

ORIGINAL ARTICLE

Biosystematics of species belonging to the genera *LucioBarbus* and *Capoeta* based on scale morphology

Elham Mirahmadi¹, Mohammad Saeed Heydarnejad^{1*} , Iraj Hashemzadeh², Narges Tabatabaee²

¹Department of Animal Biology, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

²Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Correspondence

Mohammad Saeed Heydarnejad
Email: msh@utas.edu.au

How to cite

Mirahmadi, E., Heydarnejad, M.S., Hashemzadeh, I., & Tabatabaee, N. (2025). Biosystematics of species belonging to the genera *LucioBarbus* and *Capoeta* based on scale morphology. *Experimental Animal Biology*, 14(54), 31-43.

ABSTRACT

There are more than 200 species of freshwater fish in Iran. In addition to the ability to identify fish, scales are the only available samples in cases such as checking food rations or checking historical biodiversity in aquatic environments. In this regard, in this research, with the aim of preparing the basic data of the scales in the genera *Capoeta* and *LucioBarbus*, samples including ten species were prepared from the Tigris, Karun, Ker, Namak and Caspian basins. In order to check the prepared samples, 10 to 15 scales were prepared from the areas of the cap, under the dorsal fin and on the caudal stem, and after treatment in 5% potassium solution and fixation on the slide using a microscope and a loupe equipped with a camera. The landmarking operation and investigation were carried out using the detection function analysis and principal component analysis methods, respectively, using TpsDig and PAST software. Based on the obtained results, it was found that the scales have gender-specific appearance differences, the caudal stem scales separated the species more accurately. Examining the geometric shape using landmarks was the best for separations at the genus level. Among the examined species, *LucioBarbus brachcephalus*, *LucioBarbus capito* and *Capoeta saadi* were distinguished from other species with the highest accuracy.

KEY WORDS

Freshwater fishes, taxonomy, scale, geometric shape analysis, biodiversity.

نشریه علمی

زیست‌شناسی جانوری تجربی

«مقاله پژوهشی»

بیوسیستماتیک گونه‌های متعلق به جنس‌های *Capoeta* و *LucioBarbus* براساس مورفولوژی فلس

سیده الهام میراحمدی^۱، محمدسعید حیدرنژاد^{۱*} , ایرج هاشم‌زاده سقرلو^۲، سیده نرجس طباطبایی^۲

چکیده

بیش از ۲۰۰ گونه ماهی آب شیرین در ایران وجود دارد. با بررسی جیره غذایی و تنوع زیستی تاریخی ماهی‌ها در محیط‌های آبی می‌توان از فلس به‌عنوان ابزاری برای شناسایی آن‌ها استفاده کرد. فلس‌ها علاوه بر قابلیت استفاده در شناسایی ماهی‌ها در مواردی مثل بررسی جیره غذایی و یا بررسی تنوع زیستی تاریخی در محیط‌های آبی تنها نمونه‌های قابل دسترس هستند. در همین راستا در این پژوهش با هدف تهیه داده‌های پایه فلس در جنس‌های *Capoeta* و *LucioBarbus* نمونه‌هایی شامل ۱۰ گونه از حوضه‌های دجله، کارون، کر، نمک و خزر تهیه شد. برای بررسی نمونه‌های تهیه شده فلس‌ها به تعداد ۱۰ تا ۱۵ عدد از نواحی سرپوشی، زیر باله پشتی و روی ساقه دمی تهیه شد. سپس نمونه‌ها در محلول پتاس ۵ درصد قرار داده و بر روی لام تثبیت گردیدند و در نهایت با استفاده از میکروسکوپ مجهز به دوربین عکسبرداری تصویر برداری شدند. عملیات لندمارک‌گذاری و بررسی به روش‌های تحلیل تابع تشخیص و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به ترتیب با استفاده از نرم‌افزار TpsDig و PAST انجام شد. برپایه نتایج به دست آمده مشخص شد فلس‌ها دارای تفاوت‌های ظاهری مخصوص جنس هستند. با استفاده از شکل هندسی و لندمارک‌ها نمونه‌ها از یکدیگر جدا شدند. در بین گونه‌های موردبررسی گونه‌های *Capoeta saadi* و *LucioBarbus capito* و *LucioBarbus brachzcephalus* صحت از سایر گونه‌ها تفکیک شدند.

واژه‌های کلیدی

بررسی شکل هندسی، تنوع زیستی، رده‌بندی، فلس، ماهیان آب شیرین.

^۱گروه زیست‌شناسی جانوری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
^۲گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

نویسنده مسئول:

محمدسعید حیدرنژاد⁺

رایانامه: msh@utas.edu.au

استناد به این مقاله:

میراحمدی، سیده الهام؛ حیدرنژاد، محمدسعید؛ هاشم‌زاده سقرلو، ایرج و طباطبایی، سیده نرجس (۱۴۰۴). بیوسیستماتیک گونه‌های متعلق به جنس‌های *Capoeta* و *LucioBarbus* براساس مورفولوژی فلس. فصلنامه زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۱۴(۵۴)، ۳۱-۴۳.

مقدمه

کشور ایران از لحاظ اقلیم حیاتی به‌عنوان بخشی از منطقه پالئارکتیک (Palearctic) در مجاورت با مناطق جغرافیای جانوری اسیوی و اورینتال قرار گرفته است، به‌طوری‌که اغلب ماهیان آن خاستگاه پالئارکتیک دارند و از عناصر حیاتی اورینتال و اسیویایی نیز سود می‌برد و از این رو دارای فون ماهیان متنوعی است (کود و ویلنکین، ۲۰۰۴)

ماهیان آب‌های شیرین بنابر ماهیت اکولوژیک و سرشت خود برای مطالعات جغرافیای جانوری ابزار بسیار سودمندی هستند و به علت محدودیت زیستگاه‌های خود، در نشان دادن روابط جغرافیای جانوری شاخص مهمی تلقی می‌شوند (یوسفی و همکاران، ۲۰۲۰).

با وجود تنوع زیستی قابل توجه ماهیان آب شیرین ایران، شرایط طبیعی اکوسیستم‌های آب شیرین در سال‌های اخیر در اثر عواملی چون افزایش جمعیت، صید بی‌رویه، افزایش آلودگی‌ها، احداث سدها، ورود گونه‌های غیربومی بویژه ماهی تیلپیا، خشک‌سالی، تغییرات اقلیمی و نیز عدم اعمال مدیریت آینده‌نگر زیست محیطی همگام با تغییر فاحش شرایط اکولوژیکی سبب کاهش ارزش زیستگاه‌های تنگ‌تر شدن عرصه‌های زیستی ماهیان در رودخانه‌های حوضه‌های مختلف کشور شده و تنوع زیستی ماهیان آب شیرین را با تهدیدات فراوانی روبرو کرده است (راید و همکاران، ۲۰۱۳). بدیهی است که بدون ارزیابی تغییرات تنوع ماهیان نمی‌توان در مورد شدت اثرات مخرب این عوامل قضاوت نموده و برای حفاظت و مدیریت تنوع زیستی ماهیان آب شیرین راهکار ارائه داد (پینا و همکاران، ۲۰۲۳). از سوی دیگر، تنوع بالای ماهیان آب شیرین اختصاص منابع مالی را برای حفاظت از تک تک گونه‌ها محدود می‌نماید. به همین دلیل باید بتوان گونه‌هایی که بیش‌ترین اثرات را از عوامل یادشده پذیرفته‌اند، شناسایی نموده و برای حفاظت اولویت‌بندی نمود (کانتوناتی و همکاران، ۲۰۲۰).

