

مقایسه ریخت‌سنجی هندسی ماهی تیله‌خوس (*Capoeta capoeta*) در سه حوضه ایران

یزدان کیوانی^{۱*}، محمود بنی‌مسنی^۲ و عیسی ابراهیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴

چکیده

به منظور مقایسه ریخت‌سنجی جمعیت‌های تیله‌خوس (*Capoeta capoeta*) ۷۱۳ قطعه ماهی از ۳۲ رودخانه حوضه خزر، ارومیه و هریرود مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها پس از صید، توسط محلول گل میخک ۱٪ بیهوش و در فرمالین ۱۰٪ تثبیت و به آزمایشگاه انتقال یافتند. تصاویر دیجیتال با استفاده از دوربین هشت مگاپیکسلی با شرایط یکسان تهیه و با استفاده از نرم‌افزار *Tpsdig2* لندمارک گذاری شدند. روی هم‌گذاری لندمارک‌ها با استفاده از تحلیل پروکراست و حذف تغییرات غیرشکل با نرم‌افزار *TpsRelw* انجام شد. نتایج تحلیل متغیرهای کانونی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین جمعیت‌های سه حوضه وجود دارد و جمعیت هریرود کاملاً از جمعیت ارومیه تفکیک شد. جمعیت خزر با هر دو جمعیت هم‌پوشانی نشان داد. تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌ها با ضریب کوپرنیک ۰/۸۱۸، جمعیت‌های مورد مطالعه را به دو گروه اصلی تقسیم کرد، خزر و هریرود در یک گروه و ارومیه در یک گروه مجزا که نشان دهنده شباهت بیشتر حوضه خزر و هریرود به همدیگر است. فاصله جغرافیایی و تفاوت‌های زیستگاهی می‌تواند علت این امر باشد، با این وجود برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر نیاز به مطالعات مولکولی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوضه خزر، حوضه ارومیه، حوضه هریرود، سیاه‌ماهی، کپورماهیان

مقدمه

شناسایی جمعیت ماهیان در حفاظت از تنوع زیستی و مدیریت شیلات اهمیت بالایی دارد. علاوه بر این، شناسایی جمعیت‌ها در بررسی صفات زیستی مانند رشد، مرگ و میر، باروری، روابط تغذیه‌ای و حوادث دیرین‌شناسی ضروری می‌باشد. به طور سنتی، شناسایی جمعیت‌های درون گونه‌ای بر اساس خصوصیات ریخت‌شناسی است (Cardini, 2010; Keivany et al., 2017). اما روش‌های سنتی با مشکلاتی در خصوص قابلیت اطمینان مواجه می‌باشد (Samaee et al., 2009; Keivany and Arab, 2017). ریخت‌شناسی سنتی بر پایه مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های فواصل استوار است و از نظر توصیف تفاوت شکل بدن دارای ضعف‌هایی است (Jerry, 1998). در یکی دو دهه اخیر، روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه به طور موفقیت‌آمیزی در مطالعات ریخت‌شناسی استفاده شده است (Eagderi et al., 2015; Razavipour et al., 2015; Banimasani et al., 2017).

۱-دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، ایران
* (نویسنده مسئول keivany@cc.iut.ac.ir).

۲- دانش‌آموخته گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، ایران.

۳- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، ایران.

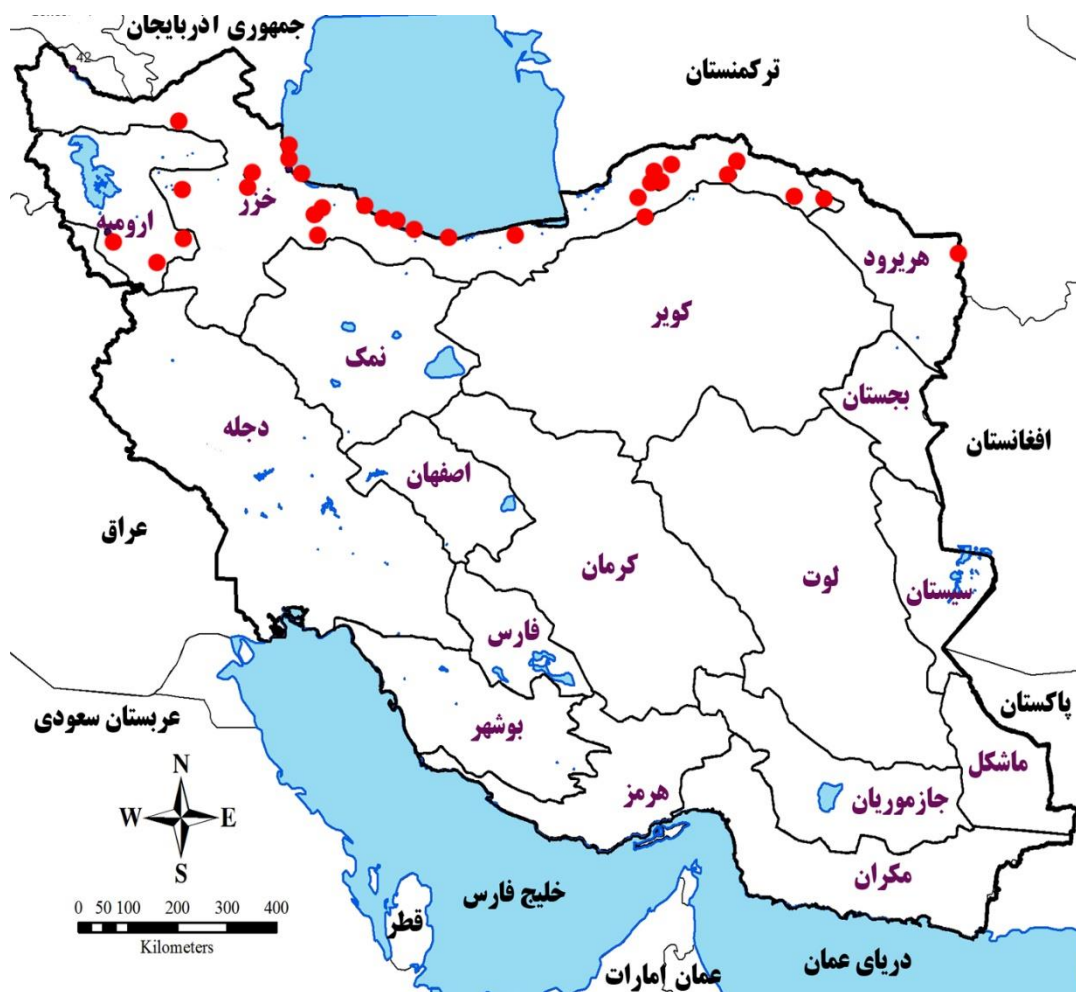
(Mouludi-Saleh *et al.*, 2017; Ghorbani-Ranjbari *et al.*, 2017, 2018). ریخت‌سنجی هندسی در مطالعات بوم‌شناسی، جغرافیای زیستی، رده‌بندی، انعطاف‌پذیری ریختی و تکامل منجر به گونه‌زایی به طور گسترده برای درک تغییرات فرم در فضا و زمان در طول تکامل، ارتباط ژنتیکی و تأثیر فاکتورهای زیست‌محیطی استفاده شده است. این ابزار مقایسه بین فرم‌های زیستی را بر اساس مختصات نقاط لندمارک‌ها امکان‌پذیر می‌سازد (Bookstein, 1991).

