

مطالعه اثر سد سنگبان بر ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*Capoeta gracilis*, keyserling, ۱۸۶۴) با استفاده از دو روش ریخت‌سنجی هندسی و سنتی

- **درناز صالحی‌نیا:** گروه تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، صندوق پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵
- **سهیل ایگدری*:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۶۱۹
- **نعمت الله خراسانی:** گروه تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، صندوق پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵
- **مظاهر زمانی فرادنبه:** گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۶۱۹

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۴

چکیده

دست‌کاری اکوسیستم‌های رودخانه‌ای از جمله رودخانه طالقان به وسیله احداث سد بر روی آن‌ها شرایط اکولوژیکی جدیدی را برای ساکنان این زیستگاه‌ها فراهم می‌کند که باید برای ادامه بقا با این شرایط سازگاری پیدا کنند. مطالعه حاضر به منظور بررسی تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های سیاه‌ماهی ساکن در بالادست و پایین‌دست سد سنگبان رودخانه طالقان، بر اساس دو روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی و نیز مقایسه قدرت این دو روش در تفکیک ریختی این جمعیت‌های جدا شده انجام شد. نتایج نشان داد که ریخت‌سنجی هندسی برخلاف روش سنتی قادر به تفکیک این جمعیت‌های بسیار نزدیک از نظر ویژگی‌های ریختی بود. بنابراین دو جمعیت سیاه‌ماهی در روش ریخت‌سنجی هندسی با دقت و اطمینان بالایی از لحاظ ریختی از یکدیگر تفکیک شدند ($P < 0/005$). نتایج هم‌چنین نشان داد که سد سنگبان باعث تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های ریختی شامل تغییر در عمق بدن، طول و عمق سر و عمق ساقه دم در جمعیت‌های دو سوی سد شده است.

کلمات کلیدی: تفکیک جمعیت، سیاه‌ماهی، ریخت‌سنجی، سنتی، هندسی



مقدمه

ریخت‌سنجی ابزار قدرت‌مندی در مطالعه تنوع شکل بدن جمعیت‌های مختلف موجودات زنده می‌باشد (Bell و Walker، ۲۰۰۰). ریخت‌سنجی شامل دو روش سنتی و هندسی می‌باشد (Bookstein، ۱۹۹۱). در روش سنتی داده‌های مربوط به شکل بدن براساس اندازه‌گیری فواصل طولی بر روی نمونه‌ها استخراج می‌گردند ولی در روش هندسی لندمارک پایه این داده‌ها براساس مختصات نقاط لندمارک استخراج می‌شوند و پس از حذف اثرات موقعیت، جهت و اندازه، تنها داده‌های شکل برای مطالعات بعدی باقی می‌ماند (Benítez و همکاران، ۲۰۱۲).

از این‌رو ریخت‌سنجی هندسی روشی نوین با دقت بالا بوده (Adams و همکاران، ۲۰۰۳؛ Rohlif و Marcus، ۱۹۹۳) و امکان مصورسازی نتایج برای درک بصری و مقایسه تغییرات شکل را فراهم می‌کند (Cavalcanti و همکاران، ۱۹۹۹) و هم‌چنین بزرگی تغییرات و تنوع در سطوح درون و بین گونه‌ای را به خوبی نمایش می‌دهد (Ruiz-Campos و همکاران، ۲۰۰۳). امروزه روش ریخت‌سنجی هندسی به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک روش مکمل به همراه مطالعات مولکولی استفاده می‌شود (Baumgartner و همکاران، ۲۰۱۳؛ Ng و Lee، ۱۹۹۵؛ Nasri و همکاران، ۱۹۹۴؛ Carvalho و Hauser، ۱۹۸۸). بنابراین این روش زمانی که با روش‌های آماری چندمتغیره ترکیب شود (ایگری و کمال، ۱۳۹۲)، ابزار قدرت‌مندی برای آزمون و نمایش گرافیکی تفاوت‌های شکلی را فراهم می‌کند (Bookstein، ۱۹۹۶؛ Rohlif و همکاران، ۱۹۹۶؛ Lyo و همکاران، ۱۹۹۳).

تغییر بسیاری از اکوسیستم‌های رودخانه‌ای از طریق احداث سدهای بزرگ و کوچک بر روی آن‌ها موجب ایجاد شرایط زیستی جدید برای موجودات ساکن در آن‌ها می‌شود (Heidari و همکاران، ۲۰۱۳). از این‌رو احداث سد از جمله مخرب‌ترین فعالیت‌های انسانی در این اکوسیستم‌های آبی می‌باشد. زیرا با احداث این سازه‌ها تغییرات وسیعی در بسیاری از جنبه‌های زیستی و غیرزیستی ایجاد شده و اثرات بنیادی بر تنوع موجودات این اکوسیستم‌ها به‌خصوص ماهیان می‌گذارد (Craig، ۲۰۰۱) و این خود باعث ایجاد تفاوت در ویژگی‌های ریختی و فیزیولوژیکی ماهیان بالادست و پائین‌دست سدها به‌واسطه تغییر شرایط هیدرولوژیکی رودخانه می‌گردد (McAllister و همکاران، ۲۰۰۱). در واقع ماهیان ساکن در زیستگاه‌های جدید برای ادامه حیات می‌بایست خود را با شرایط جدید ایجاد شده سازگار کنند (Graf، ۱۹۹۹). تغییر شرایط زیستگاه آب جاری با جریان سریع آب به زیستگاه‌هایی با سرعت پایین‌تر آب یا آبی راکد، می‌تواند شرایط اکولوژیکی و تکاملی جدیدی را پیش‌روی

آبزیان قرار دهد که آن‌ها باید با شرایط جدید سازگاری پیدا کنند (Heidari و همکاران، ۲۰۱۳) که می‌تواند منجر به ایجاد جمعیت‌های مجزا گردد.

