



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد دهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۵۱-۶۱

<http://japu.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/japu.2021.15110.1561

مقاله کامل علمی - ترویجی

بررسی شکل، ساختار و عملکرد فلس در برخی گونه‌های ماهیان

سید علی اکبر هدایتی^{۱*}، ظاهره باقری^۲ و مهسا یازرلو^۳

^۱دانشیار گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
^۲استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، مؤسسه تحقیقات شیلات ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،
چابهار، ایران

^۳دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳

چکیده

فلس ماهیان معمولاً به عنوان یک ابزار ساده، اما مؤثر برای مطالعه شرایط زندگی ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلس‌ها نه تنها نشان‌دهنده تغییرات متابولیکی بدن ماهی می‌باشند بلکه منعکس‌کننده شرایط اکولوژیکی زیستگاه ماهیان نیز هستند. آن‌ها علاوه بر این که ماهیان را در برابر آسیب‌های مکانیکی محافظت می‌کنند به عنوان یک منبع غذایی مهم در ذخیره کلسیم و سایر مواد معدنی به‌شمار می‌آیند. در پژوهش حاضر به بررسی روش‌ها و ابزارهای مطالعه ساختارها و بررسی ریز ساختارهای سطحی فلس، ساختارهای اکوفیزیولوژیکی فلس‌ها و تنوع گونه‌ای فلس‌ها در ماهیان غضروفی، مار ماهیان و گربه‌ماهیان پرداخته شده است. در مجموع مشخص شد که فلس‌ها در سفره ماهیان و سپر ماهیان مشخصاً تنها به صورت چند ردیف دندانک‌های بزرگ بر روی بدن ماهی یافت می‌شوند و گاهی اوقات تغییر شکل می‌یابند و به صورت خار در می‌آیند. یک فلس پلاکوئید مشخصاً شامل یک صفحه قاعده‌ای پهن و مستطیلی است که در لایه بالایی درم فرورفته و یک نوک تیز یا خار که به سمت عقب از سطح اپیدرم به بیرون زده است. اگرچه برخی از مار ماهیان دارای فلس مشخصی نیستند ولی در بسیاری از مار ماهیان فلس‌های سیکلوئید کوچک و بیضوی وجود دارد که بر روی پوست قرار می‌گیرد. گربه‌ماهیان عموماً فلس واضح و یکنواخت ندارند و بدن آن‌ها اغلب برهنه است که در بعضی از گونه‌ها پوست از مخاط پوشیده شده و در تنفس جلدی و در برخی پوست با صفحات استخوانی موسوم به اسکویوت پوشانده شده است. در نهایت از بین گروه‌های مورد بررسی، به جز گربه‌ماهیان وجود ساختار واضح و پوستی فلس در همگی تأیید شد.

واژه‌های کلیدی: آبزی، پوست، تنوع زیستی، فلس، فیزیولوژی

* مسئول مکاتبه: hedayati@gau.ac.ir

مقدمه

پوست ماهیان همانند سایر مهره‌داران از دو لایه تشکیل شده است که شامل لایه خارجی (اپیدرم) و لایه داخلی (درم یا کوریوم) می‌باشد. اپیدرم بافت پوششی چند لایه است و از لایه اکتوردرم جنین منشأ می‌گیرد و درم ساختار فیبری با سلول‌های نسبتاً کم است و از مزانشیم جنین با منشأ مزودرمی منشأ می‌گیرد. معمولاً در ماهیان اپیدرم از درم نازک‌تر است ولی ضخامت آن بستگی به گونه ماهی، سن، شرایط محیطی و شیره دارد. در اپیدرم تعدادی اندام‌های ضمیمه مثل گیرنده‌های حساس، پل‌ها، غدد موکوسی، غدد سمی و اندام‌های درخشان وجود دارند که این اندام‌ها در گونه‌های مختلف ماهی‌ها، اختصاصی هستند. پوست پوششی است که بدن موجود را از محیط جدا می‌کند و نقش حفاظتی برای موجود دارد و بسیاری از ارتباطات با محیط خارج از طریق آن صورت می‌گیرد. پوست ماهی با وظایف متعدد و نقش‌های مهم حفاظت، برقراری ارتباط، دریافت پیام‌های حسی، حرکت، تنفس، تنظیم یونی، ترشح و تنظیم حرارتی را به عهده دارد (نلسون و همکاران، ۲۰۱۶).

بدن بیش تر ماهیان، از فلس (پولک، Scales) پوشیده شده است. فلس‌ها از ماده شاخی یا استخوانی هستند. برخی از آن‌ها با یک لایه نازک بسیار سخت به نام مینا (Enamel) پوشیده شده‌اند. فلس‌ها نازک و بیش‌تر نیمه نیمه روی هم قرار می‌گیرند. فلس‌ها در مارماهی جدا و بسیار کوچک است و در برخی ماهیان پهن (Flounders) کوچک و تکمه مانند است و در خارپشت ماهیان یا ماهیان خاردار، به شکل خارهای باریک هستند. فلس‌هایی که در تارپون (Tarpon) روی هم قرار می‌گیرند، پهنای آن‌ها پنج سانتی‌متر است (مویله و کچ، ۲۰۰۴).

سر برخی از ماهیان بدون فلس است، فلس‌ها در برخی از ماهیان، در تمام سر و بدن و یا بدن در کنار یکدیگر و به صورت نیمه نیمه بر روی هم قرار گرفته اند و در برخی دیگر، به صورت پراکنده و در برخی نیز تنها در بخشی از بدن و یا به صورت خطی کشیده دیده می‌شود. سر و بدن برخی از ماهیان، اعم از زنده و سنگواره (فسیل)، از فلس‌های ستبر بزرگی به صورت تکه‌های زره مانند، هم‌چون کیل و مهره‌های استخوانی، پوشیده است.

