

استخوان شناسی ستون مهره‌ها و اسکلت دمی جویبار ماهیان جنس *Paraschistura* در ایران (ماهیان استخوانی عالی: جویبار ماهیان)

گلناز صیادزاده^{۱*}، حمید رضا اسماعیلی^۲

^۱گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
^۲بخش زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۹

چکیده

جنس *Paraschistura* از نواحی بالادست حوضه آبریز تیگره تا پاکستان پراکنش دارند و تاکنون ۱۶ گونه از آن‌ها در ایران گزارش شده است. از آنجا که استخوان‌شناسی بعنوان یک ابزار مفید در مطالعات آرایه‌شناسی و فیلوژنی جویبار ماهیان مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین در این مطالعه، برخی ویژگی‌های استخوان‌شناسی در ۱۳ گونه از این جنس بررسی شده است. بدین منظور، ماهیان به ترتیب در فرمالین ۱۰٪ و الکل ۷۰٪ تثبیت، نگهداری و سپس در موزه جانورشناسی بخش زیست‌شناسی دانشگاه شیراز نگهداری شدند. عکس‌های رادیوگرافی از سمت چپ ماهیان با استفاده از دستگاه Faxitron Bioptics تهیه شد. براساس نتایج؛ اسکلت ساقه دمی شامل پنج یا شش هیپورال، یک استخوان اپورال منفرد، پاراهیپورال و پلئوراستیل متصل به آخرین مهره می‌باشد. شکل اپورال در گونه‌های مختلف متفاوت است. پنجمین هیپورال مثلثی شکل، در اندازه‌های متفاوت و غیرمتصل به آخرین مهره است. شماری از گونه‌های مورد مطالعه از طریق کمپلکس ساقه دمی به‌ویژه تعداد هیپورال‌ها، شعاع‌های باله‌های پشتی و دمی و تعداد مهره‌ها قابل تشخیص هستند. بنابراین به نظر می‌رسد این ویژگی‌های مورد استفاده در شناسایی آرایه‌های فراگونه‌ای از جمله تبارها، جنس و خانواده بیشتر از گونه مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: ویژگی‌های استخوان‌شناسی، اسکلت ساقه دمی، آرایه‌شناسی، جویبار ماهیان

مقدمه

جویبار ماهیان جنس *Paraschistura* از خانواده Nemacheilidae Regan, 1911 اولین بار توسط Prokofiev در سال ۲۰۰۹ براساس خصوصیات ریختی و استخوان‌شناسی توصیف گردید. ماهیان این جنس دارای جثه کوچک، سر نسبتاً پهن و ساقه دمى نسبتاً مرتفع می‌باشند (Prokofiev, 2009). از خصوصیات دیگر این ماهیان، داشتن لکه تیره واضح و مشخص در قاعده شعاع‌های جلویی باله پشتی (شکل ۱)، عدم وجود تاج در ساقه دمى (و یا تاج بسیار تحلیل رفته که به‌وسیله شعاع‌های باله دمى نگه‌داری نمی‌شود)، خط جانبی ناقص می‌باشد. گونه‌های این جنس معمولاً دارای هفت شعاع منشعب در باله پشتی و پنج شعاع منشعب در باله مخرجی هستند. این گروه از ماهیان از حوضه تیگره در ترکیه، به سمت شرق در ایران، پاکستان و در سیستم رودخانه‌ای ایندوس و نیز در حوضه‌های بسته هری (Hari)، مرغاب (Murghab) و هلمند (Helmand) افغانستان، ایران، پاکستان و ترکمنستان پراکنش دارند (Freyhof et al., 2015).

گونه‌های متعلق به این جنس در ایران توسط Freyhof و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های ریختی و مولکولی مورد بازنگری قرار گرفت که در نتیجه این بازنگری، تعداد شش گونه جدید از حوضه‌های مختلف آبریز ایران گزارش و توصیف گردید. همچنین دو گونه جدید دیگر در سال ۲۰۱۹ توسط Sayyadzadeh و همکاران (۲۰۱۹a) و Eadgderi و همکاران (۲۰۱۹) به ترتیب از حوضه‌های آبریز کرمان-نائین و مکران گزارش و توصیف گردید. بنابراین، تاکنون تعداد ۱۶ گونه *Paraschistura* از حوضه‌های مختلف آبریز ایران شناسایی و گزارش شده است.

