

نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۳

ص ۷۹-۹۰

## بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های ریختی گونه سیاه ماهی توئینی (*Capoeta damascina*) در آب‌های داخلی ایران با استفاده از

### روش ریخت‌سنجی هندسی

- ❖ پریا رضوی پور: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ سهیل ایگدری\*: استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ هادی پورباقر: دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ آرش جوانشیر خوبی: دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ یزدان کیوانی: دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

#### چکیده

کمی‌سازی ویژگی‌های ریختی شکل بدن جمعیت‌های مختلف ماهیان سبب شناسایی بهتر آن‌ها می‌شود و درک بهتری از تاریخچه تکاملی جمعیت‌های گوناگون آن را ارائه می‌کند. از این رو، این تحقیق با هدف مقایسه ویژگی ریخت‌شناختی جمعیت‌های سیاه ماهی توئینی (*Capoeta damascina*) در آب‌های داخلی ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. برای این منظور تعداد ۳۷۳ نمونه سیاه‌ماهی توئینی از سیزده رودخانه از حوزه‌های کرمان، دجله، جازموریان، خلیج، هرمز، اصفهان و دریاچه نمک نمونه‌برداری شد. از نیمرخ چپ بدن ماهی‌ها عکس‌برداری شد و روی تصاویر دو بعدی حاصل به منظور استخراج داده‌های شکل بدن روش ریخت‌سنجی هندسی، با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 تعداد ۱۷ لندمارک تعریف و رقمی شد. داده‌های لندمارک پس از آنالیز پروکراست با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره PCA، CVA و آنالیز خوشه‌ای تحلیل شد. الگوهای تغییر شکل هر جمعیت نسبت به شکل میانگین کل جمعیت‌ها در شبکه تغییر شکل مصورسازی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های مورد بررسی وجود دارد ( $P < 0.001$ ). این تفاوت‌ها مربوط به عرض بدن، ناحیه سر، موقعیت قرارگیری باله‌ها و ساقه دمی بود. نتایج همچنین نشان داد که جمعیت‌های مورد مطالعه سیاه ماهی توئینی حوزه دریاچه نمک از لحاظ شکل بدن کاملاً متفاوت است و سایر گروه‌ها به واسطه اختصاصات ریختی قابل تمایز است.

واژگان کلیدی: توئینی، ریخت‌سنجی هندسی، سیاه‌ماهی شکل بدن، لندمارک، *Capoeta*.

## ۱. مقدمه

سیاه‌ماهی (*Capoeta*) از خانواده کپور ماهیان (*Cyprinidae*)، در جنوب غربی آسیا گسترش دارد و دارای بیست گونه است که هفت گونه از آن در ایران گزارش شده است (Coad, 2013). در ایران، گونه سیاه‌ماهی توئینی (*Capoeta damascina*) (Valenciennes, 1842) نسبت به سایر گونه‌های این جنس پراکنش وسیع‌تری دارد و در حوزه‌های دجله، هرمزگان، کرمان، جازموریان، کر، خلیج فارس، اصفهان، دریاچه نمک و کویر نمک یافت می‌شود (Abodoli, 2000). این گونه، بدنی دوکی‌شکل، دهان عرضی و کوچک و دندان حلقی سه ردیفی با فرمول‌های ۲،۳،۴-۲،۳،۴ یا ۲،۳،۵-۲،۳،۵ دارد. سیاه ماهی توئینی به دلیل دارا بودن نه عدد شعاع باله پشتی، فلس‌های کوچک و خال‌های بزرگ تیره‌رنگ از گونه‌های دیگر جنس *Capoeta* قابل تمایز است.

در این گونه تعداد فلس‌های خط جانبی در بین و حتی درون جمعیت‌ها، در بررسی افراد زیاد، بسیار متغیر است (Krupp, 1985). تنوع ریختی بالایی در بین جمعیت‌های مختلف این گونه در ایران گزارش شده است (Coad, 2013). Samaee & Patzner (2011) شش جمعیت این گونه را با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی بررسی کردند و نشان دادند که بر اساس ویژگی‌های ریختی، جمعیت‌های مورد مطالعه تفکیک پذیرند. فاکتورهای محیطی به واسطه انتخاب طبیعی سبب افزایش کارایی یک ریخت در بین افراد یک زیستگاه و در نتیجه جداسازی ریختی جمعیت‌های آن در زیستگاه‌های مختلف می‌شود (Smith & Skulason, 1996).

در این بین برای آشکارسازی این تفاوت‌های ریختی، مطالعات ریخت‌سنجی هندسی به دلیل انعکاس

تعامل محیط و گونه اهمیت بسزایی دارد (Adams *et al.*, 2004). روش ریخت‌سنجی هندسی<sup>۱</sup> روشی مدرن نسبت به روش‌های سنتی است که در آن داده‌های لندمارک و خط سیر پیرامونی اطلاعات شکل ساختارهای زیستی را در قالب شکل استخراج می‌کند و به صورت گرافیکی به نمایش درمی‌آورد (Zelditch *et al.*, 2004). علاوه بر این، امکان تفسیر داده‌های این اشکال و آنالیز آماری آن‌ها به راحتی امکان‌پذیر است (Adams *et al.*, 2004). در روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه برخلاف روش سنتی که از فواصل به‌منزله داده‌های شکل استفاده می‌کند، الگوهای شکل نمونه‌ها بر اساس مختصات فضایی نقاط به‌منزله بازتابی از تغییرات شکل در بین ساختارهای زیستی بررسی و مقایسه می‌شود (Adams *et al.*, 2004). از این رو، با توجه به قابلیت‌های بالای روش ریخت‌سنجی هندسی در جداسازی اشکال زیستی، این تحقیق با هدف بررسی و مقایسه شکل بدن (ویژگی ریخت‌شناختی) جمعیت‌های سیاه‌ماهی توئینی در آب‌های داخلی ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق به واسطه کمی‌سازی ویژگی‌های ریختی شکل بدن جمعیت‌ها سبب شناسایی بهتر آن‌ها می‌شود و درک بهتری از تغییرات ریختی بر اساس جدایی زیستگاهی ارائه می‌کند.