تنوع گونه‌ای در ماهیان مختلف متفاوت است، به‌عنوان مثال در کپور ماهیان فلس‌ها از قسمت میانی بدن شروع به ظاهر شدن می‌کنند (زیر باله پشتی)، در مارماهی از ناحیه وسط تنه، در ماهی سوف فلس‌ها در ناحیه دمی شروع به ظهور می‌کنند. در ماهی کفال محل ابتدای رویش فلس و جایگاه آن به‌عنوان کلید شناسایی به‌کار می‌رود. در برخی از ماهیان مثل کلمه دریای خزر (*Rutilus rutilus*)، مرز بین قسمت قدامی و خلفی فلس خیلی مشخص است ولی در اکثر ماهیان هرینگ این دو قسمت به‌راحتی از هم تشخیص داده نمی‌شوند. در برخی از ماهیان مانند شگ ماهیان فلس‌ها براحتی از بدن کنده می‌شوند ولی در برخی دیگر مانند سوف ماهیان و ماهی سفید دریای خزر به‌خصوص در فصل تخم‌ریزی در نتیجه فعالیت‌های مختلف هورمونی به سختی از بدن جدا می‌شوند. فلس‌های ریخته شده ماهیان توسط فلس‌های تازه جایگزین می‌شوند ولی مرکز این فلس‌ها خطوط منظمی نداشته و برای تعیین مناسب نیستند (نلسون و همکاران، ۲۰۱۶).

فلس‌ها در سراسر عمر می‌رویند و رشد می‌کنند و اندازه آن‌ها در هر ماهی افزایش می‌یابد. پوشش بدن پوست‌اندازی ندارد، ولی به گونه اتفاقی ممکن است فلس‌ها از بین بروند و دوباره فلس‌های دیگری

است که از خارج به وسیله مینا (Enamel) پوشیده شده است. فلس بدن بیش تر ماهیان سنگواره (فسیلی) و برخی از گونه‌های ماهیان معاصر هم چون تاس ماهیان (ماهیان خاویاری) از این گونه است. فلس دایره‌ای (Cycloid): فلس سیکلوئیدی (Cycloid) یا گرد یا دایره‌ای، فلسی است گردسان، نازک و دارای لبه‌های صاف، مانند: فلس کپورماهیان، اردک ماهیان و... فلس شانه‌ای (Ctenoid): فلس کتنوئیدی (Ctenoid) یا شانه‌ای، عبارت از صفحه‌های به نسبت گردی است که در سمت آزاد عقب آن دندان یا خارهای کوچک نرمی وجود دارد، مانند فلس ماهی سوف. فلس شانه‌ای به واسطه وجود توبرکول‌های دندان‌های شانه‌مانند در انتهای خلفی از فلس‌های گرد تشخیص داده می‌شوند. وظیفه این شانه‌ها بهبود بخشیدن کارایی هیدرودینامیکی شنا است (هلفمن و همکاران، ۱۹۹۷).

روش‌ها و ابزارهای مطالعه ساختارها و بررسی ریزساختارهای سطحی فلس: فلس ماهیان معمولاً به‌عنوان یک ابزار ساده، اما مؤثر برای مطالعه شرایط زندگی ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلس‌ها نه تنها نشان‌دهنده تغییرات متابولیکی بدن ماهی می‌باشند بلکه منعکس‌کننده شرایط اکولوژیکی زیستگاه ماهیان نیز هستند. آن‌ها علاوه بر این‌که ماهیان را در برابر آسیب‌های مکانیکی محافظت می‌کنند به عنوان یک منبع غذایی مهم در ذخیره کلسیم و سایر مواد معدنی به شمار می‌آیند. تعداد و نوع عناصر موجود در فلس و آنالیز DNA می‌تواند در بررسی‌های جمعیت‌های یک گونه و مقایسه‌های میان گونه‌ای به کار رود (نلسون و همکاران، ۲۰۱۶).

در ابتدا باید با انجام کارهای مقدماتی مشخص شود که فلس‌ها به چه شکلی هستند و کدام قسمت سن را مشخص می‌کند (نزدیک سر، تنه و دم). اغلب ناحیه بین

برویند. بچه‌ماهیان ابتدا فلس ندارند و هنگامی که بدن آن‌ها دارای طول معینی می‌گردد، فلس‌ها ظاهر می‌شوند. فلس‌ها در جیب پوستی واقع در لایه زیرین پوست قرار دارند و سرعت رشد آن‌ها، همگام با سرعت رشد بدن ماهیان است (گویی و هانت، ۲۰۲۰). بیش‌ترین رشد فلس در ماهیان قبل از بلوغ می‌باشد. معمولاً روی فلس‌های سری خطوطی دیده می‌شوند که این کانال‌ها Radius خوانده می‌شوند که از مرکز فلس به طرف لبه آن‌ها کشیده شده‌اند و بنام کانال‌های شعاعی باعث انعطاف‌پذیری آن‌ها به‌خصوص در فلس‌های ضخیم می‌شوند. اما در اغلب ماهیان پس از سرپوش آبششی فلس‌ها شروع به رویش می‌کنند. تمام ماهیان متولدشده در هنگام لاروی در ابتدا فاقد فلس هستند ولی پس از مدتی فلس‌ها شروع به رشد می‌کنند. فلس‌ها در یک زمان در تمام قسمت‌های بدن ماهی شروع به رویش نمی‌کنند که دانستن این امر در تعیین سن ماهی با استفاده از فلس مهم است. ساختمان، شکل، تعداد و ترکیب قرار گرفتن فلس‌ها، گذشته از این که بیان‌گر اطلاعات مهمی درباره میزان رشد و نمو، تعیین سن، تخم‌ریزی و... هستند، برای رده‌بندی ماهیان نیز دارای ارزش فراوانی است. روی فلس‌ها را ماده لزجی که درصد آن در ماهیان مختلف فرق می‌کند، فرا گرفته است. این ماده اصطکاک بدن ماهی را کم کرده و سرعت حرکت ماهی را در آب افزایش می‌دهد (وایتمن، ۲۰۰۰).