استخوان‌شناسی ماهیان با توجه به مطالعه عناصر مهم اسکلتی، دربردارنده اطلاعات زیست‌شناختی و بوم‌شناختی فراوانی می‌باشد و نتایج آن در مطالعات آرایه‌شناسی (تاکسونومی) ماهیان اهمیت بسیاری دارد. زیست‌شناسان با اطلاعاتی که از بررسی عناصر اسکلتی ماهیان به‌دست می‌آورند، علاوه بر تشخیص گونه، سن و جنسیت آن‌ها، قادر به دریافت اطلاعات مهمی در زمینه زیستگاه و شرایط محیطی گونه‌های مختلف ماهیان نیز می‌باشند (Helfman et al., 2009). بنابراین استخوان‌شناسی ابزاری مهم در

مطالعات آرایه‌شناسی و تبارشناسی (فیلوژنی) گونه‌های مختلف ماهیان از جمله جویبار ماهیان می‌باشد (Hora, 1932; Berg, 1940; Mester-Bacescu, 1970; Sawada, 1982; Prokofiev, 2009, 2010; Jalili et al., 2015; Jawad and Jig, 2016)، ما در این مطالعه برخی از عناصر اسکلتی همچون کمپلکس ساقه دمى، تعداد مهره‌ها و فرمول شعاع‌های باله‌های مختلف را در گونه‌هایی از جنس *Paraschistura* از حوضه‌های مختلف آبریز ایران بررسی کرده و اهمیت این عناصر اسکلتی را در وضعیت آرایه‌شناسی این گونه‌ها مورد بحث قرار دادیم.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این مطالعه، تعداد ۲۵ نمونه متعلق به ۱۳ گونه *Paraschistura* از حوضه‌های مختلف آبریز محل پراکنش آن‌ها شامل *P. abdolii*, *P. alta*, *P. aredvii*, *P. bampurensis*, *P. cristata*, *P. delvarii*, *P. hormuzensis*, *P. ilamensis*, *P. kermanensis*, *P. naumanni*, *P. nielsenii*, *P. susiani*, *P. turcmenica* با استفاده از دستگاه صید الکتریکی جمع‌آوری گردید. نمونه‌های صیدشده پس از بیهوشی در محلول ۱٪ میخک، با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر (Freyhof et al., 2015) شناسایی و به‌ترتیب در فرمالین ۱۰٪ و الکل ۷۰٪ تثبیت، نگهداری، سپس در موزه جانورشناسی بخش زیست‌شناسی دانشگاه شیراز نگهداری شدند (ZM-CBSU). عکس‌های رادیوگرافی X-ray از سمت چپ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه LLC-vision Faxitron NDT version 2.2.5, 45 k.v., 30 s در مجموعه جانورشناسی مونیخ، آلمان تهیه شد. جهت نامگذاری عناصر اسکلتی از روش Sawada (۱۹۸۲)، Prokofiev (۲۰۰۹)، Jalili و همکاران (۲۰۱۵) و Jawad و Jig (۲۰۱۶) استفاده شد.

علائم اختصاری استفاده شده در متن به‌صورت زیر است: SL: Standard length (طول استاندارد)؛ Hyp: Hypural (هیپورال)؛ EP: Epural (اپورال)؛ PH: Parahypural (پاراهیپورال)؛ PLS: Pleurstyle (پلئورستیل)؛ PU: Preural (پیش دمى)؛ NS PU: Neural spine of preural (خار عصبی پیش دمى) و HS PU: Haemal spine of preural (خار خونی پیش دمى).



