

مقایسه ریخت‌شناسی سس ماهی کورا (*Barbus cyri*, (Heckel 1834)) بالادست و پایین دست

سد سنگبان

چکیده

رودخانه طالقان از جمله رودخانه‌های مهم حوضه سفیدرود می‌باشد که به دلیل توسعه جوامع انسانی دچار دستکاری‌های متنوع انسان ساخت از جمله سدسازی شده است. از این رو ماهیان این رودخانه اهداف بسیار عالی برای مطالعات تاثیر این عوامل می‌باشند. بنابراین مطالعه حاضر به منظور بررسی تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های سس ماهی کورا ساکن در بالادست و پایین دست سد سنگبان رودخانه طالقان، بر اساس دو روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی و نیز مقایسه قدرت این دو روش در تفکیک این جمعیت‌ها انجام شده است. نتایج نشان داد که ریخت‌سنجی هندسی ابزار دقیق و قدرت‌مندی در تفکیک جمعیت‌های بسیار نزدیک از نظر ویژگی‌های ریختی نسبت به روش‌های سنتی می‌باشد. در حالی که ریخت‌سنجی سنتی به اندازه‌گیری فواصل طولی و نسبت‌ها محدود می‌باشد و تنها در صورت وجود تفاوت‌های بارز قادر به تفکیک جمعیت‌ها می‌باشد. بنابراین دو جمعیت سس ماهی کورا به وسیله روش ریخت‌سنجی سنتی از یکدیگر تفکیک نشدند ولی روش ریخت‌سنجی هندسی به خوبی و قدرت بالا این دو جمعیت را از لحاظ ریختی از یکدیگر تفکیک نمود. نتایج همچنین نشان داد که سد سنگبان باعث تفاوت در ویژگی‌های ریختی شامل تغییر در عمق بدن، طول سر و عمق ساقه دم در جمعیت‌های دو سوی سد شده است.

واژگان کلیدی: تفکیک جمعیت، سس ماهی کورا، ریخت‌سنجی سنتی، ریخت‌سنجی هندسی.

مظاهر زمانی فرادنبه^۱

سهیل ایگدری^{۲*}

۱ و ۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات:

soheil.eagderi@ut.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۴۰۴۰۱۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۶

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

شرایط بوم‌شناختی در رودخانه‌ها در طول مسیر از بالادست به سمت پایین دچار تغییرات اساسی می‌شود (Vannote *et al.*, 1980; Zamani Faradonbe *et al.*, 2015). مطالعات نشان می‌دهد که تنوع گونه‌ای ماهیان در بخش‌های پایین دست رودخانه‌ها به دلایلی چون افزایش تنوع و پایداری زیستگاه‌ها افزایش می‌یابد که این فاکتورها از جمله شرایط موردپسند گونه‌های متخصص در انتخاب زیستگاه بوده که این شاید به علت افزایش فضای آشیان زیستی باشد (Poff and Allan, 1995). در این بین دستکاری و تغییر بسیاری از اکوسیستم‌های آبی از جمله احداث سدهای بزرگ و کوچک بر روی رودخانه‌ها موجب ایجاد شرایط زیستگاهی جدید برای موجودات آبی ساکن می‌شود. سدها از جمله مخرب‌ترین فعالیت‌های انسانی در اکوسیستم‌های آبی هستند. زیرا با احداث این سازه‌ها، تغییرات وسیعی در بسیاری از جنبه‌های زیستی و رودخانه ایجاد می‌شود. تغییر شرایط زیستگاه آب جاری و سریع به زیستگاه‌هایی با حجم آب بیشتر و سرعت پایین‌تر یا به عبارت دیگر آب راکد، می‌تواند شرایط بوم‌شناختی و تکاملی جدیدی را پیش‌روی آبزیان قرار دهد که باید با این شرایط جدید سازگاری پیدا کنند. به عبارت دیگر اجتماعات موجودات زنده موجود در این گونه زیستگاه‌ها از جمله ماهیان ساکن در این زیستگاه‌های جدید برای ادامه زندگی مجبور به سازگاری با شرایط جدید هستند (Graf, 1999).



مطالعات ریخت‌سنجی از جمله ابزارهای مورد استفاده در مقایسه جمعیت‌های مختلف ماهیان از جمله بررسی آرایه‌شناختی و انعطاف‌پذیری ریختی می‌باشد. روش‌های مطالعات ریخت‌سنجی قدمت بسیار بالایی در مطالعات شکل بدن ماهیان دارد و در طی چند دهه اخیر پیشرفت چشم‌گیری داشته است (ایگردی و کمال، ۱۳۹۲). روش ریخت‌سنجی سنتی براساس اندازه‌گیری فواصل طولی و زوایا می‌باشد و اغلب مطالعات آرایه‌شناختی و تفکیک گونه‌ها بر اساس داده‌های اندازه‌گیری در این روش استاندارد شده‌اند اگرچه این روش توانایی بالایی در تفکیک ریختی ماهیان دارد؛ با این وجود این روش دارای ضعف‌هایی از جمله عدم امکان مصورسازی تفاوت‌ها، فقدان توانایی استخراج شکل نمونه‌ها، مشکل حذف اندازه مربوط به تفاوت سایز نمونه‌ها و همپوشانی فواصل اندازه‌گیری شده دارد (ایگردی و کمال، ۱۳۹۲). از این‌رو در دو دهه اخیر روش ریخت‌سنجی هندسی به‌عنوان روشی دقیق و مدرن برای توصیف و تحلیل آماری شکل در زیست‌شناسی مطرح شده است. این روش برخلاف روش ریخت‌سنجی سنتی، براساس مختصات نقاط لندهمارک می‌باشد. این نقاط لندهمارک هر کدام دارای یک موقعیت (مختصات دو یا سه بعدی) می‌باشند که برخی از دسته‌بندی‌ها یا انواع از همگنی‌ها موجود در بین تمام نمونه‌های اندازه‌گیری شده را بیان می‌کند (Bookstein, 1997). از آنجایی که مختصات هندسی لندهمارک اندازه‌گیری شده به وسیله مجموعه مختصات لندهمارک‌ها نگه‌داری می‌شوند، ریخت‌سنجی هندسی نمایش تصویری مؤثر از نتایج آماری به صورت تغییرات شکل/فرم را ممکن می‌سازد (Bookstein, 1997). از این‌رو این روش توانایی بالایی در آشکارسازی تفاوت‌های ریختی داشته و می‌تواند جزئی‌ترین تفاوت‌های ریختی را آشکار سازد (ایگردی و کمال، ۱۳۹۲).