یکی از پیش نیازهای حفاظت و مدیریت شناسایی شدت پاسخ گونه‌های ماهیان به عوامل مخرب انسانی و طبیعی است که می‌تواند به‌عنوان شاخص اطلاعاتی مفید واقع شود (وستلند، ۲۰۰۷). متأسفانه در ایران اطلاعات دقیقی در مورد تغییرات تنوع گونه‌ای ماهیان آب شیرین وجود ندارد که دلایل آن را می‌توان جدید بودن علم ماهی‌شناسی، عدم ثبت اطلاعات تنوع گونه‌ای در گذشته و حال، بی‌توجهی به ماهیان آب شیرین به‌عنوان

بخشی از تنوع زیستی کشور و عدم وجود شناخت علمی در مورد ماهیان عنوان نمود (موناندار و همکاران، ۲۰۲۴). یکی از فعالیت‌ها و مطالعات ارزشمندی که می‌تواند در پر کردن این خلأ اطلاعاتی در مورد تغییرات فون ماهیان آب شیرین کشور مفید باشد، بررسی و یافتن ابزاری است که بتوان با کمک آن تغییرات فون ماهیان حوضه‌های مختلف آب‌های داخلی کشور را در طول زمان و با استفاده از منابع و نمونه‌های جمع‌آوری شده در گذشته، ارزیابی نمود.

برای شناسایی و ثبت اطلاعات تنوع گونه‌ای می‌توان رویکردهای مختلفی را درپیش گرفت که هر کدام مزایا و معایبی دارد (مارنکوف، ۲۰۱۸ و هوپر و بوندوریانسکی، ۲۰۲۲). یکی از رویکردهایی که از گذشته تاکنون برای شناسایی ماهیان مورد استفاده بوده است، بررسی‌های ریخت‌شناسی ماهیان است. در این رویکرد، ابعاد مختلف بدن ماهیان، تعداد ویژگی‌های قابل شمارش مثل تعداد فلس‌های خط جانبی، تعداد شعاع‌های باله، تعداد مهره‌ها و ... در بین گونه‌ها و یا جمعیت‌های مختلف بررسی و مقایسه می‌شود (برمن، ۲۰۲۴). در رویکردهای جدیدتر تغییرات شکل و ابعاد بدن ماهیان مثل تغییر موقعیت باله‌ها و یا شکل سر و بدن، شکل استخوان‌ها، مشخصات اندام‌های داخلی بدن، بافت‌شناسی و الگوهای رنگی بدن در بین گروه‌های موردبررسی مقایسه می‌شود (مارنکوف، ۲۰۱۸).

استفاده از این رویکردها معمولاً نیازمند صید و از بین بردن تعداد زیادی ماهی است که در بحث‌های اخلاقی و حفاظتی نمی‌توان استفاده از این روش‌ها را به‌عنوان روش‌های معمول توصیه نمود. علاوه بر این در صورت استفاده از نمونه‌های موزه‌ای، استفاده از روش‌های یادشده موجب تخریب نمونه‌ها می‌شود که معمولاً چنین بررسی‌هایی با استفاده از نمونه‌های موزه‌ای هم مقدور و مجاز نیست. یکی از محدودیت‌های استفاده از روش‌های ریخت‌شناسی، تأثیر عوامل محیطی بر این صفات است که بر توانایی تشخیص تفاوت‌های حقیقی (ژنتیکی-تکاملی) در بین گونه‌ها و جمعیت‌ها تأثیر منفی دارد (هوپر و بوندوریانسکی، ۲۰۲۲).

فلس‌ها می‌توانند به‌عنوان منبع اطلاعاتی مفیدی برای بررسی تغییرات تنوع زیستی ماهیان مورد استفاده قرار گیرند. نگهداری و آرشیو نمودن نمونه‌های فلس نیازمند امکانات چندانی نیست، هزینه قابل توجهی ندارد و با کم‌ترین آموزش توسط نیروی انسانی قابل جمع‌آوری است و حتی موجب از بین رفتن نمونه‌های ماهیان نمی‌شود (کالیندو و همکاران،

نیست و شباهت‌های ژنتیکی یادشده به دورگ‌گیری احتمالی در بین اعضای این جنس نسبت داده شده است (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۸). از سوی دیگر ممکن است تفاوت‌های ریختی یادشده بیش‌تر نمایانگر اختلاف شرایط بوم‌شناختی زیستگاه‌های مختلف باشد. در این مطالعه با در نظر داشتن مزایای استفاده از فلس برای شناسایی گونه‌ها و سایر مزایایی که پیشتر عنوان شد، تفاوت‌های شکل فلس در بین تعدادی از گونه‌های جنس *LucioBarbus* در ایران در مقایسه با گونه‌های *Capoeta* و *Barbus* بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌های ماهیان

نمونه‌های مورد استفاده در این بررسی از تالاب شادگان (حوضه رودخانه جراحی)، رودخانه کارون استان چهارمحال و بختیاری، رودخانه سفیدرود و قنات حسن آباد و یخ مهریز یزد (جدول ۱) با استفاده از الکتروشوک کول پستی (در سفیدرود و رود کارون)، تور پرتابی (تالاب شادگان) و با استفاده از تور ساجوک (قنات) جمع‌آوری شدند. لازم به ذکر است تعدادی از نمونه‌ها از قبل وجود داشتند. نمونه‌ها پس از صید در روی یخ به آزمایشگاه منتقل شده و پس از کدگذاری و برداشت نمونه ژنتیکی (باله سینه ای) و فلس، در فرمالین ۱۰ درصد تثبیت شدند. نمونه‌های باله سینه‌ای پس از قطع شدن در الکل اتانول ۹۵ درصد با کد مشابه نمونه ماهی نگهداری شده و پس از ۲۴ ساعت الکل آن‌ها تعویض شد.

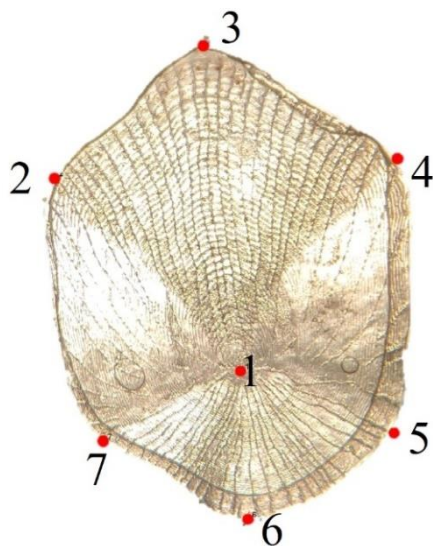
۲۰۱۳). علاوه بر موارد یادشده در بررسی‌های اکولوژی تغذیه ماهیان، گاهی محتویات معده آن‌ها بررسی می‌شود که یکی از اقلام موجود در میان بقایای ماهیان شکار شده در معده، فلس‌ها هستند. شناسایی گونه‌ها با استفاده از فلس‌ها در این موارد نیز می‌تواند مفید باشد. به همین دلیل با استفاده از فلس برای شناسایی گونه‌های ماهیان، با استفاده از مزیت بررسی‌های ریخت‌شناسی می‌توان اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد وضعیت گذشته و حال حاضر تنوع زیستی ماهیان کشور و همچنین رفتار آن در مواجهه با عوامل انسانی و طبیعی فراهم نموده و پایه اطلاعاتی مفیدی را ایجاد کرد که با استمرار جمع‌آوری و ثبت اطلاعات بتوان با هزینه پایینی تنوع ماهیان را پایش نمود.

در بین ماهیان آب شیرین ایران و بین‌النهرین (دجله و فرات) گونه‌های مختلفی از جنس‌های *Barbus*، *Capoeta* و *LucioBarbus* در حوضه‌های مختلف دارای پراکنش گسترده بوده و تنوع ریختی و ژنتیکی آن‌ها موجب توصیف چهار گونه *Barbus* (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۳)، *LucioBarbus* (جولاده رودباری و همکاران، ۲۰۲۰) و نوزده گونه *Capoeta* (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۱۸) و جولاده رودباری و همکاران، ۲۰۲۰). از حوضه‌های خزر، ارومیه، نمک و کر، زاینده‌رود، نائین، کویر، خلیج فارس و دجله شده است. در میان گونه‌های *LucioBarbus* در حوضه دجله تنوع ریختی بالایی وجود دارد که موجب توصیف گونه‌های مختلفی شده است، اما تنوع ریختی با تفاوت‌های ژنتیکی بالایی همراه

جدول ۱. مکان‌های نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌های موردبررسی از هر گونه

