر است. مولفه‌ی اصلی اول در صفات اندازه‌شی جدایی گونه *A. arabicus* را از دو گونه *A. catenula* و *bifasciatus* نشان می‌دهد، در حالی که در مولفه‌ی اصلی دوم همپوشانی بین گونه‌ها وجود دارد (شکل ۳-۱). مولفه‌ی اول و دوم بر اساس صفات شمارشی بیشترین تفاوت را در تعداد فلس‌های روی خط جانبی و بالای خط جانبی و تعداد فلس‌های روی چانه نشان می‌دهد (شکل ۳-۲). مولفه‌ی اول تا حدودی جدایی تمام گونه‌ها را به جز *A. arabicus* و *A. sheim* را نشان می‌دهد و در مولفه‌ی دوم گونه‌های *A. berda* و *catenula* تا حدی از سایر گونه‌ها جدا می‌شوند (شکل ۳-۲). متغیر کانونی بر اساس صفات شمارشی و اندازه‌شی جدایی هر پنج

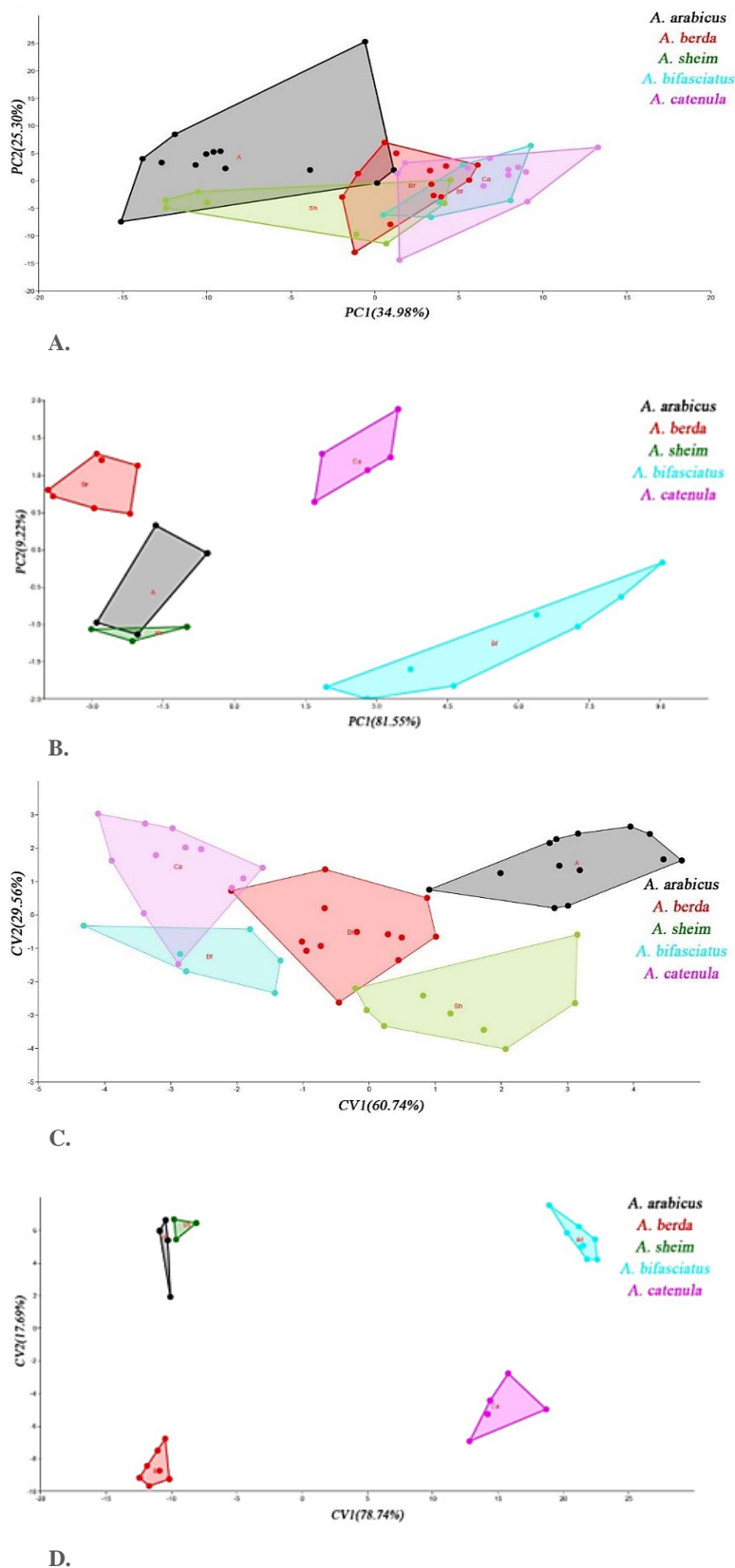
گونه را نشان داد و با وجود نزدیکی بین دو گونه *A. sheim* و *A. arabicus*، این دو گونه تا حدی از یکدیگر جدا شدند (شکل‌های ۲-۳ و ۳-۲).