سیاه‌ماهی (*Capoeta capoeta*) (Güldenstädt, 1773) در منابع آب شیرین اعم از آبگیرها، دریاچه‌ها، چشمه‌ها و رودخانه‌ها حضور گسترده‌ای دارد. این ماهی با رژیم غذایی همه‌چیزخواری فاقد رقابت غذایی بادیگر گونه‌های ماهیان است و به همین علت می‌توان آن را با دیگر نمونه‌های سنتی پرورش ماهی بصورت کشت توأم پرورش داد. این ماهی در فارسی با نام سیاه‌ماهی، گل‌خور و یا تیل‌خوس شناخته می‌شود و یکی از گونه‌های غالب و بومی حوضه دریای خزر و به خصوص رودخانه سفیدرود به حساب می‌آید. از جمله خصوصیات ظاهری این ماهی داشتن یک جفت سیبک فکی، بدنی کشیده و پوشیده از فلس‌های گرد است. این ماهی دارای ارزش صید تجاری و ورزشی در منطقه می‌باشد و از جمله فراوان‌ترین ماهیان رودخانه‌های حوضه دریای خزر می‌باشد (Keivany *et al.*, 2016; Esmaili *et al.*, 2017). این ماهیان تمایل دارند در آب‌های کم‌عمق با سرعت آب متوسط و پوشش بستر سنگلاخی زندگی کنند. با توجه به اهمیت شناسایی ذخایر آبزیان در مدیریت کارآمد شیلاتی و بهره‌برداری بهینه ذخایر ماهی و با وجودی که مطالعات چندی در زمینه ساختار جمعیتی سیاه‌ماهی در حوضه خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی انجام شده (Heidari *et al.*, 2015; Eagderi *et al.*, 2011; AnvariFar *et al.*, 2009; Samaee *et al.*, 2015) ولی تاکنون مقایسات بین حوضه‌ای برای این گونه انجام نشده است، لذا هدف از این مطالعه، مقایسه سیاه‌ماهی *Capoeta capoeta* در رودخانه‌های سه حوضه خزر، ارومیه و هریرود بود.

مواد و روش‌ها

در مجموع ۷۱۳ قطعه ماهی از ۳۱ جمعیت رودخانه‌های حوضه‌های خزر (۵۹۳ قطعه)، ارومیه (۹۷ قطعه) و هریرود (۲۳ قطعه) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱، جدول ۱). نمونه‌ها پس از صید با تور پره در تابستان ۱۳۸۹ توسط محلول گل میخک ۱٪ بی‌هوش و در فرمالین ۱۰٪ تثبیت و پس از انتقال به آزمایشگاه و اطمینان از کامل شدن مراحل تثبیت در الکل ۷۰٪ جهت شماره زنی و انجام بیومتری نگهداری شدند. به منظور تهیه لندمارک‌ها، تصاویر دیجیتال با استفاده از دوربین هشت مگاپیکسلی کمن ۱۱ از فاصله ۱۵ سانتی‌متری با شرایط یکسان از تمامی نمونه‌ها عکس‌برداری شد. سپس لندمارک‌ها (جدول ۲) با استفاده از نرم‌افزار Tpsdig2 (1.46) بر روی تصاویر دو بعدی قرار داده شدند. روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از تحلیل پروکراست و حذف تغییرات غیرشکل (مقیاس، جهت و موقعیت) با نرم‌افزار TpsRelw (1.46) انجام شد.

خصوصیات اندازه‌گیری سیاه‌ماهی در دو جنس نر و ماده در خارج از فصل تولیدمثلی یکسان هستند (Anvarifar *et al.* 2011; Heidari *et al.* 2013). به همین دلیل، همه محاسبات اندازه‌گیری برای دو جنسیت نر و ماده با هم انجام گرفت. داده‌های ریخت‌سنجی گونه‌های مورد مطالعه برای مقایسه ویژگی‌های ریختی با استفاده از نرم‌افزارهای Tps series استخراج شد. تحلیل متغیرهای کانونی، با استفاده از نرم افزار SPSS 19، Excel 2013 و Morphoj (Version 1.02d) برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و ترسیمی استفاده شد.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری (Keivany *et al.*, 2016).

