



Paper Type: Original Article



Morphological Adaptation Pattern of *Cyprinion macrostomum* in the Little Zab River in Spring, Summer, and Autumn

Zaniar Ghafouri¹, Soheil Eagderi^{*1} , Hadi Poorbagher¹

¹Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran;

* (Associate Professor: Corresponding author: soheil.eagderi@ut.ac.ir).

Citation:

Ghafouri, Z., Eagderi, S. & Poorbagher, H. (2025). Morphological adaptation pattern of *Cyprinion macrostomum* in the Little Zab River in spring, summer, and autumn. *The quarterly scientific journal of applied biology*, Volume 38 (Issue No. 1), PP. 35-45.

Received: 2023.12.10

Accepted: 2024.06.22

Abstract

Introduction: This study aimed to investigate the morphological changes of *Cyprinion macrostomum* in the spring, summer, and autumn and their relationship with the environmental factors in the Little Zab River.

Methods: For this purpose, sampling was done seasonally in 6 stations with 3 repetitions. Then, to extract morphological data in the geometric morphometric method, photographs were taken of the samples and 16 landmark points were defined and digitized. Procrust analysis was used to remove non-morphic data from the landmark data. To find the pattern of shape changes and main effective factors, principal component analysis (PCA) was used. Canonical Variates Analysis and 2B-PLS analysis were used to determine the morphological distinction between the populations of sampling stations and to analyze the relationship and correlation between body shape changes and environmental variables, respectively.

Results: Based on the results, the morphological characteristics of *C. macrostomum* of the studied populations in different stations were different in each season. The results of PCA showed changes in the position of the mouth, dorsal fin and caudal peduncle occur in most seasons due to morphological adaptation to the environmental factors of their habitat. 2B-PLS analysis also showed a high correlation and significant difference between body shape and environmental factors in all three seasons ($P=0.001$, $r=0.98$).

Conclusion: The results also showed a high and significant correlation between the morphological changes of *C. macrostomum* and the habitat factors of Little Zab River.

Keywords: Geometric Morphometric, Local Adaptation, Procrust Analysis, Principal Component

الگوی تطابق ریختی ماهی بوتک دهان بزرگ *Cyprinion macrostomum* در رودخانه

زاب کوچک (استان آذربایجان غربی)، در سه فصل بهار، تابستان و پاییز

زانبار غفوری^۱، سهیل ایگدری^{۲*}، هادی پورباقر^۲^۱دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبزیان شیلاتی، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.^۲دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.*نویسنده مسئول: soheil.eagderi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

چکیده

مقدمه: هدف از این مطالعه بررسی تغییرات ریختی ماهی بوتک دهان بزرگ *Cyprinion macrostomum* در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز و ارتباط آن با فاکتورهای محیطی در رودخانه زاب کوچک بود.

روش‌ها: برای این منظور به صورت فصلی در ۵ ایستگاه با ۳ تکرار نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس به منظور استخراج داده‌های ریختی در روش ریخت سنجی هندسی، از نمونه‌ها عکس‌برداری شد و ۱۶ لندمارک تعریف و رقمی‌سازی شد. به منظور حذف داده‌های غیرشکلی از داده‌ها رقمی‌سازی شده از آنالیز پروکراست استفاده شد. به منظور یافتن الگوی تغییرات شکل و عامل‌های اصلی از تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. برای تعیین تمایز ریختی بین جمعیت‌های ایستگاه‌های نمونه‌برداری و تحلیل ارتباط و همبستگی بین تغییرات شکل بدن و متغیرهای محیطی به ترتیب از تحلیل همبستگی کانونی CVA و آنالیز 2B-PLS استفاده شد.

یافته‌ها: براساس نتایج ویژگی‌های ریختی ماهی بوتک دهان بزرگ در فصل‌های مختلف سال، جمعیت‌های مورد مطالعه در هر فصل در ایستگاه‌های مختلف از یکدیگر تفکیک شدند. براساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در اکثر فصل‌ها تغییر در موقعیت دهان، باله پشتی و ساقه دم در راستای سازگاری ریختی با فاکتورهای محیطی زیستگاه به وقوع می‌پیوندد. آنالیز 2B-PLS نیز در هر سه فصل همبستگی بالا و تفاوت معنی‌دار بین شکل بدن و فاکتورهای محیطی نشان داد ($r=0.98$, $P=0.001$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که بین تغییرات ریختی بوتک دهان بزرگ و فاکتورهای زیستگاهی رودخانه زاب کوچک همبستگی بالا و معنی‌دار وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: آنالیز پروکراست، تطابق محلی، ریخت‌سنجی هندسی، مولفه‌های اصلی

مقدمه

مطالعه خصوصیات ریختی ماهیان برای آرایه‌شناسی یک جنس یا گونه و همچنین یافتن تفاوت بین جمعیت‌های متفاوت جغرافیایی انجام می‌شود [1]، [2]. ماهی‌ها به تغییرات محیطی حساس هستند و با تغییرات فنوتیپیک خود را تطبیق می‌دهند [3]. از جمله تغییرات فنوتیپی تغییرات در ویژگی‌های مورفومتریک و مریستیک است که ویژگی‌های دینامیکی بوده که معمولاً برای اندازه‌گیری تفاوت‌های بین جمعیت‌های گونه‌های ماهیان استفاده می‌شوند، [4]، [5]. تغییرات ریختی به واسطه انعطاف‌پذیری ریختی بین جمعیت‌های ماهیان توسط ترکیبی از فاکتورهای محیطی از جمله دما، شوری، اکسیژن، عمق و جریان آب کنترل می‌شود، اما محدود به این فاکتورها نیست [6]. ویژگی‌های مورفومتریک صفات پیوسته و قابل اندازه‌گیری هستند که ویژگی‌های شکل و اندازه بدن را نشان می‌دهند [7].