فلس‌ها به دسته‌های زیر دسته‌بندی می‌شوند: فلس‌های صفحه‌ای (Placoid): فلس‌های دوران عتیق، پلاکوئیدی (Placoid) یا صفحه‌ای، عبارت از صفحه‌های ریزی است که در پوست فرورفته و خارهای عقب برگشته آن‌ها نمایان است. فلس‌های صفحه‌ای را در کوسه‌ماهیان و ماهیان چهارگوش و تریبی می‌توان دید. فلس گانوئیدی (Ganoid) یا درخشانده یا لوزوی، به شکل صفحات لوزی مانند

برای اندازه‌گیری طولی ماهی از تخته بیومتری و اندازه‌گیری طول سر، قطر چشم، طول پوزه از کولیس با دقت ۰/۱ استفاده می‌شود. خصوصیات مرستیکی هم‌چون مهره‌ها، شعاع باله، فلس‌ها شمارش شدند. شعاع‌های باله از دو نوع شعاع‌های سخت (خار) و شعاع‌های نرم تشکیل شده‌اند. در نمونه‌های بزرگ تشخیص شعاع‌ها و خارها ساده‌تر می‌باشد. خارها به وسیله اعداد رومی و شعاع‌ها به وسیله اعداد لاتین مشخص می‌شوند. معمولاً باله‌های مخرجی و پشتی در شعاع‌های انتهایی از پایه به‌طور طولی به دو شاخه تقسیم می‌شوند، از این‌رو هر دو شاخه یک شعاع شمارش می‌شوند. فلس‌های خط جانبی (LL) تعدادشان از روی فلس‌های سوراخ‌دار روی خط جانبی (بین گوشه بالایی سرپوش آبششی و پایه باله دم) و فلس‌های بالای خط جانبی و پایین آن بدین طریق شمارش می‌گردد. فلس‌های بالای خط جانبی از ابتدای باله پشتی رو به پایین در جهت عقب فلس تا خط جانبی و فلس پایین خط جانبی از ابتدای باله سینه‌ای رو به بالا تا خط جانبی شمارش می‌شود. در مجموع از هر نوع ماهی حداقل یک تا چند گونه انتخاب شده (غضروفی، استخوانی، غضروفی استخوانی) و ساختار فلسی آن مشخص می‌گردد (وایتمن، ۲۰۰۰).

اهمیت ریخت‌شناسی فلس ماهی با معرفی روش‌های میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) به اوج خود می‌رسد به طوری که تاکنون فلس‌های ماهیان مختلفی به وسیله میکروسکوپ الکترونی نگاره مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر رده‌بندی، فلس ماهی استفاده‌های فراوان دیگری از جمله بررسی الگوهای خاص رشد، تاریخچه زندگی ماهی‌ها و شناسایی جمعیت‌ها و ذخایر آن‌ها دارد. فلس ماهیان هم‌چنین اطلاعات ارزنده‌ای را در مورد شناسایی ماهی، بررسی روابط فیلوژنتیکی، دو شکلی جنسی، تعیین سن،

جلوی باله پشتی و خط جانبی بهترین ناحیه برداشت فلس است. فلس‌ها در این قسمت حالت نرمال دارند. به طور کلی برای تعیین سن ۵ الی ۱۰ فلس از ماهی جدا شده پس از برداشت فلس‌ها آن‌ها را در پاکت‌های مخصوص عکاسی گذاشته و مشخصات ماهی بر روی آن ثبت شد. مراحل شستشو و آماده‌سازی فلس شامل قرار دادن فلس در آب و صابون به مدت چند ساعت، شستشو با آب مقطر جهت جداسازی چربی و مواد اضافی آن است، اگر چربی فلس زیاد بود از دو محلول NaOH و KOH استفاده می‌شود، سپس فلس‌ها بین دو لام فیکس شده و دو طرف لام با چسب ثابت می‌شود. معمولاً فلس‌ها به همان شکلی که از ماهی گرفته می‌شود قرار می‌گیرند، یعنی قسمت محدب آن به سمت بالا. پس از آماده‌سازی فلس، به وسیله میکروسکوپ یا لوپ آینه‌ای مشاهده شده و تعیین سن با استفاده از تعداد حلقه‌های فلس‌هایی که به‌منظور تعیین سن جدا گردیدند صورت می‌گیرد. حلقه‌های فشرده در مرکز فلس نشان‌دهنده رشد در طی دوران لاروی تا مرحله انگشت قدی می‌باشد. در طول زمستان حلقه‌های زمستانی یا حلقه‌های فرعی به دلیل کمبود مواد غذایی که باعث وقفه در رشد می‌شود، تشکیل می‌گردند، البته در تابستان هم به دلیل کمبود اکسیژن ممکن است حلقه‌های فرعی به وجود آیند. محل برداشتن فلس جهت تعیین سن در ماهیان دارای فلس دایره‌ای (کپور ماهیان)، تقریباً بین باله سینه‌ای و باله شکمی یک یا چند ردیف بالای خط جانبی می‌باشد. برای مقایسه فلس‌ها باید از یک محل در همه ماهیان گرفته شوند. فلس‌ها نباید به هم چسبیده باشند و یا موادی روی فلس‌ها باقی بماند. شستشو با استفاده از آب گرم یا محلول پتاس یا سوز آور ۵ درصد و محلول ضعیف آمونیاک یا پراکسید سدیم یا پتاسیم ۵ درصد می‌تواند انجام گیرد (مویله و کچ، ۲۰۰۴).

سدیم (یک قسمت در ۱۲ قسمت آب مقطر) قرار داده شدند تا موکوس و یا مواد جدا نشده دیگر جدا گردند. سپس فلس‌ها را در آب مقطر شسته و در اتانول ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و نیز ۷۰ درصد آبگیری شد. فلس‌های تمیز شده و خشک بر روی نگاهدارنده نمونه ثابت می‌گردد. فلس‌ها در نهایت به وسیله لایه نازکی از طلا پوشیده شده و توسط میکروسکوپ الکترونی نگاره مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. هم‌چنین جهت بررسی شاخص نسبی اندازه فلس در دو جنس نر و ماده از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$100 \times \text{طول ماه} / \text{طول یا پهناي فلس} = \text{شاخص نسبي اندازه فلس}$$

(هلفمن، ۱۹۹۷).

