



University of Tehran

Histology of digestive tract and liver in goldfish (*Carassius auratus*)

Vahidesadat Mirjalili¹ | Sayyed Mohammad Hadi Alavi^{2*}

1. Department of Animal Biology, School of Biology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: vahidesadatmirjalili@gmail.com

2. Corresponding author, Department of Animal Biology, School of Biology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: hadi.alavi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 29 June 2024

Revised: 26 July 2024

Accepted: 04 September 2024

Published online: 20 December 2024

Keywords:

Epithelium cells,

Goblet cells,

Goldfish,

Hepatocytes,

Mucosal folds.

ABSTRACT

The fish digestive system consists of the digestive tract and accessory glands that regulate food intake and digestion and absorption of nutrients. The aim of the present study was to investigate histological features of digestive tract and liver in goldfish (*Carassius auratus*). A linear regression model showed a positive relationship between digestive mass and body mass ($r= 0.620$, $n= 16$, $P=0.006$). The digestive tract, from outer to inner, consists of serosa, muscular, submucosal, and mucosal layers. The epithelium of the mucosal folds contained enterocytes and goblet cells in both intestine and rectum. The enterocytes were shorter in length at the apices of the mucosal folds, which were free of goblet cells. Morphometric analysis of histological indices showed longer mucosal folds in the rectum than in intestine portions ($P<0.001$). In the intestine, the length of mucosa folds in the middle segment was shorter than those of anterior and posterior segments ($P<0.001$). The basal width of mucosal folds and the distance between two subsequent folds were significantly increased from the anterior to the posterior segments of the intestine, and then decreased in the rectum ($P<0.001$). The thickness of the muscular layer in the anterior and posterior segments of the intestine was higher than the middle segment ($P<0.001$), and it was greater in the rectum compared to the intestinal segments ($P<0.001$). The liver consists of hepatocytes arranged in a diffuse or radial organization, with bile ducts, sinusoids, and veins in the liver parenchyma. This study, for the first time, reveals the morphological features of mucosal folds along the digestive tract in goldfish, suggesting that histological adaptation with spatial function optimizes food digestion and nutrient absorption.

Cite this article: Mirjalili, V., Alavi, S.M.H. (2024). Histology of digestive tract and liver in goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Fisheries*, 77 (4), 313-323. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2024.378706.1434>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2024.378706.1434>



دانشگاه تهران

بافت‌شناسی لوله گوارش و کبد در ماهی حوض (*Carassius auratus*)

وحیده السادات میرجلیلی^۱ | سید محمدهادی علوی^{۲*}

۱. گروه علوم جانوری، دانشکده زیست‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: vahidesadatmirjalili@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم جانوری، دانشکده زیست‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: hadi.alavi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

کلیدواژه:

سلول‌های پوششی (انتروسیت)،

پرز،

سلول جامی،

سلول‌های کبدی،

ماهی حوض.

دستگاه گوارش در ماهی‌ها شامل لوله گوارش و اندام‌های ضمیمه‌ای اند و دریافت، هضم غذا و جذب مواد مغذی به بدن را تنظیم می‌کنند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی بافت‌شناسی مقایسه‌ای در طول لوله گوارش و اندام کبد در ماهی حوض (*Carassius auratus*) بود. با کاربرد مدل رگرسیون خطی رابطه مثبت بین وزن دستگاه گوارش با وزن بدن مشخص شد ($P=0/006$ ، $r=0/620$ ، $n=18$). لوله گوارش از خارج به داخل شامل بافت همبند سروزی، لایه عضلانی و لایه زیرمخاط و مخاط است. اپیتلیوم لایه مخاطی پرزهای روده و راست‌روده شامل سلول‌های انتروسیت‌ها و سلول‌های جامی اند و در رأس پرز، سلول‌های انتروسیت کوتاه‌تر و سلول‌های جامی مشاهده نمی‌شود. بررسی ریخت‌شناسی پرزها نشان داد که طول پرزها در راست‌روده بیشتر از بخش‌های ابتدایی، میانی و انتهایی روده است ($P<0/001$). در روده، طول پرز در بخش میانی نسبت به بخش‌های ابتدایی و انتهایی کوتاه‌تر بود ($P<0/001$). عرض و فاصله بین پرزها در طول روده از بخش ابتدایی به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد، سپس در راست روده کاهش یافت ($P<0/001$). ضخامت لایه ماهیچه‌ای در بخش ابتدایی و انتهایی روده نسبت به بخش میانی بیشتر بود ($P<0/001$) و در رکتوم در مقایسه با بخش‌های مختلف روده بیشتر بود ($P<0/001$). کبد از سلول‌های کبدی به شکل پراکنده یا شعاعی تشکیل شد و مجاری صفراوی به‌همراه سینوزوئیدها و سیاهرگ‌ها در پارانشیم کبد قابل مشاهده بود. مطالعه حاضر برای اولین بار ویژگی‌های ریختی پرزها را در طول لوله گوارش در ماهی حوض نشان داد که حاکی از سازگاری بافتی با عملکرد موضعی برای بهینه‌سازی هضم و جذب مواد مغذی در این ماهی است.

استناد: میرجلیلی، وحیده السادات؛ علوی، سید محمدهادی (۱۴۰۳). بافت‌شناسی لوله گوارش و کبد در ماهی حوض (*Carassius auratus*). نشریه شیلات، مجله منابع

طبیعی ایران، ۷۷ (۴)، ۳۱۳-۳۲۳. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2024.378706.1434>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2024.378706.1434>



۱. مقدمه

دستگاه گوارش بزرگترین دستگاه غدد درون‌ریز بدن است که هورمون‌های مترشح آن نه تنها رشد، بلکه عملکرد سیستم‌های فیزیولوژیک دیگر قسمت‌های بدن از جمله تولیدمثل را نیز تنظیم می‌کنند (Ostaszewska and Kamaszewski, 2019; Wilczyńska and Wołczuk, 2019; Blanco and Unniappan, 2022). عملکرد عمومی دستگاه گوارش شامل دریافت غذا، تجزیه و هضم، جذب و انتقال مواد مغذی به بدن بوده که برای رشد ضروری است. از دید آناتومی، دستگاه گوارش لوله گوارش و اندام‌های ضمیمه‌ای شامل کبد، پانکراس، طحال و کیسه صفرا را شامل می‌شود که با توجه به بوم‌سازگان غذایی، رژیم غذایی (نوع غذا و دفعات تغذیه) و فیزیولوژی گوارش در میان رده‌های جانوری متنوع اند (Kent and Carr, 2000; Moyes and Schulte, 2016). در این زمینه، مطالعات بافت‌شناسی، بیوشیمی و فیزیولوژی به درک بهتر ما از تنوع و ویژگی‌های اختصاصی ساختار و عملکرد دستگاه گوارش بین جانوران کمک می‌کند (Stevens and Hume, 2004; Karasov and Douglas, 2013).