گونه	تعداد نمونه	مکان نمونه‌برداری	استان
<i>Capoeta buhsei</i>	۹	رودخانه کردان	البرز
<i>Capoeta coadi</i>	۱۸	رودخانه کارون و بشار	چهارمحال و کهکیلویه بوبیر
<i>Capoeta barrosi</i>	۹	رودخانه کارون	چهارمحال و بختیاری
<i>Capoeta aculeata</i>	۱۳	درود زن	فارس
<i>Capoeta damascina</i>	۱۰	سپروان	کردستان
<i>Capoeta razii</i>	۲۲	سفیدرود	گیلان
<i>Barbus cyri</i>	۱۴	سفیدرود	گیلان
<i>LucioBarbus barbatus</i>	۱۹	کارون	چهارمحال و بختیاری
<i>LucioBarbus shejch</i>	۸	شادگان و کرخه	خوزستان
<i>LucioBarbus brachycephalus</i>	۱۵	سفیدرود	گیلان
<i>LucioBarbus capito</i>	۷	لاهیجان	گیلان

موردبررسی، تعداد هفت لندمارک که در همه گونه‌ها قابل تشخیص بود، انتخاب شد (شکل ۱). در این رابطه برای هر ماهی یک فلس دارای شکل و مرکز طبیعی انتخاب شد تا از خطای مربوط به فلس‌های غیرطبیعی جلوگیری شود. با توجه به اینکه در مراحل قبل فلس‌ها دقیقاً کدگذاری شده بودند در این مرحله دیگر نیازی به کدگذاری مجدد نبود.



شکل ۱. جایگاه ۷ لندمارک تعیین‌شده روی فلس ماهیان: (۱) مرکز فلس، (۲) پایین‌ترین نقطه در راستای خطی که از مرکز عبور می‌کند، (۳) گوشه‌ی پایینی سمت چپ فلس، (۴) محل تقاطع ناحیه‌ی بیرونی یا جلویی فلس با ناحیه‌ی درونی یا عقبی آن در سمت چپ، (۵) بالاترین نقطه در راستای خطی که از مرکز عبور می‌کند، (۶) محل تقاطع ناحیه بیرونی یا جلویی فلس یا عقبی آن در سمت راست، (۷) گوشه‌ی پایینی سمت راست فلس

پس از انجام عملیات لندمارک‌گذاری برای همه ماهیان و فلس‌های موردبررسی، فایل مختصات لندمارک‌ها باروش‌های آنالیز چندمتغیره تحلیل تابع تشخیص (Discriminant Function Analysis) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Components Analysis) با استفاده از نرم‌افزار PAST نسخه 4.16c بررسی شد (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۴). برای انجام بررسی‌های یادشده ابتدا لندمارک‌ها به روش procrustes تبدیل و پردازش شدند (جولیف، ۲۰۰۲ و آگولار-مدرانو و همکاران، ۲۰۱۱) که به این پردازش و تبدیل Procrustes (PS) Superimposition گفته می‌شود. این عملیات به این شرح است که برای مقایسه شکل‌ها، ابتدا اشیاء به‌طور بهینه‌ها هم منطبق می‌شوند. اینفرایند شامل تبدیل، چرخاندن، و هم‌مقیاس‌نمودن یا از بین‌بردن اثر اختلاف اندازه است. اگر این

شناسایی ریختی ماهیان

شناسایی اولیه گونه ماهیان با توجه به ویژگی‌های ریختی گزارش شده در چک لیست‌های ماهیان آب شیرین ایران و با توجه به پراکنش جغرافیایی هرگونه انجام شد (جولاده رودباری و همکاران، ۲۰۲۰). سپس وزن آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی و هم‌چنین طول استاندارد آن‌ها با استفاده از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری و از تمام نمونه‌های ماهی عکس‌برداری انجام شد.

تهیه فلس

با توجه به هدف مطالعه که بررسی تفاوت فلس‌های نواحی مختلف بدن ماهیان در شناسایی گونه‌ها بود، از یک سمت بدن ماهی‌ها از نواحی پشت سرپوش آب‌ششی، زیر باله پشتی و روی ساقه دم چندین فلس (حدوداً ۱۵-۱۰ فلس) برداشت شد. فلس‌های برداشت شده در داخل پاکت‌های کاغذی که روی آن‌ها گونه و کد ماهی و ناحیه بدنی فلس مشخص شده بود، نگهداری شد تا خشک شود. فلس‌ها به منظور آماده‌سازی برای بررسی‌های شکل با استفاده از محلول پتاس پنج درصد (KOH) برای جدا شدن اپیدرم و لایه‌های چربی شست و شو شدند (پولت و همکاران، ۲۰۰۵). پس از شست و شو، فلس‌های هر قسمت از بدن ماهی روی یک لام با ذکر گونه، کد نمونه و محل بدنی برداشت فلس روی لام قرار گرفته و پس از چکاندن یک قطره آب روی هر فلس لام دیگری روی آن‌ها قرار گرفت تا برای تهیه عکس دیجیتالی و بررسی‌های میکروسکوپی آماده شوند. در مرحله بعد از تمام فلس‌های با استفاده از میکروسکوپ یا لوپ (بسته به سایز فلس) مجهز به دوربین عکس تهیه شده و هر عکس با توجه به کد نمونه ماهی و ناحیه بدنی برداشت فلس کدگذاری شد.

لندمارک‌گذاری

تصاویر همه فلس‌ها از گونه‌های مختلف بررسی شد تا ویژگی‌ها یا لندمارک‌های مشترک در بین گونه‌های مختلف شناسایی شود. پس از تعیین لندمارک‌های مشترک و قابل تشخیص در همه گونه‌های موردبررسی، عملیات لندمارک‌گذاری با استفاده از نرم‌افزار TpsDig نسخه 2.32 انجام شد و فایل‌های tps از آن‌ها تهیه گردید (رولف، ۲۰۱۰). با توجه به بررسی‌های مقدماتی انجام شده در مورد شکل فلس‌های گونه‌ها و جنس‌های

مختلف منتسب می‌شود. بر این اساس گروهی که شکل فلس با آن هم‌بستگی بیش‌تری دارد به‌عنوان گروه یا گونه منشأ فلس شناسایی می‌شود. به همین دلیل در این مطالعه که هدف اصلی آن تهیه بانک اطلاعات شکل فلس برای شناسایی گونه یا جنس منشأ فلس‌های نامشخص است، از این روش استفاده شد.