جدول ۱: مشخصات مناطق نمونه‌برداری.

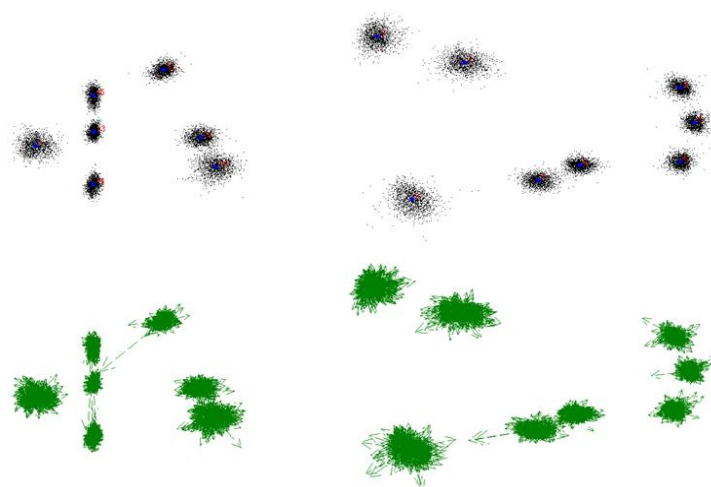
مختصات جغرافیایی	تعداد	نام منطقه	حوضه
61°10'22"E,	۲۳	کانال هریرود	هریرود
46°33'41"E,	۳۷	سنته	ارومیه
47°06'51"E,	۳۰	آق‌دره	
45°41'49"E,	۳۰	مهاباد	
55°27'10"E,	۱۶	تیل‌آباد	خزر
50°18'06"E,	۱۷	پل‌رود	
55°42'43"E,	۲۵	مادرسو	
47°02'06"E,	۲۵	اهرچای	
50°52'06"E,	۲۵	تنکابن	
50°45'07"E,	۲۵	چالکرو	
36°52'36"N,	۲۵	پاشایی	
51°14'50"E,	۲۵	پلنگ‌آبرود	
48°16'27"E,	۲۵	قزل‌اوزون	
57°10'20"E,	۲۵	شیرین‌دره	
51°53'57"E,	۲۵	نور	
57°03'16"E,	۲۵	یازهرا	
48°53'49"E,	۲۵	شیرآباد	
49°32'34"E,	۲۵	شاهرود	
58°10'40"E,	۲۵	مفرنقا	
49°09'17"E,	۲۵	شفارود	
45°03'53"E,	۲۵	زنگمار	
55°24'12"E,	۲۵	مینودشت	
48°13'49"E,	۲۵	آریاجای	
55°40'49"E,	۲۵	گرگانرود	
47°07'13"E,	۲۵	قرنقوچای	
49°31'16"E,	۲۵	سفیدرود	
53°05'10"E,	۳۰	تجن	
51°13'11"E,	۳۰	کلارآباد	

جدول ۲: لیست لندمارک‌های تعریف شده.

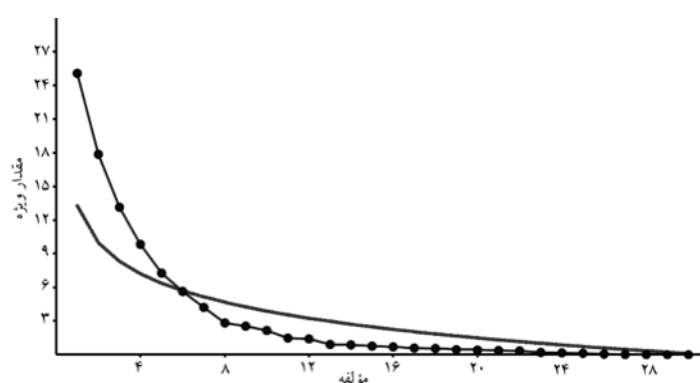
شماره لندمارک	موقعیت نقاط روی بدن ماهی
۱	نوک پوزه
۲	ابتدای قاعده پشتی
۳	انتهای قاعده پشتی
۴	حداکثر تو رفتگی ساقه دم در بالا
۵	انتهای ترین بخش ساقه دم مرز بین ساقه دم و باله دم
۶	حداکثر تو رفتگی ساقه دم در پایین
۷	ابتدای قاعده باله مخرجی (نقطه شروع قاعده باله مخرجی)
۸	انتهای قاعده باله مخرجی (نقطه انتهایی قاعده باله مخرجی)
۹	نقطه شروع باله شکمی (ابتدایی ترین بخش قاعده باله شکمی)
۱۰	نقطه شروع باله سینه‌ای (ابتدایی ترین بخش قاعده باله سینه‌ای)
۱۱	انتهای ترین بخش سرپوش آبششی به سمت بدن
۱۲	خطی موازی با انتهای سرپوش آبششی به سمت بالای بدن
۱۳	وسط چشم
۱۴	امتداد خطی موازی از نقطه وسط چشم به سمت پایین بدن ماهی
۱۵	امتداد خطی موازی از نقطه وسط چشم به سمت بالای بدن ماهی

نتایج

میزان جابجایی و به نوعی دقت لندمارک گذاری از دقت قابل قبولی برخوردار بود و کلیه لندمارک ها در موقعیت هدف قرار داشتند و جابه جایی در موقعیت تعداد ناچیزی لندمارک دیده شد (شکل ۲). مطابق نتایج تجزیه به مؤلفه های اصلی (PCA)، شش مؤلفه اول که بالاتر از نقطه برش جولیف (۰/۰۰۰۳۵۴) قرار داشتند، بعنوان عوامل اصلی تفکیک کننده جمعیت ها انتخاب گردیدند (شکل ۳) که این شش مؤلفه در مجموع ۷۸/۸۸ درصد (جدول ۴) واریانس را به خود اختصاص دادند. نحوه توزیع جمعیت های مورد مطالعه و نیز تغییرات شکل بدنی جمعیت ها در راستای دو محور PC1 و PC2 در نمودار تجزیه به مؤلفه های اصلی بر اساس دو مؤلفه اول و دوم در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۲: میزان جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک ها نسبت به شکل میانگین جمعیت های مورد مطالعه.