در ماهیان، همانند سایر مهره‌داران، آناتومی و بافت‌شناسی دستگاه گوارش به تفصیل بررسی شده است (Genten *et al.*, 2010; Wilson and Castro, 2010). بیشتر بررسی‌ها روی گونه‌های با ارزش در صنعت آبزی‌پروری متمرکز شده و به بررسی تکوین دستگاه گوارش در مرحله‌های جنینی و لاروی و تاثیر رژیم غذایی شامل گیاه‌خواری، همه‌چیزخواری و گوشت‌خواری بر اختصاصی شدن ساختار دستگاه گوارش پرداخته‌اند (Murray *et al.*, 1996; Dai *et al.*, 2007; Rønnestad *et al.*, 2013; Moshayedi *et al.*, 2017; Cho *et al.*, 2023; Mirzaei Nashtoroudi *et al.*, 2024). اما مطالعه کمی بر آناتومی و بافت‌شناسی دستگاه گوارش در ماهیان مدل آزمایشگاهی انجام شده است، درحالی‌که امروزه بسیار در پژوهش‌های زیست‌شناسی، آبزی‌پروری، زیست‌فناوری و زیست پزشکی استفاده می‌شوند.

ماهی حوض (*Carassius auratus*) به دلیل تکثیر ساده و سریع، نگهداری آسان و کم‌هزینه و در دسترس بودن اطلاعات ژنوم، از مهمترین و رایج‌ترین مدل‌های آزمایشگاهی در پژوهش‌های زیست‌شناسی تکوین، فیزیولوژی و آندوکرینولوژی، فارماکولوژی و سم‌شناسی، علوم سرطان، زیست‌محیطی و زیست‌فناوری است (Popescu *et al.*, 2008; Blanco and Unniappan, 2022; Filice *et al.*, 2022). اگرچه آناتومی و بافت‌شناسی دستگاه گوارش در ماهی حوض مطالعه شده، اما مستندات علمی قابل دسترس بسیار قدیمی و نیاز به بازنگری و ویرایش دارند (McVay and Kaan, 1940; Caceci, 1984). به‌ویژه، ویژگی‌های سلولی و ریختی پرزهای لوله گوارش در بخش‌های روده و راست‌روده مقایسه نشده‌اند. در پژوهش حاضر، علاوه بر بررسی مجدد ارتباط وزن (بیومس) دستگاه گوارش با وزن و طول بدن در ماهی حوض و بافت‌شناسی لوله گوارش و کبد، ویژگی‌های سلولی و ریختی پرزهای لوله گوارش در بخش‌های ابتدایی، میانی و انتهایی روده و همچنین راست‌روده بررسی شد. نتایج این پژوهش، داده‌های جدیدی به تمایز بافتی بخش‌های مختلف روده در ماهی حوض اضافه نمود که به مطالعات هیستوپاتولوژی کمک خواهد کرد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. حیوان آزمایشگاهی، شرایط نگهداری و نمونه‌برداری

پژوهش حاضر در آزمایشگاه زیست‌شناسی تولیدمثل، دانشکده زیست‌شناسی، دانشگاه تهران در بهار ۱۴۰۳ انجام شد. ماهیان حوض (*C. auratus*) دوساله بالغ از کارگاه پرورش ماهی در شهر رشت خریداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. بعد از ۷۲ ساعت نگهداری اولیه برای سازگاری با محیط و بررسی سلامت ماهیان، تعداد ۱۸ ماهی حوض در دو آکواریوم با حجم ۳۰ لیتر آب تقسیم شدند. دمای آب با استفاده از بخاری (Raoping United Friend Aquarium Equipment Company, China) در 23 ± 1 درجه سانتی‌گراد در طول دوره آزمایش نگهداری شدند، و طول شب و روز ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی بود. ماهیان هر روز دو مرتبه به مقدار کل ۳ درصد وزن بدن با غذای تجاری (Biomar) در صبح و عصر تغذیه شدند. به ترتیب، آکواریوم و آب آکواریوم هر روز یک مرتبه تمیز و تعویض شدند. ماهیانی با اندازه و وزن بدن مختلف برای بررسی رابطه بین وزن

دستگاه گوارش و وزن و طول بدن استفاده شد. پس از دو هفته نگهداری در شرایط آزمایشگاهی، ماهیان نمونه برداری شدند. هر ماهی جداگانه با MS222 (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) بیهوش شد، و وزن و طول استاندارد بدن به ترتیب با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم (Andgulf, UAE) و متر با دقت ۱ میلی متر ثبت شدند. سپس، محل اتصال نخاع به مغز با استفاده از تیغ جراحی قطع شد تا حیوان هیچ دردی را در زمان تشریح احساس نکند. ماهی تشریح شد و وزن دستگاه گوارش شامل لوله گوارش و غده های ضمیمه ای ثبت شد. قطعه هایی از بافت های روده، راست روده و کبد برای مطالعات بافت شناسی در محلول فرمالین ۵ درصد تثبیت شدند.

۲-۲. گواهی کد اخلاق در پژوهش

پژوهش حاضر مورد تأیید کمیته اخلاق در پژوهش های زیست پزشکی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران که در تاریخ ۱۴ تیر ۱۴۰۰ تأسیس گردید، با شناسه IR.UT.SCIENCE.REC.1403.003 قرار گرفت.

۲-۳. بافت شناسی

نمونه های بافتی روده، راست روده و کبد تثبیت شده، در سیده های پلاستیکی قرارداده شد و مرحله پاساژ بافتی با استفاده از دستگاه پاساژ بافت (شرکت دید سبز، ایران) انجام شد. نمونه ها با پارافین بلوک گیری شد و به وسیله میکروتوم (Erma, Tokyo, Japan) برش هایی به ضخامت ۷ میکرومتر تهیه شد. برش های به دست آمده روی لام قرار گرفتند، بعد از ۲۴ ساعت با استفاده از هماتوکسین و اتوزین رنگ شدند. مقاطع بافتی تهیه شده به وسیله میکروسکوپ (Nikon Labophot-2 Japan) مشاهده شد و تصویربرداری با استفاده از دوربین HDMI+USB camera (KaiLiwei, China) انجام شد. شاخص های مورفومتری بافتی با استفاده از نرم افزار ImageJ در برش های بافتی ۱۵ ماهی اندازه گیری شدند. طول و عرض پرز و فاصله بین دو پرز متوالی برای ۱۵-۱۰ پرز در هر ماهی اندازه گیری شدند. ضخامت لایه ماهیچه ای ۵ مرتبه در بخش های مختلف روده و راست روده برای هر ماهی اندازه گیری شد.