جنس *Cyprinion* متعلق به خانواده کپورماهیان شامل ۶ گونه در آب‌های داخلی ایران است. در بین این گونه‌ها، ماهی بوتک دهان بزرگ *C. macrostomum* در کشورهای ترکیه، عراق، ایران و سوریه در حوضه آبریز خلیج فارس گسترش وسیعی دارد [8]، [9]. با توجه به مقاومت بالا برای زیست در اکوسیستم‌های آبی متنوع و انعطاف‌پذیری ریختی اعضای جنس *Cyprinion*، این تحقیق با هدف بررسی تغییرات ریختی ماهی بوتک دهان بزرگ *C. macrostomum* در فصل‌های مختلف سال و ارتباط فاکتورهای محیطی با تغییرات شکل بدن آن در طول مسیر رودخانه زاب کوچک صورت گرفت. شناخت الگوی تغییرات شکلی ناشی از فاکتورهای محیطی به‌ویژه بر اثر تغییرات فصلی به درک بهتر الگوی انعطاف‌پذیری ریختی ماهیان این جنس تحت تاثیر فاکتورهای محیطی کمک می‌کند. رودخانه دایمی زاب کوچک در استان آذربایجان غربی با طول ۴۰۰ کیلومتر حوضه آبریزی برابر با ۲۲۰۰۰ کیلومتر را در غرب کشور در بر می‌گیرد. این رودخانه از ضلع غربی کوهستان‌های مهاباد و پیرانشهر با ۲۱۴۰ متر ارتفاع از سطح دریا و ضلع شرقی کوهستان‌های قندیل سرچشمه می‌گیرد و دارای دو شاخه فرعی می‌باشد و با عبور از منطقه سردشت به طرف عراق جریان پیدا می‌کند و به دجله می‌ریزد [10].

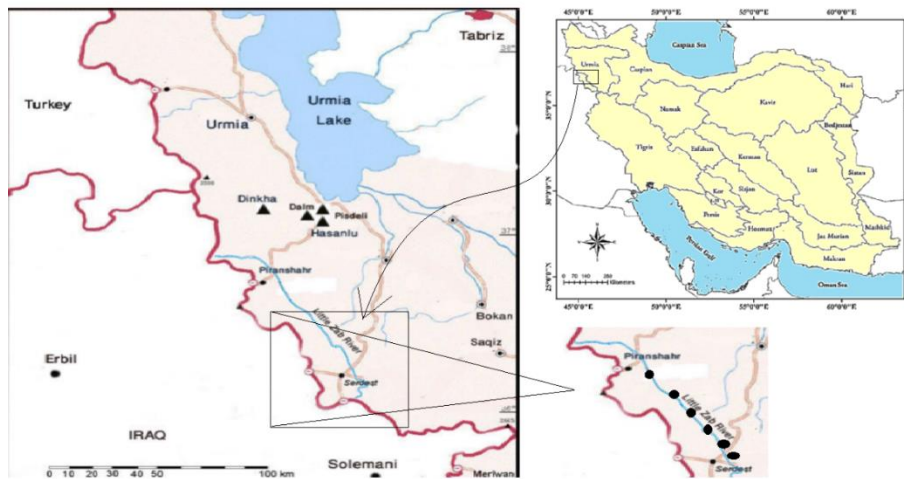
مواد و روش‌ها

در این پژوهش، در طی سه فصل بهار، تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ از ۵ ایستگاه در رودخانه زاب کوچک (جدول ۱) با استفاده از دستگاه الکتروشوکر نمونه‌برداری صورت گرفت (شکل ۱). بلافاصله پس از صید، نمونه‌ها جمع‌آوری، نمونه‌ها در فرمالین ۱۰٪ تثبیت و جهت انجام مطالعات بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. روش ریخت‌سنجی هندسی، روشی برپایه مختصات لندمارک‌ها می‌باشد که برای آنالیز تغییرات شکل مورد استفاده قرار می‌گیرد [11]. بنابراین در این تحقیق از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon 5MP) عکس‌برداری شد و جهت استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۱۶ لندمارک تعریف و رقمی‌سازی شدند (شکل ۲). لندمارک‌ها با استفاده نرم‌افزار tpsDig2 بر روی تصاویر دو بعدی قرار داده شدند [12]. جهت حذف تغییرات غیرشکل از روش روهم‌گذاری لندمارک‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست عام (General Procrustes Analysis) استفاده شد [13].

جدول ۱- مختصات و موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری بوتک دهان بزرگ (*Cyprinion macrostomum*) در رودخانه زاب کوچک

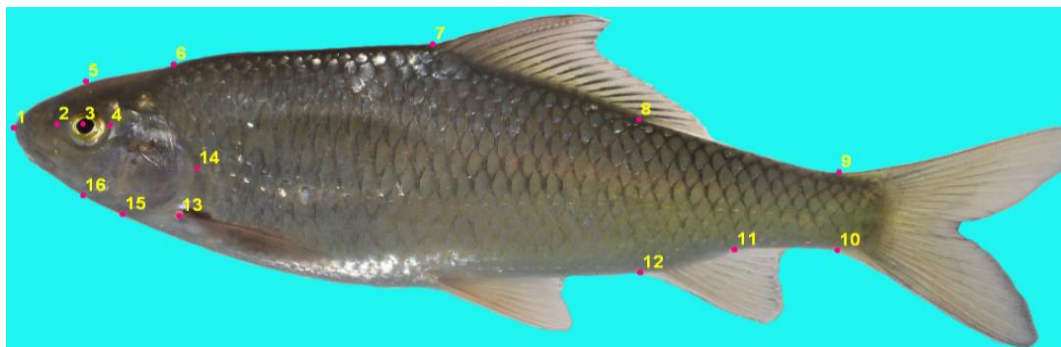
Table 1- Coordinates and geographic location of the sampling of *Cyprinion macrostomum* in the Little Zab River

stations	longitude	latitude	substrate type
1	36° 14' 34.39" N	45° 30' 18.36 E	sand
2	36° 14' 57.36" N	45° 30' 16.68" E	sand
3	36° 15' 46.02" N	45° 30' 12.43" E	rubble
4	36° 15' 10.25" N	45° 29' 39.46" E	stone to sand
5	36° 17' 26.91" N	49° 25' 06.15" E	rubble