رودخانه طالقان از جمله سرشاخه‌های مهم رودخانه سفید رود می‌باشد که از منطقه طالقان منشأ گرفته و بعد از طی مسیر طولانی و پیوستن به سفیدرود به دریای خزر می‌ریزد. این رودخانه به‌دلیل طول زیاد، در مسیر خود دست‌خوش فعالیت‌های انسانی از جمله اجرای طرح‌های سدسازی و انتقال آب به نواحی دوردست، پل‌سازی، احداث جاده، احداث مزارع و باغات در حاشیه رودخانه و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه شده است. سد انحرافی سنگبان بر روی رودخانه طالقان (با مختصات طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵ دقیقه)، سدی خاکی با هسته رسی است که در استان البرز قرار دارد. از جمله ماهیان ساکن رودخانه طالقان، گونه سیاه‌ماهی (*Capoeta gracilis* Keyserling، ۱۸۶۴) است که از فراوان‌ترین گونه‌های ساکن در این رودخانه می‌باشد. سیاه‌ماهی از جمله گونه‌های خانواده کپورماهیان در ایران می‌باشد که در نواحی میانی و پایینی رودخانه‌ها با بستر سنگلاخی، با جریان آب شفاف تا گل‌آلود دارای دامنه دمای ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در آبی با سرعت از ۱ متر بر ثانیه تا آب راکد زیست کرده و از حشرات آبی تغذیه می‌کند (Coad، ۲۰۱۴؛ عبدلی، ۱۳۷۸). این ماهی به تعداد فراوان در بیش‌تر رودخانه‌های حوضه‌های محل پراکنش خود یافت می‌شود (عبدلی، ۱۳۷۸). با توجه به قدمت نزدیک به یک دهه‌ای سد سنگبان بر روی رودخانه طالقان، این سوال پیش می‌آید که در طی این دوره زمانی کوتاه، آیا جدایی ریختی در ماهیان آن به‌وقوع پیوسته است که بتواند به‌عنوان شاهدی مبنی بر تأثیر این سازه انسان‌ساخت بر جوامع آبزیان در یک دوره زمانی کوتاه باشد؟ از این‌رو تحقیق حاضر با هدف استفاده از دو روش ریختی سنتی و هندسی برای مقایسه شکل بدن جمعیت‌های بالادست و پایین‌دست سد سنگبان با انتخاب گونه سیاه‌ماهی به‌عنوان گونه مورد بررسی به‌اجرا درآمد. نتیجه این تحقیق مقایسه کارایی دو روش ریختی سنتی هندسی و سنتی را در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی حاصل تغییر زیستگاه یعنی ساخت سد را امکان‌پذیر می‌سازد. به‌علاوه مطالعه مقایسه‌ای شکل بدن جمعیت‌های بالادست و پایین‌دست سد می‌تواند به درک تأثیرات ساخت سد بر روی اکوسیستم رودخانه‌ای و چگونگی پاسخ ریختی گونه مورد بررسی کمک نماید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری: با استفاده از دستگاه الکتروشوکر (Mp۷۵۰ Samus) تعداد ۶۰ قطعه سیاه‌ماهی (*C. gracilis*)

تشبیه و برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه تکوین و بیوسیستماتیک گروه شیلات دانشگاه تهران منتقل شدند. برای کاهش اثرات تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریکی در مطالعه، تنها نمونه‌های بزرگ‌تر از ۱۱۰ میلی‌متر (با بیش از یک‌سال سن) برای انجام مطالعه انتخاب گردیدند.



شکل ۱: موقعیت رودخانه طالقان و سد سنگیان و جایگاه‌های نمونه‌برداری

تهیه گردید. داده‌های حاصل پس از آنالیز پروکراست (Generalized Procrustes Analysis)، برای حذف اثرات غیرمرتبط با شکل (شامل اندازه، جهت و موقعیت)، با استفاده تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) و نیز آزمون T هتلینگ (t-test) (Hotelling) مورد تحلیل قرار گرفتند (Blackith and Reyment, 1971). مصورسازی تفاوت شکل بدن دو جمعیت مورد مطالعه در نمودار Wireframe با استفاده از نرم‌افزار Morpho J ۱/۰۵f انجام شد (Klingenberg, 2011). تجزیه و تحلیل داده‌های نقاط لندمارک در این مطالعه در نرم‌افزارهای PAST ۲/۱۷c (Hammer, 2012) و Morpho J ۱/۰۵f (Klingenberg, 2011) انجام شد.

شامل ۳۰ قطعه مربوط به بالادست و ۳۰ قطعه مربوط به پایین دست سد سنگیان طی فصل پاییز ۱۳۹۳ نمونه‌برداری گردید. نمونه‌برداری در طول ۲۰ برابر عرض رودخانه قبل از دریاچه سد و بعد از سد انجام شد (Lotfi, 2012) (شکل ۱). نمونه‌ها پس از بی‌هوشی در محلول عصاره گل میخک، در فرمالین ۱۰٪ بافری

روش مورد مطالعه: برای انجام این مطالعه از دو روش ریخت‌سنجی سنتی و ریخت‌سنجی هندسی استفاده شد. برای این منظور، ابتداء با استفاده از دوربین دیجیتال کداک (مدل EasySharw Z650) با قدرت تفکیک‌پذیری ۶ مگاپیکسل نصب شده بر روی پایه Copy-Stand، از نیم‌رخ چپ تمامی نمونه‌ها عکس‌برداری شد. به‌منظور استخراج داده‌های طولی در روش ریخت‌سنجی سنتی، در کنار نمونه‌های ماهیان یک مقیاس میلی‌متری به هنگام عکس‌برداری قرار داده شد. در روش ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۱۴ نقطه لندمارک هم‌ساخت بر روی تصاویر تعریف (شکل ۲) و با استفاده از نرم‌افزار tpsDig ۲۰۱۶/۲/۲ رقمی‌سازی شده و فایل‌های tps از آن‌ها