ساختار اکوفیزیولوژیکی فلس‌ها: فلس‌ها، ساختارهای پوستی‌اند که معمولاً از طریق مشاهدات ماکروسکوپی قابل مشاهده هستند. هر چند که اندازه آن‌ها از ساختارهای میکروسکوپی تا صفحات استخوانی بزرگ متغیر است. فلس‌ها یک جز مهم از اسکلت پوستی به حساب می‌آیند و معمولاً به‌طور کامل با بافت اپیدرم پوشیده می‌شوند اما از قسمت‌هایی از فلس‌ها در بعضی از گونه‌ها مثل کوسه‌ها از سطح اپیدرم بیرون می‌زنند. فلس ماهیان با فلس‌های شاخی سطحی خزندگان، پرندگان و بعضی از پستانداران تشابه دارد، اما فلس ماهیان از نظر ساختار و منشأ از فلس‌های مذکور متفاوت است. فلس‌های ماهیان ساختارهای پوستی واجد مواد معدنی هستند که اساساً منشأ مزانشیمی دارند. نوع، تعداد و اندازه فلس‌ها، اطلاعات زیادی درباره نحوه زندگی ماهیان برای ما آشکار می‌سازد.

فلس‌ها ساختارهایی هستند که در جیب پوستی قرار دارند و دارای منشأ درمیس هستند ولی در

مطالعه فاکتورهای رشد، آلودگی آب، مهاجرت حداکثر طول و وزن قابل کسب توسط ماهی، زمان دگردیسی ماهی و نیز سلامت ماهی در اختیار متخصصین قرار می‌دهد (گوئیری و هانت، ۲۰۲۰).

با استفاده از تکنیک میکروسکوپ الکترونی نگاره ریزساختارهای فلس‌های معمولی و خط جانبی مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. شکل کلی فلس‌ها متفاوت است. در فلس معمولی فوکوس نزدیک به ناحیه جلویی فلس قرار گرفته و توسط ساختارهای مشبک و یا لانه زنبوری دارای منافذ موکوسی پوشیده شده است. در ناحیه عقبی فلس، ردیف‌هایی از توبرکول‌های رنگدانه‌دار با اشکال متنوع دیده می‌شود. دایره‌های رشد موجود در بخش جلویی فلس دارای ساختارهای دندان شکل ریزی بنام لپیدونت می‌باشد که سبب اتصال محکم فلس به بدن ماهی می‌شود. لپیدونت یا دندانک‌های بسیار ریزی که تنها به وسیله میکروسکوپ الکترونی قابل رویت هست از نظر اندازه، شکل، تعداد و نحوه اتصال به دواير رشد در ماهیان مختلف متفاوت بوده و به‌عنوان یک ابزار تاکسونومیکی مناسب به‌کار می‌رود. فلس خط جانبی دارای یک مجرا می‌باشد که در محور جلویی - عقبی فلس قرار گرفته است. منفذ جلویی این مجرا وسیع‌تر از منفذ عقبی بوده و توسط یک ساختار پیش آمده پوشیده شده است (وایتمن، ۲۰۰۰).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این روش شکل و اندازه لپیدونت‌های موجود بر ستیغ‌های دواير رشد و نیز الگوی متفاوت ساختارهای مشبک ناحیه فوکوس می‌تواند ابزاری مناسب در تشخیص ماهیان باشد. در آزمایشگاه فلس‌هایی از ناحیه زیر باله پشتی، به آرامی از بدن ماهی جدا می‌گردند. این فلس‌ها در آب معمولی شستشو داده، سپس در دستگاه sonicator قرار داده شده تا مواد اضافی از سطح فلس جدا شوند. آن‌گاه برای مدت ۳۰-۶۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت

تشکیل فلس‌های پلاکوئید هم اپیدرم و هم درم دخالت دارند. بیش‌ترین رشد فلس در ماهیان قبل از بلوغ می‌باشد. تمام ماهیان متولدشده در هنگام لاروی در ابتدا فاقد فلس هستند ولی پس از مدتی فلس‌ها شروع به رشد می‌کنند. فلس‌ها در یک زمان در تمام قسمت‌های بدن ماهی شروع به رویش نمی‌کنند که دانستن این امر در تعیین سن ماهی با استفاده از فلس مهم است (وایتمن، ۲۰۰۰).

بدن ماهیانی که شنای آزاد انجام می‌دهند، معمولاً با فلس‌های مشخص پوشیده شده‌اند که هم در مقابل آسیب مکانیکی حفاظت ایجاد می‌کنند و هم وزن اضافی به ماهی تحمیل نمی‌کنند. ماهیان شناگر سریع و آن‌هایی که به‌طور منظم در آب‌های سریع حرکت می‌کنند، فلس‌های ظریف متعدد دارند (برای مثال، قزل‌آلا) در صورتی که ماهیانی که در آب‌های آرام به سر می‌برند و به‌طور مداوم با سرعت زیاد شنا نمی‌کنند، غالباً فلس‌های ضخیم دارند (برای مثال، سوف و کپور). ماهیان فاقد فلس یا غالباً در آب‌های جاری بر روی بستر به سر می‌برند یا غالباً در جاهای تنگ مانند غارها و شیارها پنهان می‌شوند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۹). مشاهده انواع مختلف فلس بسته به سن یا جنس ماهی متغیر است. در بعضی از ماهیان ریزش فلس‌ها با عادات خاص یا مراحل زندگی در ارتباط است. بیش‌تر ماهیان استخوانی استخوانی فلس‌های خود را حداقل یک بار در طول زندگی از دست می‌دهند. با این وجود، معمولاً هم فلس‌های از دست رفته و هم اپیدرم روی آن که دچار پارگی شده است، سریعاً جایگزین می‌شوند (مویله و کچ، ۲۰۰۴).

اندازه فلس در ماهیان از ساختارهای میکروسکوپی تا صفحات استخوانی بزرگ متغیر است. شکل، اندازه، نوع و تعداد فلس از ابزارهای مناسب در رده‌بندی ماهی است و استفاده از آن به اول

قرن ۱۹ میلادی زمانی که Agassiz برای اولین بار از فلس در رده‌بندی ماهی استفاده نمود، بر می‌گردد. وی ماهیان را بر حسب نوع فلس آن‌ها به چهار گروه پلاکوئید داران، گانوئید داران، تنوئیدداران و سیکلوئید داران تقسیم‌بندی نمود (جاواد و الفولی، ۲۰۰۷).

