

استفاده از آنالیز شکل اتولیت ساجیتا به منظور تفکیک چهار گونه از گیش ماهیان (Carangidae) خلیج فارس

- **آناهیتا فشندی:** گروه زیست شناسی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵
- **تورج ولی نسب*:** سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵-۱۴۹
- **فرهاد کیمرام:** سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵-۱۴۹
- **سیدمحمدرضا فاطمی:** گروه زیست شناسی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۶

چکیده

حاشیه اتولیت چهار گونه از ماهیان متعلق به خانواده گیش ماهیان *Carangoides chrysophrys*، *Carangoides coeruleopinnatus*، *Carangoides malabaricus* و *Megalaspis cordyla* در آب‌های خلیج فارس به منظور تفکیک پذیری بررسی شد. پس از تصویربرداری از اتولیت‌ها، حاشیه‌ها به کمک تحلیل فوریه بیضوی و نرم افزار Shape مورد بررسی قرار گرفت. کد زنجیری، هارمونیک‌ها و ضرایب فوریه بیضوی برای هر نمونه به دست آمد. توسط مقادیر ویژه، بازسازی میانگین حاشیه اتولیت انجام شد. شکل اتولیت از طریق توصیف گره‌های فوریه بیضوی مربوط به ۲۰ هارمونیک و به وسیله شش شاخص شکلی مورد توصیف قرار گرفت. این چهار گونه با استفاده از شاخص‌های شکلی (۷۲/۲٪)، ضرایب فوریه بیضوی (۷۳/۷٪) یا ترکیبی از دو روش (۷۲/۲٪) به شکل کاملاً موفقیت‌آمیزی متمایز شدند. در تحلیل تشخیصی با استفاده از شاخص‌های شکلی به تنهایی، تفکیک مناسبی در بین گونه‌ها انجام نگرفت. نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی نیز نشانگر این موضوع است که درصد واریانس در مؤلفه‌های اصلی اول هر گونه بیش‌ترین میزان را داشته و مؤلفه‌های اصلی به ترتیب در حال کاهش می‌باشند. ولی واریانس جمعی بیانگر این مطلب است که شکل تخمین زده شده توسط تبدیل فوریه بیضوی تا چه میزان قادر به توضیح تصویر گونه مربوطه است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که ترکیب اندازه بر مبنای توصیف گره‌های شکلی و توصیف‌گرهای فوریه بیضوی ابزاری سودمند در تفکیک ۴ گونه از گیش ماهیان خلیج فارس است.

کلمات کلیدی: گیش ماهیان، اتولیت، تحلیل فوریه بیضوی، هارمونیک، کدهای زنجیری



مقدمه

گیش ماهیان (Carangidae) متعلق به راسته سوف ماهی‌شکلان (Perciformes) و دربرگیرنده گونه‌هایی بوده که از نظر اکولوژیک و نیز از نظر اقتصادی مهم می‌باشند. ماهیان این خانواده به‌طور وسیعی در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری سراسر دنیا پراکنده هستند (Reed و همکاران، ۲۰۰۰). گیش ماهیان بزرگ‌ترین خانواده از نظر تنوع گونه‌ای در خلیج فارس هستند به طوری که ۲۱ جنس و ۵۰ گونه از این خانواده در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان گزارش شده است (ولی‌نسب، ۱۳۹۲). ماهیان استخوانی دارای سه زوج اتولیت لاپیلوس، ساجیتا و آستریسکوس بوده که در لابرینت غشایی واقع شده‌اند (Morales-Nin، ۲۰۰۰). در بسیاری از ماهیان استخوانی، ساجیتا بزرگ‌ترین اتولیت و لاپیلوس در بین این سه سنگریزه شنوایی کوچک‌ترین می‌باشد (Paxton، ۲۰۰۰). ساجیتا هم‌چنین در بین گونه‌های مختلف ماهیان، ریخت‌شناسی و توپوگرافی متغیری نشان می‌دهد (Battaglia و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه کاربرد آن‌ها به‌عنوان یک خصوصیت تاکسونومیک در سال‌های اخیر گسترش یافته است. عملکردهای بیولوژیک اتولیت‌ها، گوش داخلی را به‌واسطه حواس شنوایی و تعادل، فعال می‌سازند (Valinassab و همکاران، ۲۰۱۲). اتولیت‌ها ساختارهای پایداری هستند که تحت تأثیر تغییرات کوتاه مدت ناشی از شرایط غذایی یا تولیدمثلی قرار نمی‌گیرند (Cardin و Friedland، ۲۰۰۵). شکل اتولیت مختص هر گونه بوده و شناسایی گونه‌های ماهیان بر مبنای ریخت‌شناسی اتولیت (که در اغلب موارد ریخت‌شناسی بزرگ‌ترین ساختار موجود در اتولیت، یعنی ساجیتا است) امکان‌پذیر است (Lombarte و همکاران، ۲۰۰۶؛ Rossi-Wongtschowski و همکاران، ۲۰۱۴). اتولیت‌ها در مطالعات زیستی (Campana، ۲۰۰۵)، برای تعیین گونه‌ها (L'Abée-Lund، ۱۹۸۸)، تخمین سن (Campana، ۲۰۰۱)، تشخیص ذخایر (Lenfant و Gonzale-Sales، ۲۰۰۷) و ارزیابی رژیم غذایی (Morat و همکاران، ۲۰۱۱) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شکل اتولیت دارای خصوصیات بین گونه‌ای و درون گونه‌ای است و این ویژگی‌ها باعث می‌شوند که تحلیل شکل اتولیت ابزار سودمندی برای شناسایی گونه‌ها و تفکیک ذخایر باشد (Dou و همکاران، ۲۰۱۲). آنالیز شکل اتولیت در ماهیان به‌منظور مطالعه خصوصیات ریخت‌شناسی گروه‌های مختلف از جمله گونه‌های جوان و بالغ، جمعیت‌ها، جمععاتی که به‌منظور تخم‌ریزی صورت می‌گیرد و هم‌چنین به‌منظور تشخیص جنس‌ها مناسب می‌باشد (Devries و همکاران، ۲۰۰۲؛ Begg و همکاران، ۲۰۰۱). تحلیل شکل اتولیت ماهی‌ها روش مهمی جهت توصیف و تشخیص طرح‌های ریاضی اتولیت است. تحلیل شکل اتولیت به‌منظور دستیابی به چندین هدف، از جمله فیلوژنی (Phylogeny) و تفکیک

ذخایر، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lombarte و همکاران، ۲۰۰۶). آنالیز تبدیل فوریه بیضوی یکی از ارزشمندترین و کارآمدترین روش‌ها به‌لحاظ زمانی است چون در این روش داده‌ها به صورت خودکار در ارتباط با هارمونیک نخست نرمال‌سازی می‌شوند و در نتیجه نسبت به اندازه، چرخش و نقطه شروع تغییری نمی‌یابند. آنالیز تبدیل فوریه بیضوی به‌شکل کارآمدی جهت تحلیل اشکال زیست‌شناختی گوناگون در جانوران (Iwata و Ukai، ۲۰۰۲) از جمله اتولیت‌ها (Tracey و همکاران، ۲۰۰۶) به‌کار رفته‌اند. استفاده از معادلات فوریه بیضوی یک روش دقیق برای توصیف و مشخص نمودن نمای کلی اتولیت‌ها و به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به آن‌ها به روش کمی و با راندمان بالا است (Lestrel، ۱۹۹۷). در سال‌های اخیر، تعداد مطالعاتی که در آن‌ها از تحلیل ریخت‌شناسی اتولیت جهت تفکیک بین گونه‌ها و ذخایر ماهیان مختلف استفاده شده روند افزایشی داشته است، این تحلیل‌ها بر مبنای تحلیل شاخص شکل، یا تحلیل فوریه بیضوی و یا با استفاده از ترکیبی از هر دو روش بوده‌اند (Lord و همکاران، ۲۰۱۲؛ Aguera و Brophy، ۲۰۱۱).

