

## مقایسه جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*Capoeta barrosi* Lortet, ۱۸۹۴) رودخانه‌های قمرود، گر و شلدون بر اساس صفات شمارشی و ریخت‌سنجی هندسی

- محمود بنی‌مسنی: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- یزدان کیوانی\*: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- عیسی ابراهیمی: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۶

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تفاوت‌های ریخت‌سنجی هندسی و مقایسه صفات شمارشی با هدف درک الگوی تفاوت‌های بالقوه بین جمعیت‌های سیاه‌ماهی سه رودخانه گر، قمرود و شلدون در حوضه آبریز نمک انجام شد. برای این منظور تعداد ۹۰ قطعه سیاه‌ماهی *Capoeta barrosi* شامل ۳۶ قطعه از رودخانه گر (با میانگین طول کل و انحراف معیار  $36/41 \pm 7/79$ ) و ۱۱ قطعه از رودخانه قمرود ( $36/2 \pm 28/40$ ) و ۴۳ قطعه از رودخانه شلدون ( $69/10 \pm 29/34$ ) صید شدند. نمونه‌ها پس از بی‌هوشی در محلول ۱٪ گل میخک و تثبیت در فرمالین ۱۰٪، برای مطالعات بعدی، به موزه ماهی‌شناسی، منتقل و در الکل ۷۰٪ نگهداری شدند. پس از ثبت صفات شمارشی، از نیم‌رخ چپ ماهیان عکس‌برداری به عمل آمد و تعداد ۱۵ لندمارک بر روی تصاویر دو بعدی انتخاب و رقمی‌سازی شدند. صفات شمارشی و داده‌های شکلی حاصله پس از آنالیز پروکراست (روی هم‌گذاری)، با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره PCA و CVA مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و کلیه نتایج تحلیل همبستگی کانونی صفات شمارشی و روش ریخت‌سنجی هندسی نشان داد که جمعیت‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند ( $P < 0/05$ ) و دو جمعیت شلدون و قمرود در یک گروه و جمعیت رودخانه گر در یک خوشه جداگانه‌ای قرار گرفتند.

**کلمات کلیدی:** ریخت‌سنجی هندسی، زیست‌سنجی، ویژگی‌های شمارشی، کپورماهیان



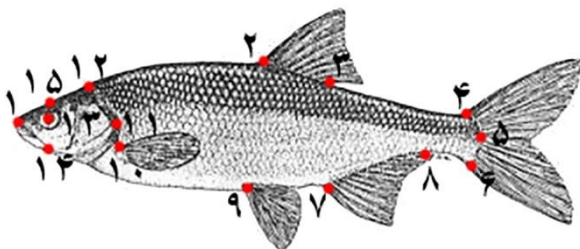
## مقدمه

پراکنش وسیع جنس سیاه‌ماهی، احتمالاً به دامنه وسیع رژیم غذایی و تحمل زیاد شرایط محیطی، عدم قلمروطلبی و زندگی گله‌ای آن بستگی دارد (Asadollah و همکاران، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۷؛ Siami و همکاران، ۲۰۱۷a,b). این ماهی دارای بدنی کشیده و از فلس‌های ریز پوشیده شده که رنگ خاکستری دارند. دهان این ماهی و لب زیرین شاخی می‌باشد و در دو طرف دهان یک جفت سیلیک دارد. فرمول دندان حلقی این گونه به صورت ۲،۳،۴-۴،۳،۲ می‌باشد. باله پشتی دارای ۳ شعاع غیرمنشعب و ۸ شعاع منشعب، باله مخرجی دارای ۳ شعاع غیرمنشعب و ۵ شعاع منشعب و تعداد فلس بر روی خط جانبی آن ۸۱ تا ۶۹ است (Keivany و همکاران، ۲۰۱۶). در مورد زیست‌شناسی سیاه‌ماهی (*Capoeta barroisi*) اطلاعات چندانی موجود نیست. این ماهی از مواد غذایی آن‌ها شامل موجودات کفزی، لارو حشرات و گیاهان آبی می‌باشد، ولی غذای اصلی این ماهی‌ها را پریفیتون‌ها تشکیل می‌دهند (Coad، ۲۰۱۶).