(C)

جدول ۱ - آماره‌های توصیفی صفات اندازه‌شی و شمارشی برای پنج گونه از جنس *Acanthopagrus*.

Table 1- Descriptive statistics of metric and meristic traits of five species of *Acanthopagrus* genus.

Trait	<i>A. arabicus</i>		<i>A. berda</i>		<i>A. sheim</i>		<i>A. catenula</i>		<i>A. bifasciatus</i>		P
	N=13	A. Mean±S.D	N=12	A. Mean±S.D	N=9	A. Mean±S.D	N=11	A. Mean±S.D	N=9	A. Mean±S.D	
dorsal fin rays	10-11	10.46±0.51	11	11±0.00	10-11	10.55±0.52	12	12±0.00	12	12±0.00	0.0005
anal fin rays	8	8±0.00	9	9±0.00	8	8±0.00	10	10±0.53	10-11	10±0.00	0.0005
pectoral fin rays	15	15±0.00	15	15±0.00	15	15±0.00	15	15±0.00	14-15	14±0.53	0.0005
pelvic fin rays	5	5±0.00	5	5±0.00	5	5±0.00	5	5±0.00	5	5±0.00	1
lateral line scales	42-45	44.07±0.86	42-44	42.7±0.72	43-47	44.4±0.72	47-48	48.50±2.44	47-54	47.50±0.52	0.0005
scales above lateral line	4.5-5.5	4.88±0.50	3.5	3.5±0.00	4.5-5.5	4.5±0.00	4.5-5.5	4.5±0.53	5.5-6.5	4.9±0.51	0.0005
scales below lateral line	11.5-12.5	11.96±0.51	12.5	12.50±0.00	11.5-12.5	11.94±0.52	12.5-13.5	11.6±21.4	10-14	12.91±0.51	0.0005
scales from fifth dorsal spine base to lateral	4.5	4.5±0.00	3.5-4	3.73±0.25	4.5	4.5±0.00	4.5-5.5	6±5.3	5.5-6.5	4.9±0.51	0.0005
scales from nine dorsal spine base to lateral	4.5	4.5±0.00	3.5	3.5±0.00	4.5	4.5±0.00	5-5.5	5.2±0.26	5.5	5.5±0.00	0.0005
scale row on cheek	5-6	5.46±0.51	5-6	5.38±0.50	5-6	4.55±0.52	6-8	5.5±0.53	5-6	6.83±0.83	0.0005
Morphometric (%SL)											
Fork Length (FL)	107-112	109.5±1.8	108-112	110±2.44	110-114	112±1.32	111-115	113±2.02	107-111	109±1.49	0.282
Post-orbital Length (POST-OL)	83.6-86.8	85.2±1.60	84.6-89.1	86.8±1.79	84.9-90.01	87.4±1.81	80-88.3	84.1±0.88	83.7-86.8	85.2±2.77	0.066
Dorsal Fin Base (DFB)	47.7-59.6	53.6±2.90	53-60.5	56.7±2.49	53.3-57.7	55.5±1.07	52.3-57.3	54.7±1.50	53.1-58.3	55.7±2.08	0.267
Ventral Fin Length (VFL)	12-27	19.5±4.97	8.7-14.4	11.5±2.20	7-21.7	14.3±7.04	5.4-17.5	11.4±1.61	6.2-10.6	8.4±3.61	0.0005
Anal Fin Base (AFB)	13.8-20.8	17.3±1.68	13.6-19.2	16.4±1.92	14.1-17.5	15.8±1.21	15.5-20.2	17.8±1.25	16.6-19.6	18.1±1.34	0.009
Anal Fin Length (AFL)	16.1-22.1	19.1±2.85	11.7-20.8	16.2±2.81	10.5-16.8	13.6±2.67	10.3-18.9	14.6±1.83	12.5-16.6	14.5±3.14	0.0005
Pectoral Fin Length (PFL)	32.5-40.5	36.5±2.91	31.2-42.3	36.7±3.36	23.5-36.3	29.9±4.35	33.2-40.8	37±2.28	30.7-37.3	34±2.29	0.0005
Pectoral Fin Base (PFB)	7.1-8.7	7.9±1.31	6.3-9.2	7.7±0.87	5.5-8.8	7.1±1.02	7-8.2	7.6±0.62	7-8	7.5±0.34	0.754
Body Depth (BD)	35-46.7	40.8±5.39	38.7-50.7	44.7±2.86	39.6-47.9	43.7±2.96	38.2-50.4	44.3±2.37	42.9-48.6	45.7±4.05	0.079
Dorsal Fin Length (DFL)	10.1-17.6	13.8±2.85	10.3-18.3	14.3±2.36	10.2-16.2	13.2±1.94	8-17	12.5±2.34	9.1-14	11.5±3.19	0.020
Head Length (HL)	25.2-31.8	28.5±1.95	24.7-32.5	28.6±2.83	26.1-31.9	29±2.22	25.8-30.8	28.3±1.96	25.2-31.3	28.2±1.86	0.288
Head Depth (HD)	30.2-37.5	33.8±4.06	29.9-37.4	33.6±2.93	28.8-35	31.9±1.85	27.9-42.6	35.2±2.52	33.7-39.6	36.6±3.76	0.011
Eye Diameter (ED)	5.1-8.1	6.6±0.98	5.9-8.2	7.05±1.42	5-7.2	6.1±0.90	5.6-9	7.3±0.75	5.9-6.4	6.1±1.81	0.078
Pre-orbital Length (Pre-OL)	5.3-11.3	8.3±2.32	8.3-12	10.1±1.94	6.5-12	9.2±3.00	9.6-12.5	11.05±1.40	9-12.4	10.7±1.65	0.001
Pre-dorsal Length (PDL)	40.3-42.6	41.4±3.32	41.6-48	44.3±2.31	39.8-43.8	41.8±1.79	42.9-47.7	45.3±10.44	40.2-44.7	42.4±1.87	0.187