Brophy و Agüera (۲۰۱۱) مطالعه‌ای به‌منظور تفکیک ذخایر Atlantic saury در دریای مدیترانه و بخش‌های شمال شرقی اقیانوس اطلس با استفاده از شکل اتولیت انجام دادند. نتایج نشان داد که ماهی ساری ساکن دریای مدیترانه و شمال شرق اقیانوس اطلس با استفاده از تحلیل شکل اتولیت از یکدیگر متمایز می‌شوند در این تحقیق هم‌چنین ضرایب فوریه بیضوی نسبت به شاخص‌های شکلی ارجحیت داشتند. صدیق‌زاده (۱۳۹۱) نیز از آنالیز شکل اتولیت برای شناسایی و تفکیک جمعیتی دو گونه از سرخوماهیان (*Lutjanus malabaricus* و *Lutjanus johnii*) در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان استفاده کردند. نتایج نشان داد که تفاوت‌های معنی‌دار در شکل اتولیت نمونه‌های مربوط به سرخومعمولی در خلیج فارس و دریای عمان وجود دارد که بر این اساس می‌توان به احتمال وجود دو ذخیره جداگانه از این ماهی اشاره کرد. هدف از این مطالعه تفکیک گیش خال سفید، گیش باله افشان، کتو و گیش درخشان براساس تحلیل شکل ساجیتا و آنالیز فوریه بیضوی است.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، تعداد ۱۳۸ نمونه در سال ۱۳۹۴ از ۴ گونه از گیش ماهیان از آب‌های ساحلی استان هرمزگان صید گردیدند. نمونه‌ها از کشتی‌های ترالر کفروب یا از مناطق تخلیه صید جمع‌آوری شدند. گونه‌های مورد مطالعه شامل (*Megalaspis cordyla* (Linnaeus, 1758) [n=32]، *Carangoides coeruleopinnatus* (Rüppell, 1830) [n=40]، *Carangoides chrysopterys* (Cuvier, 1833) [n=34]

رنگی که برای نرم‌افزار Shape نسخه ۱/۳ (Ukai و Iwata, ۲۰۰۲) قابل قبول باشد تبدیل شدند. تحلیل فوری بیضوی نیز با استفاده از بسته نرم‌افزاری مذکور انجام شد که امکان شناسایی کانتورهای اتولیت و توصیف آن‌ها را به وسیله توصیف‌گرهای فوری فراهم شد. کانتور هر اتولیت با استفاده از نرم‌افزار Shape به کدهای زنجیره‌ای به فرم دیجیتالی در آمد. براساس این اطلاعات، ضرایب فوری محاسبه شدند. این ضرایب با استفاده از مؤلفه‌های متعددی به نام هارمونیک‌ها به توصیف کانتور می‌پردازند. این نرم‌افزار برای هر اتولیت ۲۰ هارمونیک ایجاد می‌کند (هر اتولیت نماینده یک ماهی می‌باشد). هر هارمونیک به وسیله ۴ ضریب (A, B, C و D) که حاصل ترسیم هر نقطه از کانتور بر روی محورهای x و y است، توصیف شد. بدین ترتیب به‌ازای هر ماهی ۸۰ ضریب حاصل می‌شود. افزایش تعداد هارمونیک‌ها به توصیف دقیق‌تر کانتور منتهی می‌گردد (Giardina و Kuhl, ۱۹۸۲). ضرایب فوری به نسبت به جهت یا اندازه کانتور اتولیت ثابت هستند، به طوری که نقطه شروع کانتور به‌طور خودکار تعریف می‌شود و برای تمامی اتولیت‌های مربوط به گروه‌های مختلف مورد تحلیل استاندارد است. با برنامه PrinComp نسخه ۱/۳ از بسته نرم‌افزاری Shape، ضرایب فوری در تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) مورد استفاده قرار می‌گیرند و کانتورهای توصیف شده به وسیله هر مؤلفه اصلی، قابل بازسازی هستند. برنامه ChainCoder از نرم‌افزار Shape کانتور یک شیء را از عکس دیجیتال آن استخراج کرده و اطلاعات مربوط به آن را به صورت کدهای پشت سر هم ذخیره کرد (شکل ۲).

برنامه Chc2Nef از بسته نرم‌افزاری Shape ضرایب EFD نرمال سازی شده (NEFDs) را از طریق یک تبدیل فوری مجزا از کانتور کد شده به شکل پشت سر هم، ایجاد می‌کند (شکل ۳). ضرایب EFD به صورت خودکار بر حسب هارمونیک نخست نرمال‌سازی می‌شوند و بدین ترتیب نسبت به اندازه، چرخش و نقطه شروع تغییر نمی‌یابند (Ukai و Iwata, ۲۰۰۲; Giardina و Kuhl, ۱۹۸۲). ضرایب مشتق شده از هارمونیک نخست، مد نظر قرار نمی‌گیرند، چون طرح بازسازی شده با این ضرایب، یک بیضی ساده است که به حداکثر توان فوری منتج می‌گردد، ضرایب هارمونیک فوق‌الذکر جهت نرمال‌سازی ضرایب سایر هارمونیک‌ها استفاده می‌شوند (تا بدین ترتیب باعث عدم تغییر آن‌ها نسبت به اندازه و جهت کانتور گردد). بنابراین به منظور توصیف کانتور هر نمونه، ۲۰ هارمونیک شامل ۸۰ ضریب فوری، مورد استفاده قرار گرفت، که پس از نرمال‌سازی و حذف ۳ ضریب a1, b1 و c1 از اولین بیضی تعداد ۷۷ ضریب برای تحلیل به کمک مؤلفه‌های اصلی (PCA) توسط برنامه PrinComp (این نرم‌افزار برای تحلیل اجزای اصلی ضرایب فوری بیضوی به کار می‌رود) از بسته نرم‌افزاری Shape به کار گرفته شد.

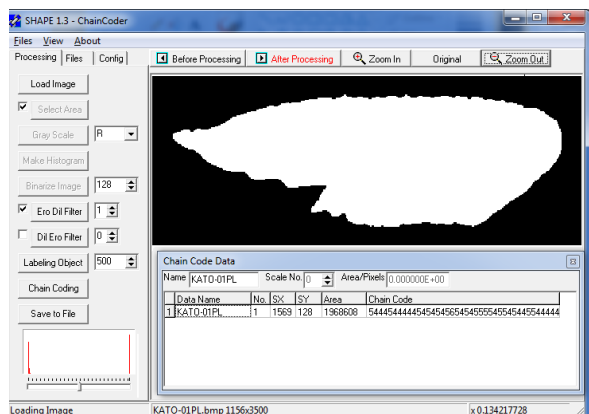
[n=32] *Carangoides malabaricus* (Bloch and Schneider, 1801) می‌باشد. اتولیت چپ این ماهیان پس از استخراج، تمیز کردن، خشک کردن و کدگذاری با بهره‌گیری از استریومیکروسکوپ مدل (ZTX-3E) مجهز به دوربین دیجیتال ۱۰ مگا پیکسل تصویربرداری شد (طرفی از اتولیت که دارای شیار سولکوس آکوستیکوس است به سمت بالا قرار داده شد و روستروم در سمت چپ قرار گرفت) به طوری که در این وضعیت امکان حصول تصاویری واضح از کانتور اتولیت وجود داشت. با استفاده از نور انعکاس یافته، تصاویر با کنتراست بالایی تهیه شدند، که در آن اتولیت‌ها اجسامی روشن در یک پس زمینه تیره بودند. با استفاده از نرم‌افزار ریخت‌شناسی Dist، طول اتولیت (OL)، بر حسب میلی‌متر، عرض اتولیت (OW)، بر حسب میلی‌متر، مساحت اتولیت (A)، بر حسب میلی‌متر مربع، محیط اتولیت (P)، بر حسب میلی‌متر (اندازه‌گیری شدند. این معیارها امکان محاسبه شش شاخص مرتبط با شکل را فراهم نمودند: فاکتور شکل (FF)، میزان گردی (RD)، نسبت تصویر (AR)، دایره‌ای شکل بودن (C)، مستطیلی شکل بودن (R) و بیضی شکل بودن (E) (Ponton, ۲۰۰۶) (جدول ۱).