یکی از راه‌های مرسوم و مفید برای مطالعه و شناسایی جمعیت‌های ماهیان از یکدیگر، بررسی صفات ریخت‌شناسی آن‌هاست (Wootton، ۱۹۹۹). هر قدر صفتی در تمایز یا تشخیص تنوع موجود در جمعیت‌های مورد مطالعه نقش بیش‌تری بازی کند، اهمیت آن در مطالعات ریخت‌شناسی افزایش می‌یابد (Helfman و همکاران، ۲۰۰۹). شکل بدن به‌عنوان بخشی از ریخت‌شناسی یک موجود زنده می‌تواند منعکس‌کننده برخی از جنبه‌های زیست‌شناسی آن، از جمله کارایی تغذیه، تحرک و موفقیت‌های مرتبط با شکار و شکارگری باشد (Guill و همکاران، ۲۰۰۳). محیط زیست نیز به‌عنوان یک عامل قوی در اعمال تغییرات شکلی در موجودات زنده محسوب می‌گردد (Costa و Cataudella، ۲۰۰۷) و شکل بدن، یک شاخص مهم برای رفتارهای شناگری و انتخاب زیستگاه در ماهیان است، از این‌رو، شکل بدن نه تنها انعکاس‌دهنده ویژگی‌های ژنتیکی بلکه می‌تواند منعکس‌کننده وضعیت محیط‌زیستی و زیستگاه ماهی باشد (Guill و همکاران، ۲۰۰۳). ریخت‌سنجی هندسی در مطالعات بوم‌شناسی، جغرافیای زیستی، رده‌بندی، انعطاف‌پذیری ریختی و تکامل منجر به گونه‌زایی به‌طور گسترده برای درک تغییرات فرم در فضا و زمان در طول تکامل، ارتباط ژنتیکی و تأثیر فاکتورهای زیست‌محیطی استفاده شده است (Cadrian، ۲۰۰۰؛ Razavi و همکاران، ۲۰۱۵). این ابزار مقایسه بین فرم‌های زیستی را براساس مختصات نقاط لندمارک‌ها امکان‌پذیر می‌سازد (Bookstein، ۱۹۹۸). مطالعه حاضر به‌منظور بررسی احتمال وجود تفاوت‌های شکلی بین جمعیتی در سیاه‌ماهی *Capoeta barroisi* در سه رودخانه کر (فارس)، قم‌رود (نمک) و شلدون (بوشهر) اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۹۰ قطعه سیاه‌ماهی *Capoeta barroisi* شامل ۳۶ قطعه از رودخانه کر و ۱۱ قطعه از رودخانه قم‌رود و ۴۳ قطعه از رودخانه شلدون با استفاده از تور پره صید شد. سپس ماهی توسط محلول گل‌میخک ۱٪ بی‌هوش شدند و در فرمالین ۱۰٪ تثبیت و پس از انتقال به موزه ماهی‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان و اطمینان از کامل شدن مراحل تثبیت در الکال ۷۰٪ جهت شماره‌زنی و انجام زیست‌سنجی نگه‌داری شدند. طول کل به‌وسیله کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. چهارده ویژگی شمارشی بر روی سمت چپ ماهی‌ها شمارش گردید. شمارش تمامی این ویژگی‌ها به‌منظور کاهش احتمال خطای زیر لوپ با بزرگ‌نمایی ۱۰X انجام گرفت (جدول ۱). به‌منظور تهیه لندمارک‌ها، تصاویر دیجیتال با استفاده از دوربین هشت مگاپیکسلی کنن از فاصله ۱۵ سانتی‌متری، از تمامی نمونه‌ها عکس برداری شد (Razavi و همکاران، ۲۰۱۵). برای عکس‌برداری تمامی شرایط شامل تنظیمات دوربین، میزان فوکوس، میزان بزرگ‌نمایی، اندازه لنز، فاصله دوربین از سطح نمونه‌ها و هم‌چنین نور زمینه یکسان بود. سپس ۱۵ لندمارک (شکل ۱) با استفاده از نرم‌افزار Tpsdig2 (version 1.46) بر روی تصاویر دو بعدی قرار داده شد. روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های با استفاده از تحلیل پروکراست و حذف تغییرات غیرشکل (شامل: مقیاس، جهت و موقعیت) با نرم‌افزار TpsRelw ۱،۴۶ انجام شد (Bookstein، ۱۹۹۸).



شکل ۱: موقعیت ۱۵ لندمارک بر روی نمونه‌های سیاه‌ماهی مورد مطالعه

تحلیل‌های آماری به‌منظور برآورد اختلاف معنی‌دار هر متغیر در بین گروه‌ها از آزمون کروسکال والیس برای صفات شمارشی استفاده گردید. تحلیل مؤلفه‌های اصلی که بر پایه کوواریانس ماتریس داده‌های اندازه‌گیری شده است با رسم نمودار و به‌منظور یافتن اختلاف در میان جمعیت‌ها به‌کاررفت. تحلیل مؤلفه‌های اصلی واریانس‌های مرتبط با هر تعداد متغیرهای اندازه‌گیری شده را به‌صورت کم‌تری از مؤلفه‌های اصلی‌تری خلاصه کرده که این مؤلفه‌ها ترکیب خطی

## نتایج

کلید اطلاعات مربوط به صفات شمارشی جمعیت‌های مختلف سیاه‌ماهی *C. barroisi* با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن یا نبودن، سنجش شدند و مشخص گردید که داده‌ها غیرنرمال ( $p < 0.05$ ) هستند (جدول ۱). جمعیت‌های مورد مطالعه در کلیه صفات، به جز چهار صفت تعداد فلس دورساقه دمی، تعداد شعاع منشعب باله مخرجی، پشتی و شکمی در سطح معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) با یکدیگر اختلاف دارند (جدول ۱). برای گروه‌بندی جمعیت‌ها با استفاده از صفات معنی‌دار، از آنالیزهای PCA، CVA و نیز تحلیل خوشه‌ای استفاده شد (جدول ۲ و ۳).