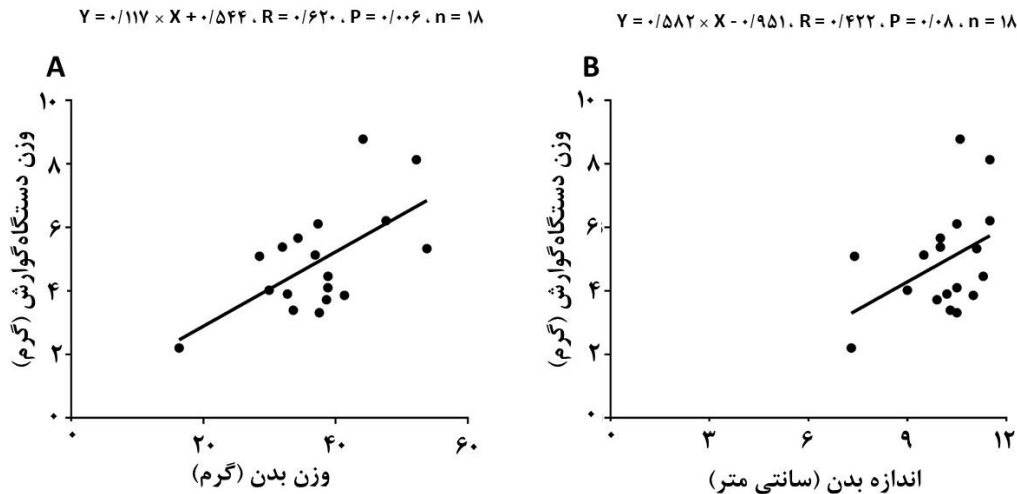
۲-۴. تجزیه و تحلیل آماری داده ها

ابتدا توزیع داده ها و هموزن بودن واریانس با آزمون Shapiro-Wilk test و Kruskal-Wallis ارزیابی شدند. در صورت نیاز، داده ها با استفاده از لگاریتم نرمال شدند. شاخص های ریختی بافت روده (طول، عرض و فاصله بین دو پرز متوالی، و ضخامت لایه ماهیچه ای) بین بخش های مختلف روده با استفاده از آنالیز واریانس ANOVA به همراه Tukey multiple comparison test مقایسه شد. مقدار ارزش P برای بررسی معنی داری در سطح ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. رابطه بین وزن دستگاه گوارش و اندازه بدن شامل وزن و طول استاندارد با استفاده از رگرسیون خطی بررسی گردید. از نرم افزار GraphPad Prism (نسخه 9.0.0) برای تحلیل داده ها و رسم نمودارها استفاده شد.

۳. یافته های پژوهش

۳-۱. رابطه وزن دستگاه گوارش با ویژگی های ظاهری بدن

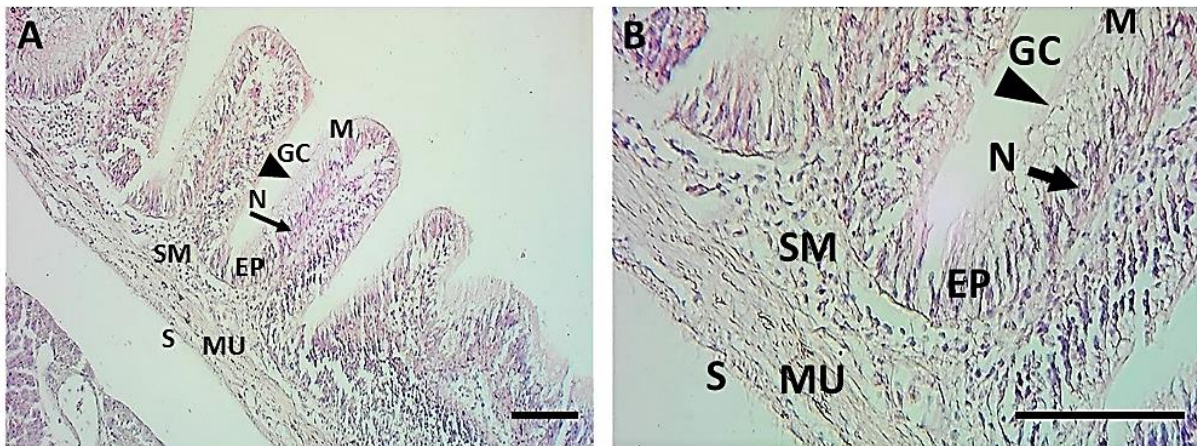
ارتباط وزن دستگاه گوارش با ویژگی های طول و وزن ماهی حوض با استفاده از رگرسیون خطی بررسی گردید. مدل رگرسیون خطی بین وزن دستگاه گوارش با وزن بدن (شکل ۱A) و با طول استاندارد بدن (شکل ۱B) صعودی بود. ضریب رگرسیونی به دست آمده رابطه معنی داری بین وزن دستگاه گوارش با وزن بدن نشان داد ($P=0/006$).



شکل ۱- نمودارهای رابطه بین وزن دستگاه گوارش با وزن بدن (A) و طول استاندارد بدن (B) در ماهی حوض (*Carassius auratus*)