شکل ۳- نمودار تحلیل مولفه‌های اصلی (A: صفات اندازه‌شی و B: صفات شمارشی) و متغیر کانونی (C: صفات اندازه‌شی و D: صفات شمارشی).

Figure 3- Principal components analysis (A. metric and B. meristic traits) and canonical variate analysis (C. metric and D. meristic traits) graphs.

۲-۳- سیستم شبکه تراس

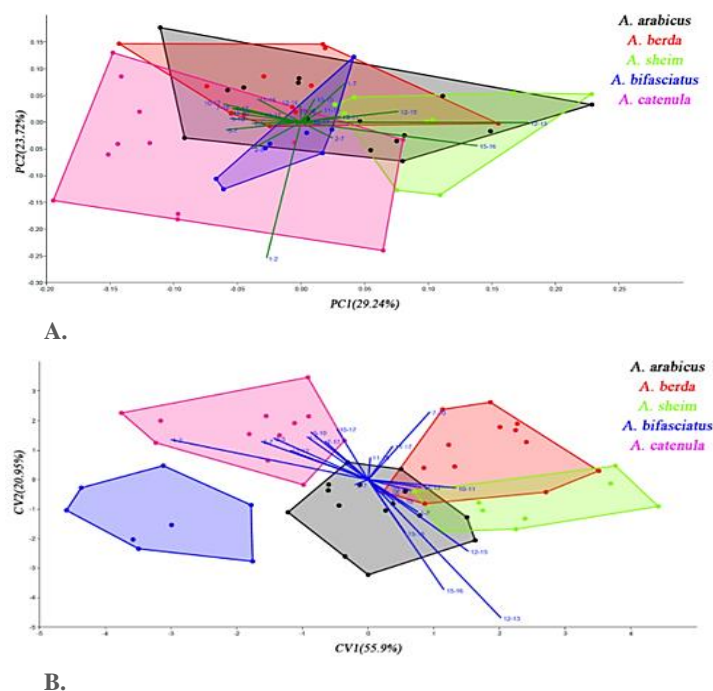
از بین ۱۵۳ فاکتور ایجاد شده ۲۲ فاکتور اول انتخاب شدند که در مجموع ۴۵/۳۱٪ از تنوع صفات ریختی بین گونه‌ها را نشان می‌دهند. در زیر به طور خلاصه ۲۲ صفت ذکر شده است:

۱-۲، ۱-۵، ۱-۷، ۲-۵، ۲-۷، ۵-۷، ۵-۱۰، ۷-۱۰، ۷-۱۷، ۱۰-۱۱، ۱۰-۱۶، ۱۰-۱۷، ۱۱-۱۲، ۱۱-۱۵، ۱۱-۱۶، ۱۱-۱۷، ۱۲-۱۳، ۱۲-۱۵، ۱۲-۱۶، ۱۳-۱۵، ۱۵-۱۶، ۱۶-۱۷.