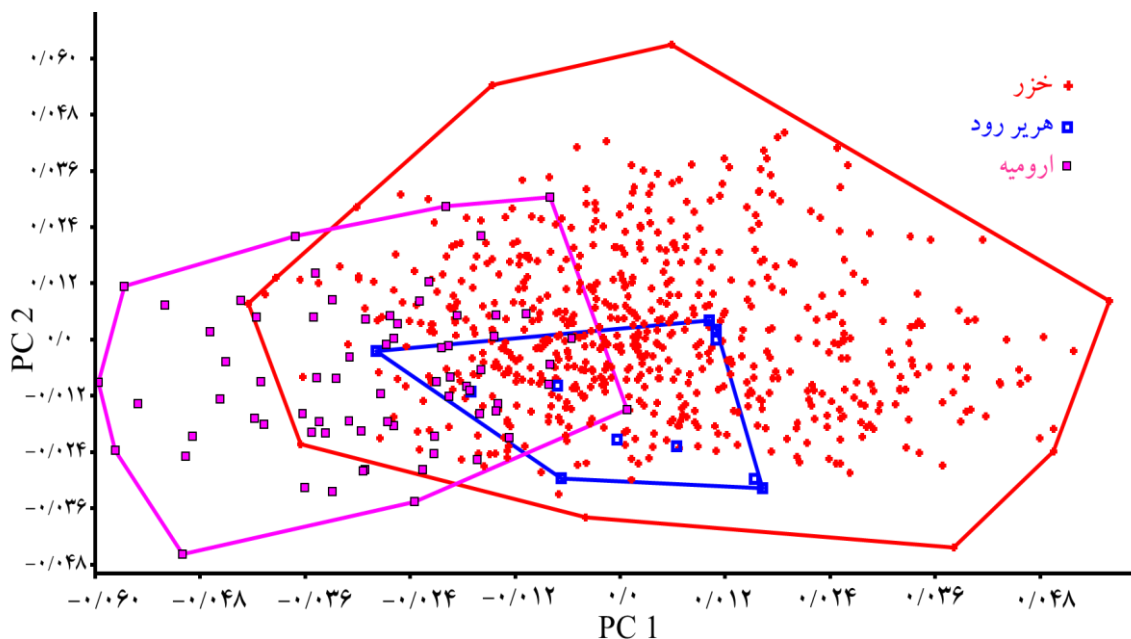


شکل ۳: اسکری پلات تحلیل مؤلفه های اصلی و نمایش نقطه برش جولیف (خط ممتد) که نشان دهنده مرز مؤلفه های اصلی (دایره ها) معنی دار است.

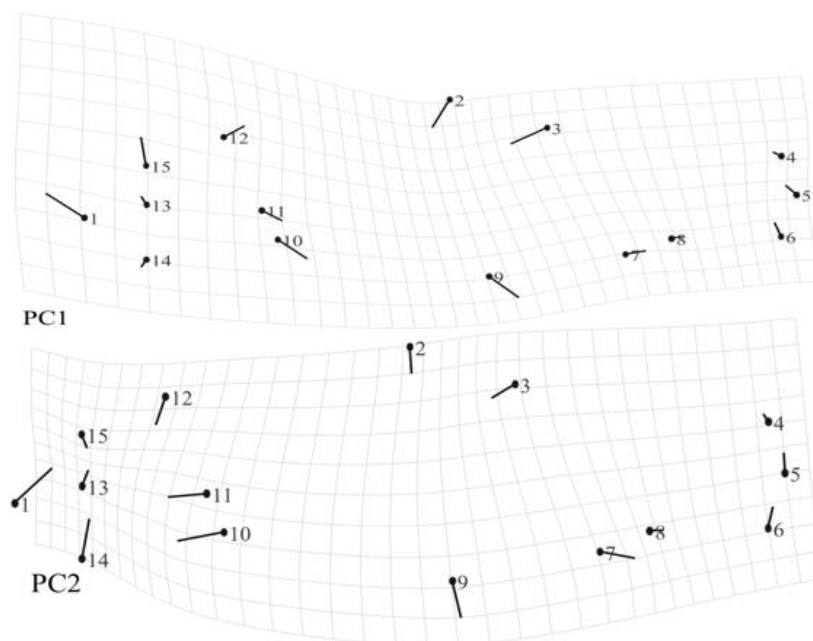
جدول ۳: مقادیر واریانس و مقادیر ویژه شش مؤلفه اصلی اول شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. gracilis*) مورد مطالعه.