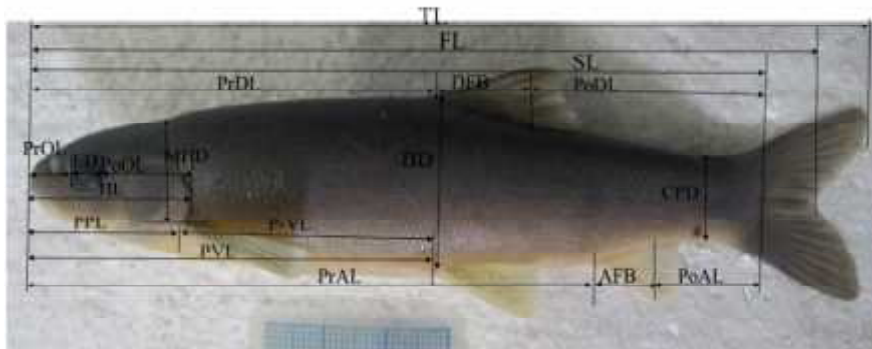


شکل ۲: موقعیت نقاط لندمارک تعیین شده بر روی تصاویر سیاه‌ماهی (*C. GRACILIS*): ۱- جلوترین بخش فک بالا، ۲- مرکز چشم، ۳- محل تقاطع امتداد خطی که از لندمارک‌های بالا و پایین حدقه می‌گذرد با لبه بالای سر، ۴- انتهای سر یا ابتدای تنه (انتهای مجسمه عصبی)، ۵- ابتدای قاعده باله پشتی، ۶- انتهای قاعده باله پشتی، ۷- لبه بالایی قاعده باله دم، ۸- لبه پایینی قاعده باله دم، ۹- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۰- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعده باله سینه‌ای، ۱۲- انتهای سرپوش آبششی، ۱۳- امتداد شکاف آبششی در سطح شکمی و ۱۴- محل تقاطع امتداد خطی که از لندمارک‌های بالا و پایین حدقه می‌گذرد با لبه پایینی سر



ماده انجام گرفت. تکنیک‌های متعددی در روش ریخت‌سنجی سنتی برای حذف اثرات اندازه و استخراج داده‌های واقعی شکل ارائه شده است که فرمول آلومتریک $M_{adj} = M(L_s/L_0)^b$ به‌عنوان متداول‌ترین روش، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت (Elliott و همکاران، ۱۹۹۵). که در آن M : اندازه واقعی فاصله اندازه‌گیری شده، M_{adj} : اندازه اصلاح شده فاصله اندازه‌گیری شده، L_s : میانگین طول چنگالی کل نمونه‌ها، L_0 : طول چنگالی ماهی، b : شیب رگرسیون تمامی ماهیان در کل نمونه‌ها می‌باشد. کارایی داده‌های اصلاح شده از طریق آزمون معنی‌دار بودن همبستگی بین متغیرها اصلاح شده و طول استاندارد مورد سنجش قرار گرفت. معنی‌دار نبودن این همبستگی نشان‌دهنده حذف کامل اثر اختلاف اندازه از داده‌ها می‌باشد.

در روش ریخت‌سنجی سنتی، ۱۹ فاکتور قابل اندازه‌گیری از روی تصاویر تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ ۱/۴۷۷-اندازه‌گیری شد (شکل ۳). دقت اندازه‌گیری‌ها در حد ۰/۱ میلی‌متر بود. داده‌های حاصل، پس از حذف اثر اندازه، با استفاده از تحلیل‌های چندمتغیره شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) و آزمون T هتلینگ (t-test Hotelling) با استفاده از نرم‌افزار PAST ۲/۱۷c مورد تحلیل قرار گرفتند (Parsons و همکاران، ۲۰۰۳). به‌علاوه میانگین هر یک از متغیرهای ریخت‌سنجی به‌صورت مجزا توسط آزمون T مستقل نیز مقایسه شدند. از آنجایی‌که بین دو جنس نر و ماده از لحاظ ریخت‌بدنی تفاوتی اثبات نشده است (انوری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱؛ AnvariFar و همکاران، ۲۰۱۱) بنابراین در این مطالعه نیز تمام محاسبات ریخت‌سنجی بدون تفکیک دو جنس نر و



شکل ۳: فواصل طولی اندازه‌گیری شده بر روی تصاویر نمونه‌های سیاه‌ماهی (*C. GRACILIS*): طول کل (TL)، طول چنگالی (FL)، طول استاندارد (SL)، ارتفاع بدن (MBD)، ارتفاع ساقه دم (CPD)، پیش‌باله پشتی (PRDL)، طول پایه باله پشتی (DFB)، پس‌باله پشتی (PODL)، پیش‌باله مخرجی (PRAL)، طول پایه باله مخرجی (AFB)، پس‌باله مخرجی (POAL)، پیش‌باله سینه‌ای (PPL)، پیش‌باله شکمی (PVL)، بین‌باله سینه‌ای و شکمی (P-VL)، طول سر (HL)، ارتفاع سر (MHD)، طول پوزه (PROL)، قطر چشم (ED) و طول پشت چشم (POOL)

(شکل ۶). بر این اساس نمونه‌های مربوط به بخش بالادست سد سنگبان دارای بدنی کم عمق در ناحیه قدامی، سری کوتاه‌تر و کم عمق و نیز ساقه دمی کم عمق هستند، درحالی‌که افراد متعلق به پایین دست سد دارای بدنی طولی‌تر و عمیق‌تر، سری بزرگ‌تر و نیز ساقه دمی عمیق می‌باشند.