نتایج

شناسایی گونه‌ها

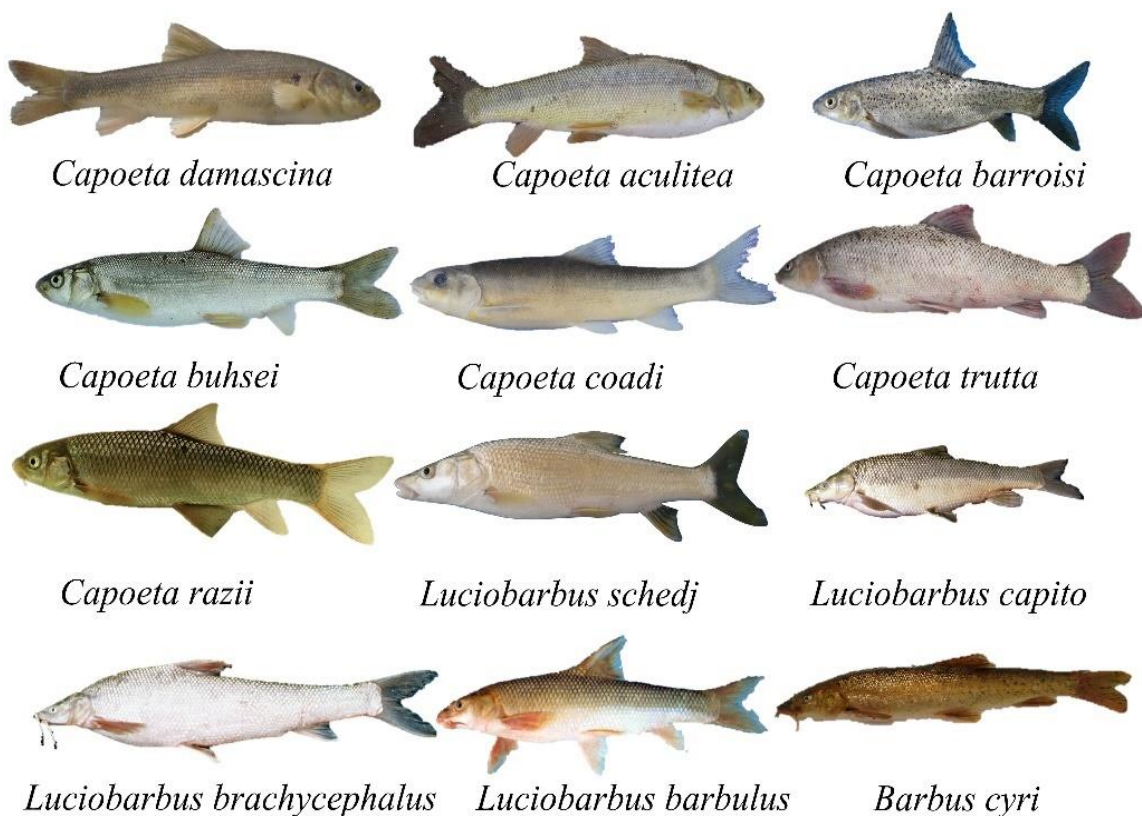
ریخت‌شناسی

بر پایه بررسی‌های ریختی شامل اندازه فلس، شکل سر، تعداد سیبک، محل قرارگیری باله پشتی، شکل لب‌ها و الگوهای خال‌ها و لکه‌های روی بدن و هم‌چنین پراکنش جغرافیایی در بین نمونه‌ها، گونه‌های *Capoeta damascina*، *Capoeta trutta*، *Capoeta aculitea*، *Capoeta buhsei*، *Capoeta coadi*، *Luciobarbus barbulus*، *Luciobarbus capito* و *Luciobarbus schedj* شناسایی شدند (شکل ۲).

روش به‌طور کامل اجرا شود، در آن هم اختلاف اندازه و موقعیت شکل‌ها تبدیل می‌شود، اما می‌توان از این روش تنها برای چرخاندن و یکسان‌نمودن نسبی موقعیت اشکال هم استفاده نمود. بعد از تبدیل مختصات لندمارک‌ها، ابتدا برای مشاهده پراکنش نمونه‌های مختلف (در این مورد افراد و گونه‌ها) و هم‌چنین برای مشاهده تغییرات شکل فلس‌ها و یا به‌عبارتی تغییرات موقعیت نسبی لندمارک‌ها نسبت به شکل میانگین فلس در بین همه گونه‌ها از تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.

در مرحله بعد برای بررسی این که آیا با استفاده از فلس‌ها می‌توان گونه‌های مختلف ماهیان را شناسایی نمود، از روش تحلیل تابع تشخیص (DFA) استفاده شد.

در روش تحلیل تابع تشخیص فلس‌های ماهی‌ها بر پایه گونه گروه‌بندی می‌شوند و سپس در این تحلیل روابط موجود در بین فلس‌های هر گونه ماهی محاسبه و مشخص می‌شود و با توجه به هم‌بستگی موجود در بین شکل هر فلس و توابع مربوط به شکل فلس هر گونه فلس ناشناخته یا با منشأ نامشخص به گروه‌های



شکل ۲. تصاویر گونه‌های ماهیان مورد استفاده در این مطالعه

بررسی شکل فلس‌ها

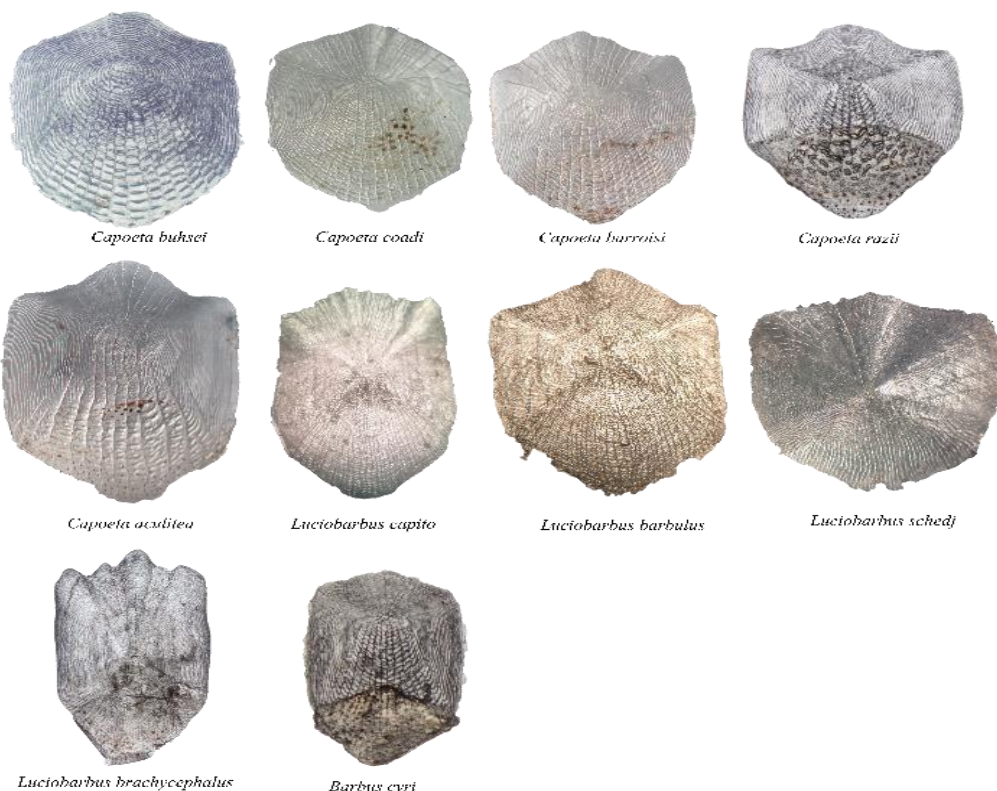
مقایسه شکل ظاهری فلس

فلس‌ها در بین جنس‌های *Capoeta*، *LucioBarbus* و *Barbus* در ظاهر دارای تفاوت‌های قابل تشخیصی هستند که به دلیل انتخاب لندمارک‌های مشابه در مقایسه‌های هندسی این موارد از بررسی‌ها کنار می‌ماند. در جنس *Capoeta* فلس‌ها دارای خطوط مورب یا شعاع‌های قاعده‌ای درازتر و با شیب تندتری به سمت مرکز فلس هستند، اما این خطوط در فلس‌های جنس *LucioBarbus* کوتاه‌تر بوده و شیب ملایم‌تری به سمت مرکز فلس دارند (شکل ۴). علاوه بر این خطوط شعاعی قاعده فلس‌ها در جنس *LucioBarbus* در مقایسه با جنس *Capoeta* و *Barbus* دارای بافت ریزتری است. در مقایسه ظاهری فلس‌های ماهیان جنس *LucioBarbus* در حوضه خزر و دجله ظاهراً فلس‌های ماهیان حوضه خزر دارای عرض نسبی کم‌تر و حالت مستطیلی بارزتری هستند. فلس ماهی *Barbus* هم از نظر شکل خطوط قاعده‌ای شباهت بیشتری به ماهیان جنس *Capoeta* داشته ولی از نظر عرض نسبی به فلس‌های ماهیان جنس *LucioBarbus* در حوضه خزر دارد.