جدول ۱: پارامترهای مربوط به ابعاد اتولیت و شاخص‌های شکلی

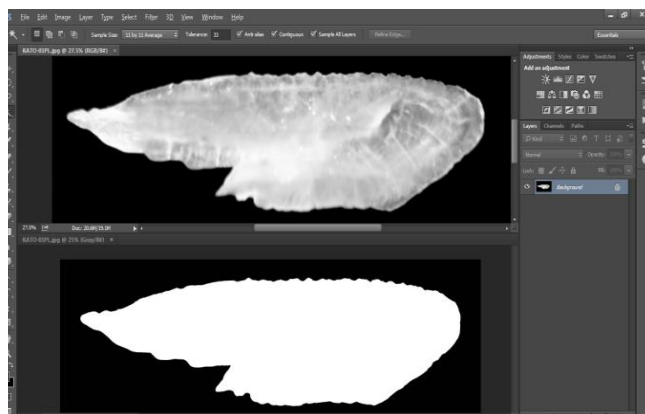
مورد استفاده	
پارامترهای اندازه	شاخص‌های شکلی مبتنی بر اندازه
مساحت (A) Area	گردی: $Circularity (C) = P^2 / A$
محیط (P) Perimeter	چهارگوشی: $Rectangularity (R) = A / (OL * OW)$
طول اتولیت (OL) Otolith length	عامل شکلی: $Form-Factor (FF) = (4\pi A) / P^2$
عرض اتولیت (OW) Otolith width	دایروی بودن: $Roundness (RD) = (4A) / (\pi OL^2)$
	بیضی بودن: $Ellipticity (E) = (OL - OW) / (OL + OW)$
	نسبت ابعادی: $Aspect Ratio (AR) = OL / OW$

فاکتور شکل ابزاری برای تخمین بی‌نظمی سطحی است، شاخص گردی و دایره‌ای، با توجه به ویژگی‌های یک دایره کامل، اطلاعاتی را در مورد شباهت ویژگی‌های مختلف ارائه می‌دهد، شاخص مستطیلی تغییر طول و عرض نسبت به مساحت را نشان می‌دهد و شاخص بیضی نشان‌دهنده این است که آیا تغییرات در محورها با یکدیگر متناسب هستند یا خیر. هم‌چنین این شاخص‌ها دارای واحد نیستند و نسبت عددی بدون واحد می‌باشند (Tuset و همکاران، ۲۰۰۳). با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ تصاویر تهیه شده از اتولیت‌های چپ به تصاویر سیاه و سفید تبدیل (شکل ۱) و عکس‌های سیاه و سفید آن‌ها با فرمت JPEG ذخیره شدند. سپس به کمک نرم‌افزار Microsoft Office Picture Manager به صورت گروهی به تصاویر Bitmap تمام

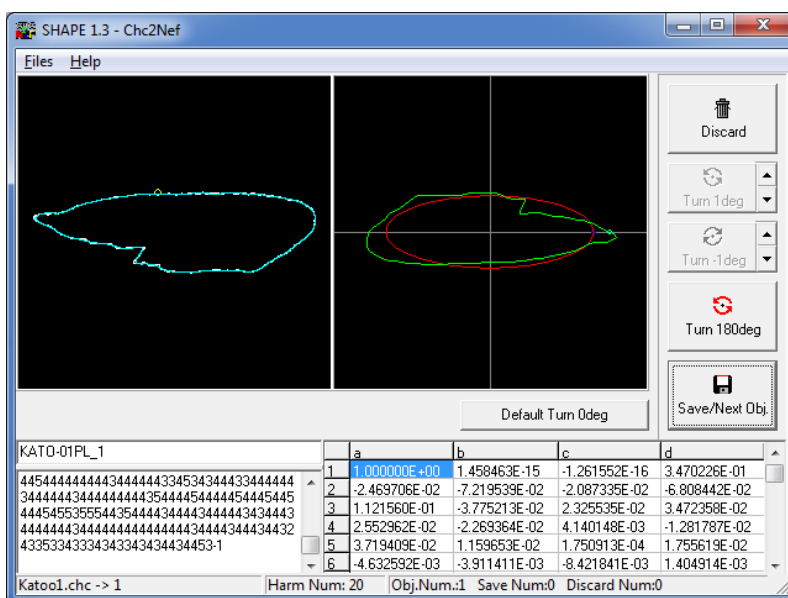




شکل ۲: محیط نرم افزار Shape که تصویر باینری را به کدهای زنجیری تبدیل می کند.



شکل ۱: محیط نرم افزار فتوشاپ برای تبدیل شکل اتولیت به قالب سیاه و سفید (باینری)



شکل ۳: محیط نرم افزار Chc2Nef مورد استفاده برای تبدیل کدهای زنجیری به ضرایب فوریه بیضوی

در شکل اتولیت به دست آمده از شاخص های شکل و ضرایب فوریه اصلی و آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA) مورد استفاده قرار گرفت. این آنالیز تعداد متغیرها را کاهش داده و تحلیل آماری را آسان می کند (Renen و همکاران، ۲۰۱۱) اختلاف داده ها نیز از طریق تحلیل تشخیص کانونی (CDA) مورد بررسی قرار گرفت. روش CDA به شکل کارآمد و به طور خلاصه به توصیف تفاوت های بین گروهی در اثر تغییرات درون گروهی می پردازد (صرف نظر از این که چگونه این تفاوت باعث بروز تغییر در تمامی نمونه ها می گردد). روش دیگر ارزیابی خطا، اعتبار سنجی متقاطع (Leave-one-out cross-validation) است. درستی تفکیک گروه ها با استفاده از روش اعتبار سنجی متقاطع از طریق برنامه SPSS نسخه ۲۰ انجام شد (Pavlov، ۲۰۱۶).

۲۰ هارمونیک نخست در تحلیل انجام شده به کار رفتند، چون این هارمونیک ها عامل بیش از ۹۹/۹٪ تغییر شکل بوده اند و بنابراین در تحلیل آماری چندمتغیره، ۷۷ متغیر به کار گرفته شدند (چهار ضریب فوریه به ازای هر هارمونیک منهای سه ضریب ثابت) (Tracey و همکاران، ۲۰۰۶). ابتدا نرمال بودن و همگن بودن هارمونیک های به دست آمده از نرم افزار Shape توسط آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد بررسی قرار گرفته، داده های غیرنرمال حذف و سپس شاخص های شکلی و ضرایب فوریه در هر سه گونه به وسیله آنالیز مؤلفه های اصلی (Principal Component Analysis) و تحلیل تشخیصی کانونی (Canonical Discriminant Analysis) و با برنامه SPSS نسخه ۲۰ مقایسه شدند (Xin و همکاران، ۲۰۱۴). به منظور خلاصه نمودن واریانس

نتایج

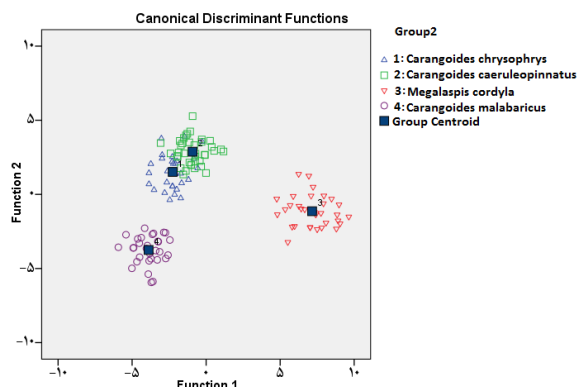
بالایی از موفقیت طبقه‌بندی نماید *C. caeruleopinnatus* (۴/۶۸ تا ۹/۷۸) *M. cordyla* (۰/۷۵ تا ۵/۸۷) و *C. malabaricus* (۰/۷۵ تا ۳/۸۱) آسان‌تر از گونه *C. chrysophrys* تفکیک شد. در گونه *C. chrysophrys* (۴/۴۸ تا ۳/۶۱)، گرایش به سمت خطا در طبقه‌بندی وجود داشت. در کل مقادیر به‌دست آمده طبقه‌بندی بر مبنای ضرایب فوریه بیضوی (۷/۷۳)، دامنه تغییرات ۴/۴۸ تا ۴/۸۴ موفقیت بیش‌تری را نسبت به طبقه‌بندی بر مبنای شاخص‌های شکلی به تنهایی (۲/۷۲)، محدوده ۱/۵۸ تا ۵/۸۷ یا ترکیبی از هر دو (۲/۷۲)، محدوده ۳/۶۱ تا ۳/۷۶ نشان می‌دهد.