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه زاب کوچک (نقاط سیاه‌رنگ ایستگاه‌های نمونه‌برداری)

Figure 1- Map of sampling stations in Little Zab River



شکل ۲- موقعیت لندمارک‌های تعیین شده بر روی جنس‌های نر و ماده *C. macrostomum* مورد مطالعه: ۱. ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا، ۲. قسمت جلویی چشم در راستای وسط چشم، ۳. وسط چشم، ۴. نقطه خلفی چشم در راستای وسط چشم، ۵. نقطه بالای مرکز چشم در قسمت فوقانی سر، ۶. انتهای سر، ۷. منشاء قاعده‌ی باله پشتی، ۸. انتهای قاعده‌ی باله پشتی، ۹. کم‌عرض‌ترین قسمت ساقه‌ی دم در بالا، ۱۰. کم‌عرض‌ترین قسمت ساقه‌ی دم در پایین، ۱۱. انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۲. منشاء قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۳. ابتدای قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای، ۱۴. انتهای سرپوش آبششی، ۱۵. بخش زیرین سرپوش آبششی و ۱۶. نقطه پایین مرکز چشم در قسمت تحتانی

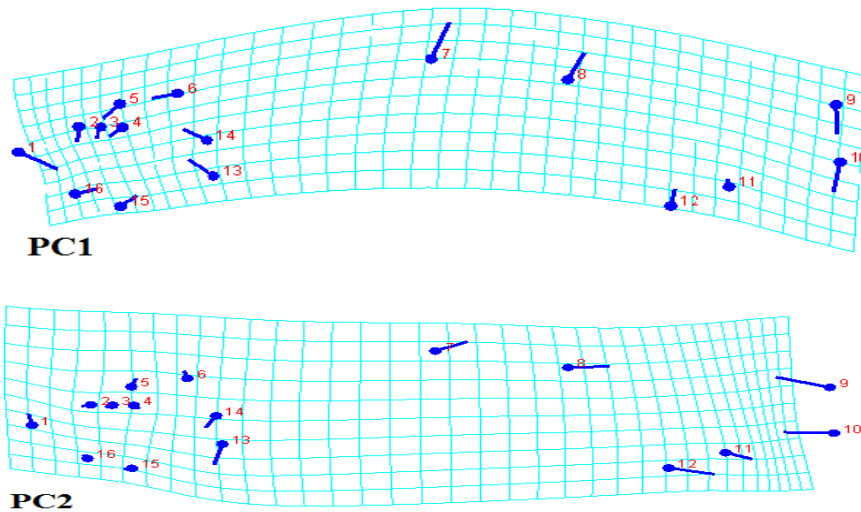
Figure 2- The position of the landmarks determined on the studied male and female *C. macrostomum*; 1. the primitive part of the snout in the upper jaw, 2. The front part of the eye in line with the middle of the eye, 3. middle of the eye, 4. The posterior point of the eye is in line with the middle of the eye, 5. The point above the center of the eye at the top of the head, 6. End of the head, 7. The origin of the base of the dorsal fin, 8. The end of the base of the dorsal fin, 9. The narrowest part of the caudal peduncle at the top, 10. The narrowest part of the caudal peduncle at the bottom, 11. The end of the base of the pelvic fin, 12. The origin of the pelvic fin, 13. The posterior of the base of the pectoral fin, 14. The end of the gill cover, 15. The lower part of the gill cover, 16. The lower point of the center of the eye in the lower part

به‌منظور یافتن الگوی تغییرات شکل و عامل‌های اصلی از تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) استفاده شد. سپس با استفاده از روش تجزیه تابع تشخیص کانونی (Discriminant Function Canonical) میزان تمایز و میزان اشتراک متغیرهای اصلی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین فواصل ماهالانوبیس به‌عنوان درجه تمایز جمعیت‌های فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه و از آنالیز MANOVA براساس ارزش P حاصل از آزمون جایگشت (Permutation) با ۱۰۰ تکرار استفاده شد. به‌منظور تحلیل ارتباط و همبستگی بین تغییرات شکل بدن و متغیرهای محیطی، آنالیز 2B-PLS (Partial Least Squares) یا حداقل مربعات جزئی) مورد استفاده قرار گرفت [14]. متغیرهای محیطی شامل pH، دما، EC، TDS، سرعت جریان، ارتفاع از سطح دریا، عرض رودخانه، عمق آب، شیب و نوع بستر و فراوانی نسبی ماهیان بوتک دهان بزرگ ثبت شد. میزان تاثیرگذاری هریک از متغیرهای محیطی روی تغییرات ریختی، در دو جهت مثبت و منفی نمودار دو مولفه اصلی براساس شبکه تغییر شکل ارائه شد. علامت مثبت و منفی و شدت اثر ضرایب همبستگی به کمک جهت و اندازه محورهای نمایش داده می‌شود. همچنین دو لندمارک آخر، به عنوان مقیاس هر نمونه ارائه شد که با استفاده از فرمول $d = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2}$ هر مقیاس در انتهای لندمارک‌های مربوط به هر نمونه

در فایل TPS اضافه شد. تمامی آنالیزهای مربوط به ریخت‌سنجی در نرم‌افزارهای PAST، MorphoJ و R انجام شد [15]، [16].