## ۲. مواد و روش کار

### ۱.۲. جایگاه‌های نمونه برداری

تعداد ۳۷۳ نمونه سیاه‌ماهی توئینی از سیزده رودخانه از حوزه‌های کرمان، دجله، جازموریان، خلیج فارس، هرمز، اصفهان و دریاچه نمک با استفاده از دستگاه الکتروشوکر و تور سالیک صید شد (جدول ۱). نمونه‌های صیدشده بلافاصله در محلول گل میخک

استخراج، سپس آزمون همبستگی آن‌ها با مختصات تانژانت معادل با استفاده از نرم‌افزار tpsSmall 1.20 (Rohlf, 2003) اجرا و تناسب فواصل پروکراست و تانژانت تأیید شد (Bookstein, 1991). بنابراین، با توجه به همبستگی به دست آمده، ماتریس حاصل از فواصل پروکراست مستخرج از داده‌های مختصاتی مربوط به شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده تحلیل‌های چندمتغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه همبستگی کانونی (CVA) بر اساس ارزش عدد P حاصل از Permutation test با ده هزار تکرار و آنالیز خوشه‌ای (CA) با انتخاب الگوریتم Paired group با استفاده از نرم‌افزار PAST تحلیل شد. به علاوه، برای نشان دادن درجه شباهت بین گروه‌های مورد مطالعه، فاصله Mahalanobis بین گروه‌ها در آنالیز CVA استخراج شد. مصورسازی تغییرات شکل بدن بر اساس میانگین شکل جمعیت‌ها نسبت به شکل میانگین کل<sup>۱</sup> با استفاده از شبکه تغییر شکل در نرم‌افزار MorphoJ صورت پذیرفت. این مقایسه بر اساس فاصله پروکراست است که سنجش استاندارد در بررسی تفاوت شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی است (Rohlf, 2001).

### ۳. نتایج

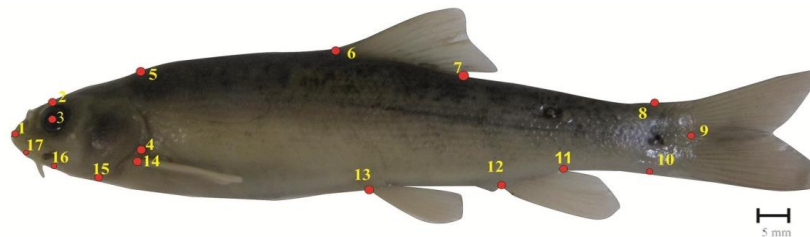
آزمون همبستگی فواصل پروکراست و تانژانت تناسب داده‌های روی هم گذاری شده برای انجام تحلیل‌های آماری را با همبستگی ۱ تأیید کرد. بررسی الگوهای تفاوت بالقوه بین جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام شد. در آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) چهار مؤلفه اول

بیهوش، سپس در فرمالین ۱۰ درصد بافری تثبیت و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور کاهش تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریکی، فقط نمونه‌های بالغ و بزرگ‌تر از ۱۰۰ میلی متر انتخاب شد. به علاوه، تمامی نمونه‌های مورد بررسی فاقد بدشکلی نامعمول از جمله شکم برآمده بود. با توجه به اینکه مطالعات قبلی (Anvarifar et al., 2011; Heidari et al., 2013) درباره گونه‌های جنس *Capoeta* ویژگی‌های ریخت‌سنجی جنسیت‌های نر و ماده را مشابه اعلام کرده بودند. همچنین، از آنجا که تفاوت ریخت‌سنجی بین دو جنسیت سیاه ماهی توئینی گزارش نشده بود (Coad, 2014; Samaee & Patzner, 2011)، نمونه‌ها بر اساس جنسیت از یکدیگر تفکیک نشدند.

### ۲.۲. روش مورد استفاده

در روش ریخت‌سنجی هندسی داده‌ها، مختصات لندمارک‌ها برای استخراج داده‌های شکل استفاده شد و در شبکه تغییر شکل مصورسازی می‌شود (Adams et al., 2004). برای این منظور، نخست از نیمرخ چپ نمونه‌ها با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال Sony با قدرت تفکیک شش مگاپیکسل عکس‌برداری شد. سپس، برای استخراج داده‌های شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی تعداد ۱۷ نقطه لندمارک تعیین (شکل ۱) و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 روی تصاویر دوبعدی رقومی شد. روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها به منظور حذف تغییرات غیرشکل (شامل مقیاس، جهت و موقعیت) با استفاده از آنالیز پروکراست (Generalised Procrustes Analysis) انجام شد (Rohlf, 2001).