اهمیت ریخت‌شناسی فلس ماهی با معرفی روش‌های میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) به اوج خود رسید به طوری که تاکنون فلس‌های ماهیان مختلفی به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی نگاره مورد مطالعه قرار گرفته است (جاواد و الفولی، ۲۰۰۷). فلس ماهیان هم‌چنین اطلاعات ارزنده‌ای را در مورد آلودگی آب، مهاجرت، حداکثر طول و وزن قابل کسب توسط ماهی، زمان دگرذیسی ماهی و نیز سلامت ماهی در اختیار متخصصین قرار می‌دهد گوئی و هانت، ۲۰۲۰).

ساختار کلی فلس در بسیاری از ماهیان مشابه است. هر فلس دارای یک مرکز یا فوکوس می‌باشد. مرکز، اولین ساختاری است که طی روند تکوینی فلس ظاهر می‌شود. موقعیت قرار گرفتن مرکز فلس در شناسائی ماهیان مهم است. مرکز فلس ممکن است در بخش میانی فلس یا نزدیک به بخش جلوئی یا عقبی فلس قرار داشته باشد هم‌چنین اندازه مرکز فلس در ماهیان مختلف متفاوت است. از ناحیه مرکز فلس به سمت لبه فلس دوایر متحد‌المرکزی قرار گرفته‌اند که دوایر رشد نامیده می‌شود. این دوایر ممکن است در ناحیه خلفی فلس منظم‌تر باشند. بر روی این دوایر رشد ممکن است لپیدونت یا دندانک‌های بسیار ریزی که تنها به وسیله میکروسکوپ الکترونی قابل رویت هست وجود داشته باشد که از نظر اندازه، شکل، تعداد و نحوه اتصال به دوایر رشد در ماهیان مختلف متفاوت بوده و به‌عنوان یک ابزار تاکسونومیکی مناسب به‌کار می‌رود (لیپیتز، ۱۹۹۸).

مستقل از یکدیگر تکامل یافته‌اند. فلس‌های صفحه‌ای یا پلاکوئید (به آن‌ها دندانک‌های پوستی یا اودونتوهای مجزا هم می‌گویند) تقریباً منحصراً در کوسه‌ها، سپرماهیان و شمیراها دیده می‌شوند (مویله و کچ، ۲۰۰۴).

همه ماهیان غضروفی بر روی سطح خارجی بدن خود، دارای فلس‌های پلاکوئید یا صفحه‌ای و یا دندانانه دندانانه هستند. این فلس‌ها در سفره ماهیان و سپر ماهیان مشخصاً تنها به صورت چند ردیف دندانک‌های بزرگ بر روی بدن ماهی یافت می‌شوند و گاهی اوقات تغییر شکل می‌یابند و به صورت خار در می‌آیند (مثل سپرماهیان خاردار). در کوسه‌ها پوست با فلس‌های پلاکوئید ریز و هم‌پوشان پوشیده شده است و به پوست آن‌ها حالت کاغذ سمباده می‌دهد. این فلس‌ها پوشش حمایتی و سبک را در اطراف ماهی تشکیل می‌دهند که ممکن است خصوصاً در افزایش کارایی هیدرودینامیک دارای اهمیت باشند. فلس‌های پلاکوئید ساختاری شبیه به دندان دارند و شامل ۳ لایه می‌باشند. فلس کوسه‌ها بر خلاف سایر ماهیان با رشد ماهی بزرگ‌تر نمی‌شود. پوست کوسه‌ها مانند کاغذ سمباده بوده که در واقع فلس‌های پلاکوئیدی و یا همان دندانانه‌های پوستی هستند. از پوست کوسه‌ها در ساختن سمباده و یا صنایع چرمسازی استفاده می‌شود. فلس‌های پلاکوئیدی شامل صفحات استخوانی که در داخل پوست قرار دارند. این ساختارها در دندان‌ها نیز دیده می‌شوند (نلسون و همکاران، ۲۰۱۶).

فلس‌های صفحه‌ای کوسه‌ها و وابستگان آن‌ها ممکن است بزرگ شده یا جوش بخورند و یک سلاح دفاعی را تشکیل دهند. آن‌ها به خصوص هنگامی که با غدد زهری در ارتباط هستند، بسیار مؤثر واقع می‌شوند. مثال‌هایی از دندانک‌هایی که تغییر شکل داده و به صورت خار درآمده‌اند، شامل خارهای باله پشتی سگ ماهی خاردار و ماهیان گروه شیمرا و خارهای دمی یا زهردار سپرماهیان زهردار است. همچنین مطالعات میکروسکوپی Motta و

مطالعات نشان داده که فلس‌ها می‌توانند در بررسی‌ها تاکسونومی، فیلوژنی، رشد، تاریخچه زندگی، وقایع زندگی دوران رشد سریع یا کند، اکولوژی و محیط زیست مورد استفاده قرار گیرند (کوئیلی و روسو، ۱۹۷۴؛ جان و سانری، ۱۹۹۷؛ جوحال و دائو، ۱۹۹۴). ریخت‌شناسی سطح فلس به فاکتورهای محیطی وابسته است. سطح فلس توسط شیاریهایی که شعاع‌های فلس نامیده می‌شوند به بخش‌هایی تقسیم می‌شود، به آن‌ها فلس‌های متقسم گویند، درحالی که در فلس‌های ساده چنین شعاع‌هایی دیده نمی‌شود. وجود این شعاع‌ها سطح کلی فلس را افزایش می‌دهد (ادکوچ و همکاران، ۲۰۰۰). جوحال و همکاران در سال ۱۹۸۴ گزارش نمودند که افزایش تعداد شعاع‌ها روی فلس نشانه وضعیت تغذیه بهتر و بالا بودن رشد فلس ماهی است. یکی دیگر از ویژگی‌های فلس‌های مورد مطالعه وجود لپیدونت یا دندانک فلس با شکل و اندازه معین روی تاج دوایر رشد است. از آنجا که این لپیدونت‌ها سبب اتصال محکم فلس به بدن ماهی می‌شود و نقش فیزیولوژیکی بر عهده دارد بنابراین ممکن است از ویژگی‌های اختصاصی گونه بوده و ارزش تاکسونومیک داشته باشد. متفاوت بودن شکل مرکز فلس و قرار گرفتن آن در قسمت‌های مختلف، وجود لپیدونت، آرایش توبرکول‌ها و شانها در مطالعات تاکسونومی این ماهیان دارای اهمیت می‌باشد. از این ویژگی‌ها هم‌چنین می‌توان در بررسی تغییرات زیست‌محیطی و زیستگاهی، بررسی ذخائر و روند رشد این گونه‌ها استفاده نمود (گوئی و هانت، ۲۰۲۰).