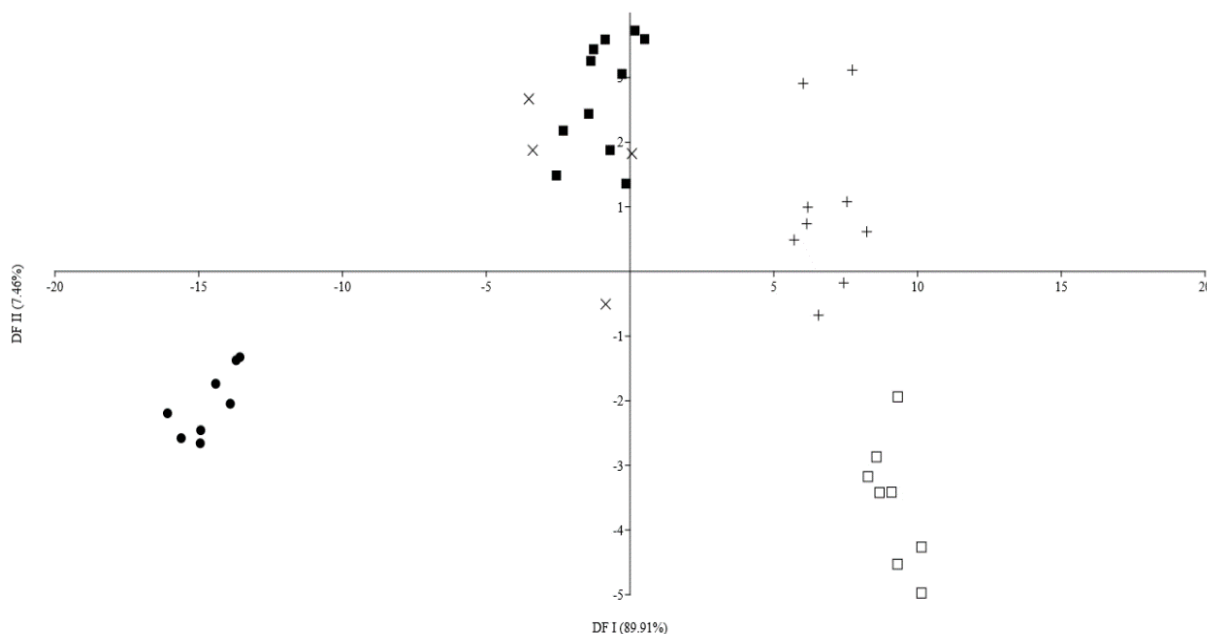
کارایی فلس‌های قسمت‌های مختلف بدن

نتایج آنالیز واریانس چندمتغیره (MANOVA) تفاوت معنی‌داری را در بین شکل فلس‌ها در بین گونه‌های مختلف نشان داد ($P < 0.001$). با انجام آزمون تحلیل تابع تشخیص در مورد قابلیت جداسازی گونه‌ها با استفاده از شکل فلس برداشت شده از قسمت‌های پشت ناحیه آبششی، زیر باله پشتی و روی ساقه دمی مشاهده شد که فلس‌های ساقه دمی، باله پشتی و پشت سرپوش آبششی به ترتیب ۸۰ درصد (جدول ۲ و شکل ۴)، ۷۶/۱۹ درصد (جدول ۲ و شکل ۵) و ۸۲/۸۶ درصد (جدول ۳ و شکل ۶) نمونه‌های را به صورت صحیح به گونه مبدأ منتسب نمودند.

در مورد فلس‌های ساقه دمی در بین گونه‌های موردبررسی خوشه‌های مربوط به گونه‌های *L. schedj* و *C. aculitea* دارای همپوشانی بود ولی هرکدام از گونه‌های *L. capito*، *L. barbatus* و *C. saadi* دارای خوشه‌های جداگانه‌ای بودند. در آزمون گروه‌بندی نیز دو گونه *L. schedj* و *C. aculitea* و همچنین دو گونه *L. capito* و *L. barbatus* که در امتداد تابع تحلیل دوم با ۷/۵ درصد تغییرات از هم فاصله کمی دارند دارای موارد انتساب اشتباه فلس‌ها بودند (شکل ۴ و جدول ۲).



شکل ۳. نمونه‌های فلس‌های گونه‌های *Capoeta*، *LucioBarbus* و *Barbus*



شکل ۴. الگوی خوشه بندی ترسیم شده در تحلیل تابع تشخیص برای فلس‌های ساقه دمی در گونه‌های *L. schedj* (مربع سیاه)، *L. barbatus* (دایره سیاه)، *L. capito* (مربع سفید)، *C. aculitea* (ضربدر) و *C. saadii* (دایره مشکی)

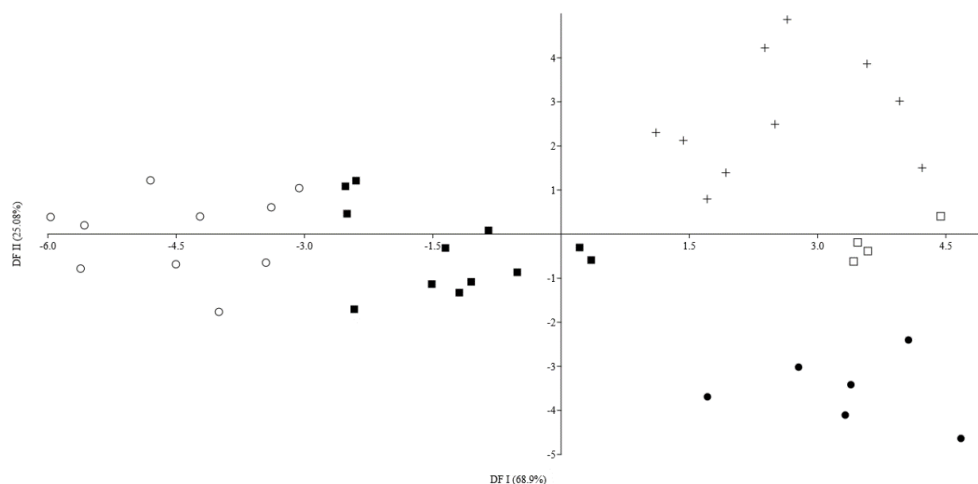
جدول ۲. درصد انتساب فلس‌های ساقه دمی به گونه‌های مختلف در تحلیل تابع تشخیص

	<i>C. saadi</i>	<i>L. barbatus</i>	<i>L. capito</i>	<i>L. schedj</i>	<i>C. aculitea</i>	Total
<i>C. saadi</i>	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
<i>L. barbatus</i>	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰
<i>L. capito</i>	۰	۲۵	۷۵	۰	۰	۱۰۰
<i>L. schedj</i>	۰	۰	۰	۶۳/۶	۳۶/۴	۱۰۰
<i>C. aculitea</i>	۰	۰	۰	۵۰	۵۰	۱۰۰

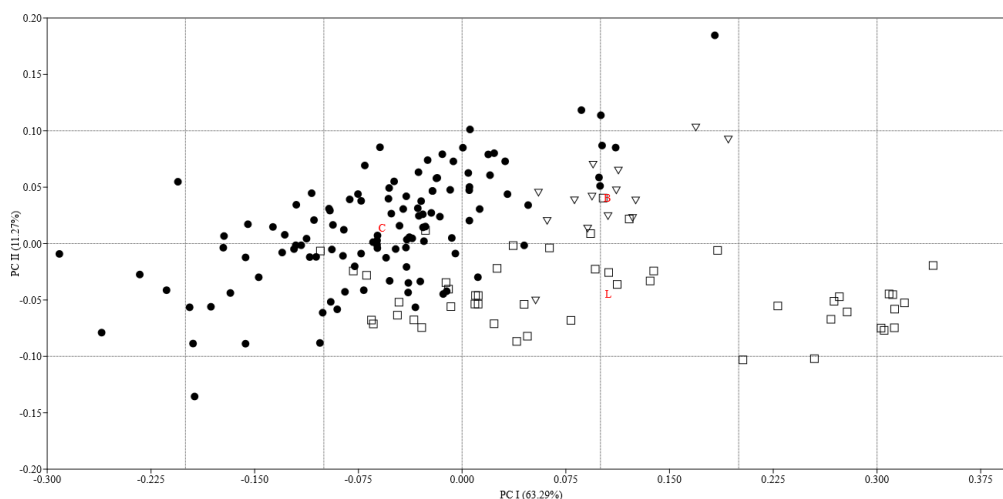
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

در بررسی‌های انجام‌شده در مورد تغییرات شکل فلس‌ها در مجموعه گونه‌های متعلق به جنس‌های *LucioBarbus* و *Capoeta*، به‌صورت نسبی متمایل به قسمت‌های متفاوتی از نمودار پراکنش مربوط به مؤلفه‌های اصلی اول و دوم هستند (شکل ۶). در این رابطه جنس *LucioBarbus* و *Barbus* بیش‌تر متمایل به منطقه سمت راست و پائین نمودار پراکنش بوده و گونه‌های جنس *Capoeta* در سمت چپ و بالای محور افقی یا مؤلفه اصلی اول قرار دارند. از نظر شکل فلس در جنس *LucioBarbus* فاصله بین مرکز و رأس فلس در مقایسه با جنس *Capoeta* افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در جنس *Capoeta* مرکز فلس به سمت راس فلس متمایل بوده و راس فلس نیز دارای برجستگی بیش‌تری در مقایسه با جنس‌های *Barbus* و *LucioBarbus* است.

