# بررسی ساختار عروق تنفسی آبشش فیتوفاگ (Hypophthalmicthys molitrix) با استفاده از قالبگیری عروق و میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM)

#### چکیدہ

آبشش ماهی به عنوان اندام اصلی تبادل مواد بخصوص گازهای تنفسی تلقی میشود و علاوه بر تنفس، نقش مهمی در تنظیم اسمزی، تبادل اسید و باز و دفع ضایعات نیتروژنی ایفا میکند. این اندام دارای یکی از پیچیده ترین ساختار عروقی است و تفاوت هایی در آناتومی آن میان گونه های مختلف ماهی وجود دارد. قالب گیری تحلیلی عروق توأم با میکروسکوپ الکترونی نگاره، یک روش استاندارد است که اجازه تجسم سه بعدی با وضوح مناسبی از رگ های ریز خونی و مویر گ های کوچک اندام ها را می دهد. در مطالعه حاضر با استفاده از فن قالب گیری تحلیلی عروق، جزئیات ساختار عروق آبششی (مسیر سرخرگی-سرخرگی) ماهی فیتوفاک (Hypophthalmicthys molitrix) با کمک میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) بررسی گردید. طبق نتایج حاصله مسیر کلی خون در عروق ماهی فیتوفاک با سایر ماهیان استخوانی مشابه بود اما تفاوت هایی در جزئیات ساختار عروق آبششی (مسیر سرخرگی-ایتخوانی مشابه بود اما تفاوت هایی در جزئیات ساختار عروق ماهی فیتوفاک با سایر ماهیان تفاوت در ساختار و مجاری عروقی آبشش فیتوفاک نسبت به ماهیان با متابولیسم بالا احتمالاً مرتبط با نیاز اکسیژنی کمتر و متابولیسم پایین تر فیتوفاک باشد.

واژگان کلیدی: فیتوفاک (Hypophthalmicthys molitrix)، قالب گیری عروق (vascular casting)، میکروسکوپ الکترونی.

## اکرم سادات نعیمی<sup>(</sup> نادر شعبانی پور<sup>\*۲</sup>

۲، ۲. گروه زیستشناسی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\*مسئول مكاتبات: shabani@guilan.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۵۰۴۰۳۰۳ تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۴ این مقاله برگرفته از سایر فعالیتهای پژوهشی است.

#### مقدمه

آبشش، سیستمهای تنفسی اغلب جانواران آبزیاند. این عضو سطوح چینخوردهای اپتیلیالی است که باید در آب آزاد و معلق باشد. در جانوران آبزی مساحت کل سطح آبشش ها نسبت به بقیه سطح بدن اغلب بسیار بیشتر است (Shelenk and Benson, 2001).

آبشش ماهی یک اندام چند عملکردی بوده، بدین معنی که عهدهدار تعداد متنوعی از فعالیتهای هموستاتیکی است (Olson,1991)، علاوه بر فراهم کردن زمینه تبادل گازی در آب، نقشهای مهمی را در تنظیم اسمزی و یونی، تعادل اسید– باز، دفع مواد زائد نیتروژنه و متابولیسم برخی هورمونها را نیز بر عهده دارد (Evans et al., 2005; Claiborne et al., 2002). آبشش یکی از مهمترین اندامهای فیزیولوژیک مهرهداران و بهویژه ماهیان میباشد و دارای یکی از پیچیدهترین سیستمهای عروقی یافت شده در میان اندامها است (Olson, 1991)، ویزیولوژیک مهرهداران و بهویژه ماهیان میباشد و دارای یکی از پیچیدهترین سیستمهای عروقی یافت شده در میان اندامها است ( Olson, 2014 توانایی تبادل بین محیط داخلی و خارجی گردیده است ( Olson, 1991).



از ابتدای کار بر روی مطالعه آناتومی عروق آبششی بیش از ۲۰۰ سال میگذرد (Skov and Bennett, 2005). کارهای اولیه در مورد آناتومی عروق آبششی در دهه ۱۸۰۰ بهطور نسبی گردش تنفسی را توصیف میکردند، اما دیدگاههای بسیار متفاوتی درباره مسیرهای غیر تنفسی وجود داشته است (Olson, 2002). در ۱۸۳۹ دو مسیر مجزا درون آبشش یک هاگ فیش (hagfish) تشخیص داده شد که شامل یک مسیر تنفسی (سرخرگی– سرخرگی) و یک مسیر نوترینت سرخرگی– سیاهرگی میشد که از سرخرگ وابران فیلمانتی (EFA) منشأ میگرفت و یک شبکه سیاهرگی درون بدنه فیلامنت را تشکیل میداد (2005, Olson, 2005). از آن زمان تاکنون، تعدادی از مدلهای تشریحی و کاربردی در مورد آبشش ماهیان تلئوست پیشنهادشده است (Skov and Bennett, 2005).

بهطورکلی مطالعات عروق آبششی در طی سالهای اخیر، از پیشرفت مداومی برخوردار بوده است و تشریح ساختار عروقی گونههای مختلف و متعدد مشخص کرد که تفاوتهای اساسی بین گونهای میان آنها وجود دارد (Skov and Bennett, 2005).