۲-۳. بافت‌شناسی لوله گوارش

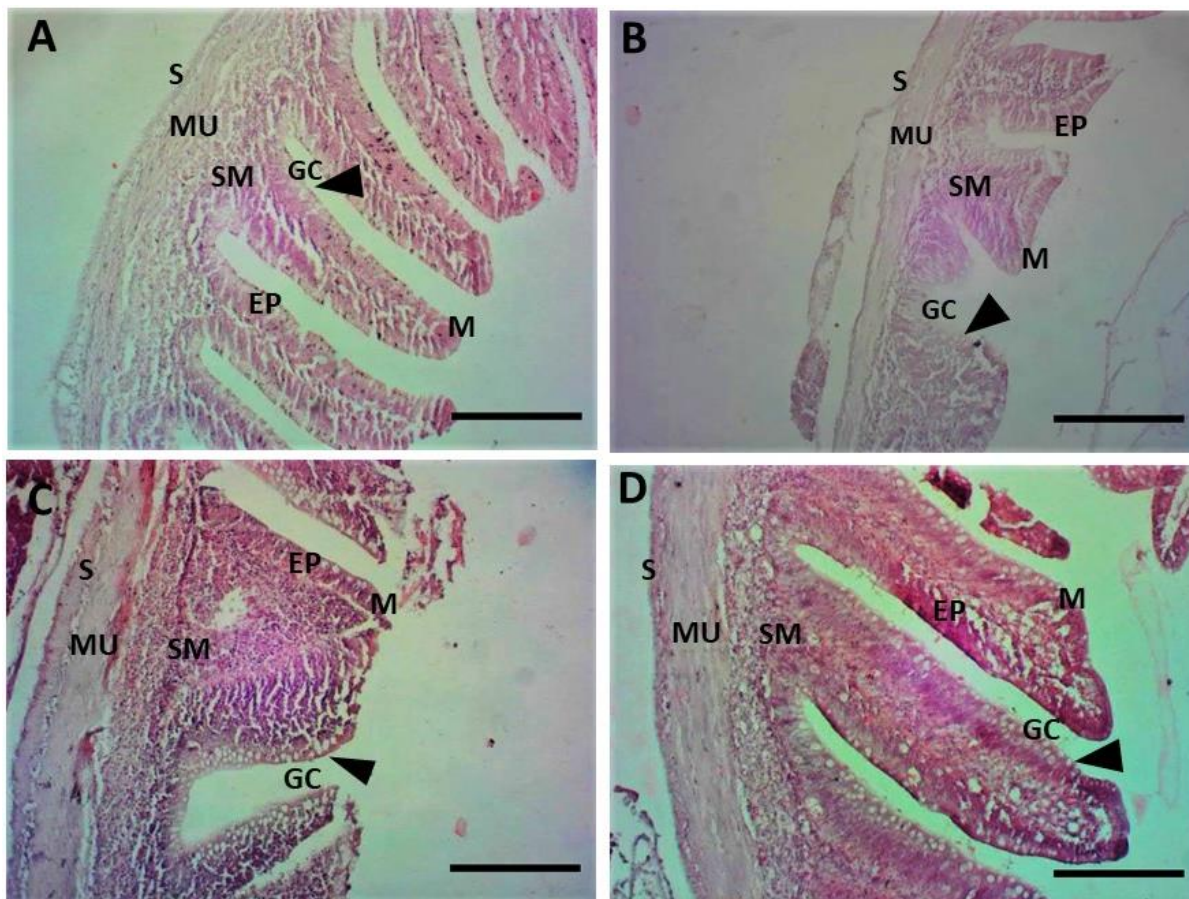
لایه‌های تشکیل دهنده لوله گوارش از خارج به داخل شامل بافت همبند (سروزی)، لایه عضلانی و لایه زیرمخاط (حاوی عروق خونی بود) و مخاط (روده و راست‌روده) قابل مشاهده است (شکل ۲). لایه مخاط از اپیتلیوم شامل سلول‌های پوششی استوانه‌ای (انتروسیت‌ها) و سلول‌های ترشح‌کننده موکوس (سلول‌های جامی) تشکیل شده است. در رأس پرز، طول سلول‌های انتروسیت کوتاه‌تر و در امتداد پهلوهای پرز بلندتر هستند. هسته سلول‌های انتروسیت معمولاً در یک سوم پایه سلول قرار داشته و به صورت دایره‌ای پررنگ قابل مشاهده است. سلول‌های جامی که با موکوس بزرگ شده‌اند، به شکل واکنش‌های بزرگ کروی مشاهده می‌شوند. نوک پرزها در روده و راست‌روده تقریباً عاری از سلول‌های جامی و تعداد آنها در قسمت‌های عمیق‌تر پرزها بیشتر است.



شکل ۲- تصاویر سازماندهی سلولی و بافتی لوله گوارش در ماهی حوض (*Carassius auratus*) با بزرگنمایی عدسی شیئی ۱۰ (A) و بزرگنمایی عدسی شیئی ۲۵ (B). برش بافتی از بخش ابتدایی روده انتخاب شده است. لایه مخاط (M)، سلول‌های پوششی یا انتروسیت‌ها (EP)، سلول‌های ترشح‌کننده موکوس یا سلول‌های جامی (GC)، لایه زیرمخاط (SM)، لایه عضلانی (MU)، بافت همبند سروزی (S) و هسته سلول‌های انتروسیت (N). برش‌های بافتی با استفاده هماتوکسیلین-ئوزین رنگ شدند. اندازه خط مقیاس برابر ۱۰۰ میکرومتر است.

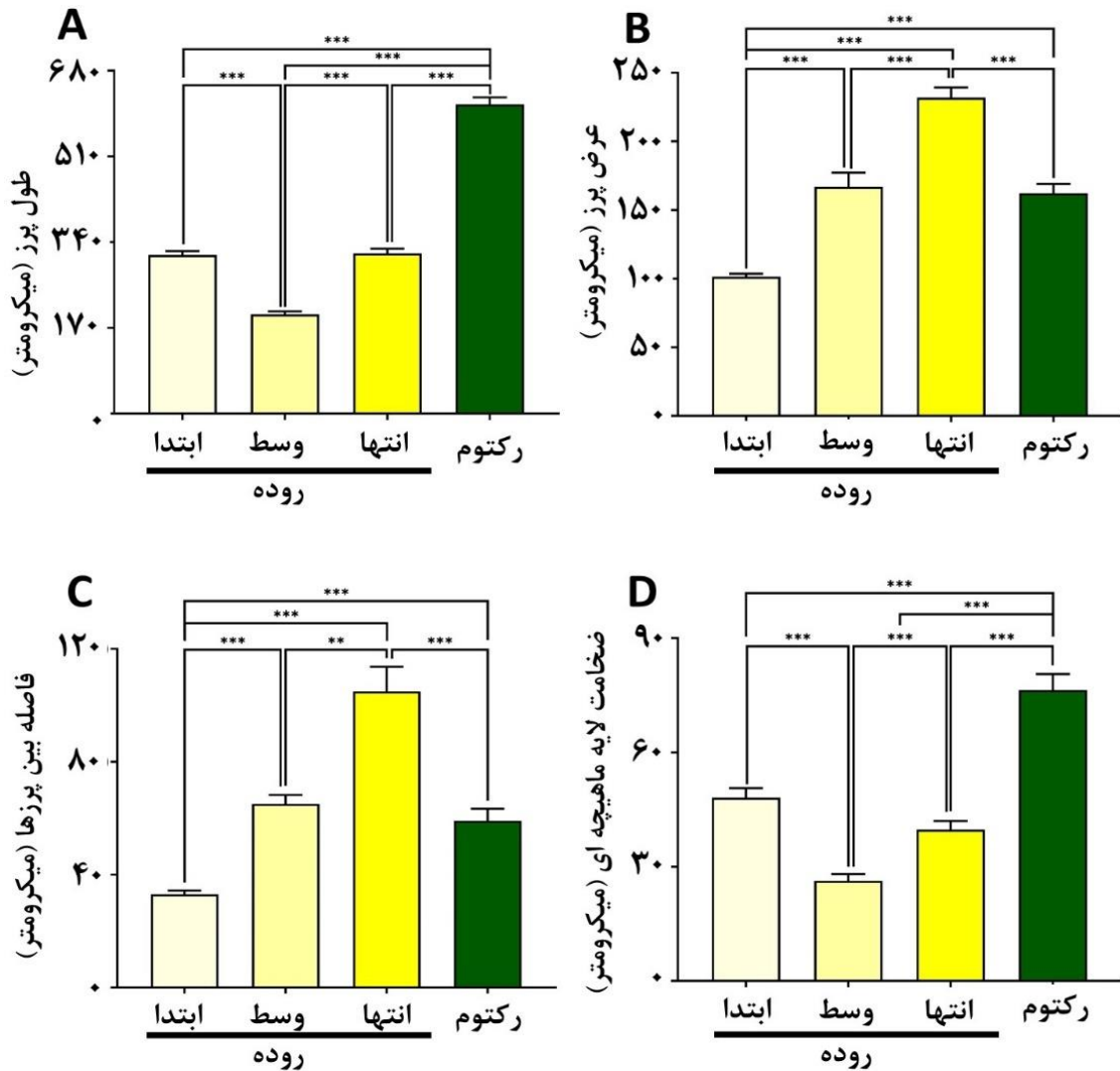
در بخش ابتدایی روده (یک سوم ابتدایی از طول کل روده)، فضای لومن بزرگ به همراه پرزهای بلند و نازک بوده، لایه عضلانی و بافت همبند سروزی قابل مشاهده است (شکل ۳A). در بخش میانی، پرزها کوتاه‌تر و پهن‌تر است، آرایش ساده‌تری داشته و تعداد آنها کمتر است (شکل ۳B). بخش انتهایی روده دارای پرزهایی پهن‌تر نسبت به بخش ابتدایی است و ضخامت