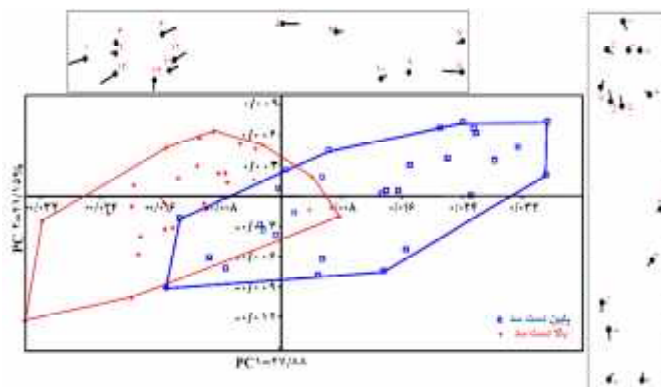
جدول ۱: نتایج تجزیه و تحلیل‌های *Two-group multivariate*

ریخت‌سنجی		ریخت‌سنجی	
هندسی		سنتی	
۰/۰۲۲۳۸	۲/۸۷۴	فاصله اقلیدسی	
۲۳۶/۵	۳۷/۷۷۹	t-هتلینگ	
۰/۰۰۰۰۰۹۹	۰/۰۷۲۹۲	ارزش P	
۵/۹۴۶۵	۱/۷۵۰۵	آماره F	

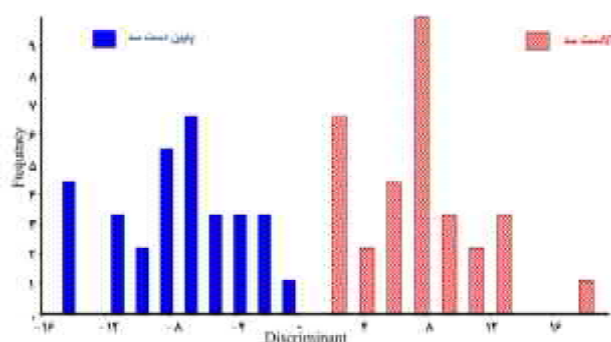
نتایج

ریخت‌سنجی هندسی: براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تعداد ۴ عامل بالاتر از نقطه برش خط جولیف (۰/۰۰۰۰۰۲۳۹) قرار گرفتند (Aguilar-Medrano و همکاران، ۲۰۱۱) که در مجموع ۷۴/۲۱۵ درصد واریانس را به خود اختصاص می‌دادند. پلات کردن دو مؤلفه اصلی اول و دوم ($PC1=27/88\%$) و ($PC2=21/15\%$) توانست تا حد بالایی دو گروه را از یکدیگر متمایز کند. با توجه به استقرار نمونه‌ها در طول محور $PC2$ ، افزایش ضریب در طول این محور همراه با افزایش عمق بدن و کوچک شدن اندازه سر بود (شکل ۴).

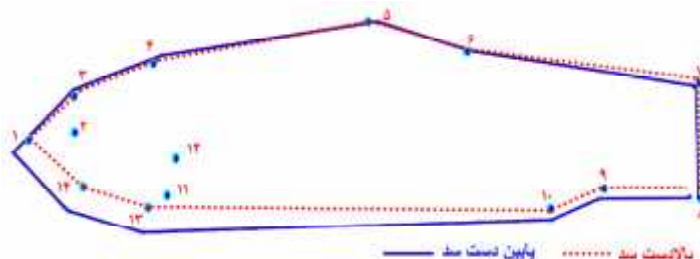
نتایج تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) و آزمون t-هتلینگ نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن دو جمعیت وجود دارد ($P=0/0000099$ ، $F=5/95$) (شکل ۵، جدول ۱). تفاوت شکل بدن دو جمعیت در نمودار Wireframe قابل مشاهده است



شکل ۴: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. gracilis*) در دو منطقه بالادست و پایین دست سد سنگبان بر روی رودخانه طالقان (نمودارهای *Lilipop* در بالا و کنار نمودار PCA نشان‌دهنده تغییر شکل بدن نمونه‌ها در حد نهایت مثبت دو محور اول و دوم می‌باشد).



شکل ۵: نمودار تجزیه تابع متمایز کننده (DFA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. gracilis*) در دو منطقه بالادست و پایین دست سد سنگبان بر روی رودخانه طالقان

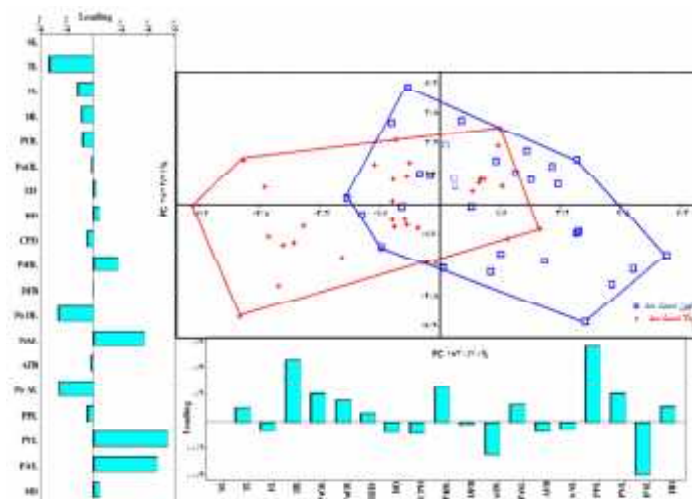


شکل ۶: نتایج مصورسازی تفاوت شکل بدن دو جمعیت سیاه‌ماهی (*C. gracilis*) بالادست و پایین دست سد سنگبان بر روی رودخانه طالقان