در مورد فلس‌های باله پشتی در بین گونه‌های موردبررسی خوشه‌های مربوط به گونه‌های *L. schedj*، *C. aculitea* و *L. capito* در امتداد تابع تشخیص دوم با ۲۵ درصد تغییرات دارای فاصله نزدیکی نسبت به هم قرار دارند و خوشه مربوط به گونه *C. aculitea* در بین دو گونه دیگر قرار دارد (شکل ۵). سه گونه یادشده از هم جدا نبودند در امتداد تابع تشخیص اول از هم جدا نبوده ولی خوشه‌های گونه‌های *L. barbatus* و *C. saadi* در امتداد تابع تشخیص اول با حدود ۶۹ درصد تغییرات از سایر گونه‌ها جدا بود (شکل ۵). در آزمون گروه‌بندی تنها فلس‌های گونه *C. aculitea* به‌صورت کاملاً صحیح به گونه منشأ منتسب شدند اما فلس‌های سایر گونه‌ها دارای درصدی از انتساب اشتباه هم بود (شکل ۵ و جدول ۲).



شکل ۵. الگوی خوشه‌بندی ترسیم شده در تحلیل تابع تشخیص برای فلس‌های باله پشتی در گونه‌های *L. schedj* (دایره سیاه)، *L. barbatus* (مربع سیاه)، *L. capito* (دایره سفید)، *C. aculitea* (مربع سفید) و *C. saadii* (دایره سفید)



شکل ۶. پراکنش شکل فلس در جنس‌های *LucioBarbus* (مربع سفید)، *Barbus* (مثلث وارونه) و *Capoeta* (دایره سیاه) در امتداد مؤلفه اصلی اول و دوم

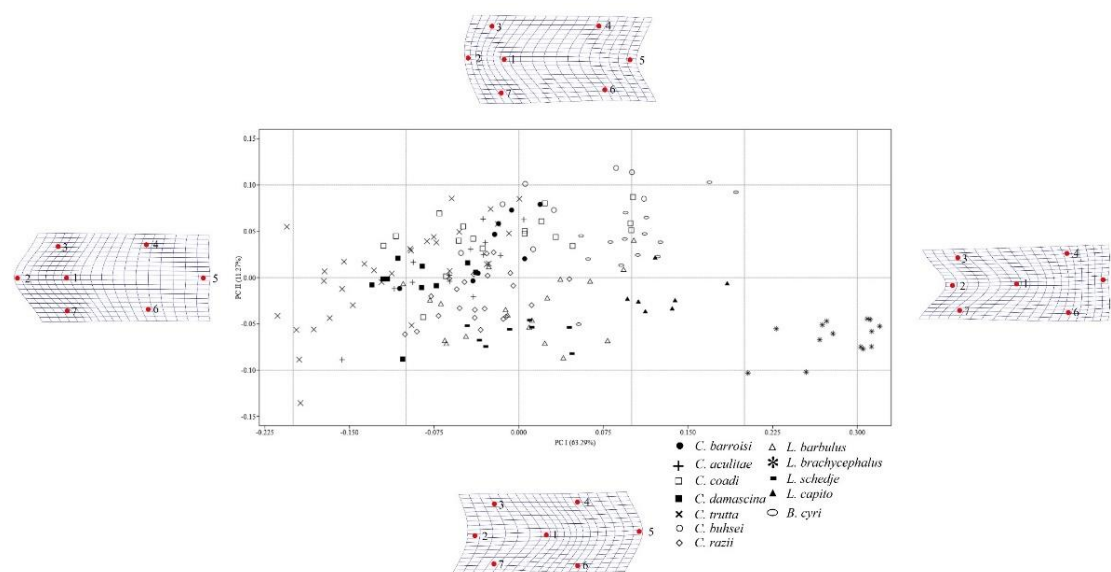
L. schedj و *barbatus* خوشه‌های کاملاً جدایی را تشخیص داد. در رابطه با گونه‌های جنس *Capoeta* بیش‌تر گونه‌ها به‌غیر از *C. razii* و *C. trutta* از سایر گونه‌ها جدایی مشهودی را نشان ندادند (شکل ۷).

در صورتی که تحلیل مؤلفه‌های اصلی تنها برای گونه‌های جنس *LucioBarbus* و *Barbus* انجام شود، گونه *LucioBarbus brachycephalus* به‌صورت کامل از سایر گونه‌ها جدا بوده و سایر گونه‌ها نیز با حدود متفاوتی از هم‌پوشانی در امتداد مؤلفه‌های اصلی اول (۶۷ درصد تغییرات) و دوم (۱۴ درصد تغییرات) از یکدیگر جدا هستند. در این رابطه در فلس‌های ماهی *LucioBarbus*

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در سطح گونه، نشان می‌دهد که گونه‌های *L. brachycephalus* و *C. trutta* در امتداد مؤلفه اصلی اول (۶۳/۲۹ درصد کل تغییرات شکل) از سایر گونه‌ها جدایی کامل یا نسبی دارند (شکل ۷). بر پایه بررسی تغییرات موقعیت لندمارک‌ها در گونه ماهی *L. brachycephalus* راس و مرکز فلس به سمت قاعده فلس کشیده شده و فاصله رأس فلس (لندمارک ۲) با خط عمود بین لندمارک‌های شماره ۳ و ۷ کاهش یافته است. در کنار موارد یادشده، گونه‌های *L. capito*، *L. schedj* و *L. barbatus* نیز از سایر گونه‌ها تمایز بیش‌تری دارند، اما نمی‌توان برای گونه‌های *L.*

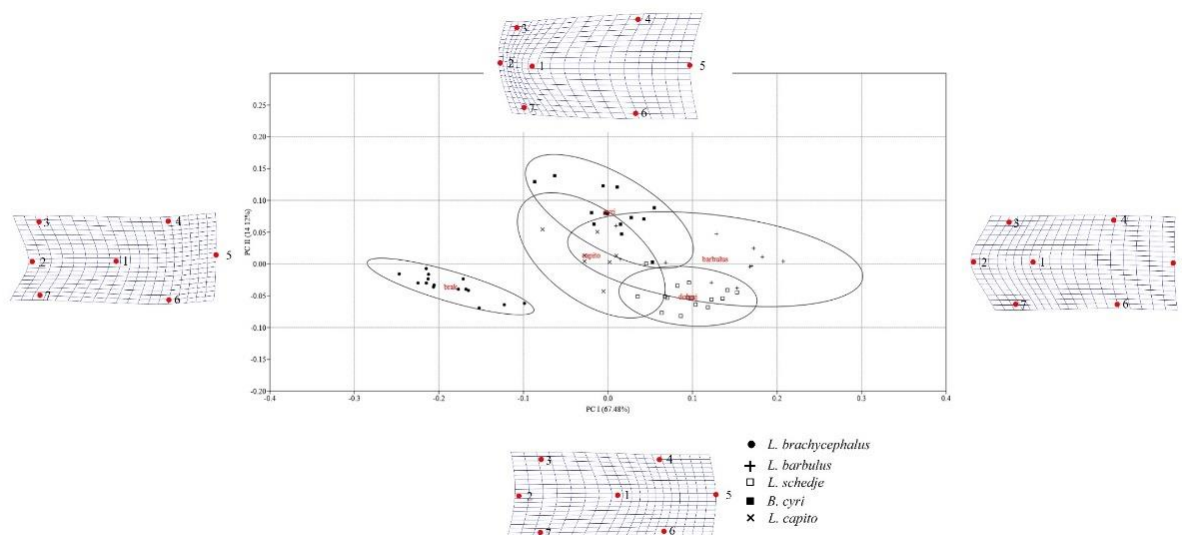
بر پایه نتایج انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی تنها با در نظر گرفتن گونه‌های جنس *Capoeta*، در امتداد دو مؤلفه اصلی اول (۵۲ درصد) و دوم (۱۶ درصد) تنها گونه *Capoeta trutta* جدایی بیش‌تری را در مقایسه با سایر گونه‌ها نشان داد (شکل ۹). در این رابطه فلس‌های ماهی *C. trutta* شکل کشیده‌تری در مقایسه با سایر گونه‌هاست و فاصله لندمارک‌های شماره ۲ و پنج از یکدیگر در این گونه در مقایسه با سایر گونه‌ها افزایش می‌یابد.

brachycephalus انحنای برجستگی مرکزی راس فلس نسبت به سایر گونه‌ها کاهش یافته و مرکز فلس در فاصله تقریباً وسط و متعادلی در بین قاعده و راس فلس قرار گرفته است (شکل ۸). خوشه مربوط به گونه *Luciobarbus capito* در بین خوشه *Luciobarbus brachycephalus* و گونه‌های *Luciobarbus schedj* و *barbulus* قرار دارد. در این مورد نیز خوشه‌های *Luciobarbus schedj* و *Luciobarbus barbulus* نزدیکی و همپوشانی بیش‌تری نشان دادند.