در تحلیل مولفه‌های اصلی بیشترین مقادیر ویژه و درصد واریانس مربوط به دو مولفه اصلی اول است. همچنین بیشترین تغییرات در فاکتور اول مربوط به صفات ۱۲-۱۳، ۱۵-۱۶ و ۱۲-۱۵ می‌باشد و در فاکتور دوم صفات ۱-۲ و ۱-۷ بیشترین تغییرات را شامل می‌شوند (شکل ۴-۱). مولفه‌ی اول ۲۹/۲۴٪ از کل تغییرات صفات بین گونه‌ها را نشان می‌دهد. مولفه‌ی دوم ۲۳/۷۲٪ از تغییرات بین گونه‌ها را شامل می‌شود. در مولفه اصلی اول و دوم همپوشانی بین گونه‌ها وجود دارد. در محور کانونی اول گونه‌های *A. catenula* و *A. bifasciatus* از دو گونه *A. sheim* و *A. arabicus* جدا شده است، اما محور کانونی دوم قادر به جدا کردن گونه‌ها نیست (شکل ۴-۲).

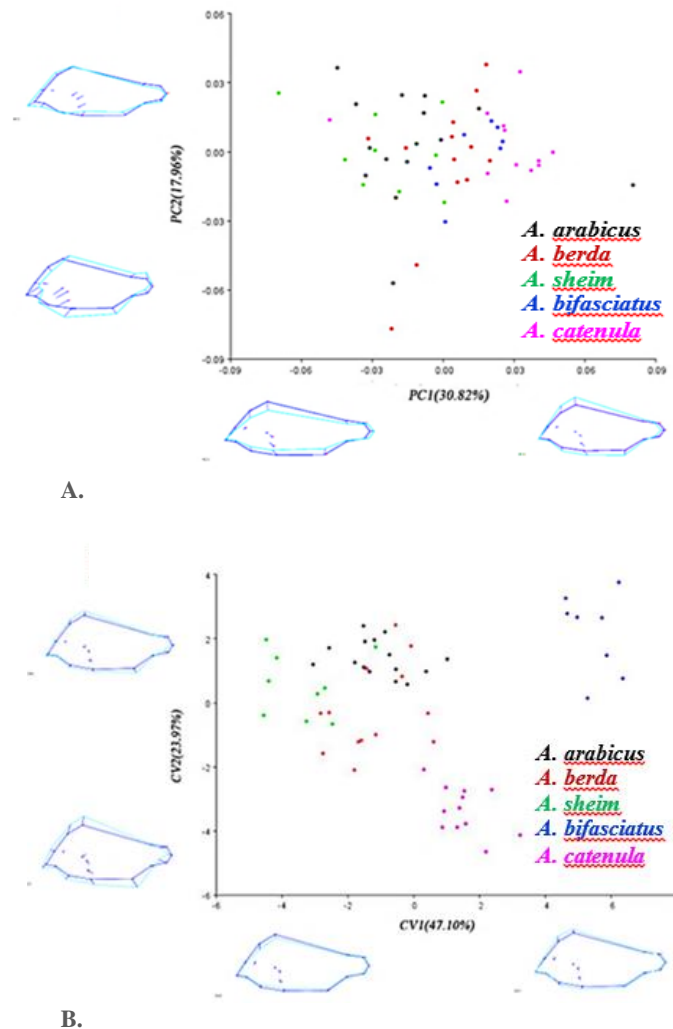
۳-۳- ریخت‌سنجی هندسی

در تحلیل مولفه‌های اصلی، ۴۸/۷۸٪ از واریانس کلی توسط دو مولفه اصلی اول (مولفه‌ی اول ۳۰/۸۲٪ و مولفه‌ی دوم ۱۷/۹۶٪) نشان داده شد (شکل ۴-۳). بقیه‌ی محورها، واریانس زیر ۱۰٪ را نشان دادند. مولفه‌ی اول بیشترین تغییرات را در عمق بدن و باله پشتی نشان داد، در حالی که بیشترین تغییرات در مولفه‌ی اصلی دوم مربوط به طول سر، انتها و ابتدای قاعده باله سینه‌ای و ابتدای قاعده باله شکمی است (شکل ۴-۴). در مولفه اصلی اول *A. catenula* از *A. arabicus* و *A. sheim* تا حدی جدا می‌شود، در حالی که در مولفه دوم همپوشانی کامل بین گونه‌ها وجود دارد (شکل ۴-۵). در نمودار متغیر کانونی در طول محور کانونی اول گونه *A. bifasciatus* از سایر گونه‌ها جدا می‌شود. همچنین دو گونه‌ی *A. arabicus* و *A. sheim* در طول محور کانونی اول از یکدیگر جدا می‌شوند. در محور کانونی دوم گونه‌ی *A. catenula* از سایر گونه‌ها جدا می‌شود (شکل ۴-۵).