به‌منظور مقایسه کارایی شاخص‌های شکلی و ضرایب فوریه بیضوی، شاخص‌های شکلی مرتب شده و ضرایب اصلی فوریه به سه روش مورد استفاده قرار گرفتند: فقط استفاده از شاخص‌های شکلی مرتب شده، صرفاً استفاده از ضرایب اصلی فوریه، یا ترکیبی از هر دو (جدول ۲). در جدول ۲، معادله تشخیصی که در آن از شاخص‌های شکلی، ضرایب فوریه بیضوی، یا ترکیبی از هر دو استفاده شده است، این جدول توانست به شکل کارآمدی سه گونه گیش ماهی را با درصد

جدول ۲: نتایج اعتبارسنجی متقاطع حاصل از تابع تشخیصی مربوط به شناسایی چهار گونه از گیش ماهیان

اعضای گروه پیش‌بینی شده				جمع موفقیت	شرح	
گیش باله‌افشان	گیش درخشان	کتو	گیش خال سفید			
۱۸	۵	۲	۶	۹۶	تعداد	گیش باله افشان گیش درخشان کتو
۵	۲۶	۲	۵			
۱	۳	۲۸	۰			
۳	۵	۰	۲۴			
۵۸/۱	۱۶/۱	۶/۵	۱۹/۴	۷۲/۲٪	درصد	شاخص‌های شکلی گیش باله افشان گیش درخشان کتو
۱۳/۲	۶۸/۴	۵/۳	۱۳/۲			
۳/۱	۹/۴	۸۷/۵	۰			
۹/۴	۱۵/۶	۰	۷۵			
۱۵	۷	۲	۷	۹۸	تعداد	گیش باله افشان گیش درخشان کتو
۵	۳۰	۲	۱			
۲	۲	۲۷	۱			
۴	۱	۱	۲۶			
۴۸/۴	۲۲/۶	۶/۵	۲۲/۶	۷۳/۷٪	درصد	ضرایب فوریه گیش باله افشان گیش درخشان کتو
۱۳/۲	۷۸/۹	۵/۳	۲/۶			
۶/۳	۶/۳	۸۴/۴	۳/۱			
۱۲/۵	۳/۱	۳/۱	۸۱/۳			
۱۹	۶	۱	۵	۹۶	تعداد	گیش باله افشان گیش درخشان کتو
۷	۲۹	۱	۱			
۱	۷	۲۴	۰			
۴	۳	۱	۲۴			
۶۱/۳	۱۹/۴	۳/۲	۱۶/۱	۷۲/۲٪	درصد	شاخص‌های شکلی + ضرایب فوریه گیش باله افشان گیش درخشان کتو
۱۸/۴	۷۶/۳	۲/۶	۲/۶			
۳/۱	۲۱/۹	۷۵	۰			
۱۲/۵	۹/۴	۳/۱	۷۵			





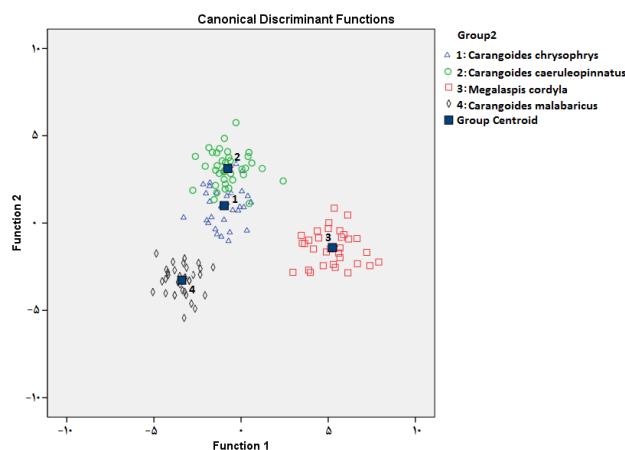
شکل ۶: پراکندگی برای تحلیل تابع تشخیص چهارگونه گیش ماهیان با استفاده از شاخص‌های شکلی به همراه ضرایب فوریه بیضوی

در بین شاخص‌های شکلی، شاخص بیضوی بیش‌ترین سهم را در تابع کانونی ۱ و شاخص نسبت ابعادی بیش‌ترین سهم را در تابع کانونی ۲ داشت (جدول ۳). در بین مؤلفه‌های اصلی تحلیل فوریه بیضوی، مؤلفه اصلی ۲، بیش‌ترین سهم را در تابع کانونی ۱ و مؤلفه اصلی ۳ بیش‌ترین سهم را در تابع کانونی ۲ دارد.

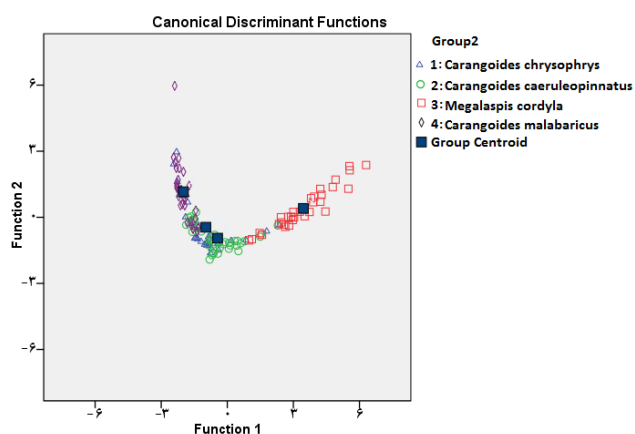
نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشانگر این موضوع است که درصد واریانس در مؤلفه‌های اصلی اول هرگونه بیش‌ترین میزان را داشته و مؤلفه‌های اصلی به ترتیب در حال کاهش می‌باشند. ولی واریانس تجمعی بیانگر این مطلب است که شکل تخمین زده شده توسط تبدیل فوریه بیضوی تا چه میزان قادر به توضیح تصویر گونه مربوطه است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، کم‌ترین واریانس و بیشترین اختلاف شکل مربوط به گونه *M. cordyla* با درصد واریانس ۴۰/۶۸۷ می‌باشد، در حالی که بیش‌ترین واریانس و کم‌ترین اختلاف برای گونه *C. chrysophrys* با درصد ۵۸/۷۷ مشاهده می‌شود. برای رسیدن به درصد واریانس تجمعی بالاتر از ۹۹/۹۹٪ ضروری است تا ۳۵ مؤلفه اصلی لحاظ گردند. از ستون آخر جدول ۳، بیشینه درصد واریانس تجمعی به دست آمده با احتساب ۹ مؤلفه اصلی برابر با ۹۲/۸۵٪ و برای گونه *C. chrysophrys* مشاهده می‌شود.

در شکل ۷ کانتورهای بازسازی شده به کمک ۹ مؤلفه اصلی توسط برنامه PrinPrint برای چهار گونه گیش ماهیان آورده شده است.