رودخانه طالقان از سرشاخه‌های مهم رودخانه سفیدرود است 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 طول مسیر دست‌خوش فعالیت‌های انسانی، از جمله اجرای طرح‌های سدسازی و انتقال آب به نواحی دوردست، پل‌سازی، احداث جاده در حاشیه رودخانه، احداث مزارع و باغات در حاشیه رودخانه و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه شده است. اجرای طرح‌های سدسازی باعث گردیده است که جوامع آبزیان رودخانه از جمله ماهیان تفکیک شده و این امر می‌تواند سبب جدایی آنها از لحاظ ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گردد.

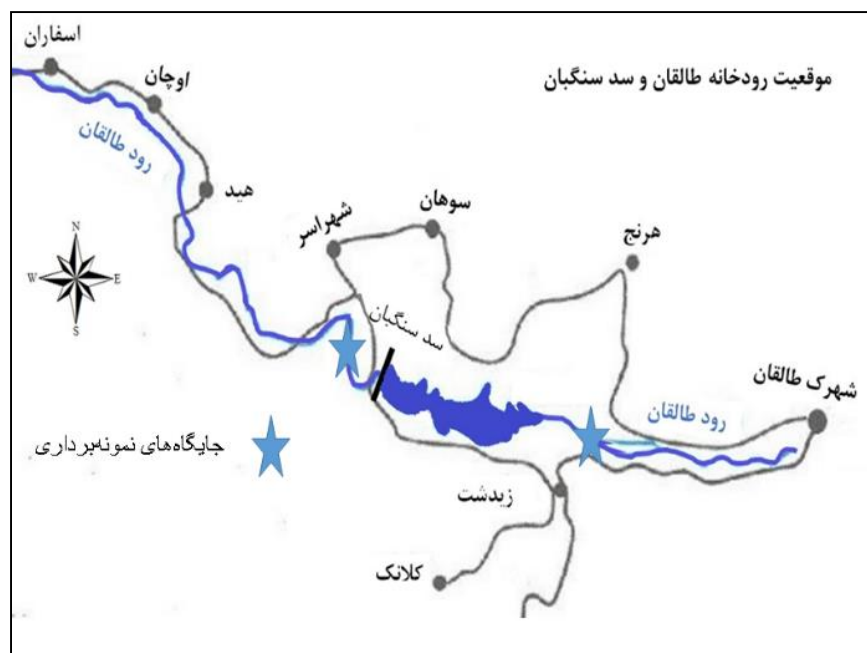
سد انحرافی سنگبان در طالقان و بر روی رودخانه طالقان، سدی خاکی با هسته رسی که در موقعیت طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵ دقیقه در استان البرز قرار دارد. با توجه به قدمت نزدیک به یک دهه‌ای این سد، این سوال پیش می‌آید که در طی این دوره زمانی کوتاه، آیا جدایی ریختی در ماهیان آن به وقوع پیوسته است که بتواند به‌عنوان شاهدی مبنی بر تأثیر این سازه انسان‌ساخت بر جوامع آبزیان باشد؟

سس ماهی کورا (*Barbus cyri*, Heckel 1834) به‌همراه سیاه ماهی (*C. gracilis*) دو گونه متعلق به خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) از فراوان‌ترین گونه‌های آب شیرین ساکن در رودخانه طالقان می‌باشند. سس‌ماهی کورا از جمله گونه‌های فراوان خانواده کپورماهیان در ایران می‌باشد که در نواحی فوقانی و میانی رودخانه‌ها با بستر سنگلاخی، با دمای آب در دامنه ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت آبی بیشتر از ۱ متر بر ثانیه زیست کرده و از حشرات آبی تغذیه می‌کند (عبدلی، ۱۳۷۸؛ Coad, 2014). این گونه نواحی در رودخانه طالقان نواحی کم‌عمق یا خیلی بالا (مثل نواحی پشت سنگ‌های بستر درشت)، عرض کمتر، سرعت جریان کمتر، سنگ‌های درشت‌تر، شیب متوسط و پوشش جلبکی بالاتر با سواحلی شامل پوشش‌های درختی و درختچه‌ای بیشتر را ترجیح می‌دهد (زمانی فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعات متعددی تأثیر احداث سد بر روی ویژگی‌های ریختی ماهیان دو طرف سد را نشان داده‌اند که بیشتر مربوط به سدهایی می‌باشند که مدت زیادی به عبارت دیگر چندین دهه از احداث آنها گذشته است (Eagderi et al., 2014; Heidari et al., 2013). با توجه به بازه زمانی کوتاه احداث سد سنگبان و امکان وقوع تفاوت‌های جزئی در شکل بدن ماهیان دو طرف سد، این تحقیق با هدف استفاده از دو روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی برای مقایسه شکل بدن جمعیت‌های بالادست و پایین دست سد سنگبان با انتخاب گونه سس ماهی کورا به‌عنوان گونه مورد بررسی به اجرا درآمد. نتیجه این تحقیق مقایسه کارایی دو روش ریخت‌سنجی هندسی و سنتی را در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی حاصل از قطعه‌قطعه شدن زیستگاه یعنی ساخت سد را امکان‌پذیر می‌سازد. به‌علاوه مطالعه مقایسه‌ای شکل بدن

جمعیت‌های بالادست و پایین دست سد می‌تواند به‌درک تأثیرات عوامل انسان ساخت در قطعه‌قطعه شدن زیستگاه و چگونگی پاسخ ریختی گونه بررسی یعنی سس ماهی کورا کمک نماید.

مواد و روش‌ها

تعداد ۷۰ قطعه سس ماهی کورا از رودخانه طالقان که شامل ۳۰ قطعه مربوط به بالادست سد و ۴۰ قطعه مربوط به پایین دست سد سنگبان بوسیله دستگاه الکتروشوکر (Samus Mp750) طی فصل پاییز ۱۳۹۳ نمونه‌برداری گردید. نمونه‌برداری در طول ۲۰ برابر عرض رودخانه قبل از دریاچه سد و بعد از سد انجام شد (شکل ۱). پس از بیهوشی نمونه‌ها در محلول عصاره گل میخک، از نیم‌رخ چپ آن‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال کداک (مدل EasySharw Z650) با قدرت تفکیک‌پذیری ۶ مگاپیکسل نصب شده بر روی Copy-stand، عکس‌برداری گردید. به‌منظور استخراج داده‌های طولی در کنار نمونه‌های ماهیان یک مقیاس میلی‌متری به هنگام عکس‌برداری قرار داده شد. برای کاهش اثر تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بزرگتر از ۹۰ میلی‌متر برای مطالعه انتخاب گردیدند.



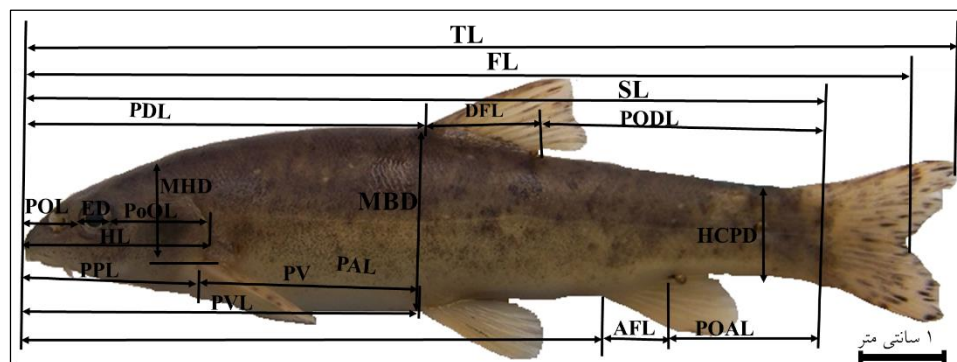
شکل ۱: موقعیت رودخانه طالقان و موقعیت سد سنگبان و جایگاه‌های نمونه‌برداری.

در این مطالعه از دو روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه مختصات نقاط لندمارک و ریخت‌سنجی سنتی بر پایه اندازه‌گیری فواصل طولی استفاده شد. در روش ریخت‌سنجی سنتی، تعداد ۱۹ فاکتور اندازه‌گیری از روی تصاویر تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ 1.47v اندازه‌گیری شد (جدول ۱، شکل ۲). دقت اندازه‌گیری‌ها در حد ۰/۱ میلی‌متر بود. سپس داده‌های حاصل، بعد از حذف اثر اندازه با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) و آزمون T هتلینگ (t-test Hoteling) با استفاده از نرم‌افزار PAST 2.17c مورد تحلیل قرار گرفتند (Ouattara et al., 2014). تکنیک‌های متعددی در ریخت‌سنجی سنتی برای حذف اثرات اندازه و استخراج داده‌های 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 (Elliot et al., 1995). 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 $\log m$ به $\log 0$ 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 نشان دهنده‌ی حذف کامل اثر اختلاف اندازه از داده‌ها می‌باشد.

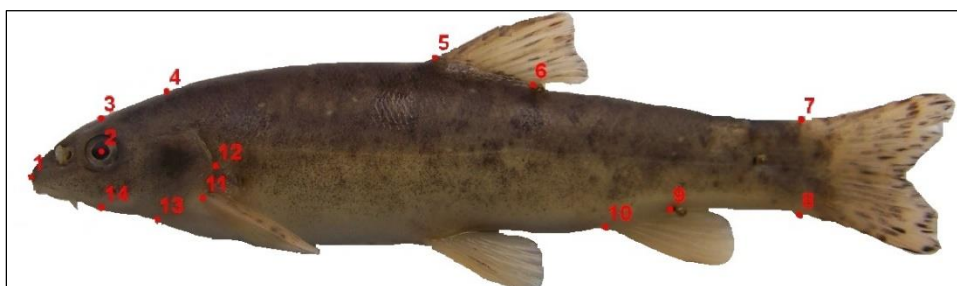
جدول ۱: مقادیر میانگین و انحراف معیار (SD) اندازه‌گیری‌های انجام شده مربوط به نمونه‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*) در بالا و پایین سد.

تعریف صفات	کد صفت	میانگین		انحراف معیار	
		بالا دست	پایین دست	بالا دست	پایین دست
۱ طول کل	TL	۱۲۳/۹۹	۹۱/۸۷	۲۰/۱۹	۱۵/۴۳
۲ طول چنگالی	FL	۱۱۶/۴۶	۸۵/۱۷	۱۹/۳۹	۱۴/۲۴
۳ طول استاندارد	SL	۱۰۷/۴۹	۷۷/۸۳	۱۸/۳۶	۱۳/۲۱
۴ طول سر	HL	۲۳/۳۱	۱۹/۱۷	۴/۰۱	۳/۴۸
۵ طول پوزه	POL	۸/۰۳	۶/۵۲	۱/۷۲	۱/۶۱
۶ طول پشت چشم	PoOL	۱۲/۸۱	۱۰/۲۳	۲/۱۸	۱/۶۳
۷ قطر چشم	ED	۳/۷۲	۳/۳۷	۰/۵۴	۰/۴۶
۸ ارتفاع بدن	MBD	۲۲/۳۰	۱۵/۷۹	۴/۰۰	۲/۵۱
۹ ارتفاع ساقه دم	HCPD	۱۰/۹۱	۸/۱۰	۲/۴۹	۱/۱۵
۱۰ طول فاصله نوک پوزه تا نوک باله پشتی	PDL	۵۵/۶۶	۴۰/۸۸	۹/۹۵	۶/۹۰
۱۱ طول پایه باله پشتی	DFL	۱۵/۰۷	۱۱/۲۳	۲/۷۸	۲/۰۳
۱۲ طول فاصله انتهای باله پشتی تا ابتدای باله دم	PODL	۳۸/۶۳	۲۷/۶۰	۷/۳۴	۴/۷۵
۱۳ طول فاصله نوک پوزه تا نوک باله مخرجی	PAL	۸۰/۰۴	۵۸/۴۶	۱۳/۷۴	۹/۶۸
۱۴ طول پایه باله مخرجی	AFL	۱۰/۰۰	۶/۶۶	۱/۹۰	۱/۲۹
۱۵ طول فاصله انتهای باله مخرجی تا ابتدای باله دم	POAL	۲۰/۳۱	۱۴/۶۲	۳/۴۷	۲/۶۴
۱۶ طول فاصله نوک پوزه تا منشأ باله سینه‌ای	PPL	۲۲/۱۹	۱۸/۵۷	۳/۸۴	۳/۴۵
۱۷ طول فاصله نوک پوزه تا منشأ باله شکمی	PVL	۵۴/۵۴	۴۰/۲۸	۹/۴۷	۶/۴۸
۱۸ فاصله قاعده باله سینه‌ای و شکمی	PV	۳۲/۱۴	۲۱/۷۶	۶/۰۱	۳/۵۴
۱۹ ارتفاع سر	MHD	۱۳/۱۳	۱۰/۲۸	۲/۱۰	۱/۸۷



شکل ۲: فواصل طولی اندازه‌گیری شده بر روی تصاویر نمونه‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*).

در روش ریخت‌سنجی هندسی، تعداد ۱۴ نقطه لندمارک هم‌ساخت انتخاب (شکل ۳) و با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 2.16 رقومی‌سازی شده و فایل‌های tps از آنها تهیه گردید (Rohlf, 2010). داده‌ها پس از آنالیز پروکراست (Generalized procrust Analysis) برای حذف اثرات غیرمرتبط با شکل (شامل اندازه، جهت و موقعیت) بوسیله آنالیزهای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) و آزمون T هتلینگ (t-test Hotelling) مورد تحلیل قرار گرفتند. به منظور یافتن متغیرهای فرضی (مؤلفه‌های اصلی (PC)) که حداکثر تفاوت‌های شکلی بین دو گروه مورد مطالعه را نشان می‌دهند، از روش تجزیه و تحلیل PCA استفاده شد. انتخاب مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار، بر اساس خط شکست و نقطه برش تجزیه و تحلیل جولیف انجام شد (Aguilar-Medrano *et al.*, 2011; Jolliffe, 2002). مصورسازی تفاوت شکل بدن میانگین جمعیت‌ها نسبت به یکدیگر با استفاده از نرم‌افزار Morpho J 1.05f در نمودار Wireframe انجام شد. تمامی آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار PAST 2.17c انجام شد (Hammer, 2012).

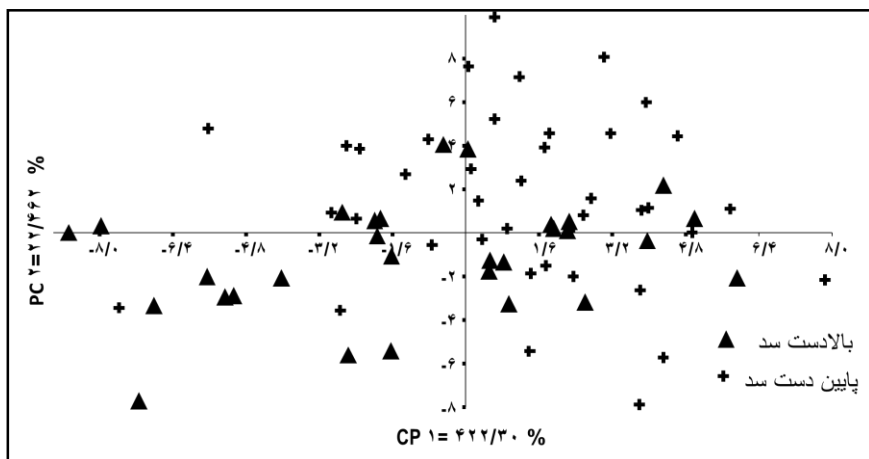


شکل ۳: موقعیت نقاط لندمارک تعیین شده بر روی نمونه‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*):

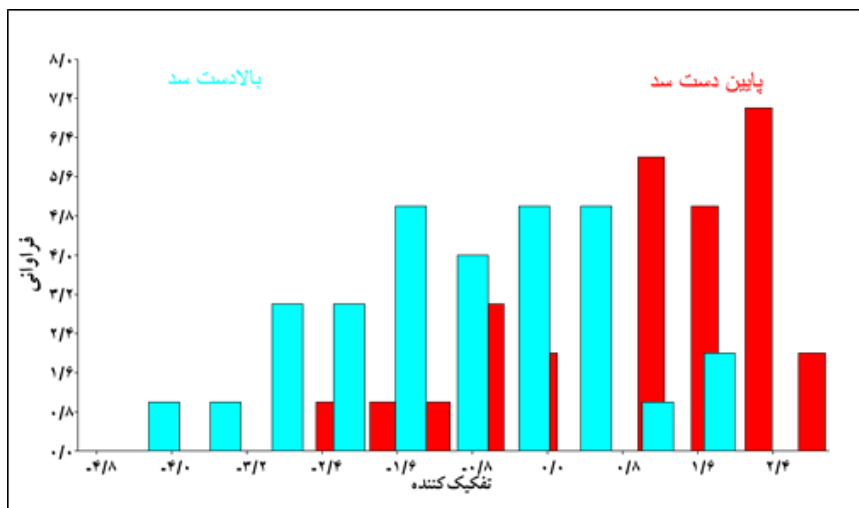
۱- جلوترین بخش فک بالا، ۲- مرکز حدقه چشم، ۳- محل تقاطع امتداد خطی که از لندمارک‌های بالا و پایین حدقه می‌گذرد با لبه بالای سر، ۴- انتهای سر یا ابتدای تنه (انتهای مجسمه عصبی)، ۵- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۶- انتهای قاعده‌ی باله‌ی پشتی، ۷- لبه بالایی قاعده‌ی باله‌ی دم، ۸- لبه پایینی قاعده‌ی باله‌ی دم، ۹- انتهای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۰- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی مخرجی، ۱۱- ابتدای قاعده‌ی باله‌ی سینه‌ای، ۱۲- انتهای سرپوش آبششی، ۱۳- امتداد شکاف آبششی در سطح شکمی، ۱۴- محل تقاطع امتداد خطی که از لندمارک‌های بالا و پایین حدقه می‌گذرد با لبه پایینی سر.

نتایج

بر اساس نتایج PCA، تعداد ۱۹ عامل اصلی استخراج شد و از بین مؤلفه‌های اصلی تعداد ۳ مؤلفه بالاتر از نقطه برش خط جولیف (۱/۲۴۹) قرار گرفتند و در مجموع ۶۹/۳۹۵ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند. مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (PC۱ و PC۲) به ترتیب بیش از ۳۰/۴۲۲ و ۲۲/۴۶۲ درصد از واریانس تغییرات را توصیف می‌کنند. بر اساس نمودار حاصل از دو مؤلفه‌ی اصلی اول و دوم (PC۱ و PC۲) دو جمعیت از یکدیگر تفکیک نشده‌اند. با وجود این اینکه گروه‌بندی بین دو جمعیت مشخص بود ولی بین دو گروه همپوشانی زیادی وجود داشت (شکل ۴). نتایج تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) با ارزش $p=0/0964$ حاصل از آزمون T هتلینگ (t-test Hotelling) نیز تفاوت معنی‌داری را بین دو جمعیت از نظر ویژگی‌های ریختی مورد بررسی نشان نداد (شکل ۵).



شکل ۴: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*) در دو منطقه بالادست و پایین دست سد.

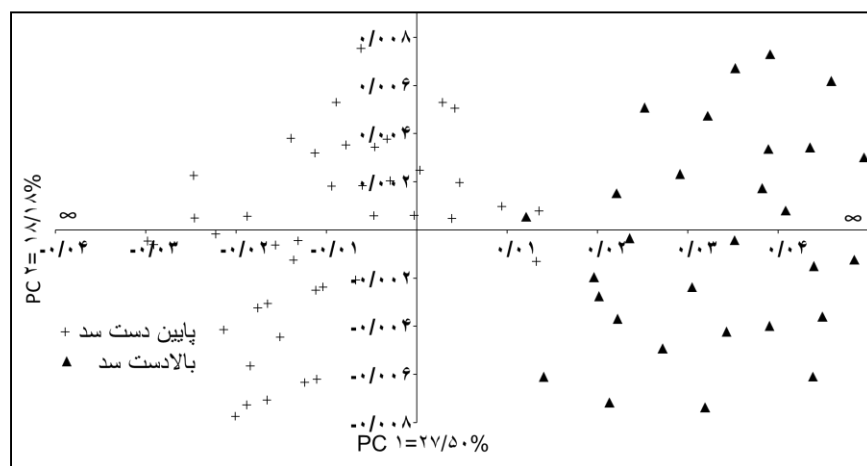


شکل ۵: نمودار تحلیل تابع متمایز کننده (DFA) شکل بدن جمعیت‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*) در دو منطقه بالادست و پایین دست سد.

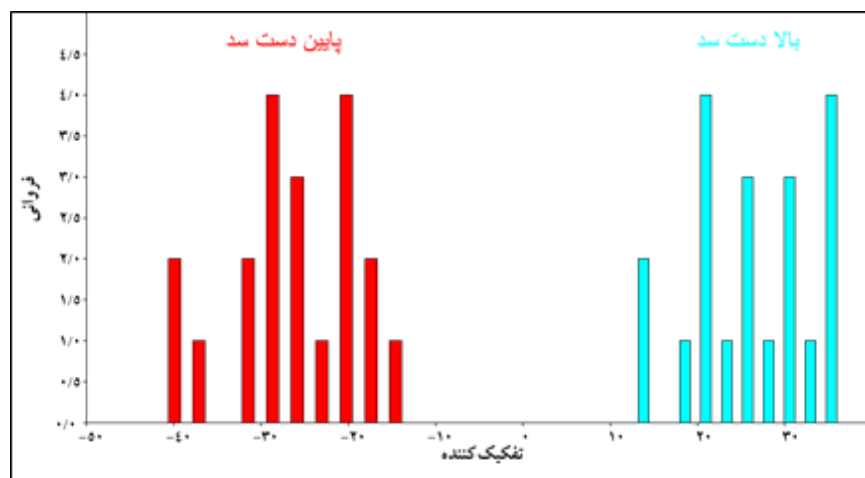
جدول ۲: نتایج تجزیه و تحلیل‌های Two-group multivariate permutation و DFA.

	ریخت‌سنجی هندسی	ریخت‌سنجی سنتی
Mahalanobis D2	۲۸/۴۵۵	Error
Euclidean distance	۰/۰۳۴۴	۲/۷۱۶۲
Hotellings t2	۳۳۲/۸۵	۳۲/۸۲۴
p (same mean)	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۹۶۴
F	۹/۱۷۸	۱/۶۶۰۲

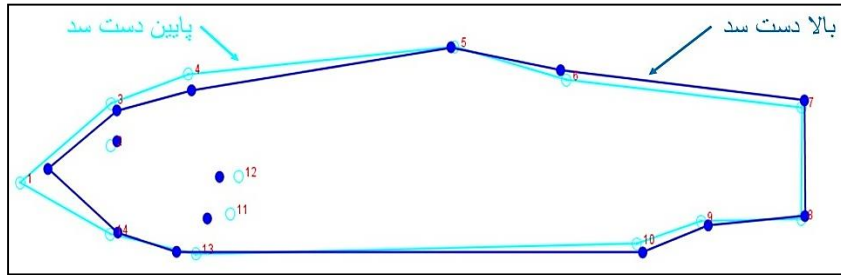
بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تعداد ۲۸ عامل اصلی استخراج شد که از بین آنها تعداد ۴ عامل بالاتر از نقطه برش خط جولیف (۰/۰۰۰۰۰۲۹۳) قرار گرفتند و در مجموع ۷۵/۵۴ درصد واریانس را به خود اختصاص می‌دادند (شکل ۶). پلات کردن دو مؤلفه اصلی اول و دوم (۲۷/۵۰ درصد) و $PC_1=18/18$ (درصد) و $PC_2=$ توانست دو گروه را از یکدیگر متمایز کند و در این نمودار افراد دو جمعیت در طول محور PC_2 پراکنده شده بودند. بر این اساس و با افزایش ضریب در طول محور PC_2 عمق بدن افزایش و اندازه سر کوچک‌تر می‌گردد. نتایج تحلیل تابع متمایزکننده (DFA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن دو جمعیت وجود دارد ($F=7/17, p=0/00001$) (شکل ۸). این تفاوت شکل بدن دو جمعیت در نمودار Wireframe به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۹). بر این اساس نمونه‌های بالادست سد سنگبان دارای کم عمق در ناحیه قدامی، سری کوتاه‌تر و نیز ساقه دم عمیق‌تر هستند در حالی که افراد متعلق به پایین دست سد دارای بدنی طولی‌تر، سری بزرگ‌تر و نیز ساقه دم باریک‌تر می‌باشند و موقعیت پایه باله سینه‌ای عقب‌تر از نمونه‌های بالادست سد می‌باشند.



شکل ۷: نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) شکل بدن جمعیت‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*) در دو منطقه بالا دست و پایین دست سد.



شکل ۸: نمودار تجزیه تابع متمایزکننده (DFA) شکل بدن جمعیت‌های سس ماهی کورا (*Barbus cyri*) در دو منطقه بالا دست و پایین دست سد.



شکل ۹: نتایج مصورسازی شده در شبکه تغییر شکل بدن در جمعیت‌های مورد مطالعه سس ماهی کورا (*Barbus cyri*) در دو منطقه بالادست و پایین دست سد.

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه ویژگی‌های ریختی از جمله ابزارهای مرسوم در مطالعه تاثیر فاکتورهای محیطی بر روی شکل بدن ماهیان می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق روش ریخت‌سنجی هندسی بر خلاف روش ریخت‌سنجی سنتی به‌خوبی قادر به آشکار نمودن تفاوت‌های ریختی موجود بین دو جمعیت بالادست و پایین دست سد سنگبان بود. روش ریخت‌سنجی سنتی براساس اندازه‌گیری صفات اندازه‌شناسی کاری وقت‌گیر و پرحمت می‌باشد و علاوه بر این، در این نوع مطالعات داده‌های مربوط به طول، عرض و ارتفاع بخش‌های مختلف بدن دارای اطلاعات نسبتاً کمی در مورد شکل بدن می‌باشند، زیرا بسیاری از این فواصل اندازه‌گیری شده دارای همپوشانی بوده و دارای مبدأ اندازه‌گیری مشابهی هستند. بنابراین این داده‌ها نمی‌توانند به‌طور مستقل مورد مطالعه قرار گیرند (Zelditch *et al.*, 2004). به‌علاوه در بسیاری از موارد برای مطالعات به روش ریخت‌سنجی سنتی، نیازمند کشتن نمونه‌ها و تثبیت آنها در محلول فرمالین یا الکل می‌باشند ولی در روش ریخت‌سنجی هندسی با استفاده از تصاویر نمونه‌های تازه بیهوش شده امکان مقایسه ویژگی‌های ریختی به‌خوبی امکانپذیر است (Cardin and Frieland, 1999). بنابراین با توسعه تکنولوژی و تجهیزات تصویربرداری از جمله دوربین‌ها و اسکنرهای قابل حمل، مراحل جمع‌آوری داده‌ها در این روش آسان شده و به‌علاوه امکان تأثیر محلول‌های نگهدارنده بر روی خصوصیات ریختی ماهیان نیز می‌تواند حذف گردد.

بسیاری از صفات اندازه‌گیری شده در این تحقیق اغلب انعطاف‌پذیر بودند ولی زمانی که گروه‌های نسبتاً نزدیکی تجزیه و تحلیل می‌شوند، ریخت‌شناسی مقایسه‌ای بر اساس اندازه‌گیری‌های استاندارد که در روش ریخت‌سنجی سنتی می‌باشد، محدودیت‌هایی را نمایش می‌گذارد (Rohlf and Marcus, 1993). در تفکیک ریختی جمعیت‌ها به روش سنتی صفاتی چون طول پوزه، PODL و موقعیت باله‌های سینه‌ای و شکمی از پارامترهای مهم تفکیک جمعیت‌ها می‌باشند و در روش ریخت‌سنجی هندسی نیز تا حدود زیادی این صفات به‌صورت نقاط لندمارک در تفکیک جمعیت‌ها مهم می‌باشند (Seiler and Keeley, 2007; Begg *et al.*, 1999).

به‌علاوه مسئله اصلی در مورد داده‌های ریخت‌سنجی سنتی این است که اطلاعات به‌دست آمده از شکل می‌تواند تنها از طریق نسبت‌های موجود در بین اندازه‌گیری‌های خاص بدست آید. از این‌رو بیشتر جنبه‌های پیچیده تفاوت‌های شکلی در این روش قابل دستیابی نیستند. در مقابل روش ریخت‌سنجی هندسی شکل بدن موجود که از داده‌های لندمارک بدست می‌آید و شکل بدن در این روش بر اساس نسبت جایگاه نقاط لندمارک نسبت به یکدیگر تعیین می‌شوند (Bookstein, 1997) و بدین ترتیب مصورسازی تفاوت‌های ریختی را امکانپذیر می‌نماید.

جدایی ریختی بیانگر واگرایی ریختی ناشی از جدایی جغرافیایی را می‌تواند نشان دهد یا به‌عبارت دیگر جدایی جغرافیایی یک فاکتور محدودکننده در برابر مهاجرت افراد و متعاقباً تبادل ذخایر ژنی در بین ذخایر می‌باشد (Hossain *et al.*, 2010). در مورد تفاوت مشاهده شده در جمعیت دو سوی سد سنگبان نیز جدایی مکانی می‌تواند دلیل بروز تفاوت مشاهده شده باشد. تفاوت‌های ریخت‌شناسی علاوه بر جدایی جغرافیایی و بدلیل وجود اجداد متفاوت و تفاوت‌های ویژگی‌های محیطی بین زیستگاه‌ها می‌تواند باشد (Hossain *et al.*, 2010). ماهیان نسبت به تغییرات

محیطی بسیار حساس بوده و می‌توانند خودشان را با ایجاد تغییرات ریختی لازم با شرایط محیطی جدید سازگار نمایند. به‌خوبی 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 and Wilson, 1994). از این‌رو 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). انعطاف-پذیری ریختی به وسیله ایجاد اصلاحات و تغییراتی در فیزیولوژی و رفتار نسبت به تغییرات محیطی مثل شرایط جدید ناشی از سد می‌باشد. این سازگاری‌ها در نهایت در تغییراتی 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 and Wilson, 1994).

از این رو به‌نظر می‌رسد که شرایط جدید موجود در دو سوی سد سنگبان علاوه بر جدایی جمعیت‌ها باعث بوجود آمدن تفاوت‌های ریختی در دوره زمانی کوتاه، هر چند کوچک از لحاظ درجه تمایز شده است. بنابراین به علت کوتاه بودن عامل جدایی دو جمعیت مورد مطالعه ممکن است تفاوت‌های ریختی ایجاد شده کوچک بوده و به این دلیل توزیع ویژگی‌های ریختی مشکل بوده و تفکیک و شناسایی این صفات در روش ریخت‌سنجی سنتی ممکن است دشوار باشد (Hossain et al., 2010) ولی روش ریخت‌سنجی هندسی به راحتی و با دقت بالا قادر بود این تفاوت‌های ریختی کوچک ایجاد شده را آشکار سازد.

منابع

ایگدری، س. و کمال، ش.، ۱۳۹۲. کاربرد روش ریخت‌سنجی هندسی در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی در ماهیان؛ مطالعه موردی مقایسه شکل بدن جمعیت های ماهی گورخری (*Aphanius siphia* (Heckel, 1847) چشمه علی دامغان و رودخانه شور اشتهارد. پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، دوره اول، شماره اول، صفحات ۴۷-۵۲.

عبدلی، ا.، ۱۳۷۸. ماهیان آب‌های داخلی ایران. موزه طبیعت و حیات وحش ایران. تهران، ۳۷۸ ص.

زمانی فرادنبه، م.، ایگدری، س. و پورباقر، ه.، ۱۳۹۳. بررسی شاخص مطلوبیت زیستگاه سس‌ماهی کورا *Barbus cyri*, Heckel 1834 در رودخانه طالقان (حوضه رودخانه سفیدرود: استان البرز). پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، دوره دوم، شماره دوم، صفحات ۴۱-۵۳.

Aguilar-Medrano, R. O. S. A. L. Í. A., 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 the Linnean Society*, 102(3): 593-613.

Begg, G. A., Friedland, K. D. and Pearce, J. B., 1999. Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. *Fisheries Research*, 43(1): 1-8.

Bookstein, F. L., 1997. *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press.

Cardin, S. X. and Friedland, K. D., 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research*, 43(1): 129-139.

Coad, B. W., 2014. "Freshwater Fishes of Iran" www.briancoad.com (accessed 5/6/2014).

Graf W.L., 1999. Dam nation: a geographic census of American dams and their largescale hydrologic impacts. *WaterResours Research*, 35: 1305-1311.

Eagderi, S., Esmailzadegan, 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*, 1(2): 114-120.

Elliot, N.G., Haskard, K. and Koslow J. A., 1995. Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) of the continental slope of Southern Australian. *Journal of Fish Biology*, 46: 202-220.

- Hammer, Ø., 2012.** PAST: PAleontological STatistics. Oslo: Natural History Museum University of Oslo, 226 p.
- Heidari, A., Mousavi-Sabet, H., Khoshkholgh, M., Esmaeili, 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, 1(4): 195-201.
- Hossain, M. A., Nahiduzzaman, M., Saha, D., Khanam, M. U. H. and Alam, M. S. 2010.** Landmark-based morphometric and meristic variations of the endangered carp, kalibaus *Labeo calbasu*, from stocks of two isolated rivers, the Jamuna and Halda, and a hatchery. Zoological Studies, 49(4): 556-563.
- Jolliffe, I. T., 2002.** Principal Component Analysis, second edition Springer-Verlag.
- Ouattara, T. A. S., Konan, K. M., Konan, K. J., Béatrice, A., Adepo-Gourene, B. C. A. and N'guetta, A. S. P., 2014. Morphological identification and taxonomic relationship of farmed fish of the genus *Chrysichthys*. International Journal, 1(3): 2311-2484.
- Poff, N. L. and Allan, J. D. 1995.** Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. Ecology, 76(2): 606-627.
- Robinson, B. W. and Wilson, D. S., 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. American Naturalist, pp. 596-627.
- Rohlf, F. J., 2010.,** TpsDig2–Thin Plate Spline Digitise. 2.16 ed. New York: State University of New York.
- Rohlf, F. and Marcus, L. F., 1993.** A revolution morphometrics. Trends in Ecology and Evolution, 8(4): 129-132.
- Seiler, S. M. and Keeley, E. R., 2007.** Morphological and swimming stamina differences between Yellowstone cutthroat trout (*Oncorhynchus clarkii bouvieri*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and their hybrids. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 64(1): 127-135.
- Stearns, S. C., 1983.** A natural experiment in life-history evolution: field data on the introduction of mosquitofish (*Gambusia affinis*) to Hawaii. Evolution, pp. 601-617.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E., 1980.** The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(1): 130-137.
- Zamani Faradonbe, M., Eagderi, S. and Moradi, M., 2015.** Patterns of Body Shape Variation in *Capoeta gracilis* (Pisces: Cyprinidae) in Relation to Environmental Variables in Sefidrud River Basin, Iran. Journal of Applied Biological Sciences, 9 (1): 36-42.
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D. and Fink, W. L., 2004.** Geometric morphometrics for biologists. Academic Press, 2 edition, 443 p.