شکل ۴- نمودار تحلیل مولفه‌های اصلی (A) و متغیر کانونی (B) بر اساس سیستم شبکه‌ای تراس.

Figure 4- Principal component analysis diagram (A) and focal correlation (B) based on the terrace grid system.



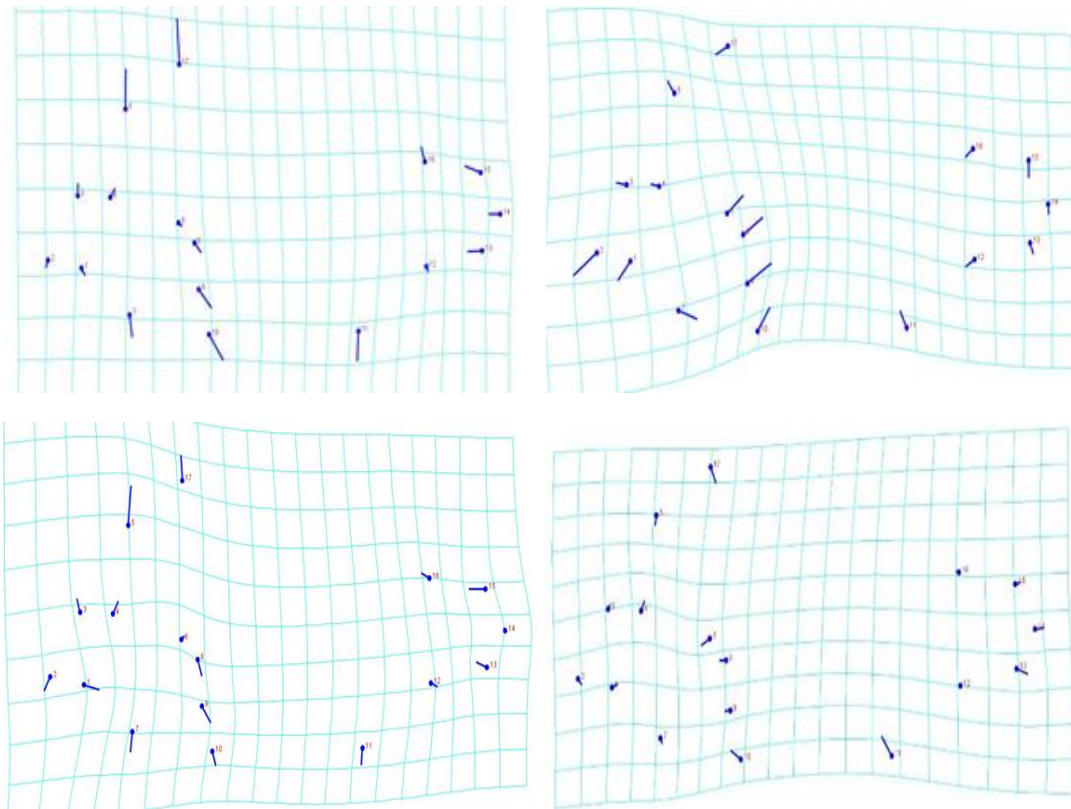
شکل ۵- نمودار تحلیل مولفه‌ی اصلی (A) و متغیر کانونی (B) بر اساس ریخت‌سنجی هندسی.

Figure 5- Principal component analysis diagram (A) and focal correlation (B) based on geometric morphometry

۴- بحث

مطالعه ویژگی‌های جانوران از نظر اندازه و شمارش از گذشته تا امروز دارای اهمیت بسیاری بوده و در گذشته تصور می‌شد تغییرات ریختی فقط ژنتیکی است، اما امروزه مشخص شده است که در تغییرات ریختی هم محیط و هم ژنتیک تاثیرگذار هستند و گاهی ممکن است این اختلافات ریختی ناشی از تاثیرات محیطی باشد و ژنتیک نقشی در آن نداشته باشد [2]. مطالعه حاضر تغییرات ریختی پنج گونه از جنس *Acanthopagrus* از خلیج فارس و خلیج عمان را بر اساس رویکرد سنتی، تراس و هندسی بررسی کرده است. این مطالعه در مقایسه با مطالعات قبلی، تعداد گونه‌های بیشتر با منطقه جغرافیایی وسیع‌تری را پوشش می‌دهد [2]، [23].