نتایج تحلیل معادله تشخیصی نشان داد که تابع ۱ توجیه‌کننده ۴۸/۸ تا ۸۳/۳٪ واریانس کل بوده و با استفاده از تحلیل فوریه بیضوی یاد حالت ترکیب با شاخص‌های شکلی به آسانی، گونه‌های *M. cordyla* و *C. malabaricus* را از سایر گونه‌ها تفکیک می‌کند (اشکال ۴ و ۶). در تحلیل تشخیصی با استفاده از شاخص‌های شکلی به تنهایی، تفکیک مناسبی در بین گونه‌ها انجام نگرفت (شکل ۵). معادله ۲ تنها ۱۳/۵٪ تا ۳۰/۳٪ کل واریانس را توجیه نمود، اما قادر بود تا با استفاده از تحلیل فوریه بیضوی به صورت کارآمدی گونه‌های *M. cordyla* و *C. malabaricus* را شناسایی کند. این در حالی است که به نظر می‌رسد گونه‌های *C. caeruleopinnatus* و *C. chrysophrys* خصوصیات ریخت‌شناسی مشابهی داشته باشند (اشکال ۴ تا ۶).



شکل ۴: پراکندگی برای تحلیل تابع تشخیص چهارگونه گیش ماهیان با استفاده از ضرایب فوریه بیضوی

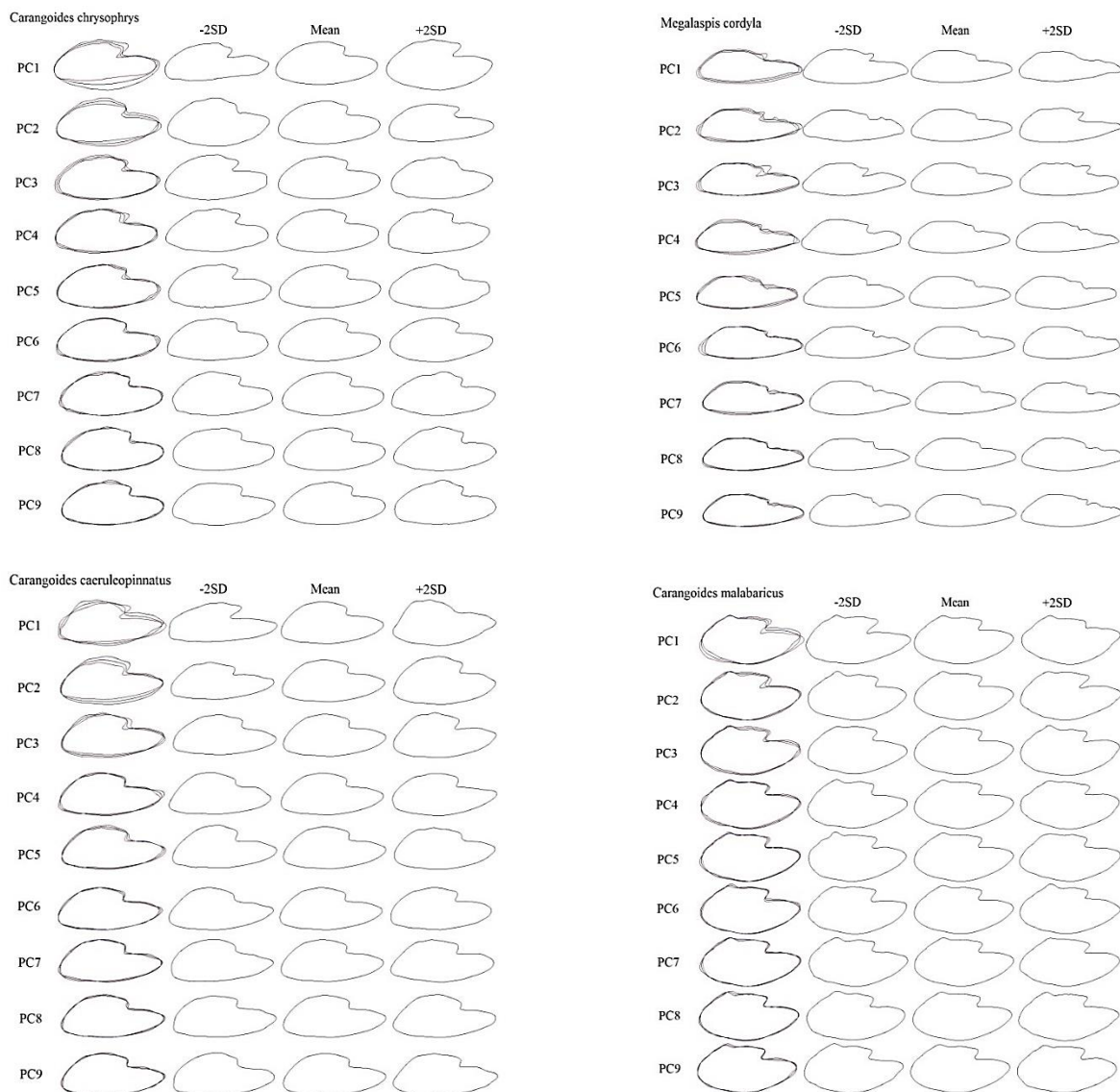


شکل ۵: پراکندگی برای تحلیل تابع تشخیص چهارگونه گیش ماهیان با استفاده از شاخص‌های شکلی

جدول ۳: تابع ساختار ماتریس شاخص‌های شکلی

۳	۲	۱	
-۰/۱۰۴	-۰/۳۷۴	۰/۸۹۶	LOE
۰/۱۰۶	۰/۴۴۵	-۰/۸۶۰	LOAR
-۰/۱۶۵	۰/۴۰۰	-۰/۷۸۶	RLO
-۰/۳۰۳	-۰/۰۰۳	۰/۵۵۷	LOC
۰/۳۷۵	۰/۰۴۱	-۰/۵۰۶	LOFF
-۰/۶۳۸	-۰/۰۳۰	۰/۰۷۶	LOR

LOE: بیضویت اتولیت چپ، LOAR: نسبت ابعادی اتولیت چپ، RLO: گردی اتولیت چپ، LOC: فشردگی اتولیت چپ، LOFF: ضریب شکل اتولیت چپ، LOR: چهارگوشی اتولیت چپ



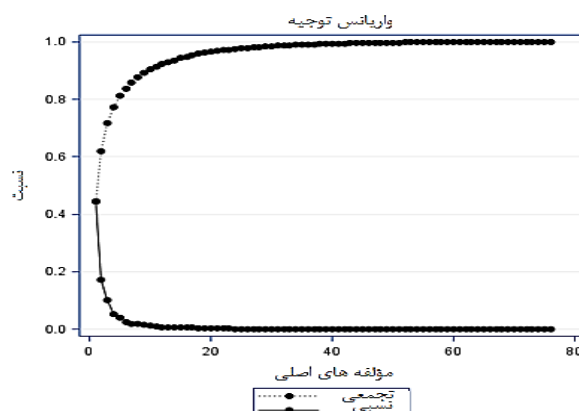
شکل ۷: کانتورهای بازسازی شده اتولیت‌های سمت چپ براساس تحلیل مولفه اصلی ضرایب فوریه ۲SD،

دو انحراف استاندارد و M، میانگین کانتور

جدول ۴: مقادیر ویژه، واریانس کل و سهم هر شکل حاصل از تابع بیضوی فوریه چهارگونه از گیش ماهیان