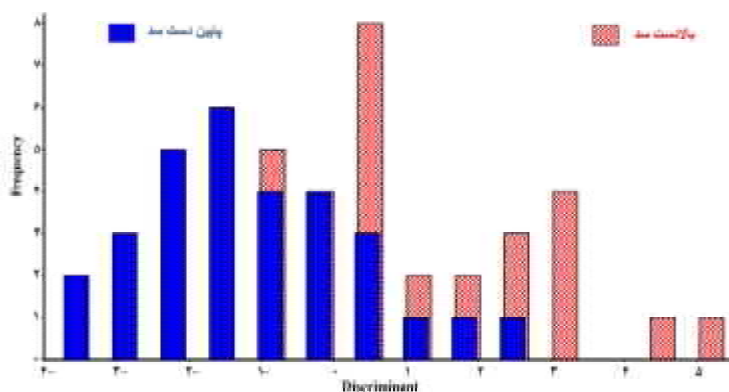
طول محور دوم شامل طول کل، پیش باله مخرجی، پیش باله شکمی و فاصله بیان دو باله سینه‌ای و شکمی می‌باشند (شکل ۷). نتایج تحلیل DFA با ارزش $P=0/0729$ حاصل از آزمون T هتلینگ (t-test Hotelling) (جدول ۱)، تفاوت معنی‌داری را بین دو جمعیت از نظر ویژگی‌های ریختی مورد بررسی نشان نداد (شکل ۸). آزمون مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (جدول ۲) بین دو جمعیت در برخی فاکتورها شامل طول مطلق کل، چنگالی و استاندارد ($P<0/01$)، درصد طول پس باله پشتی، پیش باله سینه‌ای، طول پایه باله مخرجی، فاصل بین دو باله سینه‌ای-شکمی، طول سر و قطر چشم ($P<0/01$) و نیز در سطح ۹۵ درصد در پیش باله پشتی، طول پایه باله پشتی، پیش باله مخرجی و پیش باله شکمی اختلاف معنی‌داری را نشان داد.

ریخت‌سنجی سنتی: براساس نتایج PCA مربوط به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری فواصل طولی، تعداد ۱۹ عامل اصلی استخراج شد و انتخاب مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار، براساس خط شکست و نقطه برش جولیف (۰/۹۴۵) انجام شد (Aguilar-Medrano و همکاران ۲۰۱۱). از بین مؤلفه‌های اصلی تعداد ۳ مؤلفه بالاتر از نقطه برش خط جولیف قرار گرفتند و در مجموع ۷۰/۶۵۷ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند. مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ($PC1$ و $PC2$) به ترتیب ۳۰/۷۰ و ۲۴/۷۱ درصد از واریانس تغییرات را توصیف می‌کنند. براساس نمودار حاصل از دو مؤلفه اول، بین دو جمعیت هم‌پوشانی زیادی وجود داشت (شکل ۷). براساس امتیازات PCA مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در گروه‌بندی این دو جمعیت در طول محور اول شامل طول سر، طول پیش باله سینه‌ای و فاصله بیان دو باله سینه‌ای و شکمی می‌باشد و در





شکل ۷: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. gracilis*) در دو منطقه بالا دست و پایین دست سد سنگبان بر روی رودخانه طالقان



شکل ۸: نمودار تحلیل تابع متمایز کننده (DFA) شکل بدن جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*C. gracilis*) در دو منطقه بالا دست و پایین دست سد سنگبان بر روی رودخانه طالقان

جدول ۲: نتایج آزمون‌های T مستقل بر داده‌های مربوط به نمونه‌های سیاه‌ماهی (*C. GRACILIS*) در بالا و پایین سد سنگبان بر رودخانه طالقان

صفات	کد صفت	بالادست سد mean±SD	پایین دست سد mean±SD	Sig.
طول کل	TL	۱۲۳/۹۹±۲۰/۵۳	۹۱/۸۷±۱۵/۷۰	۰/۰۰۰
طول چنگالی	FL	۱۱۶/۴۶±۱۹/۷۳	۸۵/۱۷±۱۴/۴۸	۰/۰۰۰
طول استاندارد	SL	۱۰۷/۴۹±۱۸/۶۷	۷۷/۸۳±۱۳/۴۳	۰/۰۰۰
درصد از طول استاندارد				
ارتفاع بدن	MBD	۲۰/۷۹±۱/۳۲	۲۰/۳۴±۰/۷۶	۰/۱۱۳
ارتفاع ساقه دم	CPD	۱۰/۵۴±۰/۵۷	۱۰/۴۶±۰/۴۶	۰/۵۲۸
پیش باله پشتی	PrDL	۵۱/۷۲±۱/۱۵	۵۲/۵۶±۱/۴۱	۰/۰۱۴
طول پایه باله پشتی	DFB	۱۴/۰۱±۰/۷۰	۱۴/۴۱±۰/۹۲	۰/۰۶۰
پس باله پشتی	PoDL	۳۶/۵۷±۱/۴۱	۳۵/۴۹±۱/۶۱	۰/۰۰۸
پیش باله مخرجی	PrAL	۷۴/۴۴±۱/۳۴	۷۵/۱۶±۱/۴۳	۰/۰۴۷
طول پایه باله مخرجی	AFB	۹/۲۳±۰/۸۰	۸/۵۳±۰/۵۶	۰/۰۰۰
پس باله مخرجی	PoAL	۱۸/۹۹±۱/۴۴	۱۸/۹۹±۱/۴۱	۰/۹۹۱
پیش باله سینه‌ای	PPL	۲۰/۸۹±۱/۵۴	۲۳/۹۸±۱/۴۷	۰/۰۰۰
پیش باله شکمی	PVL	۵۰/۷۸±۱/۷۳	۵۱/۸۶±۱/۹۳	۰/۰۲۵
بین باله سینه‌ای و شکمی	P-VL	۲۹/۸۱±۱/۶۰	۲۸/۱۶±۲/۲۹	۰/۰۰۲
طول سر	HL	۲۲/۱۲±۱/۲۴	۲۴/۸۱±۱/۵۵	۰/۰۰۰
در صد از طول سر				
ارتفاع سر	MHD	۵۵/۶۹±۳/۸۸	۵۴/۰۰±۴/۵۲	۰/۱۲۸
طول پوزه	PrOL	۳۴/۵۷±۲/۵۴	۳۳/۵۸±۲/۴۳	۰/۱۲۵
قطر چشم	ED	۱۵/۸۷±۱/۹۵	۱۷/۷۶±۱/۱۶	۰/۰۰۰
طول پشت چشم	PoOL	۵۴/۳۵±۲/۵۷	۵۳/۲۶±۳/۱۲	۰/۱۴۶