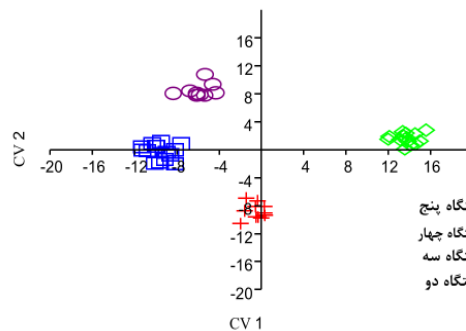
نتایج و بحث

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) و نمودار سنگریزه‌ای (Scatter plot) در فصل بهار بیانگر اهمیت ۳ مولفه با درصد واریانس کل ۸۴/۷۳ درصد بود. در شکل ۳ تغییر موقعیت لندمارک‌های در جهت مثبت PC1 مربوط به تغییر موقعیت دهان و بخش پایینی چشم می‌باشد. همچنین در راستای مولفه PC2 مربوط به تغییر موقعیت باله پشتی، ساقه دمی و باله مخرجی بود (شکل ۳).



شکل ۳- تغییر موقعیت لندمارک‌های حاصل از شکل بدن ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل بهار در طول دو مولفه اصلی اول و دوم
 Figure 3- The change of position of the landmarks resulted from the body shape of the investigated stations in the spring season during the first and second main components

تحلیل همبستگی کانونی (CVA) حاصل از داده‌های شکل بدن توانست گروه‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان دهد. براساس نتایج جمعیت‌های هر ایستگاه از یکدیگر قابل تفکیک هستند (شکل ۴). مقادیر P در آزمون MANOVA حاصل از آزمون جایگشت نشان داد که در شکل بدن ماهیان بین ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.001$). فواصل ماهالانوبیس به‌عنوان درجه تمایز شکل بدن گونه *C. macrostomum* حاصل از تحلیل همبستگی کانونی در جدول ۲ ارائه شده است که بیشترین و کم‌ترین مقادیر ماهالانوبیس به‌ترتیب بین ایستگاه‌های ۲-۴ و ۴-۵ در فصل بهار به‌دست آمد.



شکل ۴- تحلیل همبستگی کانونی (CVA) در ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل بهار
 Figure 4- Canonical correlation analysis (CVA) in the investigated stations in the spring season

جدول ۲- مقادیر ماهالانوبیس شکل بدن ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل بهار

Table 2- Mahalanobis values of the body shape of the studied stations in the spring season

stations	station 2	station 3	station 4
station 3	5.48		
station 4	7.43	5.88	
station 5	7.00	5.29	5.18

بر اساس نتایج تحلیل Two Block-PLS، در طول محور اول و دوم فاکتور عمق با مقادیر ۰/۷۱۶ و ۰/۶۷۷ و عرض رودخانه بیشترین همبستگی و ارتباط معنی‌دار را در تغییرپذیری ریختی گونه *C. macrostomum* در ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل بهار به‌عهده داشتند (جدول ۳). تحلیل آنالیز پروکراست ریخت‌سنجی هندسی برای بیان تفاوت ریختی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده ماهی بوتک‌دهان‌بزرگ تحت تاثیر فاکتورهای محیطی در فصل بهار در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج، تغییر شکل بدن در ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر فاکتورهای محیطی بوده و اثر این فاکتورها مثبت است ($P < 0/01$).

جدول ۳- نتایج تحلیل PLS وزن هر متغیر در ارتباط با شکل بدن گونه *Cyprinion macrostomum* در فصل بهار، تابستان و پاییز
Table 3- The results of PLS analysis of the weight of each variable about the body shape of *Cyprinion macrostomum* species in spring, summer and autumn

Environmental variables	spring		summer		autumn	
	Component 1	Component2	Component 1	Component2	Component 1	Component2
pH	-0.003	-0.002	-0.001	-0.035	-0.009	0.027
Temperature	0.056	0.026	0.010	-0.076	-0.007	-0.065
TDS	-0.029	-0.016	0.365	-0.353	0.464	-0.047
EC	-0.047	0.001	0.538	-0.039	0.812	-0.035
altitude	0.514	-0.326	-0.050	-0.770	-0.267	-0.037
Depth	0.677	0.716	0.494	-0.280	-0.077	-0.981
Width	-0.517	0.614	-0.573	-0.439	0.212	-0.160
velocity	0.016	-0.007	0.003	-0.005	-0.009	0.005
slope	0.038	-0.036	0.014	-0.029	-0.033	0.028

جدول ۴- تحلیل پروکراست شکل بدن و تاثیر فاکتورهای محیطی روی آن در گونه *Cyprinion macrostomum* در فصل بهار، تابستان و پاییز
Table 4- Procrust analysis of body shape and the effect of environmental factors on it in *Cyprinion macrostomum* species in spring, summer and autumn