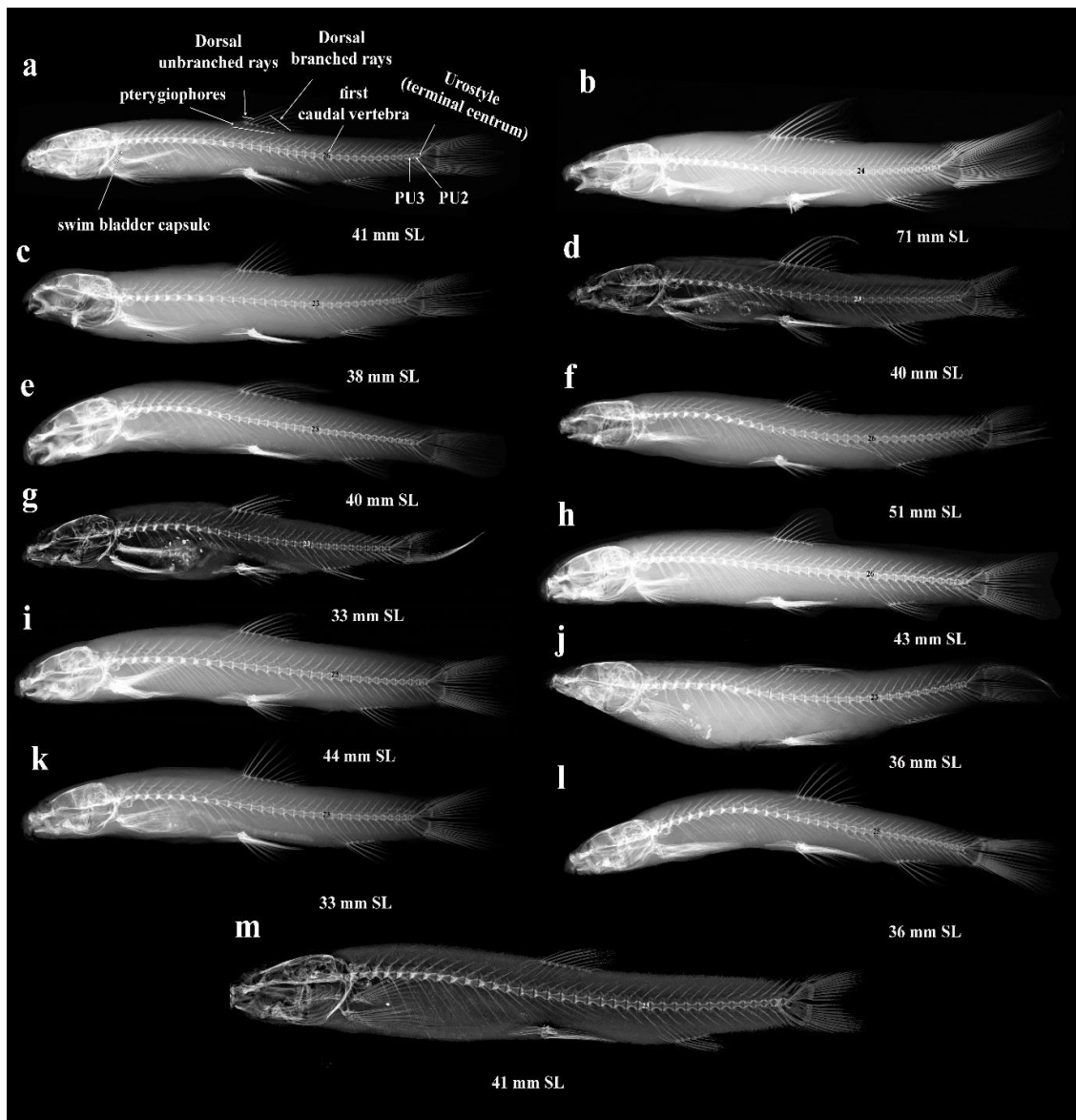
شکل ۱- نمای جانبی دو نمونه از اعضاء جنس *Paraschistura* (*P. kermanensis*)

نتایج

ویژگی‌های استخوان‌شناسی حاصل از نمونه‌های مورد مطالعه متعلق به ۱۳ گونه *Paraschistura* شامل اطلاعات شعاع‌های باله‌های پشتی، مخرجی و دمی، تعداد مهره‌های دمی و پیش دمی و کمپلکس ساقه دمی در جدول ۱ و شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج، همانند دیگر جویبار ماهیان، کیسول کیسه شنا در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه از اتصال چهار مهره ابتدایی تشکیل شده است (شکل ۲). اسکلت ساقه دمی شامل پنج هیپورال در گونه‌های *P. abdolii*, *P. aredvii*, *P. naumanni*, *P. bampurensis*, *P. cristata*, *P. nielsenii*, *P. kermanensis*, *P. ilamensis*, *P. susiani*, *P. turcmenica*, *P. hormuzensis*, *P. delvarii* و *P. alta* در گونه‌های یک استخوان اپورال می‌باشد. همچنین این کمپلکس دارای یک استخوان اپورال منفرد، پاراهیپورال و پلئوراستیل متصل به آخرین مهره می‌باشد. شکل اپورال در گونه‌های مختلف متفاوت است. پنجمین هیپورال مثلثی شکل، در اندازه‌های متفاوت و غیرمتصل به آخرین مهره است (شکل ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