درک عمومی فعلی از سیستم عروقی آبشش یک تغییر جزئی است از آنچه توسط مولر پیشنهاد شد که شامل یک مسیر سرخرگی- سرخرگی (بهعنوان مسیر اولیه و اصلی تنفسی که خون اکسیژندار را برای تنه و بیشتر اندامهای بدن فراهم می کند) و یک مسیر سرخرگی- سیاهرگی می باشد که عمدتاً در فراهم نمودن اکسیژن و مواد مغذی (nuntrient) به ساختار آبشش نقش دارد ( Olson, 2002; Skov and می باشد که عمدتاً در فراهم نمودن اکسیژن و مواد مغذی (nuntrient) به ساختار آبشش نقش دارد ( Rogers et al., 2014 کار 2005; Rogers et al., 2014). امروزه در مورد آناتومی و عملکرد آبشش ماهیان سؤالات زیادی بیپاسخمانده است و باوجود حدود ۳۰۰۰۰ گونه ماهی که دارای سازگاریهای مورفولوژیک و فیزیولوزیک متنوعی برای طیف وسیعی از زیستگاههای آبی میباشند، مطالعه با روش قالبگیری عروق به درک بیشتر و کامل تری از سیستم عروقی این موجودات کمک می کند (2014, 2015). همچنین این روش در کنار استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM، یک شیوه کاربردی برای تجزیه و تحلیل شبکههای ریز عروقی و مویرگها و آرایش سه-با روش در کنار استفاده از میکروسکوپ الکترونی MES، یک شیوه کاربردی برای تجزیه و تحلیل شبکههای ریز عروقی و مویرگها و آرایش سه-بعدی آنها و همچنین بررسی بافت شناختی رگها است (2011). موجودات کمک می کند (Nematollahi et al., 2014). در کشور ما نیز با استفاده از این فن بر روی ساختار عروقی اندامهای ماهی قزل آلا (1012). ۲۵ معانه دانم را به کروزیای سیر الههی و شادخواست، ۱۳۹۲) و کپور معمولی (نعمت اللهی و همکاران، ۱۳۸۷) مطالعاتی صورت گرفته است، اما تاکنون تحقیقی که جزئیات ساختار عروق مسیر تنفسی آبشش را به طور کامل در ماهیان به ویژه ماهی فیتواگ توصیف کند، صورت نگرفته است. در مطالعه حاضر با به کارگیری فن قالب گیری تحلیلی عروق و با کمک SEM، ساختار شبکههای ریز عروقی آبشش در مسیر سرخرگی- سرخرگی و آرایش سهبعدی آنها در ماهی فیتوفاگ (Hypophthalmicthys molitrix) بررسیشده است.

#### مواد و روشها

ماده قالب گیری شامل رزین به همراه سخت کننده آن (Hardener) بود که به میزان ۵۰ درصد با حلال (تینر فوری) مخلوط شد و جهت تزریق استفاده گردید. جهت رنگ دهی به مخلوط از سودان قرمز به مقدار ۰/۶۶ میلی گرم در هر میلی لیتر از مخلوط استفاده شد (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۵).

ماهی فیتوفاگ (Hypophthalmicthys molitrix) با وزن متوسط ۱۰۰ ± ۱۱۰۰ گرم بهصورت زنده از بازار شهر رشت تهیه و به آزمایشگاه تحقیقاتی زیستشناسی دریا دانشگاه گیلان منتقل گردید. نمونهها در آزمایشگاه از آب بیرون آورده شد و در کیسه نایلونی قرار گرفت تا هنگام تقلا و تلف شدن کمترین آسیب به آبششها برسد. فاصله زمانی بین تلف شدن و شروع تزریق باید بسیار کم باشد تا قطر عروق بهدستآمده نمایانگر ابعاد حقیقی عروق باشد و همچنین از اسپاسم عروق جلوگیری شود (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۵).

جهت قالبگیری از کل آبشش ماهی، ابتدا برای پاک نمودن بستر عروقی از خون محلول سالین (۱۹۹۸ درصد) تزریق شد (Aharinejad and Lametschwandtner, 1992). سرنگ ۵ میلیلیتر حاوی سالین به اسکالپ وصل شده و سپس سوزن اسکالپ در ابتدای پیاز آئورتی وارد گردید. سالین بهآرامی و با سرعت متوسط ۲۰۱ تا ۲/۲ میلیلیتر در دقیقه تزریق شد. سپس این سرنگ جداشده و سرنگ دیگری که حاوی ماده قالبگیری بود وصل گردید. تزریق ماده قالبگیری نیز بهآرامی و با سرعت متوسط ۲۱۰ میلیلیتر در دقیقه در طول کار پیشروی ماده تزریقی در آبشش مشاهده گردید. زمانی که ماده قالبگیری از محل بریدگی آئورت پشتی خارج شد، تزریق متوقف گردید. بعد از تزریق، ابتدا نخ دور آئورت شکمی گرهزده شد و ارتباط آئورت شکمی با پیاز آئورتی قطع شد تا مواد از محل تزریق خارج نشود. پسازآن، سوزن اسکالپ از پیاز آئورتی خارج گردید (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۵).