مؤلفه‌هایی می‌باشند که تغییرات شکل بدن را در کل نمونه‌ها نشان می‌دهد. نتایج تحلیل تابع متمایزکننده به کمک جدول گروه‌بندی به منظور قرار دادن افراد در هر گروه مورد استفاده قرار گرفت و میزان موفقیت این گروه‌بندی بر پایه درصد افرادی که به‌طور صحیح در گروه‌های اصلی خود قرار می‌گیرند تخمین زده می‌شود. نمودار پراکنش افراد از طریق نتایج متمایزکننده رسم شد. در استخراج داده‌های ریخت‌سنجی از طریق روش ریخت‌سنجی هندسی، لندمارک‌های تعیین شده توسط نرم‌افزار Tpsdig ۲ بر روی این عکس‌ها قرار داده شد. داده‌های ریخت‌سنجی گونه‌های مورد مطالعه برای مقایسه ویژگی‌های ریختی با استفاده از نرم‌افزارهای Tps series استخراج شد. تحلیل متغیرهای کانونی با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۱۹، ۲۰۱۳ Excel و MorphoJ 1.02d برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و ترسیمی مطالعات زیست‌سنجی استفاده شد.

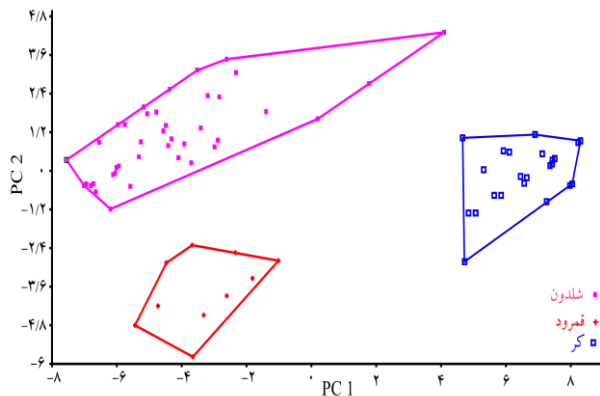
جدول ۱: مقادیر صفات شمارشی (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) و نتایج آنالیز کروسکال والیس در سیاه‌ماهی *C. barroisi*

| مقدار p | مربع کای | قمرود (n=۱۱)     | کر (n=۳۶)        | شلدون (n=۴۳)     | صفت                        |
|---------|----------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| ۰/۰۰    | ۶۰/۰۷    | ۶۳/۴۵ $\pm$ ۱/۵۰ | ۷۲/۸۵ $\pm$ ۱/۱۹ | ۶۴/۹۳ $\pm$ ۲/۵۹ | تعداد فلس روی خط جانبی     |
| ۰/۰۰    | ۴۶/۰۱    | ۱۰/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰ | ۱۱/۱۴ $\pm$ ۰/۰۴ | ۱۰/۴۳ $\pm$ ۰/۵۰ | فلس بالای خط جانبی         |
| ۰/۰۰    | ۵۹/۲۱    | ۷/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۰/۸۳ $\pm$ ۰/۳۸  | ۸/۱۴ $\pm$ ۰/۳۵  | فلس زیر خط جانبی           |
| ۰/۰۰    | ۷۳/۹۵    | ۲۳/۲۷ $\pm$ ۱/۰۰ | ۲۵/۸۶ $\pm$ ۰/۶۵ | ۱۹/۰۲ $\pm$ ۰/۸۶ | فلس جلوی باله پشتی         |
| ۱/۰۰    | ۳۹/۵۵    | ۲۱/۷۳ $\pm$ ۰/۶۵ | ۲۳/۹۴ $\pm$ ۰/۶۴ | ۲۲/۹۵ $\pm$ ۰/۹۱ | فلس دورساقه دمی            |
| ۰/۰۰    | ۰/۰۰     | ۱۷/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰ | ۱۷/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰ | ۱۷/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰ | شعاع باله دمی              |
| ۰/۰۰    | ۸۰/۳۶    | ۲/۱۸ $\pm$ ۰/۴۰  | ۳/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۲/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | شعاع غیرمنشعب باله مخرجی   |
| ۰/۲۲    | ۲۲/۸۴    | ۵/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۵/۳۷ $\pm$ ۰/۴۹  | ۵/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | شعاع منشعب باله مخرجی      |
| ۰/۰۰    | ۳/۰۶     | ۱/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۱/۰۶ $\pm$ ۰/۲۳  | ۱/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | شعاع غیرمنشعب باله شکمی    |
| ۰/۲۲    | ۳۵/۷۳    | ۹/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۹/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۸/۴۳ $\pm$ ۰/۵۰  | شعاع منشعب باله شکمی       |
| ۰/۰۰    | ۳/۰۶     | ۱/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۱/۰۶ $\pm$ ۰/۲۳  | ۱/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | شعاع غیرمنشعب باله سینه‌ای |
| ۰/۰۰    | ۷۱/۰۲    | ۱۶/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰ | ۱۸/۹۱ $\pm$ ۰/۲۸ | ۱۶/۵۰ $\pm$ ۰/۶۷ | شعاع منشعب باله سینه‌ای    |
| ۰/۰۰    | ۸۷/۰۰    | ۳/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۴/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۳/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | شعاع غیرمنشعب باله پشتی    |
| ۱/۰۰    | ۰/۰۰     | ۸/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۸/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | ۸/۰۰ $\pm$ ۰/۰۰  | شعاع منشعب باله پشتی       |