Prin9	Prin8	Prin7	Prin6	Prin5	Prin4	Prin3	Prin2	Prin1	
گیش باله افشان									
۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۲۸۵	Eigenvalue
۱/۳۵	۱/۵۰	۱/۸۳	۲/۴۴	۳/۱۲	۴/۰۳	۷/۵۰	۱۲/۳۱	۵۸/۷۷	Proportion (%)
۹۲/۸۵	۹۱/۵۱	۹۰/۰۰	۸۸/۱۷	۸۵/۷۳	۸۲/۶۱	۷۸/۵۸	۷۱/۰۸	۵۸/۷۷	Cumulative (%)
گیش درخشان									
۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۱۷۹	Eigenvalue
۱/۸۰	۲/۲۴	۲/۶۹	۲/۹۳	۳/۸۰	۵/۱۳	۵/۷۳	۱۳/۳۰	۵۴/۷۷	Proportion (%)
۹۲/۳۹	۹۰/۵۹	۸۸/۳۵	۸۵/۶۶	۸۲/۷۳	۷۸/۹۳	۷۳/۸۰	۶۸/۰۷	۵۴/۷۷	Cumulative (%)
کتو									
۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۲۰۵	Eigenvalue
۱/۴۵	۱/۸۲	۲/۲۹	۳/۶۷	۶/۲۹	۸/۴۶	۱۳/۶۸	۱۳/۷۹	۴۰/۶۹	Proportion (%)
۹۲/۱۴	۹۰/۶۹	۸۸/۸۷	۸۶/۵۸	۸۲/۹۱	۷۶/۶۲	۶۸/۱۶	۵۴/۴۷	۴۰/۶۹	Cumulative (%)
گیش خال سفید									
۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۱۵۳	Eigenvalue
۱/۷۲	۱/۹۱	۲/۱۷	۳/۱۳	۳/۳۸	۷/۴۷	۱۰/۲۰	۱۴/۱۵	۴۷/۲۷	Proportion (%)
۹۱/۴۰	۸۹/۶۹	۸۷/۷۷	۸۵/۶۰	۸۲/۴۷	۷۹/۰۸	۷۱/۶۲	۶۱/۴۲	۴۷/۲۷	Cumulative (%)

ریخت‌شناسی بررسی شود (MacLellan و Stransky, ۲۰۰۵). شکل اتولیت برای هرگونه منحصر به فرد است و از طریق ژنتیکی تنظیم می‌گردد. بنابراین، شکل اتولیت در سطح بین گونه‌ای متفاوت است و می‌تواند جهت تفکیک گونه‌ها (Ferri و Skeljo, ۲۰۱۲؛ Tuset و Rosin, ۲۰۰۶)، نمونه‌های فسیل و تحلیل محتوای معده (Reichembacher و همکاران, ۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گیرد. شاخص‌های شکلی اتولیت در مطالعات متعددی جهت تمایز گونه‌ها (Sadighzadeh و همکاران, ۲۰۱۲؛ Zorica و همکاران, ۲۰۱۰) و جمعیت‌های ماهیان (Legua و همکاران, ۲۰۱۳؛ Merigot و همکاران, ۲۰۰۷؛ Tuest و همکاران, ۲۰۰۳) و نیز جهت مقایسه شکل‌های اتولیت چپ و راست در نمونه‌های موجود در یک ذخیره (Lord و همکاران, ۲۰۱۲؛ Morat و همکاران, ۲۰۰۸) استفاده می‌شوند. شاخص‌های شکلی و ضرایب فوریه بیضوی به شکل گسترده‌ای جهت تفکیک بین گونه‌ای و درون گونه‌ای بر مبنای تحلیل ریخت‌شناسی اتولیت مورد استفاده قرار می‌گیرند. شاخص‌های شکلی به وسیله چندین معیار مرتبط با اندازه محاسبه می‌شوند، این شاخص‌ها برخی از جنبه‌های کانتورهای اتولیت را توصیف می‌کنند و در مواردی ابزار قدرتمندی را برای تفکیک فراهم می‌کنند ضرایب فوریه بیضوی بیانگر جزئیات کانتورهای اتولیت هستند و اطلاعات ریخت‌شناسی به دست آمده از تحلیل تصویر نسبت به اطلاعات ریخت‌شناسی به دست آمده از شاخص‌های شکلی دقیق‌تر هستند (Tuset و همکاران, ۲۰۰۳a,b). براساس تحلیل فوریه بیضوی کانتورهای



شکل ۸: نمودار واریانس تجمعی و نسبی چهارگونه گیش ماهیان

بحث

ترکیب تحلیل تصویر با تحلیل فوریه بیضوی روش کارآمدی را برای توصیف شکل اتولیت فراهم نموده است. این مطالعه بررسی است که با چندین روش به مقایسه داده‌های واقعی مرتبط با پروتکل‌های ریاضی می‌پردازد و نتایجی با قابلیت اطمینان زیاد فراهم می‌کنند. آنالیز فوریه به‌عنوان مهم‌ترین ابزار و قدرتمندترین تکنیک آنالیز شکل برای بررسی کامل تغییر شکل و تفاوت‌های فردی در مقیاس کوچک طرح اتولیت در نظر گرفته شد (Campana و Casselman, ۱۹۹۳)، ولی با این وجود تفسیر بیولوژیک پیچیده‌تر از آن است که با روش‌های



اتولیت و ارزیابی بعدی ضرایب فوریه با PCA و CDA، چهار گونه گیش ماهیان به طور واضح تری تفکیک شدند. شایان ذکر است که نویسندگان بسته نرم افزاری Shape (Iwata و Ukai، ۲۰۰۲) استفاده از نمرات مؤلفه‌های اصلی را توصیه نمودند، این نمرات در برنامه PrinComp و پس از انجام PCA بر روی ضریب فوریه محاسبه می‌شوند. با این وجود، نمرات مؤلفه اصلی در مطالعات معدودی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه تعداد ۲۳ مؤلفه اصلی همراه با مقادیر ویژه، درصد تجمعی و درصد واریانس در نظر گرفته شد و ۹ تای آن‌ها نمایش داده شده است. ضرایب نرمال شده فوریه بیضوی به طور مستقیم نمی‌توانند ویژگی‌های شکل را بیان کنند. زیرا به طور معمول تعداد ضرایب بسیار زیاد بوده و این که معنی ریخت‌شناسی هر ضریب جداگانه تفسیر گردد بسیار دشوار خواهد بود. هر چه تعداد نمونه بیش تر باشد، به علت تنوع شکل بیش تر، دستیابی به بازسازی میانگین شکل حاشیه اتولیت نیاز به تعداد ضرایب فوریه بیش تری دارد و تعداد ویژه مقادیرهای بیش تری برای توجیه درصد بالایی از تغییرات شکل لازم است. هنگامی که شکل حاشیه اتولیت با ۲۰ هارمونیک اولیه توصیف گره‌های فوریه بیان می‌شوند، تعداد ضرایب فوریه بیضوی نرمال شده به ۸۰ می‌رسد (صدیق‌زاده، ۱۳۹۱). در هنگام استفاده از آنالیز فوریه بیضوی، نیاز به وجود فواصل مساوی در امتداد محیط حاشیه‌ای نیست، هم‌چنین این روش به تعریف یک مرکز ثقل همسان بیولوژیک یا مرکز ژئومتری نیاز ندارد (Crampton، ۱۹۹۵).

فوریه بیضوی می‌تواند توصیف‌کننده شکل و جداکننده دسته‌های مختلف اجسام باشد. عملگرهای فوریه بیضوی محیط خارجی یک شیء را به یک سری بیضی تبدیل می‌کند که به آن‌ها هارمونیک گفته می‌شود و از لحاظ اندازه، شکل و جهت متفاوت می‌باشند. این هارمونیک‌ها به وسیله عملیات ریاضی مشخصی، تولید می‌شوند. مجموع تمام هارمونیک‌ها، محیط خارجی اولیه و اصلی را دوباره خلق می‌کند که میزان دقت این احیای دوباره، بستگی به تعداد هارمونیک‌های استفاده شده در تجزیه شکل دارد (Carlo و همکاران، ۲۰۱۱).
نتایج مطالعه حاضر نشان داد در مقایسه با تحلیل شاخص‌های شکلی، تحلیل با استفاده از ضرایب فوریه بیضوی باعث بهبود موفقیت طبقه‌بندی (۷۳/۷) در حین تفکیک بین گونه‌ای گردید. این نتایج مشابه با تمایز ذخایر ماهی *Scomberesox saurus saurus* ساکن شمال شرق اقیانوس اطلس و غرب دریای مدیترانه بود، که در آن ضرایب فوریه بیضوی نسبت به شاخص‌های شکلی (مانند دایره‌ای، مستطیلی و فاکتور شکل) ارجحیت داشتند، این در حالی است که ترکیب ضرایب فوریه بیضوی و شاخص‌های شکلی باعث بهبود موفقیت طبقه‌بندی می‌گردد (Brophy و Aguera، ۲۰۱۱). به کارگیری تحلیل‌های تشخیصی کانونی (Canonical Discriminant)