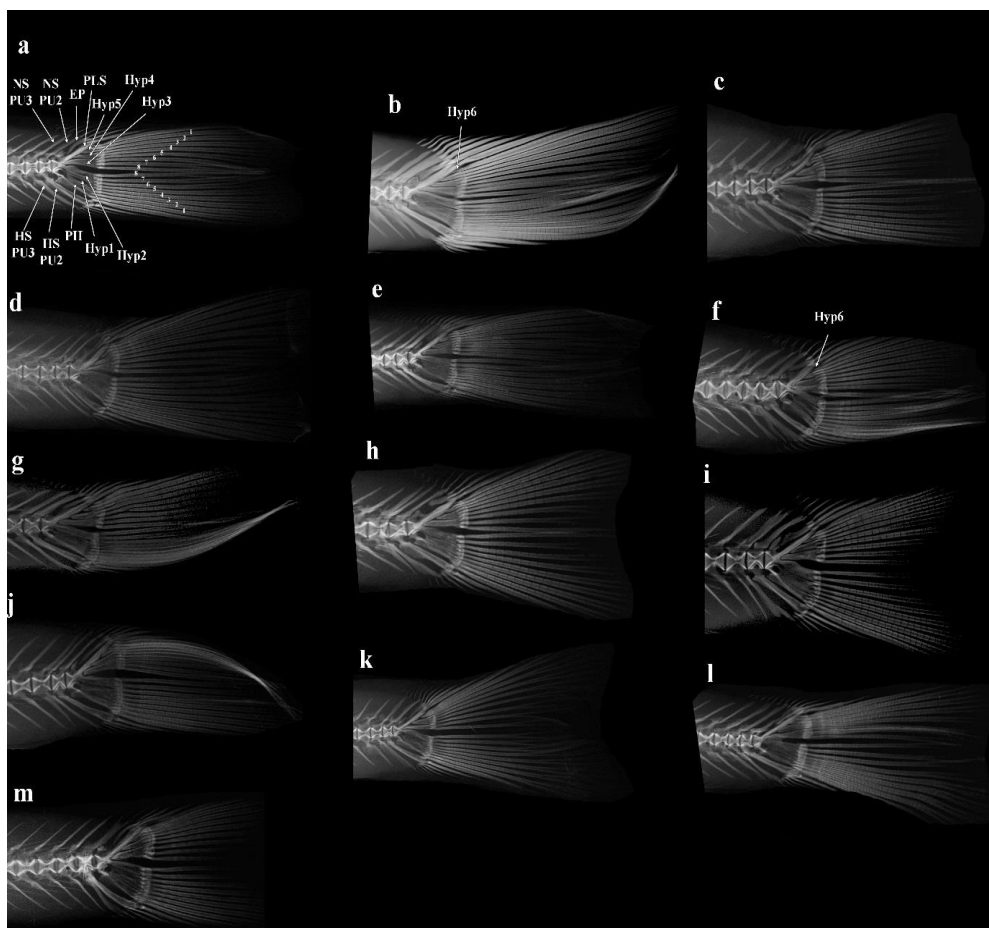
استخوان‌شناسی از جمله نخستین روش‌های مورد استفاده در علم سیستماتیک بوده که امروزه نیز به‌عنوان ابزاری معتبر جهت مطالعات آرایه‌شناسی گروه‌های مختلف ماهیان در نظر گرفته می‌شود (Prokofiev, 2009). مطالعات سیستماتیکی جویبار ماهیان، تحت تأثیر عواملی از جمله ریز جثه بودن، فراوانی بالای گونه‌ها، تنوع ریختی در بین جمعیت‌های مختلف و همچنین همپوشانی صفات ریختی در آرایه‌های فراگونه‌ای، همواره چالش برانگیز بوده است (Sawada, 1982). در طی چند سال اخیر، مطالعات ریخت‌شناسی و مولکولی متعددی روی جویبار ماهیان جنس *Paraschistura* در ایران در جهت تبیین وضعیت آرایه‌شناسی آنها صورت گرفته است (Freyhof et al., 2015; Eagderi et al., 2019; Sayyadzadeh et al., 2019a). نتایج مطالعه مولکولی Sayyadzadeh و همکاران (۲۰۱۹a)، تمامی گونه‌های این جنس را براساس توالی‌های ژن سیتوکروم اکسیداز ۱، در کلادهای مجزایی قرار داد و تک‌نیایی بودن جنس را تأیید کرد. همچنین تک‌نیا بودن این جنس و دیگر جنس‌های خانواده جویبار ماهیان فاقد خار آب شیرین در مطالعه‌ای که