بعد از تزریق، نمونه به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در یخچال نگهداری شد تا ماده قالبگیری در عروق منعقد شود. جهت از بین بردن بافت آبشش و سایر بافتهای اطراف، نمونه در سود با غلظت ۲۰ درصد قرار داده شد. در طی چند روز نمونه بهطور مداوم موردبررسی قرار گرفت. در نمونههای مورد آزمایش بهطورمعمول بعد از ۲۴ تا ۴۸ ساعت، بافتهای اطراف از بین رفته و آنچه باقی ماند قالبی از ساختار سهبعدی عروق آبششی بود (Aharinejad and Lametschwandtner, 1992). این قالب توسط آب بهآرامی شستشو دادهشده و سپس قالب حاصله که نمایی از ساختار سهبعدی عروق کل آبشش میباشد، در زیر استریو میکروسکوپ و میکروسکوپ نوری موردبررسی و مطاعه قرار گرفت. بدینصورت که ساختار و ارتباطات عروق آبشش توسط استریومیکروسکوپ و ساختارهای عروق ریزتر در صورت لزوم با میکروسکوپ معمولی موردبررسی قرار گرفت (نیمی و همکاران، ۱۳۸۵).

در این مرحله قسمتهایی از قالب ساختار عروقی شامل بخشهایی از همی برانش یک آبشش برای مطالعه بهتر ساختار سرخرگهای آبششی آوران (ABA)، سرخرگهای فیلمانتی آوران (AFA) و ساختار آمپول در ماهی فیتوفاگ، انتخاب و برش داده شد. بعد از خشک شدن، نمونهها روی پایه فلزی مخصوص (Stalk) با چسب دوطرفه چسبانده شد. سپس نمونهها با طلا پوشانده شدند و پسازآن با میکروسکوپ الکترونی نگاره مدل SEM-Philips-XL30 دانشکده فنی دانشگاه گیلان، تصویربرداری انجام شد (نعیمی و همکاران، Aharinejad ۱۳۸۵); and Lametschwandtner, 1992;

نتايج

در مطالعه با استریو میکروسکوپ ملاحظه گردید که ساختار عروقی آبشش این ماهی دارای ۴ جفت سرخرگ آبششی آوران ( ABA وارد ( ABA وارد ( ABA یا ABA یا ABA) بوده که هر جفت به طور جداگانه و مستقل از آئورت شکمی انشعاب می گیرند (شکل ۱). هر ABA وارد یک کمان آبششی شده و به یک شاخه مقابل جریان (anterioventrally یا RCB) که به طور قدامی شکمی (gosteriodorsally) پیش رفته و یک شاخه هم جریان (posteriodorsally) که به صورت عقبی پشتی (posteriodorsally) امتدادیافته، انشعاب می یابد (شکل ۲). ( ( شکل ۲). هر ABA وارد یک کمان آبششی شده و به یک شاخه مقابل جریان (CCB یا concurrent branch) که به طور قدامی شکمی (شکل ۲). ( شکل ۲).



شکل ۱: قالب آئورت شکمی (VA) به همراه ۴ جفت سرخرگ آوران آب ششی (ABA) انشعاب یافته از آن (۱۰×). فاصله محل انشعاب سرخرگهای آب ششی آوران چهارم (ABA4) از آئورت شکمی تا محل انشعاب جفت سوم این سرخرگها (ABA) بسیار بیشتر از فاصله محل انشعاب سرخرگهای آب ششی آوران اول (ABA1) تا دوم (ABA2) است.

سرخرگهای آوران آبششی کمان سوم و دوم در انتهای شاخه عقبی پشتی خود نیز دوشاخه شده و انشعاب هر دوشاخه درون کمان خاتمه مییابند. سرخرگهای فیلمانتی آوران (AFA) در یکسوم ابتدایی و در برخی مکانها در قسمت میانی خود دارای ساختار متسعی به نام آمپول (AFA) یا (bleb) میباشند. آمپولها در بیشتر مناطق از یکدیگر مستقل بوده، اما به نظر میرسد در برخی قسمتها چند آمپول AFA مجاور در یک همی برانش، به هم متصل شده و یک گذرگاه پیوستهای را ایجاد کردهاند (اشکلهای ۳ و ۴).



concurrent branch) شکل ۲: قالب شاخه مقابل جریان (RCB یا RCB) یا قدامی شکمی و شاخه هم جریان ( soncurrent ) شکل ۲ یا عقبی پشتی سرخرگ آوران آبششی (ABA) (۱۰×).



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) از قالب أمپولهای (\*) مرتبط با یکدیگر (۲۴×).



شکل ۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) از قالب یک همی برانش که در آن سرخرگ آبششی آوران (ABA)، سرخرگ فیلمانتی آوران (AFA) و آمپولهای (\*) مرتبط با یکدیگر نشان دادهشده است (۱۳×). بررسی ساختار عروق تنفسی آبشش فیتوفاگ (Hypophthalmicthys molitrix) ... / نعیمی و شعبانی پور

سرخرگهای فیلمانتی آوران (AFA) به سمت انتهای فیلامنت، باریک (مخروطی) شده و درنهایت به نوک فیلامنت ختم میشوند. AFA ها به سمت دو انتهای هر همی برانش بهتدریج کوچک میشوند.

تعداد زیادی از شریانچههای آوران لاملاری (ALA یا Afferent Lamellar Arteriol یا AFA) در طول AFA از آن منشعب می شوند. ALA در قسمت پایه فیلامنت نسبتاً طویل بوده و غالباً یک ALA برای خون رسانی به ۴ تا ۵ لاملا در یک سمت فیلامنت منشعب می شود. هر ALA در قسمت آمپول نیز عمدتاً به ۳ یا ۴ لاملا خون رسانی می کند. کمی پایین تر از آمپول هر ALA اغلب به ۳ لاملا و نزدیک انتها به ۱ یا ۲ لاملا متصل می شود (شکل ۵). در قسمت انتها معمولاً هر ALA تنها به یک لاملا خون رسانی می کند (شکل ۶). طول ALA از پایه فیلامنت تا انتهای آن به تدریج کوتاه تر می شود. انشعاب یا لاملا در نوک فیلامنت دیده نشد.