در این مطالعه، تفاوت‌های قابل ملاحظه بین چهار گونه گیش ماهیان و سطح بالایی از موفقیت با استفاده از ضرایب فوریه بیضوی در طبقه‌بندی را به همراه داشت. این نتایج مشابه با یافته‌های Simoneau و همکاران (۲۰۰۰) است که با آنالیز تشخیصی کانونی جمعیت از گونه قزل‌آلای دریاچه‌ای (Lake Trout)، *Salvelinus namaycush* در رودخانه‌های کانادا به دقت طبقه‌بندی حدوداً ۷۵ درصدی دست یافتند. نتایج کلی تحقیق پیش‌رو نشان داد توصیف گره‌های فوریه نسبت به شاخص‌های شکلی گرایش به ایجاد سطوح بالاتری از موفقیت در طبقه‌بندی دارند. ضرایب فوریه بیضوی بیانگر جزئیات کانتورهای اتولیت هستند و اطلاعات ریخت‌شناسی به دست آمده از تحلیل تصویر نسبت به اطلاعات ریخت‌شناسی به دست آمده از شاخص‌های شکلی دقیق‌تر هستند. بر این اساس، مطالعات قبلی پیشنهاد داده‌اند که توصیف‌گرهای فوریه نسبت به شاخص‌های شکلی گرایش به ایجاد سطوح بالاتری از موفقیت در طبقه‌بندی دارند (Xin و همکاران، ۲۰۱۴).

در مطالعه حاضر مشاهده می‌شود که ترکیب اندازه بر مبنای توصیف‌گرهای شکلی و توصیف‌گرهای فوریه بیضوی ابزاری سودمند در تفکیک ۴ گونه از گیش ماهیان خلیج فارس است. در این مطالعه با استفاده از تحلیل فوریه بیضوی یا در حالت ترکیب با شاخص‌های شکلی به آسانی، گونه‌های *M. cordyla* و *C. malabaricus* را از سایر گونه‌ها تفکیک شدند. این در حالی است که به نظر می‌رسد گونه‌های *C. caeruleopinnatu* و *C. chrysochrysis* خصوصیات ریخت‌شناسی مشابهی داشته باشند. در این مطالعه هم‌چنین تفاوت‌های بین گونه‌ای در شکل اتولیت شناسایی می‌شوند، که به احتمال زیاد، عمدتاً این تفاوت‌ها به مؤلفه ژنتیک مربوط می‌شوند. با این وجود، بر اساس اطلاعات بسیار زیادی که وجود دارد، شکل اتولیت فقط به ژنوتیپ (Genotype) بستگی ندارد. شکل اتولیت می‌تواند از طریق فاکتورهای محیطی مانند عمق، دما، نوع ماده تشکیل‌دهنده و شرایط تغذیه‌ای تعیین گردد (Sadighzadeh و همکاران، ۲۰۱۴؛ Vignon، ۲۰۱۲؛ Morat و Vignon، ۲۰۱۰؛ Morat و همکاران، ۲۰۰۸؛ Merigot و همکاران، ۲۰۰۷).

تحلیل مقایسه‌ای شکل‌های اتولیتی در اشکال و گونه‌های مشابه ابزار مفیدی است که می‌بایست در آینده به همراه روش‌های ریخت‌شناسی مقایسه‌ای و ژنتیک مولکولی جهت ارزیابی روابط تاکسونومیک در گونه‌های دیگر خانواده گیش ماهیان مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین به منظور افزایش دقت تفکیک گونه‌های مختلف با استفاده از تحلیل مورفولوژی اتولیت، تکنیک‌های جدید توصیف‌کننده حاشیه پیرامون شکل و روش‌های استخراج‌کننده ویژگی (مانند توصیف‌گرهای شکل مبتنی بر انحنای) می‌بایست ابداع شوند. بهره‌گیری از ویولت‌ها



of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 50, No. 1, pp: 1062-1083.

۱۰. **Carlo, J.M.; Brabeitos, M.S. and Lasker, H.R., 2011.** Quantifying complex shapes: Elliptical Fourier Analysis of Octocoral sclerites. The Biological Bulletin. Vol. 220, pp: 224-237.
۱۱. **Crampton, J.S., 1995.** Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. Lethaia. Vol. 28, pp: 179-186.
۱۲. **Devries, D.A.; Grimes, Ch.B. and Prager, M.H., 2002.** Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. Fisheries Research. Vol. 57, pp: 51-62.
۱۳. **Dou, S.Z.; Yu, X. and Cao, L., 2012.** Otolith shape analysis and its application in fish stock discrimination: a case study. Oceanologia et Limnologia Sinica. Vol. 43, pp: 702-712.
۱۴. **Gonzalez-Salas, C. and Lenfant, P., 2007.** Inter annual variability and intra-annual stability of the otolith shape in European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Bay of Biscay. Journal of Fish Biology. Vol. 70, pp: 35-49.
۱۵. **Iwata, H. and Ukai, Y., 2002.** Shape: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors, Journal of heredity. Vol. 93, pp: 384-385.
۱۶. **Kuhl, F.P. and Giardina, C.R., 1982.** Elliptic Fourier features of closed contour. Computer Graphics and Image Process. Vol. 18, pp: 236-258.
۱۷. **L'Abée-Lund, J.H., 1988.** Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L. Journal of Fish Biology. Vol. 33, pp: 899-903.
۱۸. **Legua, J.; Plaza, G.; Perez, D. and Arkhipkin, A., 2013.** Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. Latin American Journal of Aquatic Research. Vol. 41, No. 3, pp: 479-489.
۱۹. **Lestrel, P.E., 1997.** Fourier Descriptors and their Application in Biology. Cambridge University Press, UK. 466 p.
۲۰. **Lombarte, A.; Chic, O.; Parisi-Baradad, V.; Olivella, R.; Piera, J. and Garcia-Ladona, E., 2006.** A web-based environment for shape analysis of fish otoliths. Scientia Marina. Vol. 70, No.1, pp: 147-152.
۲۱. **Lord, C.; Morat, F.; Lecomte-Finiger, R. and Keith, P., 2012.** Otolith shape analysis for three Sicyopterus

(Wavelets) برای بالا بردن میزان تفکیک در بین چندین گونه نزدیک بسیار موثر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مسئولین محترم آزمایشگاه دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران به سبب همکاری در استفاده از امکانات و همه کسان که در مراحل مختلف این تحقیق همکاری کرده‌اند، تشکر می‌شود.