مؤلفه‌ها (PCs)	مقادیر ویژه	واریانس
۱	۰/۰۰۰۳۸	۲۵/۰۹
۲	۰/۰۰۰۲۷	۱۷/۸۷
۳	۰/۰۰۰۲۰	۱۳/۱۵
۴	۰/۰۰۰۱۵	۹/۸۴
۵	۰/۰۰۰۱۱	۷/۲۹
۶	۰/۰۰۰۰۸۶	۵/۶۵
جمع		۷۸/۸۸

مطابق شکل ۳، مؤلفه‌های ۱ و ۲ جمعیت‌های مورد مطالعه با هم هم‌پوشانی دارند. در بررسی تغییرات الگوی شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه (شکل ۴)، با حرکت در جهت مثبت محور PC1 شکل بدنی جمعیت‌ها تمایل به افزایش اندازه سر (موقعیت لندمارک‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۴)، کاهش ارتفاع بدن (لندمارک‌های ۲، ۳ و ۹) و نیز کاهش طول ساقه دمی (لندمارک‌های ۴، ۵ و ۶) دارند. همچنین با حرکت در جهت مثبت محور PC2 شکل بدنی جمعیت‌ها تمایل به کاهش اندازه سر (موقعیت لندمارک‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۰ و ۱۴)، کاهش ارتفاع بدن و حرکت به سمت عقب بدن باله پشتی (لندمارک‌های ۲ و ۳) و نیز تا حدودی کاهش طول ساقه دمی (لندمارک‌های ۷ و ۸) و حرکت رو به عقب باله مخرجی (لندمارک‌های ۷ و ۸) دارند.



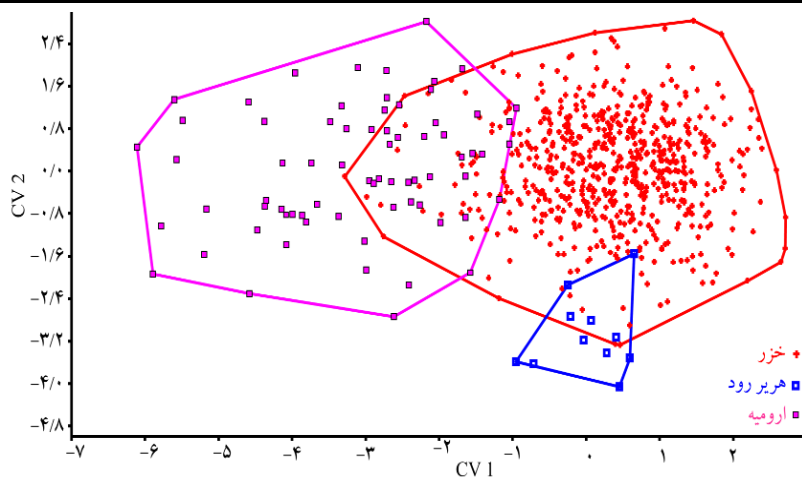
شکل ۳: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) مورد مطالعه.



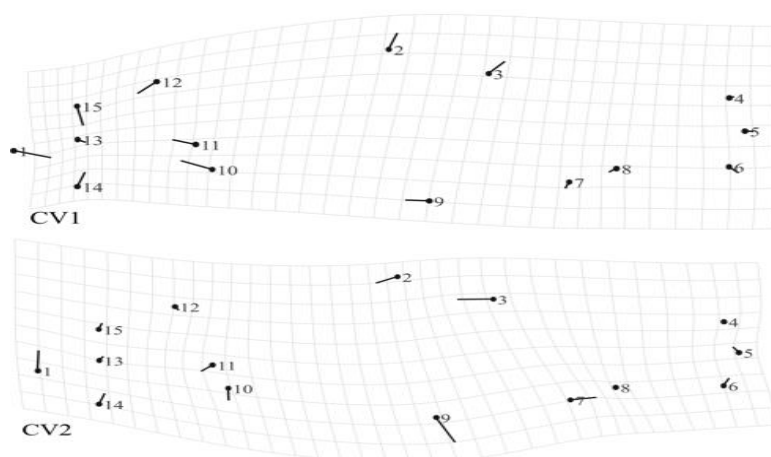
شکل ۴: تغییرات شکل بدنی جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) مورد مطالعه در جهت هریک محورهای PC1 و PC2.

تحلیل همبستگی کانونی (CVA) بر اساس ارزش p حاصل از آزمون جایگشت (Permutation test) نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($P < 0.0002$) و ($f = 13/87$) ($Wilks\lambda = 0.0082$) بین شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه وجود دارد. در این شکل همه جمعیت‌ها تا حد زیادی از یکدیگر جدا شدند، ولی جمعیت هریرود کاملاً از جمعیت ارومیه جدا شد (شکل ۵). در شکل ۶ تغییرات شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه ارایه شده است. با توجه به شکل با حرکت در جهت مثبت محور CV1 شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه تمایل به کاهش اندازه سر (لندمارک‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۴)، افزایش ارتفاع بدن (لندمارک‌های ۳ و ۹) دارند و نیز با حرکت در جهت مثبت محور CV2 شکل بدنی جمعیت‌های مورد مطالعه تمایل به افزایش اندازه سر (لندمارک‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۴)، افزایش ارتفاع بدن (لندمارک‌های ۲، ۳ و ۹) و کاهش طول ساقه دمی (لندمارک‌های ۴، ۵ و ۶) دارند. مقادیر فاصله ماهالانوبیس و پروکراسست که بعنوان درجه تمایز جمعیت‌های مورد مطالعه براساس ویژگی‌های شکل بدن هستند و به نوعی با تمایز رابطه مستقیم دارد، فاصله بیشتری بین جمعیت‌های حوضه ارومیه با جمعیت‌های دو حوضه دیگر نشان می‌دهد (جداول ۴ و ۵). تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌ها با ضریب کوپرنیک^۱ ۰/۸۱۸، جمعیت‌های مورد مطالعه را به دو گروه اصلی تقسیم کرده است: هریرود و خزر در یک گروه و ارومیه در یک گروه (شکل ۷).

¹ Copernicus index



شکل ۵: نمودار تحلیل همبستگی کانونی (CVA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) مورد مطالعه.