لایه عضلانی بیشتر است (شکل ۳C). راست‌روده با مسیر مستقیم خود به مقعد از بخش‌های دیگر لوله گوارش متمایز می‌شود. در بخش راست‌روده، پرزها طویل و لایه عضلانی ضخیمی نسبت به بخش ابتدایی و میانی روده قابل مشاهده است (شکل ۳D). به‌طور کلی تراکم سلول‌های جامی از ابتدا به انتها روده افزایش نشان داد. نوک پرزها در روده و راست‌روده تقریباً عاری از سلول‌های جامی است و بیشتر در قسمت‌های جانبی پرزها قرار دارند. همچنین، تراکم سلول‌های جامی در بخش‌های انتهایی روده و راست‌روده نسبت به بخش‌های ابتدایی و میانی روده بیشتر است.



شکل ۳- تصاویر بافت شناسی مقایسه‌ای ابتدای روده (A)، وسط روده (B)، انتهای روده (C) و رکتوم (D) در ماهی حوض (*Carassius auratus*). لایه مخاط (M)، سلول‌های پوششی یا انتروسیت‌ها (EP)، سلول‌های ترشح‌کننده موکوس یا سلول‌های جامی (GC)، لایه زیرمخاط (SM)، لایه عضلانی (MU) و بافت همبند سروزی (S)، فلش مشکی نشان‌دهنده سلول جامی است. برش‌های بافتی با استفاده هماتوکسیلین-ئئوزین رنگ شدند. تصاویر با بزرگنمایی عدسی شیئی ۱۰ گرفته شده‌اند. اندازه خط مقیاس برابر ۲۰۰ میکرومتر است.

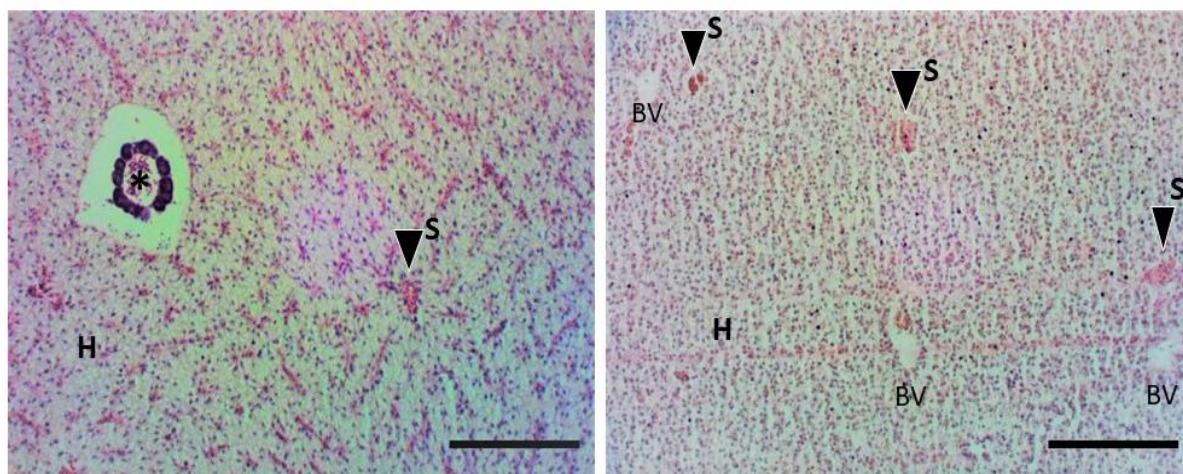
مطالعه ویژگی‌های ریختی نشان داد که طول پرز در راست‌روده بیشتر از بخش‌های ابتدایی، میانی و انتهایی روده است (شکل ۴A) ($P < 0.001$). در روده، طول پرز در بخش میانی نسبت به بخش‌های ابتدایی و انتهایی کوتاه‌تر است ($P < 0.001$) (شکل ۴A). عرض و فاصله بین پرزها در طول روده از بخش ابتدایی به انتهایی افزایش دارد ($P < 0.001$ یا $P < 0.01$), سپس در و در راست‌روده کاهش یافت ($P < 0.001$) (شکل ۴B و ۴C). ضخامت لایه ماهیچه‌ای در بخش ابتدایی و انتهایی روده نسبت به بخش میانی بیشتر بود ($P < 0.001$) و در راست‌روده نیز در مقایسه با بخش‌های مختلف روده بیشتر بود ($P < 0.001$) (شکل D). (۴)



شکل ۴- نمودارهای طول پرز (A)، عرض پرز (B)، فاصله بین دو پرز متوالی (C) و ضخامت لایه ماهیچه‌ای (D) در ابتدای، وسط و انتهای روده (ستون‌های زرد رنگ) و در رکتوم (راست روده) ماهی حوض (*Carassius auratus*). داده‌ها میانگین و خطای استاندارد میانگین‌اند. **، $P < 0.01$ و *** $P < 0.001$

۳-۳. بافت‌شناسی کبد

کبد غده‌ای فشرده مایل به قهوه‌ای است که به‌طور کامل به چند لوب تقسیم نمی‌شود. پارانشیم کبدی از سلول‌های کبدی به شکل پراکنده یا شعاعی تشکیل شده است. سلول‌های کبدی کروی و حاوی واکوئل‌های مواد ذخیره‌ای همچون چربی و گلیکوژن است و همین سبب می‌شود تا هسته به کنار سلول نزدیک غشا رانده شود و سیتوپلاسم به‌علت وجود این واکوئل‌ها کمتر رنگ‌آمیزی شده است. مجاری صفراوی به‌همراه سینوزوئیدها و سیاهرگ‌ها نیز داخل پارانشیم کبد قابل مشاهده است (شکل ۵).