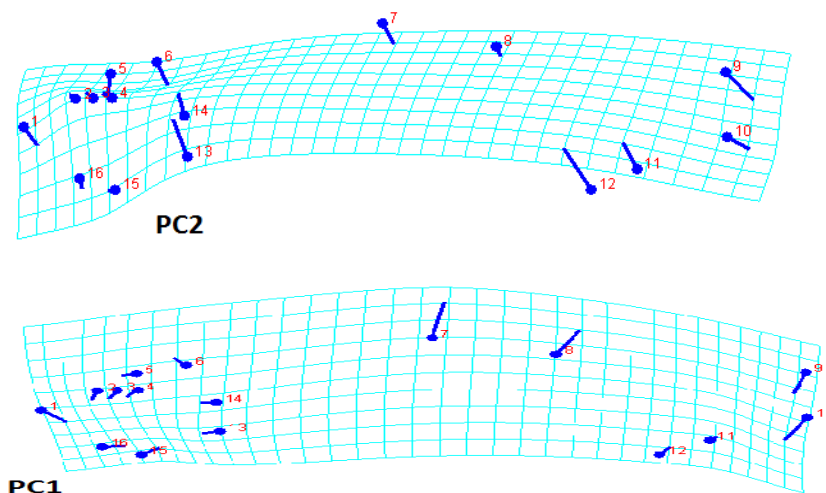
		Df	Z	F	Rsqr	MS	SS	Pr(>F)
spring	stations	4	3.382	2.680	0.176	0.003	0.015	0.001 **
	Residuals	50			0.823	0.001	0.070	
	Total	54					0.085	
	P value	0.001	5.531	4.890	0.270	0.005	0.026	0.001
summer	stations	5			0.729	0.001	0.070	**
	Residuals	66					0.096	
	Total	71						
	P value	0.001						
autumn	stations	5	3.215	2.394	0.161	0.004	0.020	0.002
	Residuals	62			0.838	0.001	0.106	**
	Total	67					0.126	
	P value	0.001						

تحلیل مولفه‌های اصلی شکل بدن ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان نشان داد که ۲ مولفه اصلی اول در مجموع ۸۸/۴۵ درصد واریانس کل را شامل می‌شدند. همچنین تغییر موقعیت لندمارک‌ها در راستای مثبت مولفه اول مربوط به تغییر موقعیت دهان و ساقه دمی می‌باشد و در راستای مثبت مولفه دوم مربوط به تغییر موقعیت دهان، باله مخرجی و پایین مرکز چشم می‌باشد (شکل ۵).

تحلیل همبستگی کانونی داده‌های شکل بدن، گروه‌بندی جمعیت‌های ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان داد (شکل ۶). فواصل ماهالانوبیس به‌عنوان درجه تمایز شکل بدن گونه *C. macrostomum* حاصل از آنالیز نتایج تحلیل همبستگی کانونی در فصل تابستان در جدول ۵ ارائه شده است که بیشترین و کم‌ترین مقادیر ماهالانوبیس به ترتیب بین ایستگاه‌های ۴-۲ و ۳-۵ به‌دست آمد.

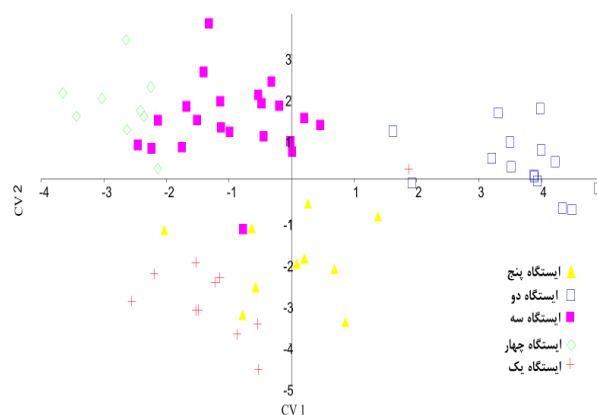
جدول ۵- مقادیر ماهالانوبیس شکل بدن ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل تابستان
Table 5- Mahalanobis values of the body shape of the studied stations in the summer season

stations	station 1	station 2	station 3	station 4
station 2	6.57			
station 3	4.50	6.05		
Station 4	3.72	6.70	4.13	
station 5	3.81	5.93	3.34	3.92



شکل ۵- تغییر موقعیت لندمارک‌های حاصل از شکل بدن ماهی بوتک دهان بزرگ ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل تابستان در طول دو مولفه اصلی اول و دوم

Figure 5- The change of position of the landmarks resulted from the body shape of the investigated stations in the summer season during the first and second main components



شکل ۶- تحلیل همبستگی کانونی (CVA) میانگین در ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل تابستان

Figure 6- Canonical correlation analysis (CVA) in the investigated stations in the summer season

نتایج تحلیل Two Block-PLS در طول محور اصلی اول صفت Ec ($0/538$)، عرض رودخانه و در طول محور دوم سرعت جریان ($0/005$) بیشترین ارتباط معنی‌داری را در تغییرپذیری ریختی گونه مورد مطالعه در ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل تابستان برعهده داشتند (جدول ۳). نتایج تفاوت‌های ریختی بین ایستگاه‌های مختلف تحت تاثیر فاکتورهای محیطی با استفاده از تحلیل پروکراست در فصل تابستان در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج، بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از لحاظ ریختی با فاکتورهای محیطی تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/001$).

نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی و نمودار سنگریزه‌ای در فصل پاییز بیانگر اهمیت ۳ مولفه اول با درصد واریانس کل $83/72$ درصد بود. همچنین تغییر موقعیت لندمارک‌ها در راستای مثبت مولفه اول مربوط تغییر موقعیت دهان، باله پشتی و باله مخرجی می‌باشد و در راستای مثبت مولفه دوم تغییر موقعیت دهان، ساقه دمی و پایین مرکز چشم می‌باشد (شکل ۷).

تحلیل همبستگی کانونی دانه‌های شکل بدن، گروه‌بندی ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان داد (شکل ۸). فواصل ماهالانوبیس به‌عنوان درجه تمایز شکل بدن گونه *C. macrostomum* حاصل از آنالیز نتایج تحلیل همبستگی کانونی در فصل پاییز در جدول ۶ ارائه شده است که بیشترین و کم‌ترین مقادیر ماهالانوبیس به‌ترتیب بین ایستگاه‌های ۱-۴ و ۱-۳ به‌دست آمد.