بحث

براساس نتایج، روش ریخت‌سنجی هندسی برخلاف روش ریخت‌سنجی سنتی توانست بهتر درجه بزرگی تفاوت‌های ریختی بین دو جمعیت سیاه‌ماهی در بالادست و پایین‌دست سد سنگبان را نشان دهد. تفاوت ریختی مشاهده شده بین دو جمعیت مورد بررسی شامل اندازه سر و موقعیت باله‌ها می‌تواند با عوامل بوم‌شناختی زیستگاه در بالادست و پایین‌دست سد در ارتباط باشد. در این تحقیق، روش ریخت‌سنجی سنتی نتوانست دو جمعیت مورد مطالعه را از نظر ریختی از یکدیگر تفکیک کند. با وجود آن‌که روش ریخت‌سنجی سنتی می‌تواند به‌عنوان گام اولیه برای بررسی ساختار ذخایر گونه‌های ماهی‌هایی که دارای جمعیت‌های بزرگ و پراکنده هستند مورد استفاده قرار گیرند (Salam و Naeem، ۲۰۰۵) و مطالعات متعدد، این روش را به عنوان ابزار قدرتمندی برای تفکیک گونه‌ها توصیف می‌کنند (Quattara و همکاران، ۲۰۱۴؛ Salam و Naeem، ۲۰۰۵) و Parson و همکاران (۲۰۰۳) عنوان کردند که روش‌های سنتی منجر به تفاسیر غلط از تغییرات شکل در بین گروه‌ها می‌شود.

داده‌های حاصل از مختصات نقاط لندمارک در روش ریخت‌سنجی هندسی اطلاعات دقیق‌تری را در مورد تفاوت‌های شکل بدن نسبت به روش سنتی ارائه می‌دهد (Walker و Bell، ۲۰۰۰). بنابراین روش ریخت‌سنجی هندسی جایگزین مناسبی برای روش ریخت‌سنجی سنتی است که براساس اندازه‌گیری فواصل، زوایا و نسبت‌ها می‌باشد (Cavalcanti و همکاران، ۱۹۹۹؛ Caldecutt و Adams، ۱۹۹۸). به‌علاوه روش ریخت‌سنجی هندسی آنالیز مختصات همگن لندمارک‌ها را ممکن می‌سازد (Maderbacher و همکاران، ۲۰۰۸؛ Rohlt، ۲۰۰۸) و هم‌چنین امکان مصورسازی نتایج و مقادیر تغییرات شکل بدنی را فراهم می‌کند (اسماعیل‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۲؛ ایگدری و اسماعیل‌زادگان، ۱۳۹۲؛ ایگدری و کمال، ۱۳۹۲) همان‌طور که در این تحقیق در روش ریخت‌سنجی هندسی، نمودار Wireframe تفاوت شکل و تغییرات شکل بین گروه‌های مورد مطالعه را به‌خوبی آشکار ساخت. Parson و همکاران، (۲۰۰۳) نیز دو روش‌های سنتی و هندسی را با یکدیگر مقایسه کردند و گزارش دادند که ریخت‌سنجی هندسی روش بسیار مؤثری برای آنالیز و توصیف اشکال است، اما روش سنتی نیز برای تهیه مدارک آماری از تفاوت‌های شکل می‌تواند قابل اعتماد باشد و برای شناسایی دو گونه استفاده شود. براساس نتایج این مطالعه، روش ریخت‌سنجی هندسی یک روش مؤثر از نقطه نظر قدرت استخراج تفاوت‌های موجود در بین گروه‌های مورد مطالعه بود.

در این تحقیق، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تحلیل تابع متمایزکننده بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده در روش ریخت‌سنجی سنتی نتوانست دو گروه را از یکدیگر تفکیک کند، این

درحالی است که آزمون‌های t مستقل توانستند دو گروه را در تعدادی از صفات شامل ۳ صفت طولی مطلق شامل طول‌های کل، چنگالی و استاندارد و ۸ صفت نسبی شامل فاصله پیش باله پشتی، فاصله پس باله پشتی، فاصله پیش باله مخرجی، فاصله پایه باله مخرجی، فاصله پیش باله سینه‌ای، فاصله پیش باله شکمی، فاصله بین باله سینه‌ای-شکمی، طول سر و درصد قطر چشم) از یکدیگر تفکیک کند. بنابراین این احتمال مطرح می‌شود که این تفاوت در قدرت تفکیک را باید به روش‌های آماری مورد استفاده نسبت داد. با این حال در دفاع از روش ریخت‌سنجی سنتی عنوان می‌شود که این روش بسیار منعطف‌تر هستند، زیرا صفات طولی و شمارشی به‌راحتی می‌توانند در آنالیزها وارد شوند؛ اما امکان این قبیل آنالیزها با استفاده از داده‌های شکل براساس روش ریخت‌سنجی هندسی وجود ندارد. یک انتقاد عمومی برای روش ریخت‌سنجی هندسی این است که این روش نمی‌تواند به سادگی برای توصیف ریخت کاربردی استفاده شود. زیرا تغییر شکل متمرکز برای یک صفت قابل اندازه‌گیری مانند روش ریخت‌سنجی سنتی نمی‌تواند لزوماً در روش ریخت‌سنجی هندسی کمی‌سازی شود (Schlichting و Pigliucci، ۱۹۹۸).