شکل ۵- تصاویر بافت‌شناسی کبد در ماهی حوض (*Carassius auratus*). سلول‌های کبدی یا هیاتوسیت‌ها (H)، مجرای صفراوی (*)، سینوزوئیدها (S) و سیاهرگ (BV). برش‌های بافتی با استفاده هماتوکسیلین-ئوزین رنگ شدند. اندازه خط مقیاس ۲۰۰ میکرومتر است.

۴. بحث

بررسی بافتی دستگاه گوارش به درک بهتر ما از سازگاری‌های عملکردی و فیزیولوژی رشد و متابولیسم در گونه‌های با رژیم غذایی متفاوت کمک می‌کند (Wilson and Castro, 2010; Bjørgen *et al.*, 2020). مطالعه حاضر نشان‌دهنده ارتباط وزن دستگاه گوارش با وزن بدن در ماهی حوض است و تغییرات سازمانی کالبدشناختی و سلولی را در طول روده و راست‌روده نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند ویژگی‌های ریختی پرزها و پراکنش آنها در بخش‌های روده و راست‌روده متفاوت بوده که بیانگر وظیفه عملکردی آنها در هضم و جذب و دفع مواد غذایی در این ماهی است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش وزن بدن، وزن دستگاه گوارش افزایش می‌یابد که مطابق با مطالعات پیشین در ماهیان صرف‌نظر از رژیم غذایی است (German and Horn, 2006). با افزایش وزن بدن، همچنین، طول روده افزایش می‌یابد که در ماهیان گوشت‌خوار نسبت به ماهیان گیاه‌خوار کوتاه‌تر است (Wilson and Castro, 2010; Duque-Correa *et al.*, 2024).

مطابق با مطالعات پیشین (McVay and Kaan, 1940; Caceci, 1984)، دستگاه گوارش در ماهی حوض فاقد معده و مری به روده متصل است که با سایر ماهیان همه‌چیزخوار مشابهت دارد (Wilson and Castro, 2010; Brown *et al.*, 2019; Neves *et al.*, 2024). در ماهیان گوشت‌خوار معده با وظیفه‌ای ترشح‌کننده هورمون و آنزیم وجود دارد که برای هضم طعمه حیوانی لازم است. در مقابل، اغلب ماهی‌های گیاه‌خوار اندامی شبه‌معده با ساختار عضلانی دارند که برای هضم گیاهی ضروری است (Shalaby, 2020; Abdel-Wahab *et al.*, 2017). ویژگی‌های سازمانی لوله گوارش در ماهی حوض، همانند سایر ماهیان، از لایه‌های همبند سروزی، عضلانی و زیرمخاط و مخاط تشکیل شده است (Raji and Norouzi, 2010; Delashoub *et al.*, 2010; Lokka *et al.*, 2013; Ortiz-Ruiz *et al.*, 2024). پوششی استوانه‌ای (انتروسیت‌ها) و سلول‌های ترشح‌کننده موکوس (سلول‌های جامی) تشکیل شده است و پرزها را به وجود می‌آورد. حضور سلول‌های جامی شکل در بخش‌های مختلف روده متفاوت بود. تعداد سلول‌های جامی از ابتدا به انتها روده و در راست‌روده افزایش یافت که مطابق مطالعات پیشین (Sukhee *et al.*, 2024; Putra *et al.*, 2024)، ترشح بیشتر مخاط توسط سلول‌های جامی از پوشش روده محافظت کرده، عبور غذای تجزیه شده را در روده برای جذب مواد مغذی تسهیل و به روانکاری مواد باقیمانده در راست‌روده برای دفع کمک می‌کند (Chirde and Gadhikar, 2014; Dai *et al.*, 2007; Pozzer *et al.*, 2023).

مقایسه بافتی-سازمانی سلول‌ها در سه ناحیه ابتدایی، میانی و انتهایی روده وجود پرزهای بلند با سلول‌های انتروسیت طویل در بخش ابتدایی روده را نشان می‌دهد که سبب افزایش سطح برای هضم و جذب مواد مغذی می‌شود. لایه عضلانی در این

قسمت از روده با انقباضات قوی حرکت غذا و مخلوط شدن آن با آنزیم‌های ترشح شده برای هضم را تسهیل می‌کند. در مقابل، بخش میانی و انتهایی دارای پرزهای کوتاه‌تر و لایه عضلانی نازک‌تر به‌خصوص در بخش میانی بودند که تغییر سازمانی مشاهده شده پیشنهادکننده تغییر عملکردی در بخش‌های میانی و انتهایی روده نسبت به بخش ابتدایی است. این نتایج تأییدکننده پژوهش دیگری است که پژوهشگران روی گونه‌های ماهیان دیگر انجام داده‌اند (Murray et al., 1996; Liu et al., 2018; Han et al., 2021; Gonçalves et al., 2024).

مطالعات پیشین نشان دادند که پرزهای قسمت اصلی روده نسبت به راست‌روده کوتاه‌تر و پهن‌تر و آرایش بسیار ساده‌تری نسبت به راست‌روده دارند (McVay and Kaan, 1940; Caceci, 1984). بررسی ساختار پرز در بخش‌های مختلف روده در مطالعه حاضر نشان می‌دهد، ساختار پرزهای راست‌روده با بخش‌های ابتدایی، میانی و انتهایی روده متفاوت است. به هر حال، هر سه مطالعه موجود نشان می‌دهند که تعداد سلول‌های جامی از ابتدا روده تا راست‌روده در ماهی حوض افزایش می‌یابد. همچنین، سلول‌های جامی در نواحی عمیق‌تر چین‌ها به تعداد بیشتری مشاهده می‌شوند.

در مطالعه حاضر بافت‌شناسی کبد در ماهی حوض مطالعه شد. کبد نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیک بدن شامل متابولیسم، ایمنی و بازسازی سلولی و تولیدمثل ایفا می‌کند (Akiyoshi and Inoue, 2004; Bruslé and Gonzalez, 2017). همانند سایر گونه‌های ماهیان، کبد ماهی حوض از سلول‌های کبدی با هسته‌ای نزدیک به غشاء تشکیل شده است که به‌صورت شعاعی در اطراف یک ورید مرکزی قرار گرفته‌اند که توسط سینوس‌های خونی از هم جدا شده‌اند (Nopanitaya et al., 1979; Ostaszewska et al., 2006; Genten et al., 2009; Hassan, 2013). اما برخلاف مهره‌داران تکامل یافته‌تر، کبد فاقد ساختار لوبولی است (Rašković et al., 2011; Akoul and Jowari, 2019). در هر صورت، پراکنش سلول‌های کبدی در ماهی قرمز بین مویرگ‌ها نامنظم است که با گزارش پیشین منطبق است (Nopanitaya et al., 1979). در شرایط طبیعی، سیتوپلاسم سلول‌های کبد محل ذخیره مقادیر زیادی گلیکوژن است و در شرایط بی‌غذایی ماهی از آن به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند. مطالعه بافت‌شناسی کبد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشان‌دهنده وجود یک کانال صفراوی در داخل هر سلول کبدی است که از هسته به سطح غشای سلول کشیده شده است که به مجرای صفراوی باز می‌شود (Yamamoto, 1965).