از آنجا که داده‌های حاصل از مختصات لندمارک‌ها از هندسه اقلیدسی تبعیت نمی‌کند، بنابراین برای تحلیل‌های آماری مختصات پروکراست



شکل ۱. لندمارک‌های تعیین شده روی ماهیان به منظور استخراج داده‌های شکل بدن در روش ریخت‌سنجی هندسی: ۱. ابتدایی ترین بخش پوزه، ۲. نقطه وسط چشم، ۳. امتداد خطی موازی از لندمارک شماره ۲ به سمت بالای بدن، ۴. انتهایی ترین نقطه سرپوش آبششی، ۵. امتداد خطی موازی از لندمارک شماره ۴ به سمت بالای بدن، ۶. ابتدای قاعده باله پشتی، ۷. انتهای قاعده باله پشتی، ۸. قسمت بالایی حداکثر تورفتگی ساقه دم، ۹. انتهایی ترین بخش ساقه دم، ۱۰. قسمت پایینی حداکثر تورفتگی ساقه دم، ۱۱. انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۲. ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۳. ابتدایی ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۱۴. ابتدایی ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۱۵. بخش زیرین سرپوش آبششی، ۱۶. امتداد خطی موازی از لندمارک شماره ۲ به سمت پایین بدن، ۱۷. انتهایی ترین شکاف دهانی

جدول ۱. جایگاه‌های نمونه برداری سبزه جمعیت مورد مطالعه سیاه ماهی توبینی درآب‌های داخلی ایران

استان	حوزه	رودخانه	عرض	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
کرمانشاه	دجله	دیره	۳۴°۲۳'۲۵"	۴۵°۵۰'۰۳"	۵۹۴
کردستان	دجله	سپید برگ	۳۵°۱۸'۴۷"	۴۶°۲۰'۴۲"	۱۰۹۴
لرستان	دجله	سراب کیوره	۳۳°۴۸'۵۹"	۴۸°۴۳'۲۲"	۱۵۲۱
کهگیلویه و بویراحمد	دجله	بشار	۳۰°۵۷'۵۹"	۵۰°۱۹'۳۶"	۲۴۱۶
کهگیلویه و بویراحمد	دجله	لوداب	۳۰°۵۷'۶۰"	۵۱°۱۵'۲۹"	۱۴۵۳
چهار محال بختیاری	گاوخونی	دیمه	۳۳°۳۱'۷"	۵۰°۱۳'۴۱"	۲۲۳۵
اصفهان	گاوخونی	زاینده رود	۳۲°۳۴'۳۲"	۵۰°۲۳'۰۴"	۲۳۸۳
فارس	هرمز	عکس رستم	۲۸°۵۷'۱۲"	۵۴°۲۳'۴۸"	۱۴۱۸
فارس	خلیج	قره آقاج	۲۹°۳۸'۲۶"	۵۲°۱۱'۲۴"	۱۹۱۵
بوشهر	خلیج	دالکی	۲۹°۲۸'۰۲"	۵۱°۲۳'۴۴"	۱۶۵
کرمان	کرمان	حسن آباد	۳۰°۳۱'۴۸"	۵۷°۱۴'۳۳"	۲۱۹۷
کرمان	جازموریان	هلل رود	۲۸°۵۵'۷۲"	۵۷°۴۰'۷۵"	۱۳۸۶
البرز	دریاچه نمک	کردان	۳۵°۵۷'۱۳"	۵۰°۵۰'۲۷"	۱۴۳۰

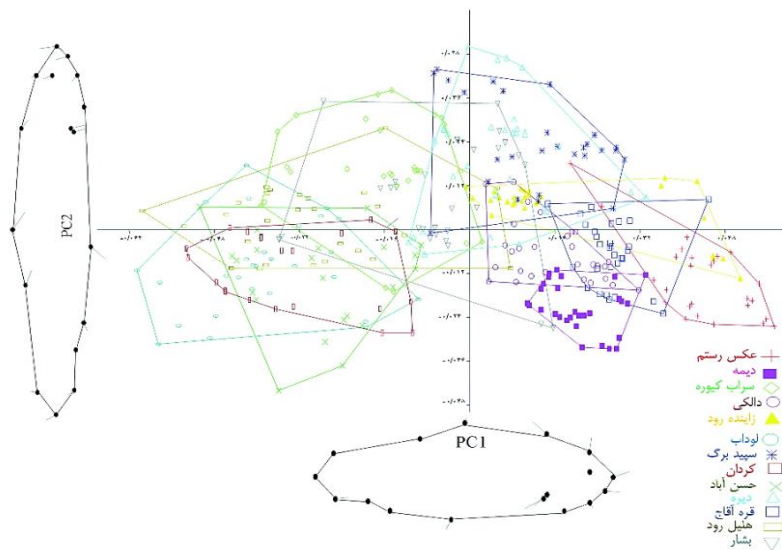
شکاف آبششی است. همچنین، مؤلفه اصلی دوم نیز بیان‌کننده کوچک شدن سر، جابه‌جایی شکمی باله پشتی، جابه‌جایی خلفی باله مخرجی و شکمی، کم‌عرض شدن بدن در ناحیه باله پشتی، پهن شدن ساقه دم، جابه‌جایی پشتی چشم، کوچک شدن فاصله بین باله سینه‌ای، انتهای شکاف آبششی و لبه زیرین چشم است (شکل ۲).