شکل ۵: قالب یک AFA که در آن تعداد زیادی از شریانچههای آوران لاملاری (ALA) در طول AFA از آن انشعاب گرفتهاند. غالباً هر ALA برای خونرسانی به ۴ تا ۵ لاملا (L) و در قسمت آمپول (A) نیز به ۳ یا ۴ لاملا منشعب شده است (۱۵×).



شکل ۶: قالب انتهای فیلامنت که در آن املاها بسیار کوچکشدهاند و هر ALA به یک لاملا (L) خونرسانی میکند (۱۵×).

سلولهای پیلار (سوراخها در قالب که در اثر هضم این سلولها تشکیل شدند) در ردیفهایی تقریباً منظم قرارگرفته و کانالهای خونی موازی تشکیل دادهاند (شکل ۷).



شکل ۷: تصویر میکروسکوپ نوری قالب قسمتی از یک لاملا، به همراه OMC و IMC آن. فلش انتهای آوران لاملا را نشان میدهد. فلش نقطهچین مسیر خونی را از میان سلولهای پیلار (سوراخها) نشان میدهد (۴۰۰×).



شکل ۸: تصویر میکروسکوپ نوری قالب قسمتی از یک فیلامنت که در آن شریانچههای آوران و وابران لاملاری (ELA و ELA)، املاها (L) و سرخرگهای فیلمانتی وابران (EFA) مشخصشدهاند. هر ELA خون یک لاملا را به EFA زهکشی میکند (۱۰۰×).

یک کانال حاشیه ای داخلی (Inner Marginal Channel یا IMC) و یک کانال حاشیه ای خارجی (outer Marginal Channel یا نزدیک OMC) در هر لاملای آبشش فیتوفاگ مشاهده شد. به نظر می سد که کانال حاشیه ای خارجی متسع و تقریباً پیوسته بوده و قطر آن نزدیک انتهای آوران لاملا بیشتراست. قطر این کانال در میانه مسیر باریک می شود اما در انتهای وابران کمی متسع می گردد. هیچ برآمدگی خار مانندی در کانال حاشیه ای خارجی مشاهده نگردید. کانال در میانه مسیر باریک می شود اما در انتهای وابران کمی متسع می گردد. هیچ برآمدگی خار مانندی در کانال حاشیه ای خارجی مشاهده نگردید. کانال حاشیه ای داخلی به صورت باریک و منقطع بود (شکل ۷). شریانچه های وابران لاملاری (در کانال حاشیه ای خارجی مشاهده نگردید. کانال حاشیه ای داخلی به صورت باریک و منقطع بود (شکل ۷). شریانچه های وابران لاملاری (در کانال حاشیه ای خارجی مشاهده نگردید. کانال حاشیه ای داخلی به صورت باریک و منقطع بود (شکل ۷). شریانچه های وابران لاملاری (در کانال حاشیه ای خارجی مشاهده نگردید. کانال حاشیه ای داخلی به صورت باریک و منقطع بود (شکل ۷). شریانچه های وابران (در کانال حاشیه کارجی مشاهده نگردید. کانال حاشیه ای داخلی به صورت باریک و منقطع بود (شکل ۷). شریانچه های وابران (دولا کاه) متصل می فرد ( به دیواره جانبی سرخرگ آب ششی وابران (EBA) متصل می شود (شکل ۸). مشابه سرخرگ آب ششی آوران (ABA)، سرخرگ آب شمی وابران هر کمان نیز به صورت دوشاخه عقبی پشتی و قدامی شکمی دیده شد (شکل ۹). شاخه و و به صورت یک شاخه و احد به عنوان سرخرگ ایی برانشیال به سمت عقب پیش می ود. سرخرگ ایی برانشیال کمان اول نزدیک آنتها دوشاخه یکی شده و به صورت یک شاخه و احد به عنوان سرخرگ ایی برانشیال به سمت عقب پیش می ود. سرخرگ ایی برانشیال کمان اول نزدیک آفرات پشتی به سرخرگ ایی برانشیال کمان اول نزدیک آفرات پشتی به سرخرگ ایی برانشیال کمان دوم متصل شده و آفورت جانبی (اسخالی می هرد. (اسخال می مرخرگ ایی برانشیال کمان اول نزدیک آفرات پشتی با شکیل می دهند. سرخرگ های پیرانشیال کمان های سرخرگ ایی برانشیال کمان مور د. یک نقطه به آفورت پشتی می می می درد. اینهای می می در در کانی می مرخرگ ایی برانشیال کمان و و موم می می در می آفررت پشتی را تشکیل می دهند. سرخرگهای ایی در در کانهای سوم و چه در در در به در می می می در در یک نقطه به آفورات پشتی می می در در



شکل ۹: قالب قسمتی از یک کمان آبششی که در آن شاخههای عقبی پشتی و قدامی شکمی EBA (سرخرگ آبششی وابران) نشان داده شده است. (ABA: سرخرگ آبششی آوران) (۱۰×).



شکل ۱۰: قالب کامل از ساختار عروقی فیتوفاگ که در آن عروق آوران و وابران آبششی، آئورت شکمی (VA)، پشتی (DA) و جانبی (LA)، سرخرگ ماندیبولار (MA) و سرخرگهای اپی برانشیال (EP) مشخص شده است (۱۰×).