ساختار گونه‌ای فلس در آبزیان

کوسه ماهیان: فلس‌های کوسه ماهیان صفحه‌ای یا پلاکوئیدی تغییر شکل یافته هستند. همان‌گونه که در تفاوت‌های ساختاری فلس‌ها مشخص است، فلس‌های ماهیان غضروفی و استخوانی به صورت

است. صفحه قاعده‌ای توسط یک یا چند منفذ سوراخ شده است که از طریق آن‌ها رگ‌های خونی، اعصاب و مجاری لنفی وارد می‌شوند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۹). شکل فلس‌های پلاکوئید متغیر است و تغییرات ایجاد شده به منظور انجام وظایف متعدد صورت گرفته است. این وظایف شامل حفاظت ماهی در مقابل عوامل شکارچی و انگل‌های خارجی، کاهش خراش مکانیکی، کمک به تولید نور و اندام‌های حسی و کاهش اصطکاک است. این فلس‌ها ممکن است نزدیک به یکدیگر یا جدا باشند اما حالت همپوشانی ندارند مگر در جایی که مجرای خط جانبی را حفاظت می‌کنند. فلس‌های پلاکوئید رشد نامحدود دارند. آن‌ها هنگامی که کهنه و فرسوده می‌شوند یا از بین می‌روند، توسط فلس‌های جدید جایگزین می‌شوند. یک نوع فلس فسیل نیز در ماهیان استخوانی وجود دارد که آن را فلس گانوئیدی می‌نامند. فلس‌های گانوئید، غالباً صفحات لوزی شکل یا الماس مانند سخت هستند که تا حدودی همدیگر را می‌پوشانند و توسط مفاصل چنگکی و گودالی در حاشیه‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند (هلفمن و همکاران، ۱۹۹۷).

سپرها و سفره ماهی‌ها حدود ۵۵٪ از کل ماهیان غضروفی را شامل می‌شوند. تا به حال بیش از ۶۳۱ گونه مختلف با ۲۳ خانواده از آن‌ها شناسایی شده است. سپر ماهیان از ماهیان غضروفی با ارزش اکولوژیک هستند و شامل گروه‌های متعددی از قبیل سفره ماهیان و اره ماهیان هستند. سفره ماهیان (Eagle rays) از راسته رامک ماهی یا سپرماهیان عقابی شکلان (Myliobatiformes) صفحه بدنشان لوزی شکل است و پهنای صفحه بدن آن‌ها تا ۲ متر می‌رسد که بیشتر از طول بدن است. سر آن‌ها بالاتر از صفحه بدن قرار دارد و شبیه این است

همکاران (۲۰۱۲) وجود فلس‌های پلاکوئیدی گونه *Carcharhinus limbatus* از کوسه ماهیان را اثبات می‌نماید. کوسه ماهیان دارای فلس‌های پلاکوئید هستند که برخلاف فلس‌های سکلوئید در اغلب ماهیان استخوانی با رشد ماهی افزایش اندازه نمی‌دهد و در عوض فلس‌های جدید بین فلس‌های قدیمی جایگزین می‌شوند. فلس‌های پلاکوئید اغلب به صورت دندانانی مشاهده می‌شوند. هر فلس پلاکوئید از یک صفحه پایه مستطیلی مسطح تشکیل شده که در پوست ماهی جاسازی شده است و از ساختارهای متنوع توسعه یافته مانند خارها، که به صورت خلفی روی سطح بیرون می‌آیند، تشکیل شده است. وجود خار در بسیاری از گونه‌ها به پوست بافت خشن می‌دهند. تفاوت‌های زیادی در رشد این خارها بین گونه‌های مختلف وجود دارد. فلس‌های پلاکوئید از یک هسته داخلی پالپ عروقی (همراه با خون)، یک لایه میانی عاج و یک لایه بیرونی ویتورودنتین مانند مینای دندان سخت تشکیل شده‌اند (وایتمن، ۲۰۰۰).

سپر ماهیان: کوسه‌ها و سفره ماهیان فلسی به نام پلاکوئید دارند که دندانه دندانه می‌باشد. فلس‌های پلاکوئید ساختاری شبیه به دندان دارند و شامل ۳ لایه می‌باشند. فلس کوسه‌ها بر خلاف سایر ماهیان با رشد ماهی بزرگ‌تر نمی‌شود. یک فلس پلاکوئید مشخصاً شامل یک صفحه قاعده‌ای پهن و مستطیلی است که در لایه بالایی درم فرورفته و یک نوک تیز یا خار که به سمت عقب از سطح اپیدرم به بیرون زده است. خارهای بیرون زده فلس‌های پلاکوئید، به پوست کوسه‌ها ویژگی یک بافت زمخت را می‌دهد. ساختار یک فلس پلاکوئید شبیه یک دندان است. این خار، شامل یک کلاهک یا مخروط از جنس دنتین است که توسط یک لایه سخت و شفاف شبیه مینا پوشیده است. یک حفره پولپ در داخل خار محصور شده

فلس مشخصی نیستند ولی در بسیاری از مارماهیان مانند مارماهی آب شیرین فلس‌های سیکلوئید کوچک و بیضوی وجود دارد که بر روی پوست قرار می‌گیرد. معمولاً فلس‌ها دایره‌ای، گرد، نازک و پهن بوده و فلس‌های شانهای شبیه فلس دایره‌ای هستند اما برآمدگی‌های شانهای دانه‌هایی در ناحیه خلفی دارند (مویله و کچ، ۲۰۰۴).