آنالیز CVA سبزه گروه مورد بررسی را به سه گروه عمده تقسیم کرد (شکل ۳) و تمامی

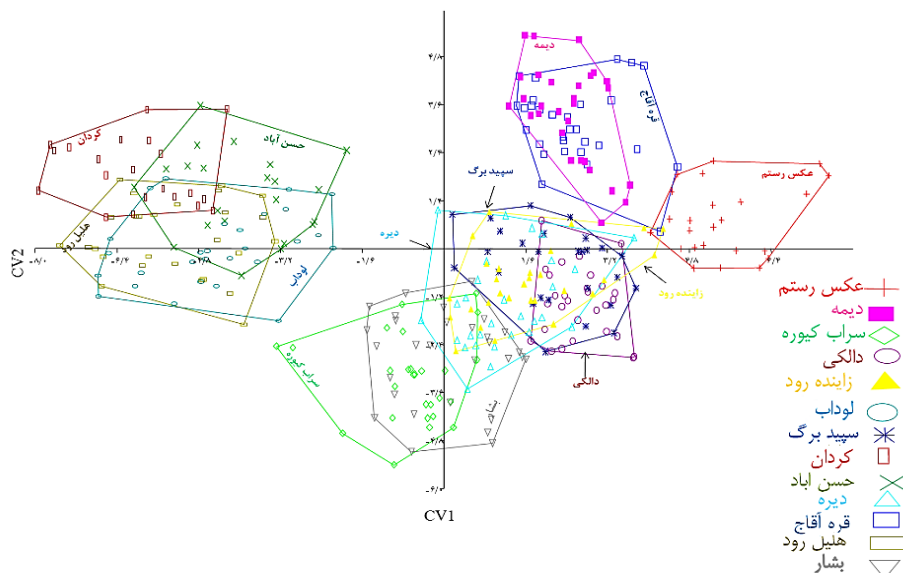
با مجموع ۹۰/۵۷ درصد از واریانس به‌منزله مؤلفه‌های مؤثر تشخیص داده شد که سهم هر کدام از این مؤلفه‌ها از مؤلفه اول تا مؤلفه چهارم به ترتیب ۵۹/۷۵، ۱۷/۲۷، ۷/۵۷ و ۵/۹۸ درصد بود. دو مؤلفه اصلی اول با مجموع واریانس ۷۷/۰۲ درصد بیشترین بار عاملی را به خود اختصاص داد. مؤلفه اول بیانگر ویژگی‌هایی ریختی شامل افزایش پهنای بدن، بزرگ شدن ناحیه سر، موقعیت بالایی دهان و پوزه، جابه‌جایی خلفی باله سینه‌ای و انتهایی

این اساس کمترین فاصله از نظر شکل بدن بین جمعیت‌های رودخانه دیره و رودخانه چم‌گران از حوزه دجله (۳/۶۰) است و بیشترین فاصله را جمعیت‌های رودخانه کردان از حوزه دریاچه نمک و رودخانه عکس رستم از حوزه هرمز (۱۱/۴۹) داشت.

جمعیت‌های مورد مطالعه بر اساس ارزش P حاصل از آنالیز Permutation test با ده هزار تکرار از نظر شکل بدن تفاوت معناداری را نشان داد ( $P < 0.0001$ ). فاصله Mahalanobis بین گروه‌های مورد مطالعه نیز از نظر شکل بدن در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۲. نمودار PCA شکل بدن سبزه جمعیت سیاه ماهی توتینی مورد مطالعه



شکل ۳. نمودار آنالیز CVA شکل بدن سبزه جمعیت سیاه ماهی توتینی مورد مطالعه

جدول ۲. فواصل Mahalanobis شکل بدن گروه‌های مورد بررسی حاصل از آنالیز CVA

عکس رستم	قره آقاج	دیمه	کرمان	دالکی	سراب کیوره	چم‌گران	دیره	هلیل‌رود	کردان	لوداب	زاینده‌رود
قره آقاج	۶/۱۰										
دیمه	۶/۶۹	۴/۰۵									
کرمان	۹/۷۵	۷/۷۱	۷/۶۰								
دالکی	۶/۷۵	۶/۳۳	۶/۹۳	۸/۵۳							
سراب کیوره	۸/۷۲	۷/۴۶	۷/۲۱	۷/۶۷	۷/۰۳						
چم‌گران	۷/۲۴	۵/۶۷	۶/۲۰	۷/۱۳	۶/۷۹	۶/۸۶					
دیره	۷/۴۰	۶/۲۱	۶/۷۶	۶/۸۹	۶/۵۲	۳/۶۰					
هلیل‌رود	۱۰/۷۳	۸/۷۸	۹/۰۶	۵/۹۱	۷/۹۵	۸/۶۱	۸/۰۹				
کردان	۱۱/۴۹	۸/۳۱	۸/۷۲	۵/۰۶	۷/۹۷	۹/۵۶	۸/۷۷	۵/۸۴			
لوداب	۱۰/۱۴	۷/۷۹	۸/۲۲	۴/۹۰	۷/۰۷	۸/۱۹	۷/۱۱	۶/۶۷	۶/۱۹		
زاینده‌رود	۶/۴۷	۴/۹۶	۶/۹۳	۸/۰۴	۶/۰۵	۶/۰۱	۵/۶۱	۸/۳۹	۸/۳۶	۷/۴۴	
بشار	۷/۴۴	۶/۵۳	۶/۵۶	۶/۴۰	۵/۶۳	۵/۶۶	۴/۹۵	۷/۴۲	۷/۹۴	۶/۲۷	۵/۶۰

جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴) و ساقه دمی کوتاه‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۹) بود. شاخه دوم شامل سه زیرشاخه بود مربوط به جمعیت‌های جازموریان، کرمان و لوداب در شاخه اول، جمعیت‌های بشار، سراب کیوره، چم‌گران و دیره در شاخه دوم و جمعیت‌های زاینده‌رود، رودخانه قره‌آقاج، رودخانه دالکی، رودخانه دیمه و رودخانه عکس رستم هرگز در شاخه سوم.