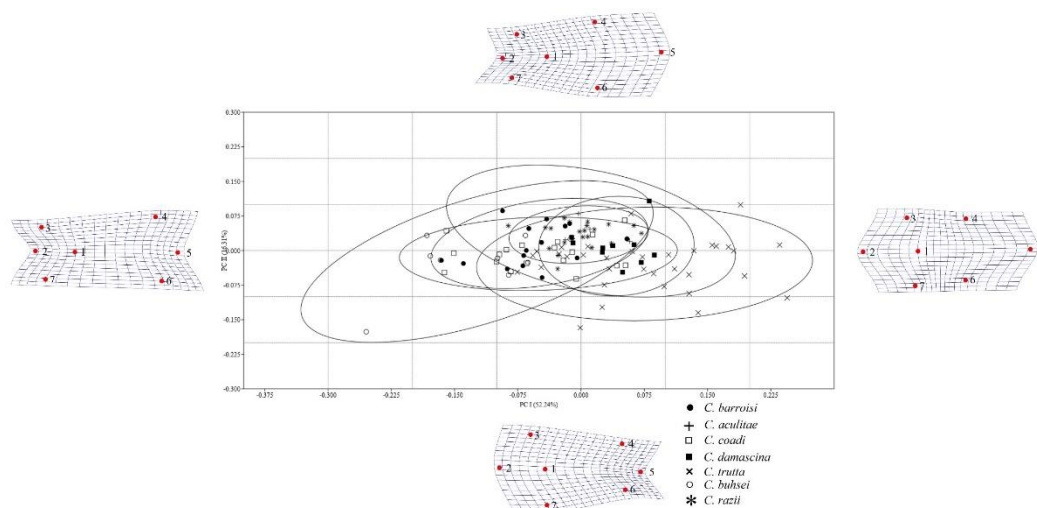
شکل ۷. پراکنش شکل فلس‌های در گونه‌های مورد بررسی.

شبکه‌های ترسیم‌شده در کناره‌های نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان‌دهنده تغییرات موقعیت نسبی لندمارک‌ها و فلس‌هاست.



شکل ۸. پراکنش شکل فلس‌های در گونه‌های مورد بررسی.

شبکه‌های ترسیم‌شده در کناره‌های نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان‌دهنده تغییرات موقعیت نسبی لندمارک‌ها و فلس‌هاست.



شکل ۹. پراکنش شکل فلس‌های در گونه‌های *LucioBarbus* و *Barbus*.

شبکه‌های ترسیم‌شده در کناره‌های نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان‌دهنده تغییرات موقعیت نسبی لندمارک‌ها و فلس‌هاست.

قسمت‌های مختلف بدن می‌تواند برای این موارد مفید باشد. هرچند تفاوت معنی‌داری در بیش‌تر موارد مقایسه شکل فلس‌ها در قسمت‌های مختلف بدن در ماهیانی مثل شگ‌ماهیان مشاهده نشده است (برگر و همکاران، ۲۰۱۷).

کارایی فلس‌ها در جداسازی جنس‌ها و گونه‌ها

همان‌طور که در نتایج تفکیک جنس‌ها و گونه‌ها مشخص شد، فلس‌ها با کارایی و دقت بیش‌تری جنس‌های *LucioBarbus* و *Capoeta* را تفکیک نمودند. با توجه به بررسی شکل ظاهری فلس‌ها در بین دو جنس یادشده، این امر قابل انتظار است، زیرا در گونه‌های *LucioBarbus* در مقایسه با گونه‌های *Capoeta* تفاوت‌های ظاهری عمومی در شکل وجود دارد که می‌تواند در شناسایی فلس‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این امر را می‌توان با تفاوت‌های شجره‌شناسی در بین جنس‌های *Capoeta*، *LucioBarbus* و *Barbus* مشابه دانست که در بررسی‌های شجره‌شناسی انجام شده در این مطالعه و سایر مطالعات نیز قابل مشاهده است (لوین و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعات دیگری که در مورد تعداد محدودتری از گونه‌های کپورماهیان شامل تعدادی از گونه‌های *Capoeta* انجام شده است نیز نتایج تا حدی مشابه می‌توان استنتاج نمود (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعات ژنتیکی که تاکنون در مورد جنس‌ها و گونه‌های موردبررسی در این مطالعه انجام شده است نیز گونه‌ها دارای خوشه‌های تک‌شجره‌ای و متفاوتی بوده‌اند (لوین و همکاران، ۲۰۱۱ و هاشم زاده سقرلو و

بحث و نتیجه‌گیری

کارایی فلس‌های نواحی مختلف بدن در جداسازی گونه‌ها

با توجه به بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد قابلیت تفکیک گونه‌ها با استفاده از فلس‌های ساقه دمی تا حدی بیش‌تر از قابلیت فلس‌های سایر نقاط بررسی شده است. دلیل این امر در حال حاضر برپایه نتایج این مطالعه روشن نیست. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر تعداد نمونه‌های کمی برای مقایسه فلس‌های نواحی آبششی، باله پستی و ساقه دمی استفاده شده است، نمی‌توان این نتایج را نهایی دانست. در این رابطه انجام مطالعات دقیق‌تر با اندازه نمونه‌های بیش‌تر می‌تواند نتایج مشاهده شده در این مطالعه را تأیید یا رد کند. معمولاً به دلیل ریزش کم‌تر فلس‌ها در ناحیه زیر باله پستی و تأثیرپذیری کم‌تر آن‌ها از عوامل محیطی، در مطالعات معمولاً از فلس‌های زیر باله پستی نمونه‌برداری شده و فلس‌های این ناحیه نگهداری می‌شوند. به همین دلیل فارغ از کارایی فلس‌های نواحی مختلف بدن برای تفکیک گونه‌ها ناگزیر باید برای اهداف تهیه بانک داده‌های پایه فلس جهت شناسایی گونه‌های منشأ فلس‌های موجود در آرشیوها باید به فلس‌های ناحیه زیر باله پستی توجه شود و داده‌های آن‌ها جمع‌آوری شود. البته لازم به ذکر است در برخی موارد مثل بررسی فلس‌های استخراج شده از اعماق رسوبات محیط‌های آبی و یا از داخل محتویات معده ماهیان و سایر موجودات شکارگر و نیاز به شناسایی گونه‌های منشأ فلس اطلاعاتی از موقعیت بدنی فلس وجود ندارد، به همین دلیل جمع‌آوری و آرشیو نمودن فلس‌ها از