تفاوت‌های ریخت‌شناسی علاوه بر جدایی جغرافیایی و وجود اجداد متفاوت می‌تواند به‌دلیل تفاوت‌های ویژگی‌های محیطی بین زیستگاه‌ها باشد (Heidari و همکاران ۲۰۱۳؛ انوری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱). ماهیان نسبت به تغییرات محیطی حساس بوده و می‌توانند خودشان را با ایجاد تغییرات ریختی با شرایط محیطی سازگار نمایند (Craig، ۲۰۰۱). انعطاف‌پذیری ریختی به‌وسیله ایجاد تغییرات در ویژگی‌های ریختی، فیزیولوژی و رفتار نسبت به تغییرات محیطی مثل شرایط جدید ناشی از سد می‌باشد (Heidari و همکاران، ۲۰۱۳؛ McAllister و همکاران، ۲۰۰۱). این سازگاری‌ها در نهایت در تغییراتی شکل بدن همانند تفاوت‌های ریختی مشاهده شده در این تحقیق، را ایجاد می‌کند که مشابه نتایج گزارش شده در مورد جمعیت‌های جداشده این گونه در پایین دست رودخانه سفیدرود به‌واسطه سدهای منجیل و تاریک با قدمت نزدیک به نیم قرن بود (Heidari و همکاران، ۲۰۱۴؛ Eagderi و همکاران، ۲۰۱۳). بدون موانع فیزیکی برای جریان ژنی و مهاجرت ماهیان، فرصت کمی برای سازگاری محلی وجود دارد که می‌تواند منجر به یکنواختی جمعیت شود. از این‌رو می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شرایط محیطی جدید ایجاد شده در دو سوی سد سنگبان باعث بوجود آمدن تفاوت‌های ریختی در دوره زمانی کوتاه، هر چند کوچک از لحاظ درجه تمایز شده است. از این‌رو به‌علت کوتاه بودن زمان جدایی این دو جمعیت، ممکن است تفاوت‌های ریختی ایجاد شده کوچک بوده و به این دلیل تفکیک و شناسایی این صفات در روش ریخت‌سنجی سنتی امکان پذیر



16. **Cavalcanti, M.J.; Monteiro, L.R. and Lopes, P.R., 1999.** Landmark-based morphometric analysis in selected species of serranid fishes (*Perciformes: Teleostei*). *Zoological Studies-Taipei*. Vol. 38, No. 3, pp: 287-294.
17. **Coad, B.W., 2014.** *Freshwater Fishes of Iran*. www.briancoad.com (accessed 5/6/2014).
18. **Craig, J.F., 2001.** Large dams and freshwater fish biodiversity. World Commission on dams, prepared for thematic review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental Restoration: 59 p.
19. **Eagderi, S.; Esmacilzadegan, E. and Pirbeigi, A., 2014.** Morphological responses of *Capoeta gracilis* and *Alburnoides eichwaldii* populations (Cyprinidae) fragmented due to Tarik Dam (Sefidrud River, Caspian Sea basin, Iran). *Iranian Journal of Ichthyology*. Vol. 1, No. 2, pp: 114-120.
20. **Elliott, N.G.; Haskard, K. and Koslow, J.A., 1995.** Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of Southern Australia. *Journal of Fish Biology*. Vol. 46, pp: 202-220.
21. **Graf, W.L., 1999.** Dam nation: a geographic census of American dams and their largescale hydrologic impacts. *WaterResoures Research*. Vol. 35, pp: 1305-1311.
22. **Hammer, Ø., 2012.** PAST: PALEontological STatistics. Oslo: Natural History Museum University of Oslo. 226p.
23. **Heidari, A.; Mousavi-Sabet, H.; Khoshkholgh, M.; Esmacili, H.R. and Eagderi, S., 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*. Vol. 1, No. 4, pp: 195-201.
24. **Klingenberg, C.P., 2011.** MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*. Vol. 11, pp: 353-357.
25. **Lee, P.G. and Ng, P.K., 1994.** The systematics and ecology of snakeheads (Pisces: Channidae) in Peninsular Malaysia and Singapore. *Hydrobiologia*. Vol. 285, No. 1-3, pp: 59-74.
26. **Lotfi, A., 2012.** Guideline on rapid assessment of environmental features of rivers. Environment Protection Department of Iran Publication. 120 p.
27. **Loy, A.; Corti, M. and Marcus, L.F., 1993.** Landmark data: size and shape analysis in systematics. A case study on Old World Talpidae (Mammalia, Insectivora). *Contributions to Morphometrics*. Vol. 8, pp: 215-240.
28. **Maderbacher, M.; Bauer, C.; Herler, J.; Postl, L.; Makasa, L. and Sturmbauer, C., 2008.** Assessment of traditional versus geometric morphometrics for discriminating populations of the *Tropheus moorii* species complex (Teleostei: *Cichlidae*), a Lake Tanganyika model for allopatric speciation. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. Vol. 46, No. 2, pp: 153-161.
29. **McAllister, D.E.; Craige, J.F.; Davidson, N.; Delany, S. and Seddon, M., 2001.** Biodiversity impacts of large dams. Background paper Nr, 1, Prepared for IUCN/UNEP/WCD, 47 p.
30. **Nacem, M. and Salam, A., 2005.** Morphometric study of fresh water bighead carp *Aristichthys nobilis* from Pakistan in relation to body size. *Pakistan Journal of Biological Science*. Vol. 8, No. 5, pp: 759-762.
31. **Nasri, M.; Eagderi, S.; Farahmand, H. and Hashemzade SegharLoo, I., 2013.** Body shape comparison of *Cyprinus macrostomum* (Heckel, 1843) and *Cyprinus watsoni* (Day, 1872) using geometric morphometrics method. *International Journal of Aquatic Biology*. Vol. 1, No. 5, pp: 240-244.
32. **Ouattara, T.A.S.; Konan, K.M.; Konan, K.J.; Béatrice, A.; Atse, B.C. and N'guetta, A.S.P., 2014.** Morphological identification and taxonomic relationship of farmed fish of the genus *chrysichthys*. *International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences*. Vol. 1, No. 3, pp: 29-40.
33. **Parsons, K.J.; Robinson, B.W. and Hrbek, T., 2003.** Getting into shape: An empirical comparison of traditional truss-based morphometric methods with a newer geometric method applied to New World cichlids. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 67, pp: 417-431.
34. **Rohlf, F.J.; Loy, A. and Corti, M., 1996.** Morphometric analysis of Old World Talpidae (Mammalia, Insectivora) using partial-warp scores. *Systematic Biology*. Vol. 45, No. 3, pp: 344-362.
35. **Rohlf, F.J. and Marcus, L.F., 1993.** A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 8, No. 4, pp: 129-132.
36. **Ruiz-Campos, G.; Camarena-Rosales, F.; Varela-Romero, A.; Sánchez-González, S. and De La Rosa-Vélez, J., 2003.** Morphometric variation of wild trout populations from northwestern Mexico (Pisces: *Salmonidae*). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. Vol. 13, No. 1, pp: 91-110.
37. **Schlichting, C.D. and Pigliucci, M., 1998.** Phenotypic Evolution: A Reaction Norm Perspective. Sinauer, Sunderland, Mass, 387 p.
38. **Walker, J.A. and Bell, M.A., 2000.** Net evolutionary trajectories of body shape evolution within a microgeographic radiation of threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Journal of Zoology*. Vol. 252, pp: 293-302.
- نیبود ولی روش ریخت‌سنجی هندسی به‌راحتی و با دقت بالا قادر بود این تفاوت‌های ریختی کوچک ایجاد شده را آشکار سازد و روشی موثر برای مقایسه جمعیت‌های ماهی‌هایی باشد که مدت زمان کم‌تری از جداسازی آن‌ها می‌گذرد.