تغییرات و تفاوت‌های ریختی در بین گونه‌های ماهیان به‌واسطه تفاوت‌های رفتاری مثل تغذیه و شنا برای سازش آن‌ها با شرایط زیستگاه می‌باشد [24]. در واقع صفات ریختی می‌توانند انعطاف‌پذیری بالایی در پاسخ به فاکتورهایی نظیر تغییرات دما، شوری، سرعت آب، دسترسی به مواد غذایی، جریان آب، الگوی شنا، نور و ... داشته باشند [25]. نتایج تحلیل‌های تک‌متغیره و چندمتغیره در روش ریخت‌سنجی سنتی، نشان داد که صفات شمارشی نسبت به صفات اندازه‌شناسی بهتر می‌توانند جدایی گونه‌ها را از یکدیگر نشان دهد. نتایج آنالیز تحلیل مولفه‌ی اصلی (PCA) نشان داد که عمق بدن، طول باله‌ی شکمی، طول باله‌ی مخرجی و طول سر در خصوصیات اندازه‌شناسی (شکل ۳-۱A) و تعداد فلس‌های روی خط جانبی، بالای خط جانبی و روی چانه در خصوصیات شمارشی (شکل ۳-۱B)، دارای بیشترین تغییر در گونه‌های مطالعه شده می‌باشند. در تحلیل نمودار متغیر کانونی (CVA) صفات شمارشی (شکل ۳-۱D)، گونه‌های مورد مطالعه به‌وضوح در گروه‌های جدا از هم قرار گرفتند.



شکل ۶- تغییرات شکل بدنی گونه‌های مورد مطالعه‌ی جنس *Acanthopagrus* شامل مولفه اصلی (PC1-PC2) و متغیر کانونی (CV1-CV2).

Figure 6- Body shape changes of the studied species of the genus *Acanthopagrus* including the principal component (PC1-PC2) and focal correlation (CV1-CV2).

گونه‌ی *A. arabicus* مدت‌ها به‌عنوان گونه‌ی *A. latus* (Houttuyn, 1782) در نظر گرفته می‌شد. در سال ۲۰۱۳ وضعیت آرایه‌شناسی این گونه توسط ایواتسوکا [5] مورد بررسی قرار گرفت و این گونه‌ی کمپلکس با توجه به ویژگی‌های ریختی و مولکولی به ۵ گونه تقسیم شد که دو گونه‌ی *A. arabicus* در سواحل غرب اقیانوس هند، خلیج فارس و دریای عمان و گونه‌ی *A. sheim* در خلیج فارس گزارش شد. با وجود شباهت‌های ریختی بسیار بین این دو گونه، در این مطالعه بر اساس تفاوت در تعداد فلس‌های روی خط جانبی این دو گونه از یکدیگر جدا شدند.

نتایج آنالیز صفات شمارشی و اندازه‌ی گونه‌های جنس *Acanthopagrus* نشان داد که برای جداسازی گونه‌ها از یکدیگر صفات شمارشی به مراتب بهتر از صفات اندازه‌ی می‌باشد. در روش تراس که یک روش مبتنی بر فاصله می‌باشد، نتایج به‌دست آمده از تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد که ۲۲ ویژگی ریختی در بین گونه‌های مورد مطالعه دارای تفاوت معنی‌دار هستند که نشان‌دهنده تفاوت در شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در بیشتر مطالعات ریخت‌سنجی فاکتور اندازه بدن ممکن است به میزان ۸۰٪ یا بیشتر در وجود تغییرات بین متغیرهای اندازه‌گیری شده تاثیرگذار باشد [26]. از آنجاکه آزمون واریانس یک‌طرفه روی ویژگی‌های ریختی اصلاح شده انجام شد، می‌توان مطمئن بود که مشاهده اختلاف معنی‌دار آماری در هر یک از فاصله‌های اندازه‌گیری شده، نشان‌دهنده اختلاف در شکل بدن می‌باشد و تفاوت در اندازه نمونه‌ها تاثیری در به وجود آمدن این اختلاف ندارد. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی برای ویژگی‌های ریختی اصلاح شده در روش تراس نیز نشان داد که گونه‌های *A. bifasciatus* و *A. catenula* از سایر گونه‌ها جدا می‌شوند. در روش هندسی هم چنین تحلیل نمودار متغیر کانونی جدایی گونه‌های *A. bifasciatus* و *A. catenula* را به خوبی نشان داد. هم چنین با توجه به نمودار متغیر کانونی، دو گونه‌ی *A. arabicus* و *A. sheim* در طول محور اول از یکدیگر جدا می‌شوند (شکل ۵- (B).