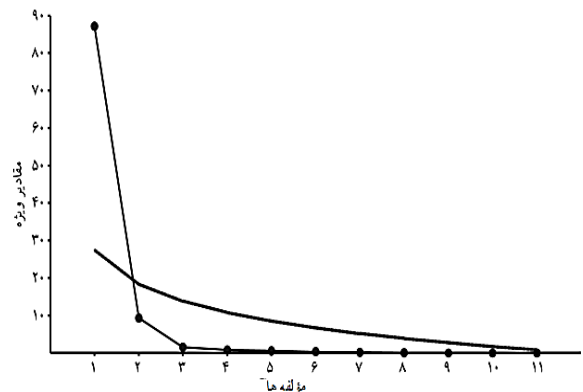
شده‌اند. نتایج تحلیل همبستگی کانونی (CVA) جمعیت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که جمعیت‌های مختلف سیاه‌ماهی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در شکل بدنی دارند و هیچ هم‌پوشانی بین آن‌ها دیده نمی‌شود (شکل ۴). مطابق شکل ۵، جمعیت‌ها نسبت به یکدیگر گروه‌بندی شده‌اند و می‌توان دور بودن جمعیت رودخانه کر در دو تجزیه و تحلیل PCA و CVA را در تحلیل خوشه‌ای به‌وضوح ملاحظه کرد، همان‌طور که دیده می‌شود دو جمعیت شلدون و قمرود در یک گروه قرار گرفته و جمعیت رودخانه کر در یک خوشه جداگانه‌ای قرار گرفته است.

مطابق شکل ۲، تنها مؤلفه اصلی اول با سهم واریانس برابر ۸۷/۱۸ درصد که بالاتر از خط برش جولیف قرار دارد، بیش‌ترین واریانس را دارد (جدول ۲). در جدول ۵ نیز سهم هر یک از صفات در پراکنش جمعیت‌های مختلف مورد مطالعه در جهات مثبت و منفی محورهای دو مؤلفه‌های اصلی اول ارائه شده است که بیش‌ترین نقش را صفاتی از قبیل تعداد فلس روی خط جانبی، تعداد فلس دورساقه دمی و تعداد فلس جلوی باله پشتی برعهده دارند. با توجه به گروه‌بندی جمعیت‌ها که در شکل ۳ ارائه شده است، کلیه جمعیت‌های سیاه‌ماهی مورد مطالعه به‌خوبی از یکدیگر تفکیک

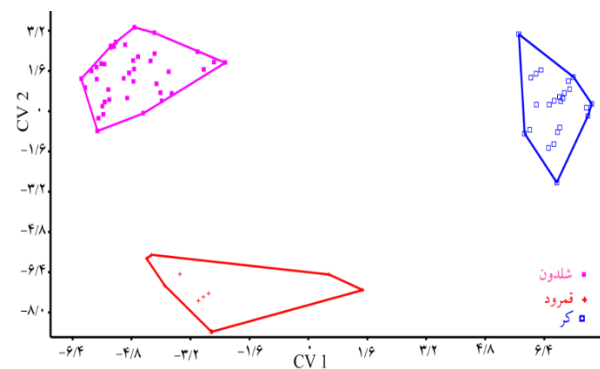




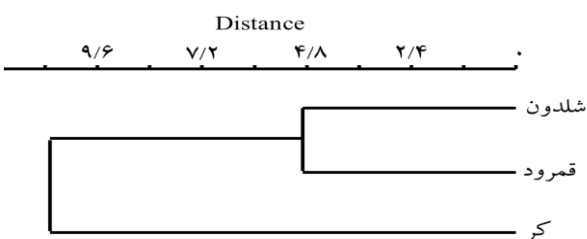
شکل ۳: نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. barroisi*) مورد مطالعه



شکل ۲: نتایج Scree plot تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمایش نقطه برش جولیف (خط ممتد) که نشان‌دهنده مرز مؤلفه‌های اصلی (دایره‌ها) معنی‌دار است.