شکل ۲- تصاویر رادیوگرافی از اسکلت گونه‌های مورد مطالعه جنس *Paraschistura*: a) *P. abdolii*; b) *P. alta*; c) *P. aredvii*; d) *P. bampurensis*; e) *P. cristata*; f) *P. delvarii*; g) *P. hormuzensis*; h) *P. ilamensis*; i) *P. naumanni*; j) *P. nielsenii*; k) *P. susiani*; l) *P. turcmenica*, m) *P. kermanensis*.

پهنای عناصر اسکلتی ساقه دم، تعداد مهره‌ها و فرمول باله‌ها معیارهای آرایه‌شناسی معتبری جهت شناسایی گونه‌های مختلف جنس *Pampus* از خانواده حلوا سفید ماهیان می‌باشد (Jawad and Jig, 2016). اسکلت محوری به‌ویژه کمپلکس ساقه دمی اعضاء جنس *Danio* از کپورماهیان، بیانگر یکسری ویژگی‌های معتبر در تحلیل‌های تبارزایی این جنس می‌باشد که تک‌نیا بودن آن را هم‌سو با داده‌های مولکولی تأیید می‌کند (Sanger and Mccune, 2002). مطالعات استخوان‌شناسی مختلف صورت گرفته روی جویبار ماهیان نیز نشان می‌دهد که عناصر اسکلتی ذکر شده، معیاری معتبر در شناسایی و طبقه‌بندی این گروه از

توسط Sayyadzadeh و همکاران (۲۰۱۹b) براساس برخی عناصر اسکلتی بر روی تمامی جویبار ماهیان ایران و به‌منظور تبیین روابط خویشاوندی فراگونه‌ای این گروه از ماهیان صورت گرفت، مورد تأیید واقع شد. در این مطالعه، استخوان‌شناسی برخی از گونه‌های مختلف جنس *Paraschistura* در ایران براساس ویژگی‌هایی همچون اسکلت ساقه دم، تعداد مهره‌ها و شعاع‌های باله‌های مختلف با هدف تبیین روابط بین گونه‌ای، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین عناصر اسکلتی ذکر شده، در مطالعات تبارشناسی گروه‌های مختلف ماهیان استخوانی عالی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، شکل، اندازه و



شکل ۳. تصاویر رادیوگرافی از اسکلت ساقه دمی گونه‌های مورد مطالعه جنس *Paraschistura*: [a] *P. abdolii*; b) *P. alta*; c) *P. aredvii*; d) *P. bampurensis*; e) *P. cristata*; f) *P. delvarii*; g) *P. hormuzensis*; h) *P. ilamensis*; i) *P. naumanni*; j) *P. nielseni*; k) *P. susiani*; l) *P. turcmenica* and m) *P. kermanensis*

جدول ۱- تعداد شعاع‌های باله‌های پشتی، مخرجی و دمی و مهره‌ها در گونه‌های مورد مطالعه