در روش ریخت‌سنجی هندسی نتایج بیانگر تفاوت شکل بدن گونه‌های مورد مطالعه بیشتر در ناحیه باله پشتی، باله سینه‌ای، باله شکمی و عمق سر به‌واسطه سازگاری با شرایط زیستگاهی است. این تغییرات با سازش‌های بوم‌شناختی و انتخاب طبیعی در ارتباط است [27]، [28]. روش tps در ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک کمی قوی‌تری از تفاوت‌های مورفولوژیکی بین اشکال به همراه داشت، اگرچه در روش‌های سنتی نیز

این گونه‌ها جدا شدند. شاید مهم‌ترین نتیجه، تفسیر منحصر به فرد تغییر شکل در میان روش‌های سنتی مبتنی بر تراس بود، در حالی که تولید شبکه‌های تغییر شکل با استفاده از رویکرد tps ارقام واضح و قابل تفسیر بصری را به همراه داشت.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که ریخت‌سنجی هندسی می‌تواند روش مؤثرتری برای تجزیه و تحلیل و تفسیر فرم بدن باشد. هم‌چنین می‌توان به روش‌های سنتی برای ارایه شواهد آماری از تفاوت‌های شکل بدن اعتماد کرد، اگرچه لزوماً اطلاعات دقیقی در مورد ماهیت تغییر شکل به ما نمی‌دهد؛ بنابراین، مطالعات مولکولی آینده می‌تواند روابط بین اعضای جنس *Acanthopagrus* را روشن‌تر کند و نشان دهد که این ویژگی‌های ریختی شناسایی شده چقدر می‌تواند با رویکرد ژنتیکی مطابقت داشته باشد.

قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

- [1] Keivany, Y., Zamani-Faradonbe, M., Mousavi, S. M. A., & Dorafshan, S. (2018). Morphological variations of *Alburnus mossulensis* (Heckel, 1843) populations in Iran. *Iranian journal of animal biosystematics*, 14(2), 73-89.
- [2] Doustdar, M., Kaymaram, F., Seifali, M., Jamili, S., & Bani, A. (2017). Identification species of *Acanthopagrus* (family: Sparidae) and stock identification of dominant species in the Persian Gulf and Oman Sea using geometric morphometry and otolith. (In Persian). <http://hdl.handle.net/1834/13317>
- [3] Eschmeyer, W. N., Fricke, R., & Der Laan, R. (2017). *Catalog of fishes: genera, species, references*. https://www.researchgate.net/profile/Richard-Van-Der-Laan/publication/303633861_Catalog_of_Fishes_Genera_Species_References/links/574ed78708ae789584d80783/Catalog-of-Fishes-Genera-Species-References.pdf
- [4] Iwatsuki, Y., & Carpenter, K. E. (2006). *Acanthopagrus taiwanensis*, a new sparid fish (Perciformes), with comparisons to *Acanthopagrus berda* (Forsskål, 1775) and other nominal species of *Acanthopagrus*. *Zootaxa*, 1202(1202), 1-19. DOI:10.11646/zootaxa.1202.1.1
- [5] Iwatsuki, Y. (2013). Review of the *Acanthopagrus latus* complex (Perciformes: Sparidae) with descriptions of three new species from the Indo-West Pacific Ocean. *Journal of fish biology*, 83(1), 64-95. DOI:10.1111/jfb.12151
- [6] Esmaeili, H. R., Masoudi, M., & Mehraban, H. R. (2014). Assignment of *Acanthopagrus* populations in the Persian Gulf drainage system of Iran to *Acanthopagrus arabicus* Iwatsuki, 2013 (perciformes: Sparidae). *Iranian journal of ichthyology*, 1(1), 23-28.
- [7] Iwatsuki, Y., & Heemstra, P. C. (2011). A review of the *Acanthopagrus bifasciatus* species complex (Pisces: Sparidae) from the Indian Ocean, with redescriptions of *A. bifasciatus* (Forsskål 1775) and *A. catenula* (Lacepède 1801). *Zootaxa*, 3025(3025), 38-50. DOI:10.11646/zootaxa.3025.1.2
- [8] Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A. (2020). Morphological comparison of the *Cobitis* species from Iranian inland waters using geometric morphometric method. *Journal of applied biology in prees*, 34(1), 9-20.
- [9] Pishkahpour, Z., Poorbagher, H., & Eagderi, S. (2019). Comparing efficiency of traditional and geometric morphometrics in distinguishing populations of *Alburnus doriae* in the central and western basins of Iran. *Journal of applied ichthyological research*, 7(2), 1-12.
- [10] 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(2), 134-140. DOI:10.1034/j.1600-0633.2003.00008.x
- [11] Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution.' *Italian journal of zoology*, 71(1), 5-16. DOI:10.1080/11250000409356545
- [12] Khatami Nejad, S. S., Mousavi Sabet, S. H., Sattari, M., & Vatan Doust, S. (2015). A comparative study on morphometric characters of five Spiralin species (Cyprinidae: *Alburnus*) in Iranian inland waters using a truss network system. *Journal of animal environment*, 7(1), 247-258.
- [13] Haghigly, E., Sattari, M., Dorafshan, S., Keivany, Y., Khoshkolgh, M. R., & Mousavi, S. H. (2013). A Comparison of the morphological characteristics of Spiralin, (Cyprinidae: *Alburnoides echiwaldii*) in karganrud and chalus rivers using truss network system. *Journal of applied ichthyological research*, 1(1), 41-52.