منابع

۱. اسماعیل‌زادگان، ا.؛ ایگدری، س.؛ پیریگی، ع. و ندائی، ش.، ۱۳۹۲. اثر سد تاریک رودخانه سفیدرود بر شکل بدن ماهیان خیاطه (*Alburnoides eichwaldii* De Filippi, ۱۸۶۳) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. شماره ۱، سال ۲، صفحات ۳۹ تا ۴۶.
۲. انوری‌فر، ح.؛ فرحمند، ح.؛ رحمانی، ح.؛ نعمت‌اللهی، م.ع.؛ کریمی، م. و اکبرزاده، آ.، ۱۳۹۱. بررسی تنوع و تمایز ریخت‌سنجی سیاه‌ماهی *Capoeta capoeta gracilis* در رودخانه تجن ساری. مجله زیست‌شناسی ایران. شماره ۲۵، دوره ۴، صفحات ۵۱۷ تا ۵۳۵.
۳. ایگدری، س.؛ اسماعیل‌زادگان، ا. و مداح، ع.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii* De Filippi, ۱۸۶۳) در حوضه دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله تاکسونومی و بیوسیتما. سال ۵، شماره ۱۴، صفحات ۱ تا ۸.
۴. ایگدری، س. و کمال، ش.، ۱۳۹۲. کاربرد روش ریخت‌سنجی هندسی در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی ماهیان؛ مطالعه موردی مقایسه شکل بدنی جمعیت‌های ماهی گورخری (*Aphanius sophiae* Heckel, ۱۸۴۷) چشمه علی دامغان و رودخانه شور اشتهارد. مجله پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی. شماره ۱، سال ۲، صفحات ۴۷ تا ۵۲.
۵. عبدلی، ا.، ۱۳۷۸. ماهیان آب‌های داخلی ایران. موزه طبیعت و حیات وحش ایران. تهران. ۳۷۸ صفحه.
6. **Adams, D.C.; Rohlf, F.J. and Slice, D.E., 2003.** Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*. Vol. 71, pp: 5-16.
7. **Aguilar-Medrano, R.; Frederich, B.; De Luna, E. and Balart, E.F., 2011.** Patterns of morphological evolution of the cephalic region in damselfishes (*Perciformes: Pomacentridae*) of the Eastern Pacific. *Biological Journal of Linnean Society*. Vol. 102, No. 3, pp: 593-613.
8. **AnvariFar, H.; Khyabani, A.; Farahmand, H.; Vatandoust, S.; AnvariFar, H. and Jahageardar, 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*. Vol. 673, pp: 41-52.
9. **Baumgartner, J.V.; Bell, M.A. and Weinberg, P.H., 1988.** Body form differences between the Enos Lake species pair of threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* complex). *Canadian Journal of Zoology*. Vol. 66, No. 2, pp: 467-474.
10. **Benítez, H.A.; Vidal, M.; Briones, R. and Jerez, V., 2012.** Sexual dimorphism and morphological variation in populations of *Ceroglossus chilensis* (Eschscholtz, 1829)(Coleoptera, Carabidae). *Journal of Entomological Research Society*. Vol. 12, No. 2, pp: 87-95.
11. **Blackith, R.E. and Reyment, R.A., 1971.** Multivariate morphometrics. Academic Press, London. 412 p.
12. **Bookstein, F.L., 1991.** Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology. Cambridge: Cambridge University Press. 435 p.
13. **Bookstein, F.L., 1996.** Combining the tools of geometric morphometrics. In: L.F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. Naylor and D.E. Slice (ed.) *Advances in Morphometrics*. NATO ASI Series A: Life Sciences, Vol. 284, Plenum Publishing, New York. pp: 131-151.
14. **Caldecutt, W.J. and Adams, D.C., 1998.** Morphometrics of Trophic Osteology in the Threespine Stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, *Copeia*. Vol. 4, pp: 827-838.
15. **Carvalho, G.R. and Hauser, L., 1995.** Molecular genetics and the stock concept in fisheries. Springer Netherlands. pp: 55-79.