در زیرشاخه اول شکل بدن جمعیت جازموریان متفاوت‌تر از دو جمعیت کرمان و لوداب بود. بر اساس الگوی جابه‌جایی لندمارک‌ها، جمعیت جازموریان دارای سر کوچک‌تر، دهان فوقانی، پوزه کوتاه و کمی متمایل به سمت پایین (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱ و ۱۷)، موقعیت چشم نزدیک به لبه بالایی خط عمود بر چشم (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۲ و ۳)، شکاف آبششی و باله سینه‌ای قدامی‌تر (مربوط به جابه‌جایی

بررسی الگوهای ریختی شکل بدن گروه‌های مورد مطالعه بر اساس نتایج مصورسازی شده در شبکه تغییر شکل نشان داد که شکل بدن جمعیت‌های مختلف این گونه از الگوهای متنوعی تبعیت می‌کند که در شکل ۴ در مقابل دندوگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای آورده شده است. بر این اساس، نمونه‌های مورد نظر از لحاظ شکل بدن در دو شاخه مجزا قرار گرفت (شکل ۴). شاخه خارجی مربوط به نمونه‌های سیاه‌ماهی توئینی رودخانه کردان از حوزه دریاچه نمک بود که در اعضای آن عرض بدن کوچک‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶، ۷ و ۱۳)، موقعیت باله پشتی خلفی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۷ و ۸)، سر کوچک (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۳، ۱ و ۱۷)، پوزه کوتاه و متمایل به سمت پایین (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۱)، موقعیت باله سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی قدامی‌تر (مربوط به

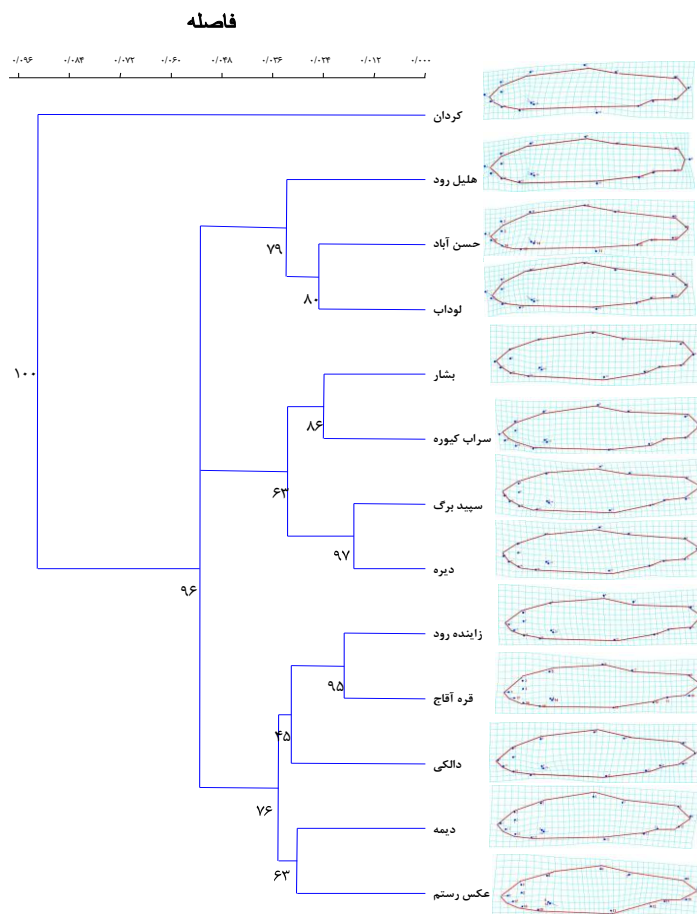
ساقهٔ دمی کشیده، پهن و متمایل به سمت بالای بدن (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۸، ۹ و ۱۰) بود.

جمعیت رودخانهٔ بشار دارای پوزهٔ کوتاه، دهان فوقانی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱ و ۱۷)، بالهٔ سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی شکمی تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، عرض بدن بیشتر در ناحیهٔ بالهٔ شکمی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۱۳) و قاعدهٔ بالهٔ منخرجی کوچک (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۱ و ۱۲) بسیار مشابه شکل کل بدن جمعیت‌ها بود. جمعیت رودخانهٔ دیره نیز دارای سر متمایل به سمت بالا و دهان فوقانی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱ و ۱۷)، موقعیت بالهٔ سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی اندکی شکمی - خلفی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، موقعیت بالهٔ پشتی قدامی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶ و ۷)، انتهای ساقهٔ دمی در اعضای این گروه دراز (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۹) و بالهٔ شکمی خلفی با عرض بیشتر بدن (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۱۳) بود.

جمعیت چم‌گران نیز دارای سری کاملاً فوقانی و بزرگ با دهان فوقانی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۱۷ و ۳)، موقعیت بالهٔ سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی کمی شکمی - خلفی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، انتهای شکاف آبششی نزدیک به لبهٔ زیرین چشم (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۵ و ۱۶)، بالهٔ پشتی قدامی با عرض کمتر بدن در این ناحیه (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶ و ۷)، بالهٔ شکمی خلفی با عرض بدن پهن در این ناحیه (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۳)، انتهای ساقهٔ دمی طویل تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۹) و باله‌های منخرجی و دمی نزدیک تر هم (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱) بودند.

لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، قاعدهٔ بالهٔ پشتی کوچک (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶ و ۷)، قاعدهٔ بالهٔ منخرجی بزرگ تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۱ و ۱۲) و انتهای ساقهٔ دمی فشرده تر و کوتاه (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۹) بود. اعضای جمعیت کرمان نیز دارای سر کوچک و فشرده تر، پوزهٔ کوتاه تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۱۷)، موقعیت انتهای شکاف آبششی و بالهٔ سینه‌ای با موقعیت قدامی - پشتی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، ساقهٔ دمی درازتر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۸، ۹ و ۱۰)، عرض کمتر بدن در ناحیهٔ بالهٔ شکمی، موقعیت پشتی تر بالهٔ شکمی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۱۳) و قاعدهٔ بالهٔ منخرجی بزرگ تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۲ و ۱۱) بود. همچنین، اعضای رودخانهٔ لوداب دارای سر کوچک، پوزهٔ کوتاه و زیرین (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۳، ۱۷ و ۵)، موقعیت پشتی بالهٔ سینه‌ای، انتهای شکاف آبششی پشتی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، ساقهٔ دمی درازتر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۸، ۹ و ۱۰) و بدن کم‌عرض در ناحیهٔ بالهٔ شکمی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۱۳) بود (شکل ۴).

در زیرشاخهٔ دوم، جمعیت‌های چم‌گران و دیره از لحاظ شکل بدن به هم نزدیک تر بود. بر اساس الگویی، جابه‌جایی لندمارک‌های جمعیت سیاه‌ماهی توئینی سراب کیوره دارای سری با موقعیت فوقانی و کوچک (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۱۶ و ۱۷)، دهان فوقانی و لبهٔ زیرین چشم (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۷ و ۱۶)، بالهٔ سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی شکمی - قدامی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، بالهٔ پشتی با موقعیت جلویی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶ و ۷) و



شکل ۴. نمودار آنالیز خوشه‌ای شکل بدن سیزده جمعیت سیاه ماهی توتینی مورد مطالعه (شبکه‌های تغییر شکل نشان‌دهنده تفاوت هر گروه نسبت به شکل میانگین است)

انتهای ساقه دم اندکی قدامی و کوچک‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۸، ۹ و ۱۰) و اندازه پهن‌تر بدن در ناحیه باله پشتی و شکمی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶، ۵ و ۱۲) بود.

جمعیت رودخانه قره‌آقاج نیز دارای پوزه کشیده‌تر، سری بزرگ‌تر و عریض‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۳، ۱۷ و ۱۶) و ابتدای قاعده باله سینه‌ای و انتهای شکاف آبششی خلفی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴) بود. در این گروه عرض ساقه دم فشرده‌تر و کوچک‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۸ و ۱۰) و بدن باریک‌تر در ناحیه باله پشتی و شکمی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶، ۷ و ۱۲) است.

در زیرشاخه سوم، جمعیت‌های دیمه و عکس رستم شباهت بالایی به هم دارد و شکل بدن آن‌ها متفاوت‌تر از زاینده‌رود، قره‌آقاج و دالکی است (شکل ۴). بر اساس الگوی جابه‌جایی لندمارک‌ها در جمعیت عکس رستم بیشترین تفاوت مربوط به تغییر جایگاه لندمارک‌های مستقر در نیمه جلویی بدن بود. اعضای این گروه دارای سر بزرگ‌تر و عریض‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۳، ۱۶ و ۱۷)، باله سینه‌ای شکمی‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴) و عرض بدن کوچک در ناحیه باله مخرجی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۱ و ۱۲) بود. همچنین، در اعضای این جمعیت، عرض در



Robinson and Wilson, 1994; Wimberger, ) 1994; Robinson & Wilson, 1995; Smith & Skulason, 1996; Ruzzante *et al.*, 1998; (Mittelbach *et al.*, 1999; Holtmeier, 2001

از آنجا که هدف این تحقیق بررسی و مقایسه شکل بدن (ویژگی ریخت‌شناختی) جمعیت‌های سیاه ماهی توئینی در آب‌های داخلی ایران به منظور شناسایی ریختی آن‌ها بود، نتایج با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی توانست تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های مختلف سیاه ماهی توئینی را به خوبی آشکار کند. همچنین، این نتایج شناسایی بهتر آن‌ها را در مناطق جغرافیایی مختلف امکان‌پذیر می‌کند. نتایج بررسی جمعیت‌ها بر اساس روش ریخت‌سنجی هندسی، سیزده جمعیت مورد مطالعه را به چهار گروه مختلف از نظر شکل بدن تفکیک کرد. بر این اساس، جمعیت رودخانه کردان که گروه مجزایی را تشکیل داده بود بدنی باریک‌تر، سر کوچک‌تر، پوزه کوتاه‌تر و متمایل به سمت پایین، ساقه دم کوچک‌تر و باله سینه‌ای قدامی‌تر داشت. این ویژگی‌ها به منزله ویژگی‌های قابل تشخیص این جمعیت است. بر اساس نتایج این مطالعه سه جمعیت کرمان، جازموریان و لوداب به دلیل شباهت‌های متعدد ریختی، یک گروه از زیرشاخه آنالیز خوشه‌ای را تشکیل داد، ولی اعضای جمعیت جازموریان بدنی کوچک‌تر، دهان فوقانی‌تر، پوزه کوتاه‌تر و متمایل به سمت پایین، چشم نزدیک‌تر به خط عمود بالای چشم، باله سینه‌ای قدامی‌تر، باله مخرجی بزرگ‌تری داشت که این ویژگی‌ها مربوط به ارتفاع بدن، جایگاه دهان، باله سینه‌ای و اندازه ساقه دم است، که احتمالاً به واسطه انعطاف‌پذیری ریختی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و به واسطه سازگاری در فرایند تکامل موجود حاصل شده است (Guill *et al.*, 2003).