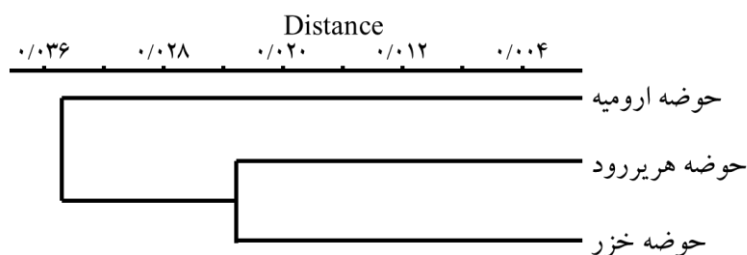
شکل ۶: تغییرات شکل بدنی جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) در جهت هر یک محورهای CV1 و CV2.

جدول ۴: فواصل Mahalanobis شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) مورد مطالعه.

گروه‌ها	خزر	هریرود
هریرود	۳/۱۱۳۲	
ارومیه	۳/۲۶۷۱	۴/۱۶۷۷

جدول ۵: فواصل پروکراست شکل بدن حاصل از آزمون CVA در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) مورد مطالعه.

گروه‌ها	خزر	هریرود
هریرود	۰/۰۲۳۱	
ارومیه	۰/۰۳۴۷	۰/۰۳۴۸



شکل ۷: تحلیل خوشه‌ای شکل بدن در جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*).

بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی صفات ریخت‌شناسی ماهیان در مقایسه با سایر مهره‌داران بیشتر دچار تغییرات درون و بین‌گونه‌ای شده و نسبت به تغییرات ناشی از محیط حساسیت بیشتری دارند، بنابراین، اثرات بعضی از عامل‌های محیطی نظیر درجه حرارت، شوری، دسترسی به غذا و یا فاصله مهاجرت می‌تواند به طور بالقوه تفکیک ریختی ماهیان را تعیین کند (Lindsey, 1988; Tajik and Turan, 2000; Keivany, 2018; Smith, 1996). مطالعه صفات‌های ریخت‌شناسی با هدف تعریف و شناسایی واحدهای جمعیتی از پیشینه‌ای طولانی در دانش زیست‌شناسی ماهی برخوردار است. 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 به عنوان عامل اصلی تغییرات ریختی به اثبات رسیده است (Holtby, 1989; Tudela, 1999; Turan, 2000; Poulet et al., 2004). صفات‌های محیطی در خلال 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, 2005) از سوی دیگر، هنگامی که ماهی در اوضاع محیطی جدیدی قرارگیرد، این امکان وجود دارد که تغییرات ریختی سریعاً در آن رخ دهد. ماهیان نسبت به تغییرات محیطی بسیار حساس بوده و می‌توانند خودشان را با ایجاد تغییرات ریختی لازم با شرایط محیطی جدید سازگار نمایند. به خوبی مشخص شده است که صفات ریختی می‌توانند انعطاف بالایی را در پاسخ به تفاوت‌های شرایط محیطی از جمله فراوانی غذا و دما نشان دهند (Stearns, 1893; Robinson & Wilson, 1994)، از این رو ماهیان تغییرات بالایی در صفات ریختی در هر دو سطح درون و بین جمعیت نسبت به سایر مهره‌داران به نمایش می‌گذارند و نسبت به ایجاد تغییرات ریختی در اثر تغییرات محیطی بسیار مستعد هستند (Stearns, 1893). انعطاف‌پذیری ریختی به وسیله ایجاد اصلاحات و تغییراتی در فیزیولوژی و رفتار نسبت به تغییرات محیطی مثل شرایط جدید ناشی از ساخت سد می‌باشند. این سازگاری‌ها در نهایت در تغییرات شکل بدن همانند تفاوت‌های ریختی مشاهده شده در این تحقیق، را ایجاد می‌کند (Hossain

(et al., 2010). ماهیان گستره وسیعی از تغییرات ریختی درون‌گونه‌ای را نشان می‌دهند که به طور اکولوژیکی و تکاملی مهم هستند. بدون موانع فیزیکی برای جریان ژنی و مهاجرت ماهیان، فرصت کمی برای سازگاری محلی وجود دارد که می‌تواند منجر به یک‌نواختی جمعیت شود (Robinson & Wilson, 1994).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن برای صفات شمارشی جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. capoeta*) مورد مطالعه نشان داد که جمعیت حوضه هریرود به خوبی از سایر جمعیت‌ها تفکیک شده است و جمعیت‌های دو حوضه ارومیه و خزر تا حدی با یکدیگر هم‌پوشانی دارند. نتایج تحلیل همبستگی کانونی (CVA) جمعیت‌های مورد مطالعه نشان داد که جمعیت‌های مختلف با یکدیگر اختلاف معناداری دارند، هرچند هم‌پوشانی بین آنها وجود دارد. نمودار تحلیل خوشه‌ای نشان داد که جمعیت‌های دو حوضه خزر و ارومیه در یک گروه قرار دارند و بیشترین تمایز را با جمعیت هریرود دارند. سه حوضه هریرود، خزر و ارومیه از نظر شرایط محیطی با هم متفاوت هستند و از سوی دیگر، این حوضه‌ها به واسطه شرایط جغرافیایی از هم دورند و احتمال می‌رود که دلیل اصلی جدایی این سه حوضه شرایط جغرافیایی و محیطی متفاوت باشد.

اثرات بعضی از فاکتورهای محیطی نظیر درجه حرارت، شوری، دسترسی به غذا و یا فاصله مهاجرت می‌تواند به طور بالقوه تفکیک ریختی ماهیان را تعیین کند. حتی در بین جمعیت‌های مختلف از یک گونه، شرایط زیستگاهی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ریخت ماهیان اعمال کند (Schluter & McPhail, 1992). (Turan et al., 2004). یکی از دلایل به وجود آمدن اختلافات ریختی ماهیان را در متفاوت بودن بسترهای تخم‌ریزی و در نتیجه جدا بودن منشأ آنها دانسته‌اند. در بررسی تفاوت‌های ریخت‌شناسی ماهی سوف (*Sander lucioperca*) در رودخانه دانوب^۱ نیز وجود چهار جمعیت مجزا در این منطقه تشخیص داده شد و عنوان شد که این اختلاف نه تنها در نتیجه مناطق جغرافیایی جدا از هم، بلکه به دلیل تفاوت در منشأ تولیدمثلی آنها است (Cetkovic & Stamenkovic, 1996).