شکل ۱۱: قسمتی از قالب آئورت پشتی (DA)، جانبی (LA) و سرخرگهای اپیبرانشیال کمانهای اول تا چهارم (EP)، سرخرگهای آبششی وابران (EBA) (۱۰×).

شاخه قدامی شکمی به سمت قدامی دوشاخه شده، هر یک جریان را از یک همیبرانش منفرد دریافت کرده و بهعنوان رگهای مستقل تا انتهای همی برانش ادامه مییابد (شکل ۱۲). شاخه کناری از اولین سرخرگ وابران آبششی (در سمت قدامی شکمی)، کمان را ترک کرده و سرخرگ ماندیبولار از آن منشعب میشود. نزدیک انتهای قدامی شاخه کناری، دو انشعاب دیگر از یک نقطه جداشده که یک انشعاب آن به شاخه کناری سمت قدامی شکمی سرخرگ آبششی وابران دوم متصل شده و انشعاب دیگر به قسمت قدامی گردش هیپوبرانشیال متصل میشود.



شکل ۱۲: قالب دو انشعاب قدامی شاخه قدامی شکمی EBA کمان دوم (۱۵×).



شکل ۱۳: قالب انشعابات قسمت قدامی شکمی EBA کمان دوم و سوم که بخشی از آنها به گردش هیپوبرانشیال (HB) متصل شده است (برای مشاهده گردش هیپوبرانشیال، بخشی از آئورت شکمی برداشتهشده است) (۰۰×).

شاخه دیگر اولین سرخرگ وابران آبششی (سمت قدامی شکمی) به سمت قدامی پیش رفته و به انتهای همی برانش مربوط به خود ختم میشود.

یک انشعاب از شاخه میانی قسمت قدامی شکمی سرخرگهای آبششی وابران کمانهای دوم و سوم (و احتمالاً کمان چهارم) دو سمت آبشش جداشده که با یکدیگر، تشکیل گردش هیپوبرانشیال را میدهند (شکل ۱۳). انتهای شاخه میانی و شاخه دیگر این کمانها (شاخه کناری) بهطور مستقل به سمت قدامی کمان امتدادیافته، به انتهای همیبرانش مربوط به خود پایان مییابند.

### بحث و نتیجه گیری

آبشش حاوی یکی از پیچیدهترین سیستمهای عروقی یافت شده در میان اندامهای مهرهداران است (Olson, 1991) که توسط یک ناحیه اپی تلیومی با سطح وسیع احاطهشده و یک سد نازکی رابین خون و محیط آبی فراهم میکند (Evans et al., 2005). پر عروق بودن یک اندام نشان از نوعی فعالیت شاخص مانند تصفیه، ذخیره غذا، تبادل گاز و یون و ترشح است. معتبرترین و باارزش ترین یافتههای بهدست آمده از قالب گیری عروق و SEM مشاهده سهبعدی جزئیات اتصالات عروقی، آرایش و پراکندگی عروق در سطح بافتها و اندامها میباشد که به آسانی با هیچ روش دیگر قابل دستیابی نیست (Minnich and Lametschwandtner, 2010; Hossler and Quillen, 1998).

در مطالعه حاضر، هر کمان آبششی ماهی فیتو فاگ انشعابی مجزا و جداگانه از آئورت شکمی دریافت میکند (سرخرگهای آبششی آوران، Afferent Branchial Arteries یا ABA) (شکل ۱). در برخی ماهیان استخوانی و ازجمله در *Catla catla* (کپور هندی) همانند فیتوفاگ، هر ۴ جفت سرخرگ آبششی آوران بهطور مستقل از آئورت شکمی انشعاب می گیرند (Khanna and Singh, 2003). درحالی که در برخی گونهها مانند *Claries batrachus IRita rita Mytus aor Notopterus chitala Tor putitora*، کپور معمولی و قزل آلا سه جفت انشعاب از آئورت شکمی جداشده و منشأ جفت سوم و چهارم یکی می باشد (Khanna and Singh, 2003). تعداد انشعاب به نظر نمی رسد مربوط به سیر تکاملی باشد، چراکه قزل آلا بهعنوان یک ماهی شکارگر همانند کپور معمولی بهعنوان یک ماهی کف زی دارای سه انشعاب از آئورت شکمی است.

نکته قابلتوجه دیگر، وجود ساختار متسعی به نام آمپول (bleb) است. طبق تحقیقات صورت گرفته، ساختار آمپول در تعداد زیادی از ماهیان مانند گربهماهی جویبار (Channel catfish) (Carp) (Carp)، کپور (Carp) (Carp)، سوف (perch)، سوف (Dison, 2002) (Carp) (Laurent and Dunel, 1976; Fromm, 1974) (trout)، قزل آلا (Clson, 1980) bowfin (Laurent and Dunel, 1976) وجود دارد. حتی تون ماهی (Olson *et al.*, 2003) وجود دارد.

آبشش ماهیان، مساحتی برابر ۱/۵ تا ۲ سانتیمتر مربع به ازای هر گرم وزن بدن ماهی دارد (Nagabhushanam et al., 1983). این خود نشاندهنده مسیر بسیار طولانی گذر خون از میان آبشش بوده و لذا با افزایش طول مسیر، فشارخون کاهشیافته و نیاز به تجدید نیروی رانش دارد. در ماهی ساختار آمپول به نظر میرسد چنین نیرویی را فراهم کند. ازآنجاکه فشارخون ماهی با توجه به حجم خون زیاد نمیباشد، چنین ساختاری به نظر میرسد به عنوان پمپهای ضمیمه، کار افزایش گردش خون در میان مسیر پرپیچوخم اندام آبششی را تسهیل و تسریع میکند (Olson, 1991; Laurent, 1984).