گونه	باله پشتی		باله مخرجی		باله دمی (شعاع نرم)		مهره‌ها	
	سخت	نرم	سخت	نرم	لوب بالا	لوب پایین	پیش دمی	دمی
<i>P. abdolii</i>	۴	۷	۳	۵	۸	۸	۲۲، ۲۳	۱۵
<i>P. alta</i>	۴	۸	۳	۵	۸	۸	۲۳	۱۲
<i>P. aredvii</i>	۴	۸	۳	۵	۸	۸	۲۲، ۲۱	۱۲، ۱۳
<i>P. bampurensis</i>	۳	۷	۳	۵	۸	۸	۲۲، ۲۳	۱۳، ۱۴
<i>P. cristata</i>	۴، ۵	۸	۳، ۴	۵	۸	۷، ۸	۲۲، ۲۳	۱۴، ۱۵
<i>P. delvarii</i>	۴	۷	۳، ۴	۵	۸	۸	۲۵	۱۴
<i>P. hormuzensis</i>	۴	۷	۳، ۴	۵	۸	۸	۲۲، ۲۵	۱۲، ۱۳
<i>P. ilamensis</i>	۳	۷، ۸	۲، ۳	۵	۸	۸	۲۲	۱۲، ۱۳
<i>P. kermanensis</i>	۳	۸	۳	۵	۸	۸	۲۴	۱۳
<i>P. naumanni</i>	۴	۷	۳	۵	۸	۸	۲۴، ۲۵	۱۲، ۱۳
<i>P. nielseni</i>	۴	۷	۳	۵	۸	۸	۲۲	۱۲
<i>P. susiani</i>	۳، ۴	۸	۲، ۳	۵	۸	۸	۲۲	۱۲
<i>P. turcmenica</i>	۴، ۵	۷	۳	۵	۷، ۸	۸	۲۴	۱۴

دمی و تعداد مهره‌ها قابل تشخیص هستند. با این حال با توجه به نتایج (جدول ۱) در غالب موارد، بین گونه‌های بررسی شده، از نظر ویژگی‌های اسکلتی مورد مطالعه، همپوشانی وجود دارد. بنابراین با توجه به همپوشانی

ماهیان در سطوح فراگونه‌ای بوده است (Sawada, 1982; Prokofiev, 2009). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شماری از گونه‌های مورد مطالعه از طریق کمپلکس ساقه دمی به‌ویژه تعداد هیپورال‌ها، شعاع‌های باله‌های پشتی و

همچون سیتوکروم اکسیداز ۱ و سیتوکروم ب، در کنار صفات ریخت‌شناسی استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دکتر اولریخ اشلیون، بخش ماهی‌شناسی، مجموعه تاریخ طبیعی باوارین، جهت فراهم نمودن امکانات لازم برای عکس‌برداری‌های X-ray از نمونه‌ها، قدردانی به عمل می‌آید.

ویژگی‌های استخوان‌شناسی مورد مطالعه بین گونه‌های جنس *Paraschistura* و همچنین کاربرد این ویژگی‌ها در مطالعات تبارشناسی و طبقه‌بندی جنس‌ها و خانواده‌های مختلف ماهیان (Sanger and Mccune, 2002; Sawada, 1982; Prokofiev, 2009; Jawad and Jig, 2016)، به نظر می‌رسد ویژگی‌های استخوان‌شناسی ذکر شده، در شناسایی آرایه‌های فراگونه‌ای از جمله تبارها، جنس و خانواده مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور پیشنهاد می‌گردد، جهت شناسایی و بررسی روابط خویشاوندی میان و درون گونه‌ای، از نشانگرهای مولکولی ژنوم میتوکندریایی