شکل ۴: نتایج تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. barroisi*) مورد مطالعه



شکل ۵: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. barroisi*)

جدول ۲: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه دو مؤلفه اصلی اول تحلیل شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. barroisi*) مورد مطالعه

| مؤلفه‌ها (PCs) | مقدار ویژه | واریانس |
|----------------|------------|---------|
| ۱              | ۳۱/۰۰      | ۸۷/۱۸   |
| ۲              | ۳/۳۲       | ۹/۳۳    |
| جمع            |            | ۹۶/۵۱   |

جدول ۳: مقادیر نقش صفات غیرپارامتریک در پراکنش جمعیت‌ها در طول محورهای دو مؤلفه اصلی اول

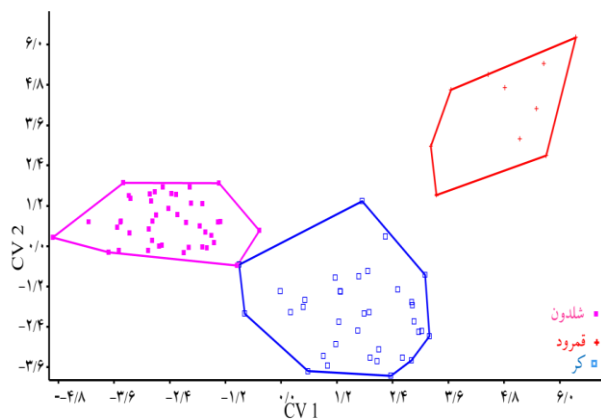
| صفت                    | محور اول | محور دوم |
|------------------------|----------|----------|
| تعداد فلس روی خط جانبی | ۰/۷۹     | ۰/۵۵     |
| فلس بالای خط جانبی     | ۰/۰۷     | ۰/۰۵     |
| فلس زیر خط جانبی       | ۰/۰۸     | ۰/۱۷     |
| فلس جلوی باله پشتی     | ۰/۵۴     | ۰/۷۹     |
| شعاع باله دمی          | ۰/۰۰     | ۰/۰۰     |
| خار باله مخرجی         | ۰/۰۸     | ۰/۰۵     |
| خار باله شکمی          | ۰/۰۰     | ۰/۰۰     |
| خار باله سینه‌ای       | ۰/۰۰     | ۰/۰۰     |
| شعاع نرم باله سینه‌ای  | ۰/۲۲     | ۰/۰۰     |
| خار باله پشتی          | ۰/۰۸     | ۰/۰۲     |

مطابق شکل ۶، جمعیت سه رودخانه قمرود، رود کر و رود شلدون تا حدودی از یکدیگر جدا شدند. در بررسی تغییرات الگوی شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه، مطابق شکل ۷، با حرکت در جهت مثبت محور PC1 شکل بدنی جمعیت‌ها تمایل به افزایش اندازه سر (لندمارک‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۴)، افزایش ارتفاع بدن (لندمارک ۹) و نیز کاهش طول ساقه دمی (لندمارک‌های ۴، ۵ و ۶) دارند.

مطابق نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، شش مؤلفه اول که بالاتر از نقطه برش جولیف (۰/۰۰۰۳۳۴) قرار داشتند، به‌عنوان عوامل اصلی انتخاب گردید که این شش مؤلفه در مجموع ۷۵/۳۰ درصد (جدول ۴) واریانس را به‌خود اختصاص داده‌اند. نحوه توزیع جمعیت‌های مورد مطالعه و نیز تغییرات شکل بدنی جمعیت‌ها در راستای دو محور PC1 و PC2 در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس دو مؤلفه اول و دوم در اشکال ۶ و ۷ آورده شده است.



تحلیل همبستگی کانونی (CVA) براساس ارزش  $p$  حاصل از آزمون جایگشت (Permutation test) نشان داد که تفاوت معنی‌داری ( $f=12/52$  و  $P<0/00001$ ) ( $Wilks\ lambda=0/02423$ ) بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۸). در این شکل همه جمعیت‌ها به‌طور کامل از یکدیگر جدا شده‌اند. فاصله ماهالانوبیس و فاصله پروکراست به‌عنوان درجه تمایز جمعیت‌های مورد مطالعه براساس ویژگی‌های شکل بدن در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. مطابق مقادیر فاصله ماهالانوبیس و پروکراست بین جمعیت‌های قمرود، رود کر و رود شلدون تمایز بالایی وجود دارند.