Capoeta را با صحت نسبتاً بالایی با استفاده از شکل فلس جداسازی نمود اما در صورتی که گونه‌های مختلف متعلق به جنس‌های متفاوت در کنار هم مورد بررسی قرار گیرند، کارایی شناسایی و تفکیک آن‌ها با توجه به شکل فلس‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به این که کاربرد نتایج این مطالعه در شناسایی تغییرات تنوع زیستی و ترکیب گونه‌های ماهیانی است که فلس‌های آن‌ها در گذشته برای ارزیابی ذخایر یا سایر اهداف از رودخانه‌های مختلف جمع‌آوری شده است، به نظر می‌رسد رویکرد منطقی در استفاده از این نتایج ابتدا تفکیک جغرافیایی گونه‌ها برای ساده‌تر شدن عملیات شناسایی و سپس انجام آزمون یا عملیات انتساب فلس‌ها به جنس‌ها و در نهایت انتساب به گونه‌های می‌تواند ترتیب کارآمدتری در شناسایی گونه‌ها و تنوع زیستی ماهیان باشد. این داده‌ها می‌توانند در تنظیم و شکل‌دهی پایگاه اطلاعاتی و یا برنامه‌ای برای شناسایی گونه‌ها و تنوع زیستی ماهیان با استفاده از شکل فلس مفید باشد. در مجموع نتایج این مطالعه در مورد ماهیان جنس *Barbus*، *LucioBarbus* و *Capoeta* نشان می‌دهد که با فلس‌ها کارایی مطلوبی در شناسایی جنس و گونه ماهیان یادشده دارند و می‌توان از این رویکرد برای اهدافی که ذکر شد، استفاده کرد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

همکاران، ۲۰۱۵ و عیاسی دهکردی و همکاران، ۲۰۱۸). الگوی مشاهده شده در نمودارهای پراکنش فلس‌های گونه‌ها نیز تا حد زیادی تداعی‌گر روابط تکاملی در بین آن‌ها است. برای مثال، گونه‌های *C. damascina*، *C. coadi* و *C. buhsei* در بررسی‌های شجره‌شناسی در یک گروه یا خوشه تکاملی قرار می‌گیرند که در این بررسی نیز هم‌پوشانی بالایی در مورد شکل فلس گونه‌های یادشده مشاهده می‌شود، اما گونه *C. barroisi* که با گونه *C. trutta* در بررسی‌های ژنتیکی دارای خوشه یا کلاد جداگانه‌ای هستند، از نظر شکل فلس دارای نزدیکی بیش‌تری با گروه گونه‌های *C. damascina* است. در مورد گونه *C. trutta* با توجه به جدایی نسبی آن از سایر گونه‌های *Capoeta* می‌توان عنوان نمود که مشاهدات این مطالعه تا حد زیادی با روابط شجره‌شناسی آن با سایر گونه‌های *Capoeta* قابل مقایسه است. گونه‌های *C. aculeata* و *C. razii* نیز گروه سوم شناسایی شده در مطالعات ژنتیکی جنس *Capoeta* هستند که در این مطالعه نیز خوشه پراکنش آن‌ها بر پایه شکل فلس را می‌توان تا حدی با جایگاه شجره‌شناسی آن‌ها هم‌سو دانست.

در این مطالعه، هدف اصلی تهیه اطلاعات پایه شکل فلس‌ها برای گونه‌های مختلف ماهیان آب شیرین بود که از بین آن‌ها تعدادی از گونه‌های متعلق به جنس‌های *LucioBarbus* و *Capoeta* انتخاب شدند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان جنس‌های ماهیان *Barbus*، *LucioBarbus* و

منابع

- Abasi Dehkord, I., Hashemzadeh Segherloo, I., Poria, M., & Khajeh, P. (2018). Analysis of phylogenetic status of *LucioBarbus* esocinus, *LucioBarbus* xanthopterus, *Tor gryp*us, and *Mesopotamichthys sharpeyi*. *Journal of Fisheries*, 71(2), 159-166.
- Barman, B. (2024). Beyond Copyright Walls: An Introduction to Creative Commons, Copyleft, and Open Educational Resources. In V. K. Ahuja & K. Baishya (Eds.), *Research and Publication Ethics* (pp. 229-250). Knowledge Resource Center, National Law University and Judicial Academy.
- Braeger, Z., Staszny, A., Mertzen, M., Moritz, T., & Horvath, G. (2017). Fish scale identification: from individual to species-specific shape variability. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 47, 331-338.
- Caliendo, A. M., Gilbert, D. N., Ginocchio, C. C., Hanson, K. E., May, L., Quinn, T. C., & Bonomo, R. A. (2013). Better tests, better care: improved diagnostics for infectious diseases. *Clinical Infectious Diseases*, 57(suppl_3), S139-S170.
- Cantonati, M., Poikane, S., Pringle, C. M., Stevens, L. E., Turak, E., & Heino, J. (2020). Characteristics, main impacts, and stewardship of natural and artificial freshwater environments: consequences for biodiversity conservation. *Water*, 12(1), 260.
- Coad, B. W., & Vilenkin, B. Y. (2004). Co-occurrence and zoogeography of the freshwater fishes of Iran. *Zoology in the Middle East*, 31(1), 53-62.
- Esmaili, H. R., & Gholami, Z. (2011). Scanning Electron Microscopy of the scale morphology in Cyprinid fish, *Rutilus frisii kutum* Kamenskii, 1901 (Actinopterygii: Cyprinidae).
- Fischer, J. (2014). Fish identification tools for biodiversity and fisheries assessments: review and guidance for decision-makers. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*(585), I.
- Hashemzadeh Segherloo I., Abdoli A., & Purahmad R. (2015). Phylogenetic and geographic relationships of some species of the genus *Capoeta* in the Tigris, Persian Gulf, Kerman-Naeen, Namak, Tezden, and Caspian basins. *Journal of Genetics*, 10(2), 229-238.

- Hooper, A. K., & Bonduriansky, R. (2022). Effects of genetic vs. environmental quality on condition-dependent morphological and life history traits in a neriid fly. *Journal of Evolutionary Biology*, 35(6), 803-816.
- Khaefi R., Esmailie, H.R., Ansari M., & Ebrahimi, M. (2018). Hashemzadeh Segherloo I., Abdoli A., Purahmad R. (2015). Phylogenetic and geographic relationships of some species of the genus *Capoeta* in the Tigris, Persian Gulf, Kerman-Naeen, Namak, Tezdjen, and Caspian basins, *Journal of Genetics*, 10(2), 229-238.
- Levin, B.A., Freyhof, J., Lajbner, Z., Perea, S., Abdoli, A., Gaffaroğlu, M., Özüluğ, M., Rubenyan, H.R., Salnikov, V.B., & Doadrio, I., 2012. Phylogenetic relationships of the algae scraping cyprinid genus *Capoeta* (Teleostei: Cyprinidae). *Molecular phylogenetics and evolution*, 62(1), 542-549.
- Manandhar, P., Khalid, M., & Labh, S. (2024). Spatiotemporal variability in water quality, ichthyofaunal diversity, and its conservation in the rivers of Nepal: A mini review. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 23(4), 633-648.
- Marenkov, O. (2018). Laboratory manual on general and special ichthyology. *World News of Natural Sciences*, 18(1), 1-51.
- Papadakis, V. M., Papadakis, I. E., Lamprianidou, F., Glaropoulos, A., & Kentouri, M. (2012). A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior. *Aquacultural engineering*, 46, 53-59.
- Pinna, M., Zangaro, F., Saccomanno, B., Scalone, C., Bozzeda, F., Fanini, L., & Specchia, V. (2023). An overview of ecological indicators of fish to evaluate the anthropogenic pressures in aquatic ecosystems: from traditional to innovative DNA-based approaches. *Water*, 15(5), 949.
- Poulet, N., Reyjol, Y., Collier, H., & Lek, S. (2005). Does fish scale morphology allow the identification of populations at a local scale? A case study for rostrum dace *Leuciscus leuciscus burdigalensis* in River Vaur (SW France), *Aquatic Sciences*, 67, 122-127
- Reid, G. M., Contreras MacBeath, T., & Csáti, K. (2013). Global challenges in freshwater-fish conservation related to public aquariums and the aquarium industry. *International Zoo Yearbook*, 47(1), 6-45.
- Rohlf, F.J. (2010). tpsDig. Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York.
- Roswell, M., Dushoff, J., & Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 130(3), 321-338.
- Tabatabaei, S.N., Eagderi, S., Hashemzadeh Segherloo, I., & Abdoli, A. (2013). Geometric and morphometric analysis of fish scales to identify genera, species and populations case study: the Cyprinid family. *Taxonomy and Biosystematics*, 5(17), 1-8.
- Westlund, L. (2007). Disaster response and risk management in the fisheries sector (Vol. 479): Food & Agriculture Org.
- Yousefi, M., Jouladeh-Roudbar, A., & Kafash, A. (2020). Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicators*, 112, 106137.