با توجه به متنوع بودن ویژگی‌های محیطی و جدایی جغرافیایی حوضه‌ها و جمعیت‌های سیاه‌ماهی مورد بررسی، ریخت‌سنجی هندسی جمعیت‌های مورد بررسی را از هم جدا کرد و نشان داد که از نظر ریختی تفاوت‌های وجود دارد و می‌توان آن‌ها را از هم تفکیک کرد. با این وجود برای مطالعه دقیق‌تر نیاز به کارها و آزمایش‌های مولکولی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از آقایان دکتر سالار درافشان، دکتر منوچهر نصری، دکتر سعید اسدالله، مهندس علی نظام‌السلامی، مهندس سید محمدعلی موسوی، مهندس ابوالفضل روزدار و مهندس علی میرزایی جهت همکاری در

^۱ Danube River

نمونه برداری تشکر و قدردانی می نماییم. هزینه های مالی اجرای این پژوهش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شده است.

منابع

- AnvariFar, H., Khyabani, A., Farahmand, H., Vatandoust, S., AnvariFar, H. and Jahageerdar, S. (2011). Detection of morphometric differentiation between isolated up-and downstream populations of Siah Mahi (*Capoeta capoeta gracilis*) (Pisces: Cyprinidae) in the Tajan River (Iran). *Hydrobiology*, 673(1): 41-52.
- Banimasani, M., Keivany, Y. and Ebrahimi, E. (2017). Comparative geometric morphometric study of *Capoeta fusca* populations in Kavir and Harirud basins. *Exp. Anim. Biology*, 7(4): 107-115.
- Bookstein, F.L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: geometri and biology* Cambridge: Cambridge University Press.
- Cadrin, S.X. (2000). Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 10: 91-112.
- Cardini, A., DinizFilho, J.A.F., Polly, P.D. and Elton, S. (2010). Biogeographic analysis using geometric morphometrics: clines in skull size and shape in a widespread African arboreal monkey. A.M.T. Elewa (Ed.), *Morphometrics for Nonmorphometricians*, Lect. Not. Earth Sciences, 10(53): 958-978.
- Cetkovic, J.K. and S. Stamenkovic. (1996). Morphological differentiation of the pikeperch *Stizostedion luci operca* (L.) populations from the Yugoslav part of the Danube. *Fin. Zool. Bot. Publ. Board*, 33: 711-723.
- Eagderi, S., Esmailzadegan, E. and Madah, A. (2013). Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii 1863) populations of Caspian Sea basin. *J. Taxon. Biosystematics*, 5(4): 1-8.
- Eagderi, S., Esmailzadegan, E. and Pirbeigi, A. (2015). Morphological responses of *Capoeta gracilis* and *Alburnoides eichwaldii* populations (Cyprinidae) fragmented due to Tarik Dam (Sefidrud River, Caspian Sea basin, Iran). *Iran. J. Ichthyology*, 1(2): 114-120.
- Esmaili, H.R., Mehraban H, Abbasi K, Keivany Y. and Coad B.W. (2017). Review and updated checklist of freshwater fishes of Iran: Taxonomy, distribution and conservation status. *Iran. J. of Ichthyology*, 4(Suppl. 1): 1-114.
- Ghorbani-Ranjbari, Z., Keivany, Y., and Zamani, F.M. (2017). Geometric morphometric comparison of *Barilius mesopotamicus* (Berg 1932) populations in Diala and Tigris River Basins. *Journal of Fisheries* 70 (3), 231-242.
- Ghorbani-Ranjbari, Z., and Keivany, Y. (2018). Geometric morphometric comparison of *Barilius mesopotamicus* (Berg 1932) populations in Bushehr basin. *J. Anim. Research (Iran. J. Biology)* 31 (2), 242-254
- Heidari, A., Khoshkolgh, M., and Mousavi-Sabet, H. (2015). Tracing the effects of Sefidrud dams on *Capoeta gracilis* (Cyprinidae) populations using Truss distances in southern Caspian Sea basin. *Iran. J. Ichthyology*, 1(2): 106-113.
- Holtmeier, C.L. (2001). Heterochrony, maternal effects, and phenotypic variation among sympatric pupfishes. *Evolution*, 55: 330-338.