شکل ۸: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی مورد مطالعه

جدول ۵: فواصل ماهالانوبیس شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (C. barroisi) مورد مطالعه.

| جمعیت‌ها  | قمرود | رود کر |
|-----------|-------|--------|
| رود کر    | ۶/۷۷۴ |        |
| رود شلدون | ۷/۶۴۵ | ۴/۷۸۴  |

جدول ۶: فواصل پروکراست شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (C. barroisi) مورد مطالعه

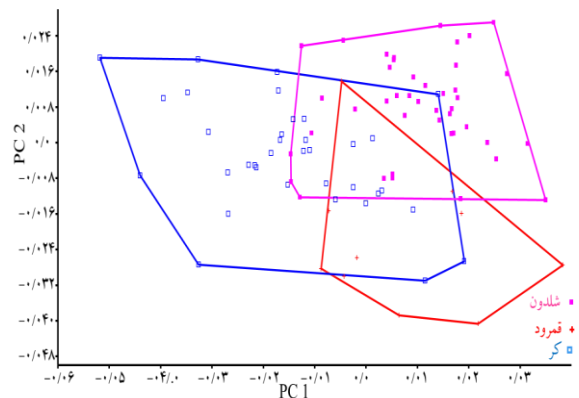
| جمعیت‌ها  | قمرود | رود کر |
|-----------|-------|--------|
| رود کر    | ۰/۰۳۷ |        |
| رود شلدون | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۲۹  |

در شکل ۹، تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه ارائه شده است. ضریب کوپرنیک تحلیل خوشه‌ای برابر با ۰/۹۸۳۸ می‌باشد. مطابق با تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه از سیاه‌ماهی متمایز شده و فاصله تمایز جمعیت قمرود از دو جمعیت رود کر و رود شلدون بیش‌تر است.

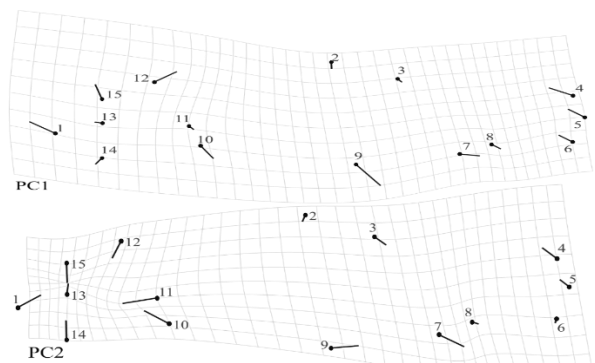
جدول ۴: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه شش مؤلفه اصلی اول شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (C. barroisi) مورد مطالعه.

| مؤلفه‌های اصلی (PCs) | مقادیر ویژه (%) | واریانس |
|----------------------|-----------------|---------|
| ۱                    | ۰/۰۰۰۳۵         | ۲۵/۲۷   |
| ۲                    | ۰/۰۰۰۲۳         | ۱۶/۲۸   |
| ۳                    | ۰/۰۰۰۱۶         | ۱۱/۱۲   |
| ۴                    | ۰/۰۰۰۱۳         | ۹/۰۹    |
| ۵                    | ۰/۰۰۰۱۱         | ۷/۳۷    |
| ۶                    | ۰/۰۰۰۰۹         | ۶/۱۷    |
| جمع                  |                 | ۷۵/۳۰   |

هم‌چنین با حرکت در جهت مثبت محور PC2 شکل بدنی جمعیت‌ها تمایل به کاهش اندازه سر (لندمارک‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۴)، کاهش ارتفاع بدن و حرکت به سمت عقب بدن باله پشتی (لندمارک‌های ۲، ۳ و ۹) و نیز تا حدودی کاهش طول ساقه دمی (لندمارک‌های ۴، ۵ و ۶) و حرکت رو به عقب باله مخرجی (لندمارک‌های ۷ و ۸) دارند.



شکل ۶: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (C. barroisi) مورد مطالعه

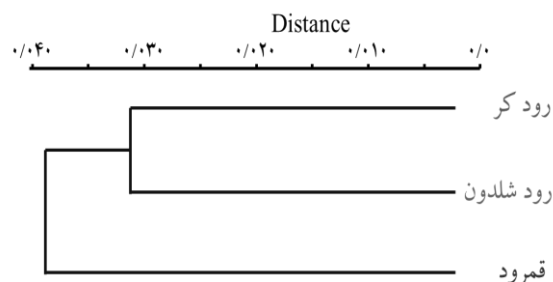


شکل ۷: تغییرات شکل بدنی جمعیت‌های سیاه‌ماهی مورد مطالعه در جهت هریک محورهای PC1 و PC2



نمودار تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در این گونه نشان داد که جمعیت‌های مورد مطالعه به‌طور کامل از یکدیگر جدا شده‌اند و نیز فاصله تمایز جمعیت قمرود از دو جمعیت کر و شلدون بیشتر است. توضیح دادن علل به‌وجود آمدن تفاوت‌های ریختی میان جمعیت‌ها بسیار دشوار است. به‌طورکل صفات ریختی تحت کنترل و درهم‌کنش دو عامل شرایط محیطی و ژنتیک می‌باشند (Swain و Holtby، ۱۹۸۹). صفات محیطی در دوران اولیه تکامل ماهی غالب بوده و افراد نسبت به شرایط محیطی حساسیت بیشتری دارند. معمولاً ماهیانی که در دوران اولیه زندگی دارای شرایط محیطی مشابهی هستند از لحاظ ریختی وضعیت مشابهی دارند (Pinheiro، ۲۰۰۵). از سوی دیگر هنگامی که ماهی در اوضاع محیطی جدیدی قرار گیرد، این امکان وجود دارد که تغییرات ریخت‌شناسی سریعاً در آن رخ دهد (Poulet، ۲۰۰۵). پژوهش‌های چندی مشخص کرده است که اختلافات ریختی بین جمعیت‌های مختلف یک گونه می‌تواند ناشی از جدایی ژنتیکی و تفاوت‌های محیطی باشد (Turan، ۲۰۰۰؛ Tudela، ۱۹۹۹).

با وارد شدن فلزات سنگین به رودخانه کر هم اکسیژن محلول رودخانه کاهش پیدا نموده و هم آلودگی‌های شیمیایی را سبب بررسی و تجزیه پارامترها، حاکی از ورود بقایای کودهای شیمیایی، فاضلاب‌های صنعتی می‌باشد. از جمله فاضلاب‌هایی که مستقیماً وارد این رودخانه می‌گردد، مربوط به واحد کلر آلکالی است که علاوه بر دارا بودن کلر، مواد معلق، مواد محلول دارای جیوه است. به‌طورکلی می‌توان گفت که وضعیت آب این رودخانه‌ها قبل از تأسیسات صنعتی موجود در مسیر آن‌ها از کیفیت نسبی قابل قبولی برخوردار بوده، اما متأسفانه پس از کارخانجات صنعتی به‌ویژه کارخانه پتروشیمی، آب رودخانه‌ها وضعیت نامطلوبی به‌خود می‌گیرد و دارای کیفیتی متفاوت نسبت به دو رودخانه مورد بررسی است، از این‌رو به‌نظر می‌رسد که این خصوصیت و همین‌طور فاصله جغرافیایی که این رودخانه‌ها با هم دارند باعث اختلافاتی در فنوتیپ جمعیت ماهیان آن نسبت به دیگر مناطق مورد مطالعه گردیده است.



شکل ۹: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (C. barroisi) مورد مطالعه

## بحث

به‌طورکلی صفات ریختی ماهیان درمقایسه با سایر مهره‌داران بیش‌تر دچار تغییرات درون و بین‌گونه‌ای شده و نسبت به تغییرات محیطی حساسیت بیشتری دارند، بنابراین، اثرات بعضی از عوامل محیطی نظیر درجه حرارت، شوری، دسترسی به غذا و یا فاصله مهاجرت می‌تواند به‌طور بالقوه تفکیک ریختی ماهیان را تعیین کند (Smith، ۱۹۹۶؛ Turan، ۲۰۰۰). مطالعه صفات ریخت‌شناسی و با هدف تعریف و شناسایی واحدهای جمعیتی از پیشینه‌ای طولانی در دانش زیست‌شناسی ماهی برخوردار است (Turan، ۲۰۰۰؛ Tudela، ۱۹۹۹). در گذشته تصور می‌شد که تغییرات ریختی صرفاً ژنتیکی است. اما، امروزه مشخص شده که منشأ این تغییرات هم محیطی و هم ژنتیکی است. پژوهش‌های اخیر مشخص کرده است که اختلافات ریخت‌شناسی بین گروه‌های مختلف ماهیان الزاماً آن‌ها را از لحاظ ژنتیکی جدا نمی‌کند و در عوض در پاره‌ای از موارد تفاوت‌های ریخت‌شناسی صرفاً ناشی از محیط بوده و اختلافات ژنتیکی هیچ نقشی در آن ندارد به این ترتیب نقش محیط به‌عنوان عامل اصلی تغییرات ریختی به‌اثبات رسیده است (Turan، ۲۰۰۰؛ Tudela، ۱۹۹۹).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (C. barroisi) مورد مطالعه نشان داد که کلیه جمعیت‌های سیاه‌ماهی مورد مطالعه به‌خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. کلیه نتایج تحلیل همبستگی کانونی جمعیت‌های مورد مطالعه نشان داد که جمعیت‌های مختلف سیاه‌ماهی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در شکل بدنی دارند و هیچ هم‌پوشانی بین آن‌ها دیده نشد. همچنین، تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های سیاه‌ماهی نشان داد که دو جمعیت شلدون و قمرود در یک گروه قرار گرفته‌اند و جمعیت رودخانه کر در یک خوشه جداگانه‌ای قرار گرفته است.

روش ریخت‌سنجی هندسی نیز نتایج ریخت‌سنجی سنتی را تأیید کرد و سه رودخانه قمرود، کر و شلدون از یکدیگر جدا شدند.



## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آقایان دکتر سالار درافشان، دکتر منوچهر نصری، مهندس سعید اسدالله و مهندس علی میرزایی جهت همکاری در نمونه برداری تشکر و قدردانی می‌گردد. هزینه‌های مالی اجرای این پژوهش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شده است.

## منابع

۹. **Jalili, P.; Eagderi, S. and Keivany, Y., 2015.** Body shape comparison of Kura bleak (*Alburnus filippii*) in Aras and Ahar-Chai rivers using geometric morphometric approach. *Research in Zoology*, Vol. 5, No. 1, pp: 20-24.
۱۰. **Keivany, Y.; Nasri, M.; Abbasi, K. and Abdoli, A., 2016.** Atlas of inland water fishes of Iran. Iran Department of Environment Press. 218 p.
۱۱. **Pinheiro, A.; Teixeira, C.M.; Rego, A.; Marques, J.F. and Cabral, H.N., 2005.** Genetic & morphological variation of *Solea lascaris* (Risso, 1890) along the portugese coast. *Fish. Res.* Vol. 23, No. 3, pp: 67-78.
۱۲. **Poulet, N.; Berrebi, P.; Crivelli, A.J.; Lek, S. and Argillier, C., 2004.** Genetic and morphometric variations in the pikeperch (*Sander lucioperca*) of a fragmented delta. *Arch. Hydrobiol.* Vol. 159, No. 4, pp: 531-554.
۱۳. **Razavipour, P.; Eagderi, S.; Poorbagher, H.; Javanshir Khooi, A. and Keivan, Y., 2015.** Phenotypic plasticity of the Tuini fish, *Capoeta damascina*, (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in Iranian part of Tigris basin using geometric morphometric approach. *J. Anim. Res.* Vol. 28, pp: 170-179.
۱۴. **Siami, M.; Keivany, Y. and Farhadian, O., 2017a.** Reproductive characteristics of Siahmahi, *Capoeta damascina* (family Cyprinidae), in Beheshtabad River, Tigris basin. *Sri Lanka J. Aquat. Sci.* Vol. 22, No. 1, pp: 21-27.
۱۵. **Siami, M.; Keivany, Y. and Farhadian, O., 2017b.** On some growth characteristics of Siahmahi (*Capoeta damascina*), in Beheshtabad River of Chaharmahal and Bakhtiari. Submitted.
۱۶. **Smith, G.R., 1966.** Distribution and evolution of the North American catostomid fishes of the subgenus *Pantosteus*, genus *Castostomus*. *Miscellaneous Publications*, Museum of Zoology, University of Michigan. 129 p.
۱۷. **Swain, D.P. and Holtby, L.B., 1989.** Differences in morphology and behavior between juvenile coho salmon *Oncorhynchus kisutch* rearing in a lake and in its tributary stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 46, No. 8, pp: 1406-1414.
۱. **Asadollah, S.; Soofiani, N.M.; Keivany Y. and Shadkhast, M., 2011.** Reproduction of *Capoeta damascina*, a cyprinid fish, in Zayandeh-Rud River, central Iran. *J. Appl. Ichthyol.* Vol. 27, pp: 1061-1066.
۲. **Asadollah, S.; Soofiani, N.M.; Keivany, Y. and Hatami, R., 2017.** Age and Growth of the Mesopotamian Barb, *Capoeta damascina*, in Central Iran. *Iran. J. Fish. Sci.*, In press.
۳. **Bookstein, F.L., 1998.** Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge University Press. 435 p.
۴. **Cadrin, S.X., 2000.** Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Rev. Fish Biol. Fish.* Vol. 10, No. 1, pp: 91-112.
۵. **Costa, C. and Cataudella, S., 2007.** Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian Sea). *Env. Biol. Fish.* Vol. 78, No. 2, pp: 115-123.
۶. **Coad, B., 2017.** Freshwater fishes of Iran. [www.briancoad.com](http://www.briancoad.com). last Accessed on 20 March 2017).
۷. **Guill, J.M.; Hood, C.S. and Heins, D.C., 2003.** Body shape variation within & among three species of darters (Perciformes: Percidae). *Ecology of Freshwater Fish.* Vol. 12, No. 2, pp: 134-140.
۸. **Helfman, G.; Collette, B.B.; Facey, D.E. and Bowen, B.W., 2009.** The Diversity of fishes. 2<sup>nd</sup> edition. Wiley-Blackwell. 736 p.



۱۸. **Tudela, S., 1999.** Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European anchovy. *Engraulis encrasicolus*. Fish. Res. Vol. 42, No. 3, pp: 229-243.
۱۹. **Turan, C., 2000.** Otolith shape and meristic analysis of herring (*Clupea harengus*) in the North-East Atlantic. Arch. Fish. Mar. Res. Vol. 48, No. 3, pp: 213-225.
۲۰. **Wootton, R.J., 1999.** Ecology of Teleost Fishes. 2<sup>nd</sup> edition. Springer, London. 392 p.