گره‌ماهیان: گره‌ماهیان (Catfishes) از راسته گره‌ماهی‌شکلان (Siluriformes) اکثر این ماهیان در آب‌های گل‌آلود زندگی می‌کنند و دارای ۱ تا ۴ جفت سیبک هستند. در برخی از خانواده‌ها باله چربی وجود دارد. بدن فاقد فلس و تخت است اما در برخی ممکن است از صفحات استخوانی پوشیده شده باشد. در باله سینه‌ای و پشتی خود دارای خار قوی هستند که از آن‌ها برای تعیین سن استفاده می‌شود. صفحات استخوانی یا اسکوت‌ها فلس‌های بزرگ و تغییرشکل یافته‌ای هستند که به صورت زره بر روی بدن تعدادی از گونه‌های ماهیان کند و متمایل مانند ماهیان خاویاری، بسیاری از گره‌ماهیان آمریکای جنوبی، سوزن ماهیان قرار دارند. گره‌ماهیان زره‌دار آمریکای جنوبی خود را توسط صفحات استخوانی بزرگ یا اسکوت‌ها حفاظت می‌کنند. این صفحات، دارای ساختارهای دندان مانند مشابه ساختارهای باستانی هستند. مطالعات تورس و همکاران (۲۰۱۵)، وجود صفحات استخوانی گونه *Pterygoplichthys pardalis* از گره‌ماهیان را اثبات می‌نماید. هم‌چنین براساس مطالعات انجام شده وایک (۲۰۱۵) در برخی از گونه‌های گره‌ماهی از خانواده‌های Doridae و Loricariidae (*plecostamos*) در آسیا و آفریقا وجود فلس اثبات شده است.

گره‌ماهیان عموماً فلس واضح و یکنواخت ندارند و بدن آن‌ها اغلب برهنه است. در بعضی از گونه‌ها پوست از مخاط پوشیده شده که در تنفس جلدی،

که ماهی گردن دارد. اسپیرا کل‌ها به خوبی توسعه یافته و باله پشتی کوچکی دارند. مطالعات در گونه *Aetobatus narinari* از سفره ماهیان نیز وجود فلس‌های پلاکوئیدی در آن‌ها را اثبات می‌نماید (مویله و کچ، ۲۰۰۴).

اره ماهیان (Saw fishes) از خانواده اره سپر ماهیان (Pristidae) دو باله پشتی و یک باله دمی مشخص دارند. دندان‌های اره یکسان بوده و در سوکت قرار دارد. به‌طور مستقیم خطری ندارد. دو گونه اره ماهی منقوط *Pristis zijsron* و اره ماهی سبز *Pristis caspidatus* در مناطق عمیق دریای عمان و خلیج فارس زیست می‌کنند. مطالعات مختلفی از جمله مطالعات میکروسکوپی بایلر (۲۰۱۷) وجود فلس‌های پلاکوئیدی در گونه *Pristis pristis* از اره ماهیان را اثبات می‌نماید.

مارماهیان: مارماهیان از راسته مار ماهی شکلان (Anguilliforms) دارای بدنی دراز و مار مانند هستند. فاقد باله شکمی هستند اما باله سینه‌ای در برخی وجود دارد و در برخی وجود ندارد. باله پشتی و مخرجی پیوسته است. فاقد فلس بوده یا دارای فلس دایره‌ای زیر پوستی هستند. از لحاظ زیست بسیار متنوع بوده و برخی از آن‌ها در آب شیرین رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و جویبارها و برخی در آب‌های شور و تا اعماق مختلف دریاها پراکنش دارند. بعضی از ماهیان مانند مارماهیان به نظر می‌رسد فاقد فلس هستند، در حقیقت دارای تعداد زیادی از فلس‌هایی هستند که عمیقاً در پوست فرورفته‌اند. مطالعات میکروسکوپی مختلف از گونه *Anguilla* مارماهیان نیز وجود فلس‌های دایره‌ای (Cycloid) را اثبات می‌نماید. معمولاً فلس دایره‌ای، گرد، نازک و پهن است. فلس‌های شانهای شبیه فلس دایره‌ای هستند اما برآمدگی‌های شانهای دانه‌هایی در ناحیه خلفی دارند (نلسون، ۲۰۰۶). اگر چه برخی از مار ماهیان دارای

جایی که ماهی از طریق پوست نفس می‌کشد، استفاده می‌شود. در بعضی از گربه‌ماهی‌ها، پوست با صفحات استخوانی موسوم به scutes پوشانده شده است که نوعی زره بدن به طرق مختلف نمایان می‌شود. گربه‌ماهی فلس مشخص نداشته و در عوض پوست چرمی دارد. بیش‌تر ماهی‌ها فلس‌هایی برای محافظت در برابر شکارچیان انگلی و صدمات دارند. فلس‌ها هم‌چنین هنگام شنا ماهی‌ها مقاومت در برابر آب را کاهش می‌دهند. گربه‌ماهی به گونه دیگری تکامل یافته و فلس ندارند. با این‌حال، آن‌ها دارای صفحات استخوانی برای محافظت هستند. علاوه بر این، آن‌ها از طریق پوست نفس می‌کشند و فلس‌ها مانع این روند می‌شوند (کوآن و همکاران، ۲۰۲۰). راسته Siluriformes یکی از بزرگ‌ترین خانواده ماهی‌ها است و ساختار متفاوت پوستی دارند. پوست گربه‌ماهیان حداقل در اغلب گونه‌ها برهنه و بدون فلس است. برخی گربه‌ماهیان دارای هستند که عملکرد مشابه فلس داشته ولی از نظر ساختاری متفاوت است چون که از لایه‌های پایینی پوست تشکیل می‌شود. گربه‌ماهی در آمریکای شمالی اکثراً خانواده (Ictaluridae) پوست پوسته‌ای ندارد و پوستی صاف دارد اما در آمریکای جنوبی تعدادی از گونه‌های گربه‌ماهی "زره‌پوش" وجود دارد که فلس‌های سنگین دارند. گربه‌های زره‌پوش و دارای فلس سنگین در آسیا و آفریقا نیز یافت می‌شوند (وایتمن، ۲۰۰۰).