نتایج همچنین نشان داد که جمعیت‌های مربوط

جمعیت دیمه دارای پوزه بزرگ‌تر، سر عریض‌تر و متمایل به سمت پایین (مربوط جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۱۷ و ۱۶)، موقعیت شکمی چشم (مربوط جابه‌جایی لندمارک ۲)، انتهای شکاف آبششی و باله سینه‌ای خلفی و بالایی، بدن کشیده (مربوط جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴)، عرض بدن پهن‌تر (مربوط جابه‌جایی لندمارک‌های ۵، ۶ و ۷) و ساقه دم بزرگ‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۹ و ۱۰) است.

جمعیت زاینده‌رود دارای سری بزرگ، پهن و پوزه کشیده (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱، ۷ و ۳)، عرض کم بدن در ناحیه باله پشتی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶ و ۷)، جابه‌جایی موقعیت انتهای شکاف آبششی و باله سینه‌ای به سمت خلفی (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۴ و ۱۴) و ساقه دم کوچک (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۸، ۹ و ۱۰) است.

نمونه‌های رودخانه دالکی نیز دارای پوزه کشیده (مربوط به جابه‌جایی لندمارک ۱)، باله پشتی عقبی با بدن پهن در این ناحیه (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۶ و ۷)، طول ساقه دم کوتاه و موقعیت باله مخرجی خلفی و نزدیک به باله (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۰، ۱۱ و ۸) بود.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که جمعیت‌های مورد مطالعه به لحاظ ریختی از یکدیگر متمایز است. در این تحقیق با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی تمایز بین جمعیت‌های مورد بررسی کاملاً آشکار شد که بیانگر تمایز ریختی وابسته به فاصله جغرافیایی، سازگاری به ویژگی‌های زیستگاه آن‌ها و حتی تعلق احتمالی آن‌ها به آرایه‌های متفاوت است (Langerhans *et al.*, 2010). اساساً بسیاری از گونه‌های ماهیان در زیستگاه‌های مختلف تفاوت‌های ریختی نشان می‌دهند

خلفی و بالایی، ارتفاع بدن بیشتر و ساقه دمی بزرگ تر است. همچنین، ویژگی های تفکیک پذیر دیگر اعضای این گروه شامل ساقه دمی کوچک تر، پوزه کشیده تر و باله سینه ای خلفی تر است.

فاکتورهای محیطی به واسطه انتخاب طبیعی سبب افزایش کارایی یک ریخت در بین افراد یک زیستگاه و در نتیجه جداسازی جمعیت های آن در زیستگاه های مختلف می شود، که سبب گونه زایی می شود که نشان دهنده سیر تکاملی جمعیت هاست (Smith & Skulason, 1996). بنابراین تفاوت های شکل بدن بین جمعیت های مورد بررسی علاوه بر انعطاف پذیری ریختی آن ها تحت تأثیر فاکتورهای محیطی (Guill et al., 2003) بیانگر تعلق احتمالی آن ها به آرایه متفاوت به واسطه فرایند گونه زایی است. با توجه به اینکه تفاوت های ریختی مختلفی در بین اعضای این گونه در حوزه های مختلف بیان شده است و محققان اعتقاد به جداسازی این گونه به گونه های متعدد دارند (Krupp, 1985; Bianco & Banarescu, 1982)، ولی مقایسه ویژگی ریخت سنجی ستی و شمارشی اعضای این گونه در حوزه های مختلف امکان جداسازی آن ها را بر اساس این ویژگی ها نمی دهد (Coad, 2014). با وجود این، روش ریخت سنجی هندسی با قابلیت بالا در آشکار سازی تفاوت های ریختی نسبت به روش ریخت سنجی ستی، توانست تفاوت های شکل بدن در بین جمعیت های مختلف سیاه ماهی توئینی را بر اساس فاصله جغرافیایی و زیستگاه نشان دهد. از این رو، به منزله ابزاری برای مطالعات ریخت شناختی و آرایه شناسی در کنار سایر روش ها به کار می رود.

به رودخانه های مختلف حوزه دجله (دیره، چم گران، بشار، سراب کیوره) به دلیل شباهت های شکل بدن در یک گروه قرار می گیرند که بیانگر رابطه فاصله جغرافیایی و شکل بدن یا به عبارت دیگر، نشان دهنده رابطه ژنتیکی نزدیک تر آن هاست (Mohadesi et al., 2013; Eagderi et al., 2013). در این گروه دو جمعیت رودخانه های چم گران و دیره شباهت بیشتری به یکدیگر دارند که ویژگی های مشخص آن ها همانند سایر اعضای حوزه دجله البته با اندکی تفاوت شامل سری بزرگ تر و کاملاً متمایل به سمت بالا، دهان فوقانی تر، موقعیت باله سینه ای و انتهای شکاف آبششی شکمی - خلفی، باله پشتی قدامی تر، باله شکمی خلفی تر و در این ناحیه عرض بدن بیشتر و ساقه دمی طویل تر است. از آنجا که ویژگی های مربوط به جایگاه سر و دهان، موقعیت باله ها و ساقه دمی در قالب صفاتی مانند شکل بدن، الگوی تغذیه و الگوی شنا بروز می کند، هر کدام از این ویژگی های ریختی مزیتی عملکردی مرتبط با زیستگاه به واسطه انعطاف پذیری ریختی است (Eklov & Jonsson, 2007; Januszkiwicz & Robinson, 2007).