- Hossain, M.A., Nahiduzzaman, M., Saha, D., Khanam, M.U. H. and Alam, M.S. (2010). Landmark-based morphometric & meristic variations of the endangered carp, *kalibaus Labeocalbasu*, from stocks of two isolated rivers, the Jamuna and Halda, and a hatchery. *Zool. Studies*, 49(4): 556-563.
- 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. *Res. Zoology*, 5(1): 20-24.
- Jerry, D.R. and Cairns S.C. (1998). Morphological variation in the catadromous Australian bass, from seven geographically distinct riverine drainages. *J. Fish Biology*, 52: 829-843.
- Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K. and Abdoli, A. (2016). Atlas of inland water fishes of Iran. Iran Department of Environment Press. 218 p.
- Keivany, Y. and Arab, M. (2017). Geometric morphometric comparison of trout barb, *Capoeta trutta* (Teleostei: Cyprinidae) in the Tigris River basin. *Iran. J. Ichthyology*, 4(3): 220-230.
- Keivany, A., Tahmasebi, F. and Farhadian, O. 2017. Body shape variation of Kura barb (*Barbus* spp.) in Iranian basins. *J. Exp. Anim. Biology*, 7(2): 97-103.
- Langerhans, R.B. and Reznick, D.N. (2010). Ecology & evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. In: *Fish locomotion: (eds. Domenici, P. & Kapoor, B.G.) an Ecoethological Perspective*. pp. 200-248.
- Mohadasi, M., Shabanipour N. and Eagderi S. (2013). Habitat-associated morphological divergence in four Shemaya, *Alburnus chalcoides* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in the southern Caspian Sea using geometric morphometrics analysis. *Internatl. J. Aquat. Biology*, 1(2): 82-92.
- Mouludi-Saleh, A., Keivany, Y. and Jalali, S.A.H. (2017). Geometric Morphometric Comparison of Namak Chub (*Squalius namak*, Khaefi et al., 2016) in Rivers of Lake Namak Basin of Iran. *Res. Zoology*, 7(1): 1-6.
- 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. Research*, 23: 67-78.
- 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. Hydrobiology*, 159(4): 531-554.
- Razavipour, P., Eagderi, S., Poorbagher, H., Javanshir Khooi, A. and Keivany, 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. Researches*, 28: 170-179.
- Robinson, B.W. and Wilson D.S. (1995). Experimentally induced morphological diversity in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Copeia*, 1995: pp. 294-305.
- Robinson, B.W. and Wilson, D.S. (1994). Character release & displacement in fishes: a neglected literature. *Amer. Naturalist*, 144: 596-627.
- Ruzzante, D.E., Walde, S.J., Cussac, V.E., Macchi, P.J. and Alonso, M.F. (1998). Trophic polymorphism, habitat & diet segregation in Percichthystrucha (Pisces: *Percichthyidae*) in the Andes. *Biol. J. Lin. Society*, 65: 191-214.

- Salini, J.P., Milton, D.A., Rahaman, M.J. and Hussein, M.G. (2004). Allozyme & morphological variation throughout the geographic range of the tropical shad, hilsa *Tenualosa ilisha*. Fish. Research, 66: 53-69.
- Samaei, S.M., Patzner, R.A. and Mansour, N. (2009). Morphological differentiation within the population of Siahmahi, *Capoeta capoeta gracilis*, (Cyprinidae, Teleostei) in a river of the south Caspian Sea basin: a pilot study. J. Appl. Ichthyology, 25: 583-590.
- Schluter, D. and McPhail, J.D. (1992). Ecological character displacement and speciation in Sticklebacks. Amer. Naturalist, 140: 85-108.
- Smith, G.R. (1966). Distribution and evolution of the North American catostomid fishes of the subgenus *Pantosteus*, genus *Castostomus*. Miscel. Publ., Mus. Zool., Univ. Mich. 129: 1-122.
- Smith, T.B. and Skulason, S. (1996). Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. Ann. Rev. Ecol. Systematics, 27: 111-133.
- Stearns, S.C. (1983). A natural experiment in life-history evolution: field data on the introduction of mosquitofish (*Gambusia affinis*) to Hawaii. Evolution, 37: 601-617.
- Swain, D.P. and Holtby, L.B. (1989). Differences in morphology and behavior between juvenile coho salmon *Oncorhynchus kisutch* rearing in a lake & in its tributary stream. Can. J. Fish. Aquat. Sciences, 46(8):1406-1414.
- Tajik, Z. and Keivany, Y. (2018). Body shape comparison of Urmia bleak populations, *Alburnus atropatense*. J. Anim. Environment, 10 (2): 149-160.
- Tudela, S. (1999). Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European anchovy. *Engraulis encrasicolus*. Fish. Res. 42(3): 229-243.
- Turan, C. (2000). Otolith shape & meristic analysis of herring (*Clupea harengus*) in the North-East Atlantic. Arch. Fish. Mar. Research, 48(3): 213-225.
- Turan, C. (2008). Molecular systematics of the Capoeta (Cypriniformes: Cyprinidae) species complex inferred from mitochondrial 16 s rDNA sequence data. Acta Zoologica 51(2): 1-14.
- Turan, C., Erguden, D., Gurlek, M. and Turan, F. (2004). Morphometric structuring of the Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Black, Aegean & Northeastern Mediterranean Seas. Turk. J. Vet. Anim. Sciences, 28: 865-871.

Geometric morphometric comparison of teilehkhush fish (*Capoeta capoeta*) in three basins of Iran

Yazdan Keivany^{1*}, Mahmood Banimasani² & Eisa Ebrahimi³

Received: May 29, 2017
Accepted: January 14, 2018

Abstract

In order to compare the geometric morphometrics of teilehkhush (*Capoeta capoeta*) populations, 713 specimens from 32 rivers in Caspian Sea, Urmia and Harirud basins were examined. Specimens were anesthetized in 1% clove oil solution after catching by a seine net and fixed in 10% formalin and transferred to laboratory for further studies. The specimens were photographed in a similar condition by a Canon 8MP and land marked in Tpsdig2 software. Superimposition of the landmarks was performed by Procrustes analysis to eliminate non-shape variations in TpsRelw. The Canonical Variate Analysis (CVA) results of geometric morphometry showed significant differences among the populations, and Harirud population was fully separated from Urmia populations. Caspian Sea population overlapped with both other populations. The Cluster Analysis (CA) with a Copernicus index of 0.818, grouped the populations into two groups, Harirud and Caspian Sea populations in one separate group and Urmia population in another one, indication a more similarity between the Harirud and Caspian Sea populations. However, for more details, molecular studies are needed.

Keywords: Caspian Sea basin, Urmia basin, Harirud Basin, barb, Cyprinidae.

1- Associate Professor, Department of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran
*(Corresponding author Keivany@cc.iut.ac.ir).

2- MSc Graduate, Department of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.

3- Associate Professor, Department of Natural Resources (Fisheries Division), Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran