

تحلیل ریخت‌سنجی هندسی فلس ماهیان برای شناسایی جنس، گونه و جمعیت‌ها مطالعه موردی خانواده کپورماهیان (Cyprinidae)

سیده نرجس طباطبایی^۱، سهیل ایگدري^{۱*}، ایرج هاشم‌زاده سقرلو^۲ و اصغر عبدلی^۳
^۱ گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲ گروه شیلات و محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
^۳ گروه زیستی و مدیریت اکوسیستم، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

شناسایی گونه‌ها و جمعیت‌های ماهیان با استفاده از فلس روشی غیر مخرب، سریع و کم هزینه است. از اینرو، این مطالعه با هدف بررسی امکان به کارگیری روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک بر روی فلس ماهیان برای شناسایی سریع گونه‌ها و جمعیت‌های ماهیان و مقایسه آن با روش مشابه محیط پیرامونی فلس با استفاده از لندمارک‌های کاذب به اجرا در آمد. برای این منظور، از فلس‌های یک جمعیت از سس ماهی بزرگ سر (*Luciobarbus capito*)، چهار جمعیت از ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii*) و دو جمعیت از ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*)، متعلق به خانواده کپورماهیان استفاده شد. بر روی تصاویر گرفته شده از فلس‌ها در روش در ریخت‌سنجی لندمارک پایه تعداد ۱۷ لندمارک و در روش نیمه‌لندمارک تعداد ۲۳ نیمه‌لندمارک تعریف شد سپس، با نرم‌فزار TpsDig2 رقومی شدند. داده‌های حاصل پس از تحلیل پروکراست، با استفاده از تحلیل چند متغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه همبستگی کانونیک و تحلیل خوشه‌ای بررسی شدند. نتایج استفاده از هر دو روش (۷ و ۲۳ عدد لندمارک) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شکل فلس‌های هر سه گونه وجود دارد ($P < 0.001$) ولی تفاوت بین جمعیت‌های آنها معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). بنابراین، نتایج نشان داد که تعداد اندک لندمارک نیز می‌تواند به خوبی اختلافات میان اشکال فلس را ظاهر نماید. بر اساس نتایج همچنین می‌توان بیان کرد که فلس هر گونه دارای الگوی شکلی منحصر به فردی است، که می‌تواند به عنوان کلید شناسایی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌سنجی لندمارک پایه، شکل فلس، سس ماهی، ماهی سفید، ماهی خیاطه

مقدمه

آنها از قبیل رشد، مرگ و میر، همآوری، روابط تغذیه‌ای و چرخه حیات ضروری است (Ibanez et al., 2007). خصوصیات ریختی از قبیل ویژگی‌های شمارشی،

شناسایی گونه‌ها و جمعیت‌های ماهیان در حفاظت از تنوع زیستی و تحقیقات مربوط به ویژگی‌های زیستی

بهبتر زیستی نتایج کمک کند. نکته‌ای که روش‌های مبتنی بر لندمارک‌گذاری را از سایر روش‌ها جدا می‌کند این است که در این روش جایگاه‌های مشترک بین ساختارها در تشخیص تفاوت‌ها استفاده می‌شود که بنیان زیستی دارد و به عبارت دیگر هم‌ساخت (هم‌ساخت) هستند (Ibanez et al., 2007).

حدود نیمی از ۱۸۰ گونه ماهیان آب‌های داخلی ایران به خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) تعلق دارند (Coad, 2012). اعضای این خانواده از جنبه‌های پرورشی، اقتصادی و علمی بسیار حایز اهمیت هستند (Nelson, 2006) و مطالعات تبارشناسی، بوم‌شناسی، فیزیولوژیکی و پراکنش آنها دارای اهمیت فراوانی است (Chen and Mayden, 2009). حال این پرسش مطرح است که آیا با به کارگیری روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک به عنوان یک روش تشخیص سریع، امکان شناسایی گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف کپورماهیان از روی شکل فلس امکان‌پذیر است؟ آیا برای تفکیک و شناسایی گونه‌ها و جمعیت‌های ماهیانی که همگی دارای فلس مشابه (برای مثال دایره‌ای یا لوزی) هستند، به کارگیری روش ریخت‌سنجی هندسی بر مبنای نقاط هم‌ساخت (با تعداد کمتری لندمارک) کفایت می‌کند و یا اینکه نیاز است تعداد لندمارک‌های بیشتری مشابه روش‌های خط سیر پیرامونی مورد استفاده قرار گیرد؟ تعداد اندک متغیرها خود مزیتی در تحلیل سریع است، چرا که با توصیف مختصری از شکل فلس، فضاهاى چند متغیره حاصل به راحتی قابل تصور است و در ضمن در تحلیل تابع تشخیص، میزان خطا نیز به حداقل می‌رسد (Ibanez et al., 2007).

بنابراین، این مطالعه با هدف امکان‌به‌کارگیری روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک در شناسایی

زیست‌سنجی شکل بدن و شکل اتولیت به طور گسترده در شناسایی و تشخیص گونه‌ها و جمعیت‌های ماهیان به کار برده می‌شود (Cardin, Ihssen et al., 1981). در روش‌های سنتی، (Poulet et al., 2005؛ 2000). در روش‌های سنتی، شناسایی گونه‌ها و حتی جمعیت‌ها بر پایه ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری ریختی و شمارشی انجام می‌شود (Murta, 2000؛ Swain and Foote, 1999). اخیراً نیز در این زمینه، روش‌های ژنتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این روش‌ها علاوه بر هزینه‌بر بودن، به راحتی در شرایط میدانی در دسترس و قابل کاربرد نیستند.

تفکیک گونه‌ها و حتی جمعیت‌های ماهی‌ها با استفاده از شکل (shape) فلس آنها در برخی از گروه‌های ماهیان گزارش شده است (Poulet et al., 2005؛ Ibanez et al., 2007). برای تفکیک گونه و جمعیت‌های ماهیان از روش‌های: تحلیل شکل فلس، fourier analysis (خط سیر پیرامونی) (Poulet et al., 2005) و Wavelets (روش جایگزین خط سیر پیرامونی) استفاده شده است (Watkinson and Gillis, 2005). روش پیشنهادی دیگر، بر پایه داده‌های حاصل از لندمارک‌ها، در روش ریخت‌سنجی هندسی است. در روش ریخت‌سنجی هندسی بر پایه لندمارک، داده‌های اشکال زیستی، مختصات نقاط لندمارک است. این روش به لحاظ وجود امکان تحلیل آماری فضاهاى شکلی و قدرت آماری مناسب در تفکیک گونه‌ها و جمعیت‌ها بر اساس شباهت‌های ریختی به طور گسترده در مباحث زیست‌شناسی عمومیت یافته است (Chen et al., 2005؛ Recasens et al., 2006؛ Crews and Hedin, 2006). در این روش مصورسازی گرافیکی نتایج و یافته‌های آماری امکان‌پذیر است و می‌تواند به تفسیر

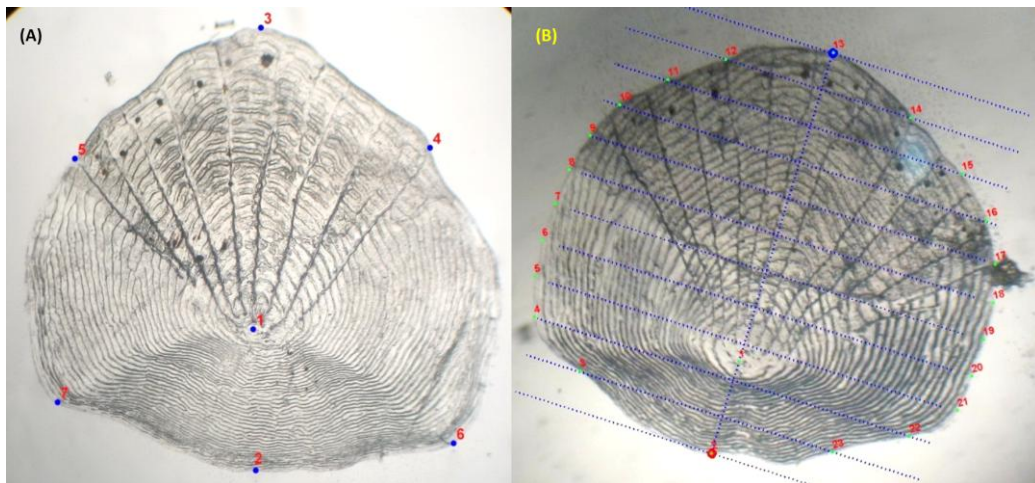
توجه به اندازه در زیر استریومیکروسکوپ یا لوپ Leica MS-5 مجهز به دوربین دیجیتال Canon با قدرت تفکیک ۵ مگاپیکسل عکس برداری شدند. با توجه به هدف این تحقیق، در روش اول تعداد ۷ لندمارک با توجه به ویژگی‌های مشترک به عنوان نقاط ثابت و هم ساخت فلس‌ها تعریف شد (شکل ۱-۱). در روش دیگر و به منظور استخراج دقیق‌تر مختصات محیط پیرامونی فلس‌ها، با نرم‌افزار MakeFan نسخه ۶ میان ۲ جایگاه رأسی‌ترین و قاعده‌ای‌ترین نقاط فلس در راستای مرکز، خطوط موازی رسم و ۲۳ لندمارک کاذب در محل تقاطع با محیط پیرامونی تعریف گردید (شکل ۱-۲).

لندمارک‌گذاری بر روی تصاویر با نرم‌افزار tpsDig2 انجام شد (Rohlf, 2005). روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک نمونه‌ها بر اساس تحلیل پروکراست (GPA) به منظور حذف اختلافات غیرشکل شامل مقیاس، جهت و موقعیت تصاویر صورت پذیرفت (Zelditch, 2004). سپس، داده‌های حاصل با استفاده از تحلیل چند متغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل همبستگی کانونیک (CVA)، تحلیل واریانس چند متغیره (Manova) و تحلیل خوشه‌ای با نرم‌افزارهای MorphoJ و Past تحلیل شدند. بوت‌استرپ تحلیل خوشه‌ای با ۱۰۰۰۰ تکرار اجرا و درصد تکرار حمایت‌کننده هر شاخه در دندوگرام آورده شد. مصورسازی تغییرات شکل فلس هر جمعیت بر اساس شکل میانگین (consensus configuration) هر گروه از ماهیان در تحلیل خوشه‌ای و انحراف از میانگین شکل فلس گونه‌ها از یکدیگر با استفاده از شبکه تغییر شکل با استفاده از نرم‌افزارهای MorphoJ و tpsSpline نسخه ۱/۲۰ انجام شد (Rohlf, 2004; Klingenberg, 2011).

گونه‌ها و جمعیت‌های ماهیان از روی شکل فلس و مقایسه آن با روش مشابه محیط پیرامونی با استفاده از لندمارک‌های کاذب انجام شد. از این رو، مطالعه موردی بر روی خانواده کپورماهیان شامل یک جمعیت از سس ماهی بزرگ سر (*Luciobarbus capito*)، چهار جمعیت از ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii*) و دو جمعیت ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*)، که همگی دارای فلس‌های دایره‌ای (cycloid) هستند، به اجرا درآمد. در صورت مثبت بودن پاسخ پرسش‌های فوق، امکان شناسایی گونه‌ها بر اساس شکل فلس به عنوان روشی غیر مخرب برای شناسایی ماهیان، به ویژه گونه‌های نادر و در معرض خطر، با امکان برگرداندن آنها به آب و همچنین استفاده از بقایای فلس موجود در طبیعت و یا مدفوع حیوانات ماهیخوار برای شناسایی گونه و جمعیت ماهیان وجود خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، از فلس ۲۶ نمونه سس ماهی بزرگ سر، ۱۲۰ نمونه ماهی خیاطه، شامل جمعیت‌های رودخانه‌های قره‌چای (۳۰ عدد)، تجن (۳۰ عدد)، جاجرود (۳۰ عدد) و چشمه علی دامغان (۳۰ عدد) و ۴۹ نمونه ماهی سفید از رودخانه‌های شیروود (۲۰ عدد) و گهرباران (۲۹ عدد) استفاده شد. تعداد ۱۰-۱۵ عدد فلس از سمت چپ ماهیان، بین باله پشتی و خط جانبی برداشته و در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند. فلس‌ها به ترتیب با استفاده از محلول پتاس ۵ درصد و آب مقطر به مدت ۳-۵ دقیقه شستشو و سپس برای مطالعات بعدی بین دو لام تثبیت شدند (Poulet et al., 2005). از آنجا که هدف این تحقیق تشخیص سریع است، تنها یک عدد فلس از هر ماهی استفاده شد. فلس‌ها با



شکل ۱- (A) جایگاه ۷ لندمارک تعیین شده بر روی فلس ماهیان: ۱- مرکز فلس، ۲- پایین ترین نقطه در راستای خطی که از مرکز عبور می کند، ۳- بالاترین نقطه در راستای خطی که از مرکز عبور می کند، ۴- محل تقاطع جلویی ترین کانال شعاعی سمت راست با حاشیه فلس، ۵- محل تقاطع جلویی ترین کانال شعاعی سمت چپ با حاشیه فلس، ۶- گوشه پایینی سمت راست فلس، ۷- گوشه پایینی سمت چپ فلس. (B) جایگاه ۲۳ لندمارک کاذب تعیین شده پیرامون فلس با نرم افزار MakeFan نسخه ۶.

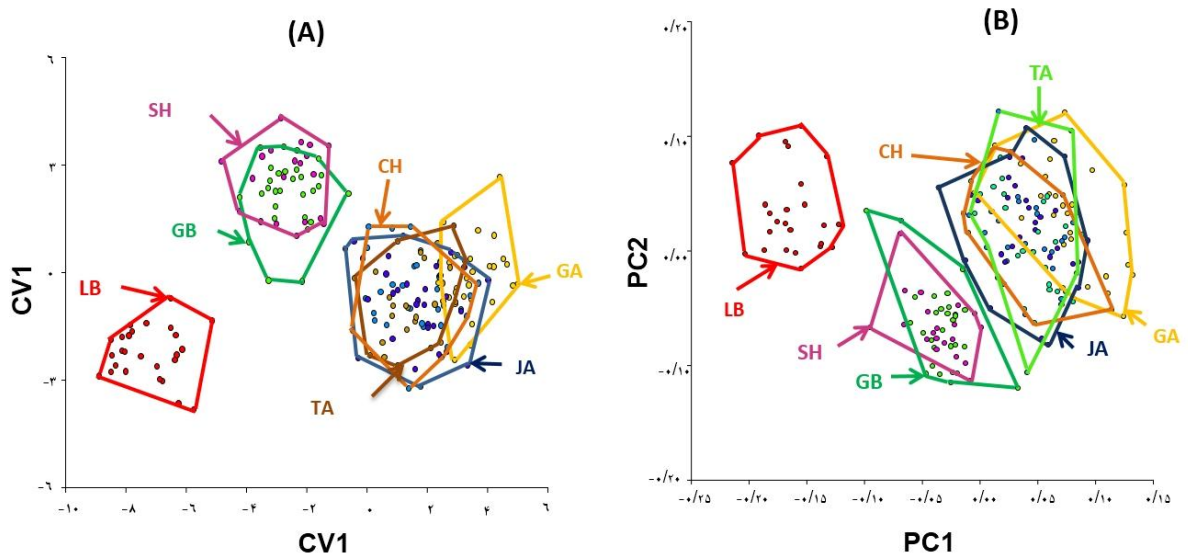
نتایج

در رودخانه های تجن، جاجرود، چشمه علی دامغان و قره چای بر اساس ۲۳ لندمارک معنی دار نبود ($P > 0/05$). در روش ریخت سنجی هندسی بر اساس ۷ لندمارک میان جمعیت ماهی خیاطه قره چای و سایر جمعیت های این گونه اختلاف معنی دار مشاهده شد ($P = 0/0021$).

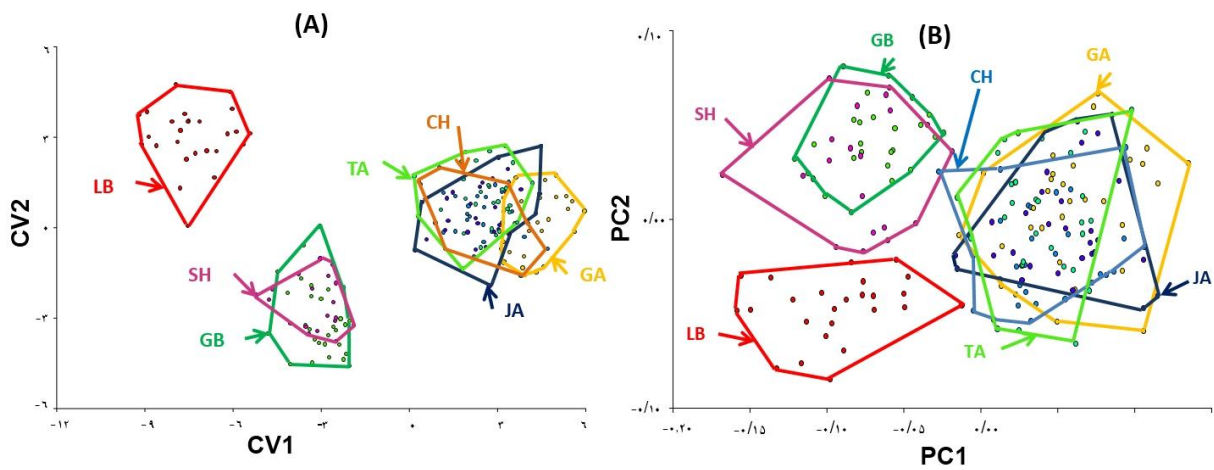
تفاوت شکل فلس های گونه های سس ماهی بزرگ سر، ماهی خیاطه و ماهی سفید در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل ها مشاهده می شود، فلس ماهی خیاطه نسبت به دو گونه دیگر در دو بخش جانبی پهن تر بوده، فاصله مرکز آن تا پایین ترین و بالاترین نقطه در راستای خط مرکز نیز کوتاه تر است. فلس های ماهی سفید نسبت به ماهی خیاطه در بخش نیمه فوقانی در دو طرف بالاترین نقطه فلس در راستای خط مرکز اندکی پهن است. فلس های ماهی سفید نسبت به سس ماهی بزرگ سر در دو جانب تحتانی عرض کمتری داشته، فاصله مرکز آن نیز تا نقطه زیرین در راستای خط مرکز کمتر است (شکل ۵).

تحلیل تجزیه به تابع های اصلی شکل فلس ها با استفاده از ۷ لندمارک، تغییرات شکل فلس را در سه مؤلفه اصلی ($PC1=44/66$, $PC2=22/46$ و $PC3=9/84$) با مجموع ۷۶/۷۷ درصد و با قراردادن ۲۳ لندمارک کاذب تعیین شده پیرامون فلس، تغییرات شکل فلس را در سه مؤلفه اصلی ($PC1=50/16$, $PC2=13/79$ و $PC3=11/37$) با مجموع ۷۵/۳۲ درصد آشکار نمود (شکل های ۲-B و ۳-B). تحلیل PCA و CVA در هر دو روش ریخت سنجی هندسی سه ناحیه کاملاً مجزا بر اساس شکل فلس گونه ها را مشخص نمودند، به بیان دیگر ماهیان را بر اساس شکل فلس جدا نمود. تحلیل Manova تفاوت معنی داری را بین شکل فلس هر سه گونه (سس ماهی بزرگ سر، ماهی خیاطه و ماهی سفید) مورد مطالعه نشان داد ($P < 0/001$) (شکل های ۲-A و ۳-A).

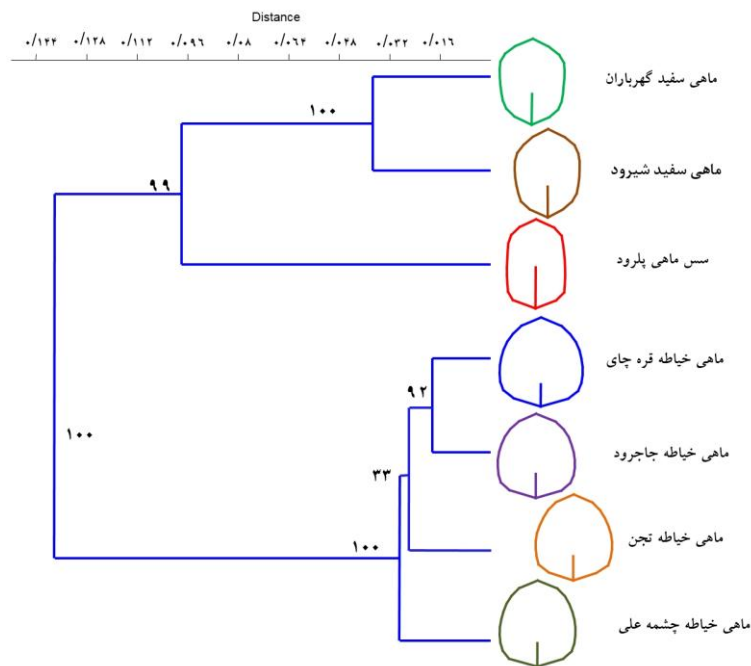
تفاوت های شکل فلس دو جمعیت ماهی سفید (*R. frisii kutum*) متعلق به رودخانه های شیروود و گهر باران و جمعیت های ماهی خیاطه (*A. eichwaldi*)



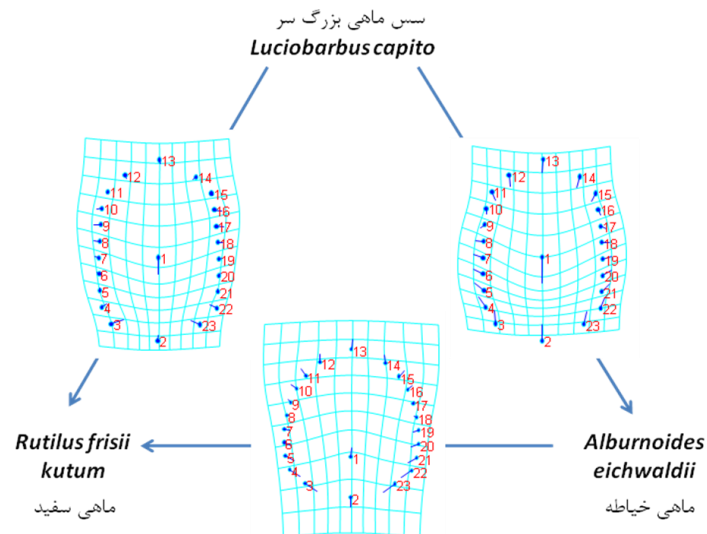
شکل ۲- (A) نمودار CVA، (B) نمودار PCA شکل فلس گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف کپورماهیان با استفاده از ۷ لندمارک. (LB=سس ماهی بزرگ سر، SH=ماهی سفید شیروود، GB=ماهی سفید گهرباران، CH=ماهی خیاطه چشمه‌علی، GA=ماهی خیاطه قره‌چای، JA=ماهی خیاطه جاجرود و TA=ماهی خیاطه تجن).



شکل ۳- (A) نمودار CVA، (B) نمودار PCA شکل فلس گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف کپورماهیان با استفاده از ۲۳ لندمارک. (LB=سس ماهی بزرگ سر، SH=ماهی سفید شیروود، GB=ماهی سفید گهرباران، CH=ماهی خیاطه چشمه‌علی، GA=ماهی خیاطه قره‌چای، JA=ماهی خیاطه جاجرود و TA=ماهی خیاطه تجن).



شکل ۴- نمودار تحلیل خوشه‌ای شکل فلس گونه‌ها و جمعیت‌های سه گونه کپورماهی مود مطالعه (اشکال ارایه شده بیان کننده میانگین شکل فلس هر جمعیت است) (اعداد مقابل شاخه‌ها بیانگر درصد تکرارهای حمایت کننده هر شاخه است).



شکل ۵- مقایسه شکل فلس سه گونه کپورماهی (شبکه‌های تغییر، تفاوت شکل فلس‌ها را به صورت تغییر از یک گونه به گونه دیگر نشان می‌دهد).

بحث

که تفاوت معنی‌داری میان اشکال فلس گونه‌های مطالعه شده وجود دارد. از آنجا که داشتن فلس دایره‌ای یک ویژگی مشترک اعضای این خانواده است، می‌توان بیان نمود که فلس هر گونه دارای الگوی شکلی منحصر به فردی است که می‌تواند به عنوان یک کلید شناسایی

مطالعه حاضر با هدف تعیین ارزش تشخیصی شکل فلس به عنوان روشی آسان و سریع در شناسایی چند گونه از کپورماهیان ایران با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد و نتایج نشان داد

(Ibanez et al., 2007). محیط می‌تواند بر ریخت ماهیان تأثیر گذار باشد و به تفاوت‌های ریختی جمعیت‌های موجود در محیط‌های مختلف منجر گردد که بیان‌کننده اثرگذاری تفاوت‌های محیطی بر فنوتیپ است (Ibanez et al., 2007; Poulet et al., 2005).