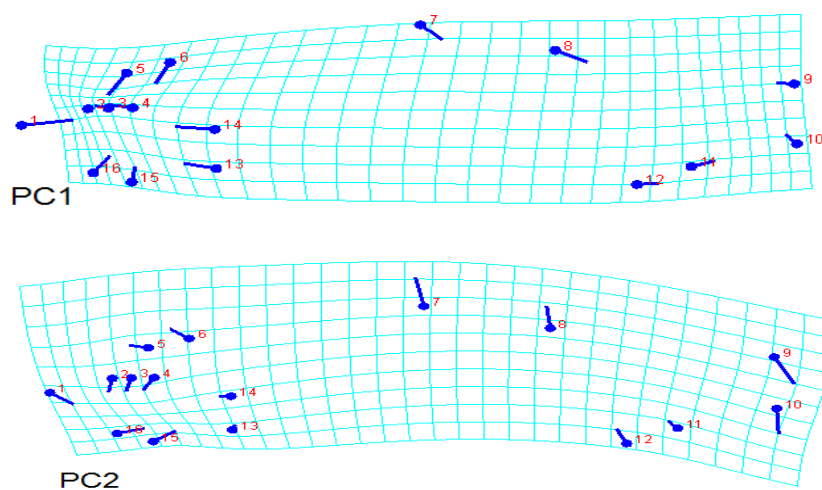
نتایج تحلیل Two Block-PLS در طول محور اصلی اول فاکتور EC ($0/812$) و در طول محور دوم شیب ($0/028$) بیشترین ارتباط

معنی‌داری را در تغییرپذیری ریختی گونه مورد مطالعه در ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل پاییز به عهده داشتند (جدول ۳). نتایج تفاوت‌های ریختی بین ایستگاه‌های مختلف تحت تاثیر فاکتورهای محیطی با استفاده از تحلیل پروکراست در فصل پاییز در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج، بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از لحاظ ریختی با فاکتورهای محیطی تفاوت معنی‌دار وجود داشت ($P < 0.002$).

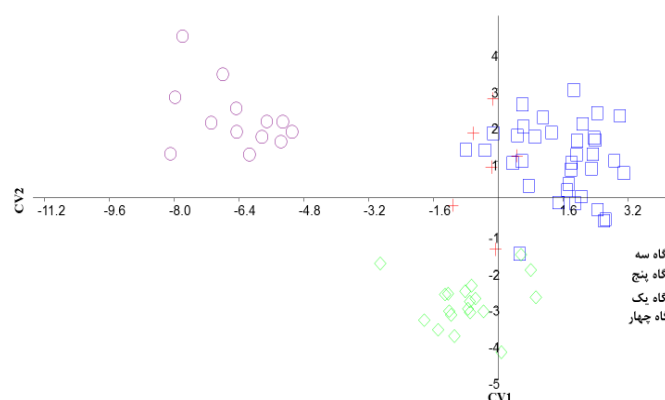
جدول ۶- مقادیر ماهالانوبیس شکل بدن ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل پاییز

Table 6- Mahalanobis values of the body shape of the studied stations in the autumn season

stations	station 1	station 3	Station4
station 3	6.06		
Station 4	9.52	5.91	
station 5	6.97	7.19	8.91



شکل ۷- تغییر موقعیت لندمارک‌های حاصل از شکل بدن ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل پاییز در طول دو مولفه اصلی اول و دوم
Figure 7- The change of position of the landmarks resulted from the body shape of the investigated stations in the autumn season during the first and second main components



شکل ۸- تحلیل همبستگی کانونی (CVA) در ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل پاییز
Figure 8- Canonical correlation analysis (CVA) in the investigated stations in the autumn season

در بسیاری از مطالعات ریختی جمعیت‌های ماهیان، تفاوت در شکل بدن به دلیل سازگاری ماهیان با زیستگاه‌های آن‌ها بیان شده است [17]، [18]. براساس نتایج ویژگی‌های ریختی ماهی لوتک دهان بزرگ در فصل‌های مختلف سال، جمعیت‌های مورد مطالعه در هر فصل در ایستگاه‌های مختلف از یکدیگر تفکیک شدند. همچنین فواصل ماهالانوبیس درجه تمایز شکل بدن گونه

C. macrostomum در بین ایستگاه‌ها در فصل‌های مختلف، با درجات مختلف نشان داد. Mousavi و همکاران (۲۰۱۳) [19] در بررسی انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های مختلف ماهی بوتک دهان بزرگ در حوضه تیگره با دو روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و تحلیل کانونی نشان داد جمعیت‌های مورد مطالعه به دو گروه سرچم، سیکان، حمیل و مورانی، تلخ‌آباد تقسیم شد. عمده تفاوت‌های ریختی در بین دو گروه طول سر، ساقه دم و موقعیت باله سینه‌ای بود که با توجه به عمق و سرعت جریان رودخانه گروه اول ساقه دمی بلند و سر کوتاه برای ماندگاری در این محیط مناسب باشد. همچنین مشخص شد که این گونه نسبت به شرایط هیدرودینامیکی دارای قابلیت انعطاف‌پذیری ریختی قابل ملاحظه‌ای است. در مطالعه‌ای دیگر، Nasri و همکاران (۲۰۱۳) [20] در مقایسه دو گونه *C. macrostomum* و *C. wastoni* در حوضه هرمز اختلاف معنی‌داری بین دو گونه با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به‌دست آوردند. همچنین Nasri و همکاران (۲۰۱۸) [21] در بررسی تنوع ریختی گونه‌های مختلف جنس *Cyprinion* در ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی نشان دادند که گونه‌های مختلف از هم جدا می‌شوند. این نتایج بیانگر قابلیت روش ریخت‌سنجی هندسی در تفکیک جمعیت‌ها و گونه‌های مختلف جنس *Cyprinion* مورد مطالعه است که در موافق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.

براساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در اکثر فصل‌ها تغییر در موقعیت دهان، باله پشتی و ساقه دم در راستای سازگاری ریختی با فاکتورهای محیطی زیستگاه به وقوع می‌پیوندد. تغییر در شکل بدن به‌ویژه ناحیه سر به‌طور غیرمستقیم به‌واسطه تغییرات در عمل جست‌وجوی غذا بوده و بر بازده عمل جست‌وجو غذا تاثیر می‌گذارد [22]. همچنین تغییر در موقعیت دهان نیز می‌تواند ناشی از تغییرات اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مختلف باشد بنابراین سازگاری ریختی ماهی می‌تواند با تغییر موقعیت دهان و به سمت بالا بتواند اکسیژن مورد نیاز خود را تامین کند [23]. با توجه به نتایج تغییر در موقعیت باله مخرجی و ساقه دم در ماهیان ایستگاه‌های مختلف می‌تواند به دلیل تغییرات زیستگاهی باشد، بدین معنی که در ماهیان ساکن در آب‌های با جریان بیشتر، نیاز به ویژگی هیدرودینامیکی داشته و از طریق ساقه دمی کوتاه مقدار انرژی رانشی بیشتری را جهت مقاومت در برابر جریان زیاد آب فراهم می‌کنند [24]. تفاوت شکل بدن در ایستگاه‌های یک رودخانه نشان‌دهنده متفاوت بودن نوع سازگاری ماهیان با توجه به نوع زیستگاه (نهرهای سنگلاخی با جریان سریع در مقایسه با آب‌های با جریان کم‌تر) است [25]. علاوه بر آن، درجه حرارت، شدت جریان آب، تفاوت دمای آب بین قسمت‌های بالادست و پایین‌دست آب یک رودخانه نیز می‌تواند روی شکل بدن جمعیت‌های یک رودخانه موثر باشد [26]. به‌طور کلی ویژگی‌های ریختی ماهیان نسبت به سایر مهره‌داران به‌دلیل حساسیت بیشتر به فاکتورهای محیطی بیشتر تغییر می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تفاوت ریختی ماهی بوتک‌دهان‌بزرگ در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در ۳ فصل سال نشان داد که تغییر شکل بدن در ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر فاکتورهای محیطی است. در اکوسیستم‌های آبی چنین سازگاری‌هایی در نتیجه نیاز به سازش با شرایط هیدرودینامیک صرفه‌جویی در انرژی و اقتصاد زیستی است [27]. بنابراین شکل خاص بدن ماهیان و رفتارهای حرکتی آن‌ها تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی آب است. براساس نتایج تحلیل Two Block-PLS، فاکتورهای مختلف محیطی ارتباط معنی‌داری در تغییرپذیری ریختی بوتک دهان بزرگ در فصل‌های مختلف برعهده داشتند. در فصل تابستان فاکتورهای EC و سرعت جریان بیشترین تاثیر را در تغییرپذیری ریختی داشتند، در فصل بهار فاکتور عمق و عرض رودخانه، در فصل پاییز فاکتور EC و شیب بیشترین تاثیر را تغییرپذیری ریختی برعهده داشتند. به‌طور کلی بین عمق، عرض و سرعت جریان رابطه مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد یعنی هرچه عرض رودخانه کمتر باشد به دنبال آن عمق و سرعت جریان افزایش می‌یابد، با توجه به نتایج که بیشتر تغییرات ریختی در طی سال در قسمت‌های سر، باله‌ها و ساقه دمی بود، مشخص شد که الگوی تغییرات ریخت این گونه در میزان شناوری و قدرت مانور در عمق و سرعت جریان متفاوت تطابق می‌یابد. این سازگاری در اکوسیستم آبی نتیجه سازش با نیروهای هیدرودینامیکی برای صرفه‌جویی در انرژی در طی رفتار ماهی مرتبط با فاکتورهای بیان شده است. تفاوت ریختی ماهیان ساکن در یک زیستگاه ممکن به دلیل دو عامل سرعت جریان آب و در دسترس بودن منابع و ترکیبات آب باشد [28]. تغییرات ریختی بین جمعیت‌ها ممکن است تحت تاثیر ترکیب ژنتیکی افراد باشد، اما مجموعه‌ای از سازگاری‌ها را نیز با ترکیبی از عوامل محیطی مانند دما، شوری، اکسیژن محلول، شدت نور، عمق آب، شدت جریان آب، در دسترس بودن غذا، نوع تغذیه و زیستگاه به واسطه انعطاف

پذیری فنوتیپی منعکس کند [29]. بنابراین با توجه به نتایج مشخص شد بین تغییرات ریختی بوتک دهان بزرگ و فاکتورهای زیستگاهی رودخانه زاب کوچک همبستگی بالا و معنی‌دار وجود دارد.

اعلام تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

این مطالعه با همکاری مالی دانشگاه تهران انجام شده است. کلیه حقوق مادی و معنوی مرتبط با این مقاله برعهده نویسندگان است.