۵. نتیجه‌گیری نهایی

در مجموع، مطالعه حاضر نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین وزن دستگاه گوارش با وزن بدن در ماهی حوض بود و تغییرات بافتی را در طول روده و راست‌روده ترسیم کرد. تفاوت ویژگی‌های پرزها در طول روده در این ماهی پیشنهادکننده سازگاری بافتی با عملکرد دستگاه گوارش برای بهینه‌سازی هضم و جذب مواد مغذی است که می‌تواند در مطالعات هیستوپاتولوژی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از راهنمایی‌ها و کمک‌های آقای دکتر حسن مروتی (استاد، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران)، آقای کیوان سهرابی‌فرد (کارشناس آزمایشگاه بافت‌شناسی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران) و خانم نگار کازری (دانشجوی دکتری زیست‌شناسی تکوین، دانشکده زیست‌شناسی، دانشگاه تهران) صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

References

- Abdel-Wahab, S.M.M., El-Deeb, R.M.A., Khalaf-Allah, H.M.M., Abu-Zaid, M.M., Shalaby, W.T.S., 2017. Morphological and histological adaptations in the oesophagus and stomach of some coral reef fishes in Hurghada, Red Sea, Egypt. *International Journal of Environmental Science and Engineering* 8, 1-14.
- Akiyoshi, H., Inoue, A., 2004. Comparative histological study of teleost livers in relation to phylogeny. *Zoological Science* 21(8), 841-850. DOI: 10.2108/zsj.21.841

- Akoul, M.A., AL-Jowari, S.A.K., 2019. Comparative anatomical and histological study of some organs in two fish species *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 and *Mesopotamichthys sharpeyi* (Günther, 1874) (Cypriniformes, Cyprinidae). *Bulletin of the Iraq Natural History Museum* 15(4), 425-441. DOI: 10.26842/binhm.7.2019.15.4.0425
- Björger, H., Li, Y., Kortner, T.M., Krogdahl, Å., Koppang, E.O., 2020. Anatomy, immunology, digestive physiology and microbiota of the salmonid intestine: Knowns and unknowns under the impact of an expanding industrialized production. *Fish & Shellfish Immunology* 107, 172-186. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.09.032
- Blanco, A.M., Unniappan, S., 2021. Goldfish (*Carassius auratus*): biology, husbandry, and research applications. In: D'Angelo, L., de Girolamo, P., (Eds.), *Laboratory Fish in Biomedical Research*. Academic Press, pp. 373-408. DOI: 10.1016/B978-0-12-821099-4.00012-2
- Brown, C., Wolfenden, D., Sneddon, L., 2019. Goldfish (*Carassius auratus*). In: Yeates, J., (Editor) *Companion Animal Care and Welfare: The UFAW Companion Animal Handbook*, 1st Edition. John Wiley & Sons Ltd. pp. 467-478.
- Bruslé, J., & Gonzalez i Anadon, G., 2017. The structure and function of fish liver. In: Dutta, H.M., (Ed.), *Fish morphology*. Taylor & Francis Inc., pp. 77-93. DOI: 10.1201/9780203755990-6
- Caceci T., 1984. Scanning electron microscopy of goldfish, *Carassius auratus*, intestinal mucosa. *Journal of Fish Biology* 25(1), 1-12. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1984.tb04845.x
- Chirde, S.G., Gadhikar, Y., 2014. Histology, histochemical and ultrastructural studies on intestine of Indian catfish, *Clarius batrachus* (Linn 1758), *Asian Journal of Biology and Biotechnology* 3(1),1-9.
- Cho, J.-H., Park, J.W., Ryu, Y.-W., Kim, K.-W., Hur, S.-W., 2023. Morphology, histology, and histochemistry of the digestive tract of the Marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae*. *Animals* 13(5), 936. DOI: 10.3390/ani13050936
- Dai, X., Shu, M., Fang, W., 2007. Histological and ultrastructural study of the digestive tract of rice field eel, *Monopterus albus*. *Journal of Applied Ichthyology* 23, 177-183. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00830.x
- Delashoub, M., Pousty, I., Khojasteh, S.M.B., 2010. Histology of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) intestine. *Global Veterinaria* 5(6), 302-306.
- Duque-Correa, M.J., Clements, K.D., Meloro, C., Ronco, F., Boila, A., Indermaur, A., Salzburger, W., Clauss, M., 2024. Diet and habitat as determinants of intestine length in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 34(3), 1017-1034. DOI: 10.1007/s11160-024-09853-3
- Filice, M., Cerra, M.C., Imbrogno, S., 2022. The goldfish *Carassius auratus*: an emerging animal model for comparative cardiac research. *Journal of Comparative Physiology Part B* 192, 27-48. DOI: 10.1007/s00360-021-01402-9
- Genten, F., Terwinghe, E., Danguy, A., 2009. *Atlas of Fish Histology*. Taylor & Francis Inc. ISBN: 978-1578085446.
- German, D.P., Horn, M.H., 2006. Gut length and mass in herbivorous and carnivorous prickleback fishes (Teleostei: Stichaeidae): Ontogenetic, dietary, and phylogenetic effects. *Marine Biology* 148(5), 1123-1134. DOI: 10.1007/s00227-005-0149-4
- Gonçalves, M., Lopes, C., Silva, P., 2024. Comparative histological description of the intestine in platyfish (*Xiphophorus maculatus*) and swordtail fish (*Xiphophorus helleri*). *Tissue and Cell* 87, 102306. DOI: 10.1016/j.tice.2024.102306
- Han, Z., Sun, J., Liu, X., Sun, X., Shi, H., Guo, Y., 2021. The delimitation of intestine segments of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) based on histological features. *Anatomia, Histologia, Embryologia* 50(5), 763-769. DOI: 10.1111/ah.12722
- Hassan, A., 2013. Anatomy and histology of the digestive system of the carnivorous fish, the brown-spotted grouper, *Epinephelus chlorostigma* (Pisces; Serranidae) from the Red Sea. *Life Science Journal* 10(2), 1-16.
- Karasov, W.H., Douglas, A.E., 2013. Comparative digestive physiology. *Comparative Physiology* 3(2), 741-783. DOI: 10.1002/cphy.c110054
- Kent, G.C., Carr, R.K., 2000. *Comparative Anatomy of Vertebrates*, 9th Edition. McGraw-Hill Education – Europe, ISBN: 978-0071181686.
- Liu, X., Hegab, I.M.M., Su, J., Du, X., Fan, X., Zhang, Q., Gao, Y., Wang, H., 2018. Effects of different durations of fasting/re-feeding bouts on growth, biochemical and histological changes in the digestive tract of Gansu golden trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Czech Journal of Animal Science* 63(10), 389-398. DOI: 0.17221/107/2017-CJAS
- Lokka, G., Austbo, L., Falk, K., Bjerkas, I., Koppang, E.O., 2013. Intestinal morphology of the wild Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Journal of Morphology* 274, 859-876. DOI: 10.1002/jmor.20142
- McVay J.A., Kaan, H.W., 1940. The digestive tract of *Carassius auratus*. *Biological Bulletin* 78(1), 53-67. DOI: 10.2307/1537800