به نظر میرسد سطح گسترده آبشش، لزوم آمپول را اثبات میکند، ولی آناتومی آن وابسته به فیزیولوژی عمومی و عادات اکولوژیکی جانور است (محیط دریایی یا آب شیرین و نحوه تغذیه). در مطالعه حاضر، فیتوفاگ با آمپولهایی کوچکتر و گهگاه متصل به یکدیگر میباشد که در مقایسه با ماهیان با متابولیسم بالاتر نظیر قزلآلا با آمپولهایی مستقل و نسبتاً بزرگ (Olson, 2002) دارای کارایی کمتری است. اتصال آمپولها از درون به یکدیگر در برخی از ماهیان مانند گربهماهی، کپور، bowfin، همانند فیتوفاگ دیدهشده است (Laurent, 1984).

آمپول در همه ماهیان استخوانی وجود ندارد، در برخی ماهیان مانند مارماهی (eel) (Laurent and Dunel, 1976)، وزغ ماهی صاف King and )، باس راهراه (Farrell, 1980) (ling cod))، روغن ماهی اروپایی (Cook and Campbell, 1980)، باس راهراه ( King and)، وغن ماهی اروپایی (Ing cod) (ling cod) (Ing cod) دیده نمی شود. (Hossler, 1986) و یا در انواع زیادی از ماهی های تنفس کننده از هوا (Olson *et al.*, 1990; Munshi *et al.*, 1990) دیده نمی شود.

در این مطالعه املاها در پایه فیلامنت بزرگتر بوده و در انتها کوچکتر دارای طول کمتری میباشند (اشکال ۵ و ۶). طبق نظر Harder یک لاملای جدید در نوک فیلامنت تشکیل می شود، درحالی که انواع قدیمی تر در پایه آن قرار دارند. به نظر می رسد که در طول دوران رشد با افزایش طول فیلامنت، شکل املاها تغییر کند. درنتیجه شکل تقریباً مستطیلی در قسمت پایه فیلامنت و یک شکل تقریباً مثلثی در نوک پیدا می کنند (Severi et al., 2000). کانال حاشیهای خارجی (Oncer Marginal Channel و Squalus acanthias یک کانال حاشیهای خارجی منفرد و پیوسته می ملاحظه گردیده مطالعات در گونههای oncorhynchus mykiss و Squalus acanthias یک کانال حاشیهای خارجی منفرد و پیوسته ملاحظه گردیده است (Olson and Kent 1980; Olson, 2002). کانال حاشیهای خارجی در ماهیان به عنوان مسیر مقدم خون در پیرامون لاملا ها ست. این امر در تمام ماهیانی که تا امروز بررسی شده، مشاهده گردیده است. همچنین این کانال می تواند در انتقال مستقیم و سریع تر خون از شریانچه آوران لاملاری به شریانچه و ابران لاملاری نقش داشته باشد، زیرا این کانال، یک کانال پیوسته بوده و توسط سلولهای پیلار در میانه مسیر قطع نمی شود. در بسیاری از ماهیان قطر این کانال نزدیک انتهای آوران بیشتر بوده و احتمالاً در این قسمت به توزیع خون در سینوزوئیدهای لاملاری کمک می کند (Olson, 2002). این کانال در میانه مسیر باریک شده اما به تدریج در سمت و ابران برای دریافت خون اضافی که از سینوزوئیدهای لاملاری به آن می ریزد متسع تر می شود (شکل ۷). طبق نظر Olson (۲۰۰۲) این مسیر در بین مسیرهای خونی لاملا پایین ترین مینوزوئیدهای لاملاری به آن می ریزد متسع تر می شود (شکل ۷). طبق نظر Olson (۲۰۰۲) این مسیر در بین مسیرهای خونی لاملا پایین ترین برخی از ماهیان مانند تون که دارای نیاز اکسیژنی بالایی هستند، چندین کانال حاشیه ای قرمز احتمالاً از طریق آن تغییر مسیر می دهند. برخی از ماهیان مانند تون که دارای نیاز اکسیژنی بالایی هستند، چندین کانال حاشیه ای خارجی برای هر لاملا دارند (Olson et al., 2003).

در مطالعه حاضر، کانال حاشیهای داخلی در ماهی فیتوفاگ منقطع می باشد. این کانال توسط سلولهای پیلار که در قسمت میانی لاملا به تعداد بیشتری هستند، قطعشده و در طول مسیر منقطع به نظر رسیده و مانع جریان خون می شوند. در تون ماهی (tuna) کانال حاشیه داخلی نسبتاً نزدیک به سطح بوده و پیوسته است و سازشی جهت قرارگیری در معرض تبادل گازی می باشد (Olson, 2002). در گونه *fossili* Heteropneustes کانال حاشیه داخلی مشخصی وجود ندارد (Olson *et al.*, 1990)

در بررسی حاضر، تنها یک رگ وابران آبششی (EBA) معمولاً در هر کمان آبششی ماهی فیتوفاگ وجود دارد. در مطالعاتی که توسط Nematollahi و همکاران (۲۰۱۱) بر روی ماهیهای کپور معمولی (Cyprinus carpio) صورت گرفته، مشابه ماهی فیتوفاگ برای هر کمان، یک رگ وابران آبششی دیده شد. به نظر میرسد این امر باعث کاهش مسیر حرکت خون به آئورت پشتی و درنتیجه بافتهای بدن میشود و احتمالاً این یک پیشرفت در ماهیان استخوانی محسوب می گردد. در برخی گونهها مانند Catla catla Notopterus chitala میشود و احتمالاً این یک پیشرفت در ماهیان استخوانی محسوب می گردد. در برخی گونهها مانند Clarias میشود. در Suppla catla میشود در برخی گونهها مانند Khanna and رفته می شود. در Singh, 2003. (Singh, 2003).