منابع

- [1] Langer, S. Tripathi, N.K. & Khajuria, B. (2013). Morphometric and meristic study of Golden Mahseer (*Tor Putitora*) from Jhajjar Stream (JandK), India. *Research Journal of Animal Veterinary and Fishery Sciences*, 1 (7), 1-4.
- [2] Prasad, H. Desai, A.Y. & Jogi, A. (2020). Morphometric and meristic characters of *Wallago attu* from bhadar reservoir of Gujarat, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8 (2), 941-950.
- [3] Hossain, M.Y., Ohtomi, J. & Ahmed, Z. F. (2009). Morphometric, meristic characteristics and conservation of the threatened fish, *Puntius sarana* (Hamilton, 1822)(Cyprinidae) in the Ganges River, northwestern Bangladesh. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9, 223-225. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2009.0215>
- [4] Turan, C. (2004). Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES Journal of Marine Science*, 61 (5), 774-781.
- [5] Silva, A. (2003). Morphometric variation among sar-dine (*Sardina pilchardus*) populations from the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 60 (6), 1352-1360.
- [6] Turan, C. (2000). Otolith shape and meristic analysis of Herring (*Clupea harengus*) in the northeast Atlantic. *Archive of Fishery and Marine Research*, 48 (3), 283-295. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.05.001>
- [7] Turan, C. (1999). A note on the examination of morphometric differentiation among fish populations: the truss system. *Turkish Journal of Zoology*, 23 (3), 259-264.
- [8] Coad, B.W. (1995). Freshwater fishes of Iraq. *Pensoft Series Faunistica*, 93, 274.
- [9] Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Esmaili, H.R., Sayadzadeh, G. & Nasri, M. (2022). Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal Zoology*, 46 (6), 500-522. <https://doi.org/10.55730/1300-0179.3104>
- [10] Binandeh, A., Nobari, A.H., Neyestan, J. & Vahdati Nasab, H. (2012). A new archaeological research in northwestern Iran: prehistoric settlements of little Zab River basin. *International Journal Humanities*, 19 (2), 27- 41.
- [11] Adams, D.C. & Collyer, M.L. (2009). A general framework for the analysis of phenotypic trajectories in evolutionary studies. *Evolution*, 63, 1143-1154.
- [12] Rohlf, F.J. (2006). TpsDig, Version 2.10. Stony Brook: Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- [13] Zelditch, M. (2004). Geometric morphometrics for biologists: a primer. Elsevier Academic Press, New York.
- [14] Rohlf, F.J. & Corti, M. (2000). Use of two-block partial least-squares to study covariation in shape. *Syst Biol.* 49 (4), 740-53.
- [15] Hamper, O. Harper, D.A.T. & Paul, D. (2001). Past: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1), 1-9.
- [16] Klingenberg, C.P. (2011). Morpho J: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11, 353-357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- [17] Haas, T.C. Blum, M.J. & Heins, D.C. (2011). Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biology Letter*, 6, 803-806. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0401>
- [18] Nacua, S.S. Dorado, E.L. Torres, M.A.J. & Demayo, C.G. (2010). Body shape variation between two populations of the white goby (*Glossogobius giuris*). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 5, 44-51.
- [19] Mousavi, M. Nasri, M. & Eagderi, S. (2013). Investigating the morphological flexibility of different populations of *Cyprinion macrostomum* in the Tigris basin by geometric morphometric method. The second conference of ichthyology of Iran. 50-49. <https://doi.org/10.22034/iji.v5i2.265>
- [20] Nasri, M. Eagderi, S. Farahmand, H. & Hashemzadeh Segherloo, I. (2013). Body shape comparison of *Cyprinion macrostomum* (Heckel, 1843) and *Cyprinion watsoni* (Day, 1872) using geometric morphometrics method. *International Journal of Aquatic Biology*, 1 (5), 240-244.
- [21] Nasri, M. Eagderi, S. Keivany, Y. Farahmand, H. Dorafshan, S. & Nezhadheydari, H. (2018). Morphological diversity of *Cyprinion Heckel*, 1843 species (Teleostei: Cyprinidae) in Iran. *Iranian Journal of Ichthyology*, 5 (2), 96-108. <https://doi.org/10.22034/iji.v5i2.265>
- [22] Andersson, J. Frank, J. & Tony, S. (2005). Interactions between predator-and diet-induced phenotypic changes in body shape of crucian carp. *Proc Biol Sci.*, 273, 431-437. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3343>

- [23] Kramer, D.L. & McClure, M. (1982). Aquatic surface respiration, a widespread adaptation to hypoxia in tropical freshwater fishes. *Environmental Biology and Fisheries*, 7, 47-55. <https://doi.org/10.1007/BF00011822>
- [24] 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.
- [25] Tabatabaei, S. N. Hashemzadeh Segherloo, I. Eagderi, S. & Zamani Faradonbeh, M. (2014). Determining factor in habitat selection of *Paracobitis iranica* (Nalbant & Bianco 1998) population in Kordan River, Namak Lake Basin. *Iranian Journal Aquatic Ecology*, 3 (4), 9-1. <https://doi.org/10.22059/ije.2023.357474.1723>
- [26] Zamani Faradonbe, M. Eagderi, S. & Moradi, M. (2015). Patterns of body shape variation in *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae) in relation to environmental variables in Sefidrud river basin. Iran. *Journal of Applied Biological Sciences*, 9 (1), 36-42.
- [27] Langerhans, R.B. & Reznick, D.N. (2010). Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. In: Fish locomotion: an ecoethological perspective (eds. Domenici, P. and Kapoor, B. G.) Science Publishers Inc, Enfield. 200-248.
- [28] Langerhans, R.B. Layman C.A. Langerhans A.K. & Dewitt T.J. (2003). Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological journal of the Linnean Society*, 80, 689-698. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2003.00266.x>
- [29] Antonucci, F. Costa, C. Aguzzi, J. & Cataudella, S. (2009). Ecomorphology of morphofunctional relationships in the family of *Sparidae*: A quantitative statistic approach. *Journal of Morphology*, 270 (7), 843-855. <https://doi.org/10.1002/jmor.10725>