- Murray, H., Wright, G.M., Goff, G., 1996. A comparative histological and histochemical study of the post-gastric alimentary canal from three species of pleuronectid, the Atlantic halibut, the yellowtail flounder and the winter flounder. *Journal of Fish Biology* 48(2), 187-206. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1996.tb01112.x
- Moyes, C., Schulte, P., 2016. Principles of Animal Physiology, 3rd Edition. Pearson, ISBN 978-0321838179
- Moshayedi, F., Eagderi, S., Iri, M., 2017. Histological study of digestive system of common carp, *Cyprinus carpio* Var. Sazan during early developmental stages. *Journal of Fisheries* 70(1), 95-105. DOI: 10.22059/jfisheries.2017.219519.956 (In Persian)
- Mirzaei Nashtoroudi M., Rezaei Tavabe, K., Abed Elmdoust, A., Rafiee, G., Rahimian, H., Shirkavand Hadavand, B., 2024. Effects of polystyrene nanoplastics on liver histological indices and growth and survival indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Fisheries* 77(1), 25-36. DOI: 10.22059/jfisheries.2024.360226.1389 (In Persian)
- Neves, M.P., Amorim, J.P.D.A., Delariva, R.L., Kratina, P., Fialho, C.B., 2024. Linking anatomical and histological traits of the digestive tract to resource consumption and assimilation of omnivorous tetra fishes. *Ecology and Evolution* 14(5), e11375. DOI: 10.1002/ece3.11375
- Nopanitaya, W., Carson, J. L., Grisham, J.W., Aghajanian, J.G., 1979. New observations on the fine structure of the liver in goldfish (*Carassius auratus*). *Cell and Tissue Research* 196, 249-261. DOI: 10.1007/BF00240100
- Ostaszewska, T., Kamaszewski, M., 2019. Digestive System. In: Kirschbaum, F., Formicki, K., (Eds.), *The Histology of Fishes*, 1st Edition. CRC Press, Chapter 6, 19 pages. ISBN: 978-1032088235
- Ostaszewska, T., Korwin-Kossakowski, M., Wolnicki, J., 2006. Morphological changes of digestive structures in starved tench *Tinca tinca* (L.) juveniles. *Aquaculture International* 14, 113-126.
- Ortiz-Ruiz, M., López-Flórez, C., Castro-Rebolledo, M.I., Baldisserotto, B., Gómez-Ramírez, E., 2024. Anatomy, histology and ultrastructure of the digestive tract in Andean fish (*Trichomycterus bogotensis*) and ecological implications. *Zoomorphology* pp. 1-9. DOI: 10.1007/s00435-023-00634-3
- Popesku, J.T., Martyniuk, C.J., Mennigen, J., Xiong, H., Zhang, D., Xia, X., Cossins, A.R., Trudeau, V.L., 2008. The goldfish (*Carassius auratus*) as a model for neuroendocrine signaling. *Molecular and Cellular Endocrinology* 293(1-2), 43-56. DOI: 10.1016/j.mce.2008.06.017
- Pozzer, R.F., Faccioli, C.K., Chedid, R.A., Mori, R.H., Batlouni, S.R., Vicentini, I.B.F., Vicentini, C.A., 2023. Morphological analysis of the digestive tract of *Hypophthalmus marginatus* (Valenciennes, 1840). *Anatomia, Histologia, Embryologia* 52(4), 603-610. DOI: 10.1111/ahel.12918.
- Putra, D.F., Salsabila, F., Dewiyanti, I., Batubara, A.S., Nasir, M., 2024. The morphological and histological developmental study of the gastrointestinal tract of Peres fish (*Osteochilus kappenii*) Larvae. *Jordan Journal of Biological Sciences* 17(2), 269-275. DOI: 10.54319/jjbs/170206
- Raji, A.R., Norouzi, E., 2010. Histological and histochemical study on the alimentary canal in waking catfish (*Claris batrachus*) and Piranha (*Serrasalmus nattereri*). *Iranian Journal of Veterinary Research* 11(3), 255-261. DOI: 10.22099/ijvr.2010.130
- Rašković, B., Stanković, M., Marković, Z., Poleksić, V., 2011. Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)* 56(1), 87-100. DOI: 10.2298/JAS1101087R
- Rønnestad, I., Yúfera, M., Ueberschär, B., Ribeiro, L., Sæle, Ø., Boglione, C., 2013. Feeding behaviour and digestive physiology in larvae fish: Current knowledge, and gaps and bottlenecks in research. *Reviews in Aquaculture* 5, S59-S98. DOI: 10.1111/raq.12010
- Shalaby, W., 2020. Comparative morphological and histological studies on the adaptation of esophagus and stomach to the feeding habits in some coral reef fishes at Hurghada, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 24(5), 289-306. DOI: 10.21608/ejabf.2020.105059
- Stevens, C.E., Hume, I.D., 2004. Comparative physiology of the vertebrate digestive system, 2nd edition. Cambridge University Press, ISBN: 978-0702032363
- Sukkhee, N., Senarat, S., Charoenphon, N., Kaneko, G., Kettratad, J., Angsujinda, K., Kongtueng, P., Mitparian, T., Kanjanarakha, T., Ampawong, S., 2024. Histological structure of the digestive tract, liver, and pancreas of *Ambassis nalu* (Hamilton, 1822) with ultrastructural details of the gastric gland. *Journal of Fish Biology* 104(1), 113-124. DOI: 10.1111/jfb.15566
- Wilson, J.M., Castro, L.F.C., 2010. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. In: Grosell, M., Farrell, A.P., Brauner, C.J., (Eds.), *Fish Physiology: The Multifunctional Gut of Fish*. Academic Press, pp. 1-55. DOI: 10.1016/S1546-5098(10)03001-3
- Wilczyńska, B., Wolczuk, K., 2019. Glands of the digestive tract. In: Kirschbaum, F., Formicki, K., (Eds.), *The Histology of Fishes*, 1st Edition. CRC Press, Chapter 7, 10 pages. ISBN: 978-1032088235
- Yamamoto, T., 1965. Some observations on the fine structure of the intrahepatic biliary passages in goldfish (*Carassius auratus*). *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie* 65(3), 319-330. DOI: 10.1007/BF00345633