در نهایت، جمعیت رودخانه های دیمه، عکس رستم، زاینده رود، قره آقاج و دالکی از لحاظ شباهت شکل بدن در یک گروه قرار گرفت، در این گروه جمعیت های عکس رستم و دیمه شباهت بیشتری به هم داشت. ویژگی های قابل شناسایی جمعیت عکس رستم سر بزرگ تر، باله سینه ای شکمی تر، عرض بدن کمتر در ناحیه باله منخرجی، ساقه دمی کوچک تر و متمایل به سمت بالا و ارتفاع بدن پهن تر و جمعیت رودخانه دیمه داشتن پوزه و سر بزرگ تر و متمایل به سمت پایین، موقعیت چشم شکمی تر، باله سینه ای

## References

- [1]. **Abdoli A.** 2000. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife, Tehran, 378 pp. (in Persian)
- [2]. **Adams, D.C., Rohlf, F.J., Slice, D.E.,** 2004. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'Revolution'. Italian Journal of Zoology 71: 5-16.
- [3]. **Anvarifar, H., Khyabani, A., Farahmand, H., Vatandoust, S., Anvarifar H., 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). Hydrobiologia 673, 41-52.
- [4]. **Bianco, P.G., Banarescu, P.,** 1982. A contribution to the knowledge of the Cyprinidae of Iran (Pisces, Cypriniformes). Cybium 6(2), 75-96.
- [5]. **Banarescu, P., Nalbant, T.T., Goren, M.,** 1982. The Noemacheiline loaches from Israel (Pisces: Cobitidae: Noemacheilinae). Israel Journal of Zoology 31, 1-25.
- [6]. **Bookstein, F.L.,** 1991. Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology. Cambridge University Press.
- [7]. **Coad, B.** 2013. Freshwater fishes of Iran. Available from <http://www.briancoad.com> Accessed on 19 May 2013.
- [8]. **Eagderi, S., Esmailzadegan, E., Madah, A.,** 2013. Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. Journal of Taxonomy and Biosystematics, 5(4), 1-8. (in Persian)
- [9]. **Eklov P., Jonsson P.,** 2007. Pike predators induce morphological changes in young perch and roach. Journal of Fish Biology 70, 155-164.
- [10]. **Guill, J.M., Hood, C.S., Heins, D.C.,** 2003. Body shape variation within and among three species of darters (Perciformes: *Percidae*). Ecology of Freshwater Fish 12, 134-140.
- [11]. **Heidari, A., Mousavi-Sabet, H., Khoshkholgh, M., Esmaili H.R., Eagderi E.,** 2013. The impact of Manjil and Tarik dams (Sefidroud River, southern Caspian Sea basin) on morphological traits of Siah Mahi *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae). International Journal of Aquatic Biology 1(4), 195-201.
- [12]. **Holtmeier, C.L.,** 2001. Heterochrony, maternal effects, and phenotypic variation among sympatric pupfishes. Evolution 55, 330-338.
- [13]. **Januszkiwicz A.J., Robinson B.W.,** 2007. Divergent walleye (*Sander vitreus*) mediated inducible defenses in the centrarchid pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*). Biological Journal of the Linnean Society 90, 25-36.
- [14]. **Krupp, F.,** 1985. Systematik und Zoogeographie der Süßwasserfische des levantinischen Grabenbruchsystems und der Ostküste des Mittelmeeres. Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften" am Fachbereich Biologie der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz. 215 pp., Anhang: Abbildungen, Karten, Tabellen, 169 pp.
- [15]. **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 Linnean Society 80, 689-698.
- [16]. **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.) 200-248. Science Publishers Inc, Enfield.
- [17]. **Mittelbach, G.G., Osenberg, C.W., Wainwright, P.C.,** 1999. Variation in feeding morphology between pumpkinseed populations: phenotypic plasticity or evolution? Evolutionary Ecology Research 1, 111-128.
- [18]. **Mohadasi M., Shabanipour N., Eagderi S.,** 2013. Habitat-associated morphological divergence in four Shemaya, *Alburnus chalcoides* (Actinopterygii: Cyprinidae) populations in the southern Caspian Sea using geometric morphometrics analysis. International Journal of Aquatic Biology 1(2), 82-92.
- [19]. **Robinson, B.W., Wilson, D.S.,** 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. American Naturalist 194, 596-627.
- [20]. **Robinson, B.W., Wilson D.S.,** 1995. Experimentally induced morphological diversity in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). Copeia 1995, 294-305.
- [21]. **Rohlf, F.J.,** 2001. Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric

- interpretations. *Evolution* 55, 2143-2160.
- [22]. **Rohlf, F.J., 2013.** tpsSMALL Version 1.25. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New-York.
- [23]. **Ruzzante, D. E., Walde, S. J., Cussac, V. E., Macchi, P.J. and Alonso, M.F. 1998.** Trophic polymorphism, habitat and diet segregation in *Percichthys trucha* (Pisces: *Percichthyidae*) in the Andes. *Biological Journal of the Linnean Society* 65, 191-214.
- [24]. **Samaee S.-M., Patzner R.A., 2011.** Morphometric differences among populations of tu'ini, *Capoeta damascina* (Teleostei: *Cyprinidae*), in the interior basins of Iran. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(3), 928-933.
- [25]. **Smith, T.B., Skulason, S., 1996.** Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1996, 111-133.
- [26]. **Webster M.M., Atton N., Hart P.J.B., Ward A.J.W., 2011.** Habitat-specific morphological variation among threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) within a drainage basin. *PloSone*, 6: e21060.
- [27]. **Wimberger, P.H., 1994.** Trophic polymorphisms, plasticity and speciation in vertebrates. In: Stouder DJ, Fresh KL, Feller RJ, eds. *Theory and application in fish feeding ecology*. Columbia: University of South Carolina Press 1994, 9-43.
- [28]. **Zelditch, M. 2004.** *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Academic Press, New York.