نتیجه‌گیری

همه ماهیان غضروفی بر روی سطح خارجی بدن خود، دارای فلس‌های پلاکویید یا صفحه‌ای و یا دندان‌دندان هستند. این فلس‌ها در سفره ماهیان و سپر ماهیان مشخصاً تنها به صورت چند ردیف دندانک‌های بزرگ بر روی بدن ماهی یافت می‌شوند و گاهی اوقات تغییر شکل می‌یابند و به صورت خار

در می‌آیند (مثل سپرماهیان خاردار). در کوسه‌ها پوست با فلس‌های پلاکویید ریز و هم پوشان پوشیده شده است و به پوست آن‌ها حالت کاغذ سمباده می‌دهد. یک فلس پلاکویید مشخصاً شامل یک صفحه قاعده‌ای پهن و مستطیلی است که در لایه بالایی درم فرورفته و یک نوک تیز یا خار که به سمت عقب از سطح اپیدرم به بیرون زده است. خارهای بیرون زده فلس‌های پلاکویید، به پوست کوسه‌ها ویژگی یک بافت زمخت را می‌دهد. اگر چه برخی از مار ماهیان دارای فلس مشخصی نیستند ولی در بسیاری از مارماهیان مانند مارماهی آب شیرین فلس‌های سیکلوئید کوچک و بیضوی وجود دارد که بر روی پوست قرار می‌گیرد. معمولاً فلس‌ها دایره‌ای، گرد، نازک و پهن بوده و فلس‌های شانه‌ای شبیه فلس دایره‌ای هستند اما برآمدگی‌های شانه‌ای دانه‌هایی در ناحیه خلفی دارند. گربه‌ماهیان عموماً فلس واضح و یکنواخت ندارند و بدن آن‌ها اغلب برهنه است. در بعضی از گونه‌ها پوست از مخاط پوشیده شده که در تنفس جلدی، جایی که ماهی از طریق پوست نفس می‌کشد، استفاده می‌شود. در بعضی از گربه‌ماهی‌ها، پوست با صفحات استخوانی موسوم به scutes پوشانده شده است که نوعی زره بدن به طرق مختلف نمایان می‌شود. گربه‌ماهی فلس مشخص نداشته و در عوض پوست چرمی دارد. گربه‌ماهی به گونه دیگری تکامل یافته و فلس ندارند. با این حال، آن‌ها دارای صفحات استخوانی برای محافظت هستند. علاوه بر این، آن‌ها از طریق پوست نفس می‌کشند و فلس‌ها مانع این روند می‌شوند.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی و با حمایت مرکز تحقیقات حلال جمهوری اسلامی ایران انجام گرفت.

منابع

- Adcock, G.J., Bernal Ramirez, J.H., Hauser, L., Smith, P., and Carvalho, G. R. 2000. Screening of DNA polymorphisms in samples of archived scales from New Zealand snapper. *Journal of Fish Biology*. 56: 1283-1287.
- Braithwaite, V.A., and Huntingford, F.A. 2004. Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering? *Animal Welfare*. 13: 87-92.
- Byler, J. 2017. The Identification, Structure, Care and Conservation of Sawfish Rostra (Rhinopristiformes: Pristidae). In *Collection Forum. Soc. for the Pres. of Natural History Collections*. 31: 1. 1-14.
- Coad, B.W. 1998. Systematic biodiversity in the freshwater fishes of Iran. *Italian Journal of Zoology*. 65: 101-108.
- Coillie, V.R., and Rousseau, A. 1974. Composition minerale des écailles du *Catostomus commersoni* issu de deux milieux différents: étude par microscopie électronique et analytique. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 31: 63-66.
- Ebenstein, D., Calderon, C., Troncoso, O.P., and Torres, F.G. 2015. Characterization of dermal plates from armored catfish *Pterygoplichthys pardalis* reveals sandwich-like nanocomposite structure. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 45: 175-182.
- FAWC (Farmed Animal Welfare Council), 1996. Report on the Welfare of Farmed Fish. *Surbiton, Surrey*. 210p.
- Guiry, E.J., and Hunt, B. 2020. Integrating fish scale and bone isotopic compositions for deep time retrospective studies. *Marine Environmental Research*, 104982p.
- Helfman, G.S., Collette, B.B., and Facey, D.E. 1997. *The Diversity of Fishes*. Blackwell Science. 528p.
- Jawad, L.A., and Al-Jufaili, S.M. 2007. Scale morphology of greater lizardfish *Saurida tumbil* (Bloch, 1795) (Pisces: Synodontidae). *Journal of Fish Biology*. 70: 1185-1212.
- Johal, M.S., and Dua, A. 1994. SEM study of the scales of freshwater snakehead, *Chana punctatus* (Bloch) upon exposure to endosulfan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 52: 5. 718-721.
- Johal, M.S., and Sawhney, A.K. 1997. Lepidontal alterations of the circuli on the scales of freshwater snakehead, *Channa punctatus* (Bloch) upon exposure to malathion. *Current Science*. 72: 6. 367-369.
- Lippitsch, E. 1998. Phylogenetic study of Cichlid fishes in Lake Tanganyika: a lepidological approach. *Journal of fish Biology*. 53: 752-776.
- Milanda, R., and Escala, M. 2000. Morphological and biometric comparison of the scales of the barbells of *Barbus* (Cuvier) of Spain. *Journal of Morphology*. 245: 196-205.
- Motta, P., Habegger, M.L., Lang, A., Hueter, R., and Davis, J. 2012. Scale morphology and flexibility in the shortfin mako *Isurus oxyrinchus* and the blacktip shark *Carcharhinus limbatus*. *Journal of morphology*, 273: 10. 1096-1110.
- Moyle, P.B., and Cech, J.J. 2004. *Fishes: An Introduction to Ichthyology*. USA: Prentice-Hall, 724p.
- Nelson, J.S., Grande, T.C., and Wilson, M.V. 2016. *Fishes of the World*. John Wiley and Sons. 655p.
- Paul, J. 2006. Ashley Fish welfare: Current issues in aquaculture, *Applied Animal Behavior Science*, Doi: 10.1016/j.applanim.2006.09.001.
- Quan, H., Yang, W., Lapeyriere, M., Schaible, E., Ritchie, R.O., and Meyers, M.A. 2020. Structure and Mechanical Adaptability of a Modern Elasmoid Fish Scale from the Common Carp. *Matter*. 3: 3. 842-863.
- Whiteman, K. 2000. *World Encyclopedia of Fish and Shellfish*. New York: Lorenz Books, 317p.
- Yang, W., Quan, H., Meyers, M.A., and Ritchie, R.O. 2019. Arapaima Fish Scale: one of the toughest flexible biological materials. *Matter*, 1: 6.1557-1566.