منابع

۱. **صدیق‌زاده، ز.؛ ولی‌نسب، ت.؛ وثوقی، غ.ح.؛ فاطمی، م.ر. و مطلبی، ع.ع.، ۱۳۹۱.** کاربرد کد تصویری زنجیری در آنالیز شکل اتولیت در دو گونه از ماهیان سرخو از جنس *Lutjanus* فصلنامه محیط زیست جانوری. سال ۴، شماره ۴، صفحات ۱۸۵-۱۹۸.
۲. **ولی‌نسب، ت.، ۱۳۹۲.** فرهنگ جامع اسامی ماهیان خلیج فارس و دریای عمان و دریای خزر. انتشارات موج سبز. ۳۴۰ صفحه.
۳. **Aguera, A. and Brophy, D., 2011.** Use of saggittal otolith shape analysis to discriminate Northeast Atlantic and western Mediterranean stocks of Atlantic saury, *Scomberesox saurus saurus* (Walbaum). Fisheries Research. Vol. 110, pp: 465-471.
۴. **Battaglia, P.; Malara, D.; Romeo, T. and Andaloro, F., 2010.** Relationships between otolith size and fish size in some mesopelagic and bathypelagic species from the Mediterranean Sea (Strait of Messina, Italy). Scientia Marina. Vol.74, pp: 605-612.
۵. **Begg, G.A.; Overholtz, W.J. and Munroe, N.J., 2001.** The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks on George Bank. Fishery Bulletin. Vol. 99, pp: 1-14.
۶. **Cadrin, S.X. and Friedland, K.D., 2005.** Morphometric outlines, in Stock Identification Methodology, Cadrin, S.X., et al., Eds., Amsterdam: Elsevier. pp: 173-184.
۷. **Campana, S.E., 2001.** Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. Journal of Fish Biology. Vol. 59, pp: 197-242.
۸. **Campana, S.E., 2005.** Otolith elemental composition as a natural marker of fish stocks. In: Stock Identification Methods. Academic Press, N.Y. pp: 227-245.
۹. **Campana, S.E. and Casselman, J.M., 1993.** Stock discrimination using otolith shape analysis. Canadian Journal



- Campeche Bank. 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute. pp: 200-206.
۳۲. **Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B; Siliprandi, C.C.; Brenha, M.R.; Giaretta, M.B.; Conversani, V.R.M. and Santificetur, C., 2014.** Atlas of marine bony fish otoliths (sagittae) of southeastern southern Brazil. Brazilian Journal of Oceanography. Vol. 62, pp: 1-103.
۳۳. **Sadighzadeh, Z.; Tuset, V.M.; Valinassab, T.; Dadpour, M.R. and Lombarte, A., 2012.** Comparison of different otolith shape descriptors and morphometric for the identification of closely related species of *Lutjanus* spp. from the Persian Gulf. Marine Biology Research. Vol. 8, pp: 802-814.
۳۴. **Sadighzadeh, Z.; Valinassab, T.; Lombarte, A. and Tuset, V., 2014.** Use of otolith shape for stock identification of Johns snapper, *Lutjanus johnii* (Pisces: Lutjanidae), from the Persian Gulf and the Oman Sea. Fisheries Research. Vol. 155, pp: 59-63.
۳۵. **Simoneau, M.; Casselman, J.M. and Forti, N.R., 2000.** Determining the effect of negative allometry (length/height relationship) on variation in otolith shape in lake trout (*Salvelinus namaycush*), using Fourier-series analysis. Canadian Journal of Zoology. Vol. 78, pp: 1597-1603.
۳۶. **Škeljo, F. and Ferri, J., 2012.** The use of otolith shape and morphometry for identification and size-estimation of five wrasse species in predator-prey studies. Journal of Applied Ichthyology. Vol. 28, pp: 524-530.
۳۷. **Stransky, C. and Mac Lellan, S.E., 2005.** Species separation and zoogeography of redfish (genus *Sebastes*) by otolith shape analysis, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 62, No. 10, pp: 2265-2276.
۳۸. **Tracey, S.R.; Lyle, J.M. and Duhamel, G., 2006.** Application of elliptical fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. Fisheries Research. Vol. 77, pp: 138-147.
۳۹. **Tuset, V.M.; Lozano, I.J.; Gonzalez, J.A.; Pertusa, J.F. and Garcí'a-Dí'az, M.M., 2003.** Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of scomber *Serranus cabrilla* (L., 1758). Journal of Applied Ichthyology. Vol. 19, pp: 88-93.
۴۰. **Tuset, V.M.; Lombarte, A.; Gonzales, J.A.; Pertusa, J.F. and Lorentes, M.J., 2003a.** Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp. Journal of Fish Biology. Vol. 63, pp: 1491-1504.
- (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae) species from New Caledonia and Vanuatu. Environmental Biology of Fishes. Vol. 93, pp: 209-222.
۲۲. **Merigot, B.; Letourneur, Y. and Lecomte-Finiger, R., 2007.** Characterization of local populations of the common sole *Solea solea* (Pisces, Soleidae) in the NW Mediterranean through otolith morphometrics and shape analysis. Marine Biology. Vol. 151, pp: 997-1008.
۲۳. **Morales-Nin, B., 2000.** Review of growth regulation processes of otolith daily increment formation. Journal of Fisheries Research. Vol. 46, pp: 53-67.
۲۴. **Morat, F.; Betoulle, S.; Robert, M., Thailly, A.F.; Biagianti-Risbourg, S. and Lecomte-Finiger, R., 2008.** What can otolith examination tell us about the level of perturbations of Salmonid fish from the Kerguelen Islands? Ecology of Freshwater Fish. Vol. 17, pp: 617-627.
۲۵. **Morat, F.; Mante, A.; Drunat, E.; Dabat, J.; Bonhomme, P.; Harmelin-Vivien, M. and Letourneur, Y., 2011.** Diet of the Mediterranean European shag, *Phalacrocorax aristotelis desmarestii*, its ecological significance and interaction with local fisheries in the Riou Archipelago (Marseilles, France). Vie Milieu. Vol. 61, pp: 77-86.
۲۶. **Paxton, J.R., 2000.** Fish otoliths: Do sizes correlate with taxonomic group, habitat and/or luminiscense? Royal Society. Vol. 355, pp: 299-1303.
۲۷. **Pavlov, D.A., 2016.** Differentiation of Three Species of the Genus *Upeneus* (Mullidae) Based on Otolith Shape Analysis. Journal of Ichthyology. Vol. 56, No. 1, pp: 37-51.
۲۸. **Ponton, D., 2006.** Is geometric morphometric efficient for comparing otolith shape of different fish species? Journal of Morphology. Vol. 267, pp: 750-757.
۲۹. **Reed, D.L.; Carpenter, K.E.; and deGravelle, M.J., 2002.** Molecular systematic of the Jacks (Perciformes: Carangidae) based on mitochondrial cytochrome b sequences using parsimony, likelihood, and Bayesian approaches. Molecular Phylogenetics and Evolution. Vol. 23, pp: 513-524.
۳۰. **Reichembacher, B.; Sienknecht, U.; Küchenhoff, H. and Fenske, N., 2007.** Combined otolith morphology and morphometry for assessing taxonomy and diversity in fossil and extant Killifish (*Aphanius prolebias*). Journal of Morphology. Vol. 268, pp: 898-915.
۳۱. **Renán, X.; Pérez-Díaz, E.; Colás- Marrufo, T.; Garza Pérez, J. and Brulé, T., 2010.** Using Otolith Shape Analysis to Identify Different Stocks of *Epinephelus morio* from the



۴۱. **Tuset, V.M.; Lozano, I.J.; González, J.A.; Pertusa, J.F. and García- Díaz, M.M., 2003b.** Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology*. Vol. 19, pp: 88-93.
۴۲. **Tuset, V.M. and Rosin, P.L., 2006.** Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus*. *Fisheries Research*. Vol. 81, pp: 316-325.
۴۳. **Valinassab, T.; Seifabadi, J.; Homauni, H. and Afraie Bandgi, M.A., 2012.** Relationships between fish size and otolith morphology in ten clupeids from the Persian Gulf and Gulf of Oman. *Cybium*, Vol. 36, No, 4, pp: 505-509.
۴۴. **Vignon, M. and Morat, F., 2010.** Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non indigenous tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 411, pp: 231-241.
۴۵. **Vignon, M., 2012.** Ontogenic trajectories of otolith shape during shift in habitat use: interaction between otolith growth and environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 420-421, pp: 26-32.
۴۶. **Yu, X.; Cao, L.; Liu, J; Zhao, B.; Shan, X. and Dou, S., 2014.** Application of otolith shape analysis for stock discrimination and species identification of five goby species (Perciformes: biidae) in the northern Chinese coastal waters. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. Vol. 32, pp: 1060-1073.
۴۷. **Zorica, B.; Sinovčić, G. and Čikeš Keč, V., 2010.** Preliminary data on the study of otolith morphology of five pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). *Acta Adriat*. Vol. 51, No. 1, pp: 89-96.