در بسیاری از ماهیان از انشعاب کناری شاخه قدامی شکمی اول، سرخرگ ماندیبولار منشعب می شود (Skov and Bennett, 2005)؛ اما در برخی ماهیان، بهجای سرخرگ ماندیبولار، سرخرگ پزودوبرانشیال آوران (سرخرگ آوران کاذب آبششی) از آن منشعب می شود ( 2002). در فیتوفاگ از انشعاب کناری رگهای وابران آبششی اول، سرخرگ ماندیبولار منشعب می شود.

طبق مطالعات پیشین، در ماهیانی نظیر گربهماهی (Ictalurus punctatus) شاخههای میانی بخش قدامی شکمی سرخرگهای آبششی وابران کمان دوم و سوم با یکدیگر اتصال برقرار کرده، ضمن ملحق شدن به کمانهای مقابل، تشکیل گردش هیپوبرانشیال را میدهند (Olson, 1991). در برخی گونهها شاخههای میانی کمانهای اول و یا چهارم نیز درگیر هستند (Olson, 2002). در فیتوفاگ شاخههای میانی کمانهای اول دوم و سوم (و احتمالاً چهارم) در تشکیل گردش هیپوبرانشیال شرکت میکنند (شکل ۱۳).

رگ دایره رأسی (Circulus cephalicus) در ابتدای آئورت پشتی برخی از ماهیان استخوانی تشکیل می شود. در برخی گونهها دایره رأسی تسکیل می شود. در برخی گونهها دایره رأسی توسط جفت اول و دوم عروق وابران تشکیل می شود. در حالیکه در برخی گونهها از جمله قزل آلا هر ۴ جفت ممکن است در تشکیل آن به هم ملحق شوند (Young, 1981; Khanna and Singh, 2003). در فیتوفاگ آئورت پشتی رگی مستقیم بوده، بدون آنکه در ناحیه کاسه سر تبدیل به رگ دایره رأسی شود (اشکال ۱۰ و ۱۱). این درواقع خلاف آن چیزی است که در کپور ماهیان مرسوم است گزارشهای

نشان میدهد که در برخی گونهها ازجمله قزلآلا دایره رأسی وجود داشته و انشعابات سرخرگهای وابران در دو سوی کاسه سر به آن متصل میشود (Young, 1981).

#### منابع

نعمت اللهی، ۱.، شادخواست، م.، مشتاقی، ح.، مجیدیان، ف. و عباسی، ف.، ۱۳۸۷. مطالعه قالبگیری تحلیلی (Corrosion Cast Study) دستگاه گردش خون در ماهی کپور (Cyprinus Carpio). مجله دانشکده دامپزشکی دانشگاه شهرکرد، دوره دوم، شماره اول، صفحات ۱۰–۲۳.

**نعمت اللهی، ا. و شادخواست، م.، ۱۳۹۲.** مقایسه روشهای گوناگون قالبگیری تحلیلی (Corrosion Cast Study) دستگاه گردش خون در ماهی کپور نقرهای (Hypophthalmichthys molitrix). مجله پژوهشهای ماهیشناسی کاربردی، دوره اول، شماره اول، صفحات ۱۴–۱۰.

نعیمی، ۱، شعبانی پور، ن. و روضاتی، ع.، ۱۳۸۵. مطالعه آناتومی آبشش در ماهیان استخوانی بهوسیله روش قالبگیری عروق در ارتباط با قابلیتهای فیزیولوژیکی تنفس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، ۷۹ ص.

Aharinejad, S. and Bock, P., 1987. Luminal constrictions on corrosion cast of capillaries and postcapillary venules in rat exocrine pancreas correspond to pericyte processes. Scanning Microscopy, 6(3):877-886.

Aharinejad, S. and Lametschwandtner, A., 1992. Producing optimal microvascular corrosion casts a practical guide. Microvascular Corrosion Casting in Scanning Electron Microscopy, Springer Vienna, pp.52-102.

Boland, E.J. and Olson, K.R., 1979. Vascular organization of the catfish gill filament. Cell Tissue Res, 198:487–500.

Christofferson, R. H. and Nilsson, B. O., 2011. Microvascular corrosion casting with analysis in the scanning electron microscope. Scanning, 10(2): 43-63.

Claiborne, J. B., Edward, S. L. and Morrison-Shetlar, A. I., 2002. Acid-base regulation in fishes: cellular and molecular mechanisms. Journal of Experimental Zoology, 293: 302-319

**Cooke, I. R. C. and Campbell, G., 1980.** The vascular anatomy of the gills of the smooth Toadfish *Torquigener* glaber (Teleostei, Tetraodontidae). Zoomorphologie, 94:151–166.