- [14] Sharifiniya, M., & Mousavi Sabet, H. (2016). Comparison of morphological variations among populations of the crested loach, genus *paracobitis*, in the southeast Caspian Sea Basin using geometric morphometric method. *Journal of oceanography*, 7(27), 49–57.
- [15] Randall, J. E. (1995). *Coastal fishes of Oman*. University of Hawaii Press.
- [16] Hammer, Q., & Harper, D. A. T. (2010). *PAST Version 1.98*. Stony Brook.
- [17] Elliott, 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(2), 202–220.
- [18] Rohlf, F. (2018). *TPSUtil, ver. 1.76*. Stony Brook.
- [19] Rohlf, F. J. (2010). *TpsDig2 ver. 2.32*. Stony Brook.
- [20] Eagderi, S., & Kamal, S. (2013). Application of geometric morphometrics approach in phenotypic plasticity investigations of fishes: A case study of killifish *Aphanius sophiae* (Heckel, 1847) body shape comparison in Cheshme-Ali (Damghan) and Shour River (Eshtehard). *Journal of applied ichthyological research*, 1(2), 47–52. <http://jair.gonbad.ac.ir/article-1-215-en.html>
- [21] Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 1-9.
- [22] Klingenberg, C. P. (2011). Morphoj: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353–357. DOI:10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
- [23] Ahmed, I., Bano, A., & Siddique, S. (2021). Morphometric and meristic characters and condition factor of *Acanthopagrus arabicus* (Pisces: Sparidae) from Pakistan, North Arabian Sea. *Natural and engineering sciences*, 6(2), 75–86. DOI:10.28978/nesciences.970537
- [24] Moles, M. D., Robinson, B. W., Johnston, T. A., Cunjak, R. A., Jardine, T. D., Casselman, J. M., & Leggett, W. C. (2010). Morphological and trophic differentiation of growth morphotypes of walleye (*Sander vitreus*) from Lake Winnipeg, Canada. *Canadian journal of zoology*, 88(10), 950–960. DOI:10.1139/Z10-062
- [25] Doustdar, M., Kaymaram, F., Seifali, M., Sh, J., & Bani, A. (2019). Stock identification of Arabian yellow fin sea bream (*Acanthopagrus arabicus*) using shape of otolith in the Northern Persian Gulf and Oman Sea. *Iranian journal of fisheries science*, 18(1), 60-70. (In Persian). DOI:10.22092/IJFS.2018.116366
- [26] Tzeng, T. Der. (2004). Morphological variation between populations of spotted mackerel (*Scomber australasicus*) off Taiwan. *Fisheries research*, 68(1–3), 45–55. DOI:10.1016/j.fishres.2004.02.011
- [27] Price, S. A., Tavera, J. J., Near, T. J., & Wainwright, P. C. (2013). Elevated rates of morphological and functional diversification in reef-dwelling haemulid fishes. *Evolution*, 67(2), 417–428. DOI:10.1111/j.1558-5646.2012.01773.x
- [28] Damadi, E., Moghaddam, F. Y., Ghassemzadeh, F., & Ghanbarifardi, M. (2021). Aspects of morphometry, distribution, and key identification of the genus *Pomadasys* (Perciformes: Haemulidae) from the Persian Gulf and Gulf of Oman with descriptions of new records. *Thalassas*, 37(2), 671–682. DOI:10.1007/s41208-021-00308-1