علیرغم جدایی آلوپاتریک جمعیت‌های ماهی خیاطه در رودخانه تجن، جاجرود و چشمه علی دامغان، احتمالاً تفاوت در شرایط هیدرودینامیکی محیطی جمعیت‌های ماهی خیاطه به حدی نبوده است که سبب تفاوت‌های فنوتیپی بارز در آنها گردد. احتمال دارد تشابه شکل فلس‌های ماهی سفید نیز جدا نشدن جمعیت‌ها به دلیل عدم مهاجرت تولید مثلی ماهیان به رودخانه نوزادگاهی (Schtickzelle and Quinn, 2007) و نیز تأثیر بازسازی ذخایر آن در اختلاط جمعیت‌ها باشد.

نتایج به کارگیری روش ریخت‌سنجی هندسی بر مبنای نقاط هم‌ساخت (با ۷ لندمارک) و روش محیط پیرامونی (با ۲۳ لندمارک کاذب)، کاملاً با یکدیگر منطبق بودند. از این رو، نتایج نشان داد که تعداد اندک لندمارک نیز می‌تواند به خوبی اختلافات میان شکل فلس‌ها را ظاهر نماید و صحت، سرعت و دقت روش شناسایی شکل فلس بر اساس لندمارک‌گذاری را تأیید نمود. بنابراین، شناسایی گونه‌ها بر اساس شکل فلس به عنوان روشی سریع و کم‌هزینه نسبت به روش‌های ژنتیکی امکان بررسی افراد بیشتر و شناسایی تنوع‌های موجود را امکان‌پذیر می‌نماید (Ibanez et al., 2007). همچنین، بر اساس مقایسه نتایج این پژوهش و مطالعات قبلی، می‌توان بیان داشت که تأیید تفاوت شکل فلس جمعیت‌های مختلف یک گونه، در مورد جمعیت‌های سایر گونه‌ها نمی‌تواند صادق باشد.

برای آن گونه در نظر گرفته شود. نتایج مطالعه Ibanez و همکاران (۲۰۰۷) نیز بر روی تفاوت‌های شکلی فلس‌های شانه‌ای کفال‌ماهیان جهت شناسایی جنس، گونه و ذخایر آنها بر اساس روش ریخت‌سنجی هندسی نشان داد که بیشترین تمایز شکل فلس‌ها میان جنس‌ها و گونه‌ها وجود دارد و تفاوت شکل فلس در میان جنس‌ها و گونه‌ها شاهدهی بر زمینه ژنتیکی آن است.

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تفاوت شکل فلس جمعیت‌های مختلف گونه‌های ماهیان خیاطه و سفید معنی‌دار نیست. Ibanez و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان دادند که در جمعیت‌های مختلف یک گونه از کفال‌ماهیان، شکل فلس وابسته به فاصله جغرافیایی است. Poulet و همکاران (۲۰۰۵) نیز در بررسی شکل فلس سه جمعیت از زیر گونه *Leuciscus leuciscus burdigalensis* رودخانه Viaur فرانسه با استفاده از روش خط سیر پیرامونی دریافتند که میزان تفاوت شکل فلس میان جمعیت‌های مختلف وابسته به فاصله بوده و نشان‌دهنده تفاوت عوامل محیطی نواحی بالادست و پایین دست رودخانه است. در مطالعه فوق با توجه به وجود انشعابات متعدد در رودخانه و تفاوت در جایگاه تخم‌ریزی جمعیت‌های مختلف *L. burdigalensis*، امکان جدا بودن ژنتیکی این جمعیت‌ها و در نتیجه احتمال تأثیر شرایط محیطی و زمینه ژنتیکی متفاوت بر شکل فلس وجود دارد (Poulet et al., 2005).

تفاوت در شکل فلس علاوه بر وابسته بودن به گونه ماهی، ممکن است ناشی از سازگاری به شرایط محیطی به ویژه شرایط متفاوت هیدرودینامیکی نیز باشد که در پژوهش‌هایی با دیدگاه شکل-عملکرد (Ibanez et al., shape-function) قابل تشخیص است.

منابع

- Cardin, S. X. (2000) Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10: 91-112.
- Chen, W. J. and Mayden, R. L. (2009) Molecular systematics of the Cyprinoidea (Teleostei: Cypriniformes), the world's largest clade of freshwater fishes: Further evidence from six nuclear genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 52: 544-549
- Chen, X. M., Milne, N. and O'Higgins, P. (2005) Morphological Variation of the thoracolumbar vertebrae in Macropodidae and its functional relevance. *Journal of Morphology* 266: 167-181.
- Coad, B. (2012) Freshwater fishes of Iran. Retrieved from <http://www.briancoad.com>. On: 30 April 2013.
- Crews, S. C. and Hedin, M. (2006) Studies of morphological and molecular phylogenetics in spiders (Araneae: Homalonychus) from the American southwest, including divergence along the Baja California Peninsula. *Molecular Phylogenetic and Evolution* 38: 470-487.
- Ibanez, A. L., Cowx, I. G. and O'Higgins, P. (2007) Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species and local populations within the Mugilidae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 64: 1091-1100.
- Ihssen, P. E., Brooke, H. E., Casselman, J. M., McGlade, J. M., Payne, N. R. and Utter, F. M. (1981) Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquacultural Science* 38: 1838-1855.
- Klingenberg, C. P. (2011) MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11: 353-357.
- Murta, A. G. (2000) Morphological variation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Iberian and North African Atlantic: implication for stock identification. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1240-1248.
- Nelson, J. S. (2006) *Fishes of the world*. John Wiley & Sons, Inc., London.
- Poulet, N., Reyjol, Y., Collier, H. and Lek, S. (2005) Does fish scale morphology allow the identification of populations at a local scale? A case study for rostrum dace *Leuciscus leuciscus burdigalensis* in River Viaur (SW France). *Aquatic Sciences* 67: 122-127.
- Recasens, L., Lombarte, A. and Sanchez, P. (2006) Teleostean fish assemblages in artificial reef and a natural rocky area in Catalonia (northwestern Mediterranean): an ecomorphological approach. *Bulletin of Marine Science* 78: 71-82.
- Rohlf, F. J. (2004) tpsSpline, thin-plate spline, version 1.20. US Patents DEB 93-17572, IBN-0090445 and DEB-0212023.
- Rohlf, F. J. (2005) tpsDig2, digitize landmarks and outlines, version 2.05. US Patent DEB 93-17572.
- Schickzelle, N. and Quinn, T. P. (2007) A metapopulation perspective for salmon and other anadromous fish. *Fish and Fisheries* 8: 297-314.
- Swain, D. P. and Foote, C. J. (1999) Stocks and chameleons: the use of phenotypic variation in stock identification. *Fisheries Research* 43: 113-128.
- Watkinson, D. A. and Gillis, D. M. (2005) Stock discrimination of Lake Winnipeg walleye based on Fourier and wavelet description of scale outline signals. *Fisheries Research* 72: 193-203.
- Zelditch, M. (2004) *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Elsevier Academic Press, New York.

**Geometric and morphometric analysis of fish scales
to identity genera, species and populations
case study: the Cyprinid family**

**Seyedeh Narjes Tabatabaei¹, Soheil Eagderi^{1*}, Iraj Hashemzadeh Segherloo²
and Asghar Abdoli³**

¹ Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences,
Shahrekord University, Shahrekord, Iran

³ Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Center,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Using fish scale to identity species and population is a rapid, safe and low cost method. Hence, this study was carried out to investigate the possibility of using geometric and morphometric methods in fish scales for rapid identification of species and populations and compare the efficiency of applying few and/or high number of landmark points. For this purpose, scales of one population of *Luciobarbus capito*, four populations of *Alburnoides eichwaldii* and two populations of *Rutilus frisii kutum*, all belonging to cyprinid family, were examined. On two-dimensional images of the scales 7 and 23 landmark points were digitized in two separate times using TpsDig2, respectively. Landmark data after generalized procrustes analysis were analyzed using Principal Component Analysis (PCA), Canonical Variate Analysis (CVA) and Cluster Analysis. The results of both methods (using 7 and 23 landmark points) showed significant differences of the shape of scales among the three species studied ($P < 0.001$), but no significant differences among their populations ($P > 0.05$). The results also showed that few number of landmarks could display the differences between scale shapes. According to the results of this study, it could be stated that the scale of each species had unique shape patterns which could be utilized as a species identification key.

Key words: Landmark-based morphometrics, Scale shape, Kutum fish, Bulatmai barbel, Riffle minnow

* soheil.eagderi@ut.ac.ir