**Evans, D. H., Piermarini, P. M. and Choe, K. P., 2005.** The Multifunctional Fish Gill: Dominant Site of Gas Exchange,Osmoregulation, Acid-Base Regulation, and Excretion of Nitrogenous Waste. physiology review, 85: 97–177.

**Farrell, A. P., 1980.** Vascular pathways in the gill of lingcod, *Ophidon elongates. Canadian* Journal of *Zoology*, 58: 796-806.

**Fromm, P. O., 1974.** Circulation in trout gills presence of blebs in afferent filamental vessels. Journal of the Fisheries Research Board of *Canada*, 31:1793–1796.

Gannon, B. J., 1978. Vascular casting, Principles and techniques of scanning electron microscopy. Van Nostrand Reinhold, 6: 170-193.

Hossler, F. E. and Quillen, J. H., 1998. Vascular corrosion casting can provide quantitative as well as morphological information on the microvasculature of organs and tissues. Microscopy today, 6: 5-14.

**Hossler, F. E., Douglas, J. E. and Douglas, L. E., 1986.** Anatomy and morphometry of myocardial capillaries studied with vascular corrosion casting and scanning electron microscopy: a method for rat heart. Scanning Electron Microscopy, 4: 1469–1475.

Khanna, S. S. and Singh, H. R., 2003. A text book of fish biology and fisheries. Narendra publishing house, New Delhi, pp.106-110.

King, J. A. C., and Hossler, F. E., 1986. The gill arch of the striped bass, *Morone saxatilis*, Π. Microvasculature studied with vascular corrosion casting and scanning electron microscopy. *Scanning Microscopy*, 4:1477-1488.

**Laurent, P., 1984.,** Gill internal morphology. In: Hoar WS, Randall DJ, editors. Fish physiology, Vol XA (Gills): anatomy, gas transfer, and acid–base regulation. New York: Academic Press, Inc. pp. 73–183.

Laurent, P. and Dunel, S., 1976. Functional organization of the teleost gill, Part 1. Blood pathways. Acta Zool Stockholm, 57: 189–209.

Laurent, P., and Dunel, S., 1980. Morphology of gill epithelia in fish. The American Journal of Physiology, 238: R147–R159.

**Minnich, B. and Lametschwandtner, A., 2010.** Scanning electron microscopy and vascular corrosion casting for the characterization of microvascular networks in human and animal tissues. In: Mendez-Vilas A, Diaz J (Eds.). Microscopy: Science, Technology, Applications and Education. 4th edn, Formatex Research Center, Badajoz, Spain, pp. 29-39.

Munshi, J. S. D., Olson, K. R. and Ghosh, T. K., 1990. Vasculature of the head and respiratory organs in an obligate air-breathing fish, the swamp eel Monopterus (=Amphipnous) cuchia. Journal of Morphology, 203:181-201.

**Nagabhushanam, R., Kodarkar, M. S. and Sarojini, R., 1983.** Text book of animal physiology, 2<sup>nd</sup> ed., Oxford and I.B.H. publishing company, 256pp.

Nematollahi, A., Shadkhast, M., Shafeie, S. and Majidian, F., 2011. Circulatory system of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): a corrosion cast study. Journal of Applied Ichthyology, 27(3):916–919.

Olson, K. R. and Kent, B., 1980. The microvasculature of the elasmobranch gill. Cell Tissue Res., 209: 49–63.

**Olson, K. R., 1991.** The fine structure of blood vessels. Part II, Vasculature of the fish gill: anatomical correlates of physiological functions. Journal of electron microscopy technique, 19: 389–405.

Olson, K. R., 2002. Vascular anatomy of the fish gill. Journal of Experimental Zoology, 293,214-231.

**Olson, K. R., Dewar, H., Graham, J. B. and Brill, R. W., 2003.** Vascular anatomy of the gills in a high energy demand teleost, the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology, 297(1):17-31.

Olson, K. R., Munshi, J. S. D., Ghosh, T. K. and Ojha, J., 1990. Vascular organization of the head and respiratory organs of the air-breathing catfish *Heteropneustes fossilis*. Journal of Morphology, 203: 165–180.

Rogers, M. P., Sherman, R. L. and Spieler, R. E., 2014. Microscopy: advances in scientific research and education (A. Méndez-Vilas, Ed.). Formatex Research Center, pp. 95-102.

Schlenk, D. and Benson, W. H., 2001. Target organ toxicity in marine and fresh water teleosts. Taylor & Fransis, pp.1-90.

Schlenk, D. and Benson, W.H., 2001. Target Organ Toxicity in Marine and Freshwater Teleosts. Taylor & Francis, London, pp. 96–138.

Severi, W., Rantin, F. T. and Fernandes, M. N., 2000. Structural and morphological features of *Piaractus mesopotamicus* gills. Revista Brasileira de Biologia, 60:493-501.

Skov, P. V. and Bennett, M.B., 2005. Branchial vascular pathways in two species of Tetraodontiformes and the concept of secondary vessels and nutrient arteries. Zoomorphology, 124: 79-88.

Steen, J. B., and Kruysse, A., 1964. The respiratory function of the teleostean gill. Comparative Biochemistry and Physiology, 12:127–142.

Young, J. Z., 1981. The life of vertebrates. 3rd edition, Oxford university press, Oxford.

بررسی ساختار عروق تنفسی آبشش فیتوفاگ (Hypophthalmicthys molitrix) ... / نعیمی و شعبانیپور