منابع

- Berg L.S. 1940.** Classification of fishes, both recent and fossil. *Travaux de l'Institut Zoologique de l'Academie des Sciences de l'URSS* 5(3), 87-345.
- Day J.J. 2002.** Phylogenetic relationships of the Sparidae (Teleostei: Percoidae) and implications for convergent trophic evolution. *Biological Journal of the Linnean Society* 6, 269-301.
- Eagderi S., Mousavi-Sabet H., Freyhof J. 2019.** *Paraschistura makranensis*, a new loach from the Jegin River drainage in southern Iran with comments on *P. ilamensis* and *P. pasatigris* (Teleostei: Nemacheilidae). *Zootaxa* 4668(2), 258-270.
- Freyhof J., Sayyadzadeh G., Esmaili H.R., Geiger, M. 2015.** Review of the genus *Paraschistura* from Iran with description of six new species (Teleostei: Nemacheilidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 26(2): 1-48.
- Helfman G.S., Collette B.B., Facey D.E., Bowen B.W. 2009.** The diversity of fishes: Biology, Evolution, and Ecology. Blackwell Publishing, UK, Oxford.
- Hora S.L. 1932.** Classification, bionomics and evolution of homalopterid fishes. *Memorial Indian Museum* 12, 263-330.
- Jalili P., Eagderi S., Mousavi-Sabet H. 2015.** Descriptive osteology of a spined loach, *Cobitis avicennae* from Iranian part of the Tigris basin. *Iranian Journal of Ichthyology* 2(1), 53-60.
- Jawad L.A., Jig L. 2016.** Comparative osteology of the axial skeleton of the genus *Pampus* (Family: Stromateidae, Perciformes). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 97, 277-287.
- Mester-Bacescu L. 1970.** The morphological comparative study of the shoulder girdle of the fishes belonging to the Cobitidae family from Rumania. *Travaux du Museum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"* 10, 251-272.
- Prokofiev A.M. 2009.** Problems of the classification and phylogeny of Nemacheiline loaches of the group lacking the preethmoid I (Cypriniformes: Balitoridae: Nemacheilinae). *Journal of Ichthyology* 49(10), 874-898.
- Prokofiev A.M. 2010.** Morphological classification of loaches (Nemacheilinae). *Journal of Ichthyology* 50(10), 827-913.
- Sanger T.J., Mccune, A.R. 2002.** Comparative osteology of the *Danio* (Cyprinidae: Ostariophysini) axial skeleton with comments on *Danio* relationships based on molecules and morphology. *Zoological Journal of the Linnean Society* 135, 529-546.
- Sawada Y. 1982.** Phylogeny and zoogeography of the superfamily Cobitoidea (Cyprinoidei, Cypriniformes). *Memoirs of the Faculty of Fisheries of Hokkaido University* 28(2), 65-223.
- Sayyadzadeh G., Teimori A., Esmaili H.R. 2019a.** *Paraschistura kermanensis*, a new stone loach species from southeastern Iran (Teleostei: Nemacheilidae). *Zootaxa* 4638(4), 571-583.
- Sayyadzadeh G., Esmaili H.R., Abbasi, K. 2019b.** Comparative Taxonomically Important Osteological Characters of Loach Fishes from Iran (Cypriniformes: Cobitoidea). *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science* 43, 2149-2162.
- Taylor W.R., Van Dyke G.C. 1985.** Revised procedures for staining and clearing small fishes and other vertebrates for bone and cartilage study. *Cybiurn* 9, 107-119.

**Osteology of vertebral column and caudal skeleton of nemacheilid loaches,
genus *Paraschistura* from Iran (Teleostei: Nemacheilidae)**

Golnaz Sayyadzadeh^{1*}, Hamid Reza Esmaeili²

¹Department of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

²Department of Biology, College of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*Corresponding author: sayadzadeh.g@lu.ac.ir

Received: 14. Jun.2023

Accepted: 26. Aug.2023

Abstract

These small loaches are distributed from the upper Tigris River basin to Pakistan. Currently a total of 16 species are recognized in Iran. Since osteology has proven to be a useful tool for studying the taxonomy and phylogeny of fishes, including loaches, we have studied some osteological characters are studied in 13 species from Iran. To conduct this study, the fishes were fixed in 10% formaldehyde, stored in 70% and then deposited in the Zoological Museum, Collection of Biology Department, Shiraz University. Digital X-ray radiographs were taken from the left side of all fish using a Faxitron Bioptics. Based on the obtained results caudal skeleton consists of five or six hypurals and unpaired epural, parahypural and pleurstyle bones. The pleurstyle is fused to the last centrum. The shape of the epural is varies in each species. The fifth hypural is triangular, not connected to the terminal centrum and different in size. The results revealed that some *Paraschistura* species can be distinguished based on the caudal complex, especially by the number of hypurals, dorsal- and caudal-fin rays and the number of vertebra. Therefore, it seems that specific characters, are more useful in distinguishing higher taxa such as lineages, genera and families rather than individual species.

Keywords: Osteological characters, Caudal skeleton, Morphology, Nemacheilid fishes