چکیدہ

این مطالعه با هدف بررسی پارامترهای هیدرودینامیک و چگونگی اثر تغییرات ریختی بر آنها در ماهی تیلاپیا نیل Oreochromis niloticus در موزه تاریخ طبیعی پاریس در زمستان ۱۳۹۸ به اجرا درآمد. برای ثبت حرکت ماهی از یک دوربین فیلمبرداری با توانایی ۱۰۰۰ فریم بر ثانیه مجهز به لنز ماکرو استفاده شد. ردیابی مسیر حرکت نمونهها از موقعیت یک نقطه بین دو چشم انجام و پارامترهای سینماتیکی موردنیاز با استفاده از بسته trajr در نرمافزار R محاسبه شد. به منظور توصیف شکل بدن و تغییرات آن طی تکوین عکس برداری از دو نمای پشتی و جانبی نمونههای تثبیت شده توسط یک دوربین دیجیتال انجام شد. نتایج نشان داد که بچه ماهیان انگشت قد نسبت به لاروها، پهن تر و بلندتر بوده و بنابراین مساحت سطح سه بعدی بیشتری دارند که در تولید نیروی پسا سهم به سزایی دارد. شکل دوکی بدن ماهیان در آخرین مراحل رشد ضریب پسا اینرسی حدود ۲ تا ۳ برابر کوچکتر نسبت به لاروهای کوچک ایجاد کرد. همچنین سرعت کاهش ضریب پسا قبل از نقطه عطف بیشتر از سرعت کاهش آن در بچه ماهیان و انگشت قدها بود که ممکن است به تغییرات سریعتر و بیشتر شکل بدن در دوره لاروی نسبت به ماهیان بزرگتر مرتبط باشد. در تیلایا نیرای کرای از نقطه عطف بیشتر از سرعت کاهش آن در بچه ماهیان بزرگتر مرتبط باشد. در تیلاپیا نیل اندازه بزرگ نقطه عطف بیشتر دان این انه اور درژیم اینرسی می کند درحالی که لارو هنوز ازلحاظ فرم با این نوع رژیم سازگار سریعتر و این مسئله اثر نامطلوب بر پسا تولیدی توسط لارو دارد که با تغییر شکل ماهی طی رشر جبران می شود که این تغییرات در فرم سه بعدی بدن، آلومتری مثبت جرم و حجم بدن هم به محین من معکن شده بست.

پریا جلیلی^۱ سهیل ایگدری^{۴۰} هادی پورباقر^۳ اَنتونی هرل^۴

۱، ۲، ۳. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۴. موزه تاریخ طبیعی، پاریس، فرانسه.

> *مسئول مكاتبات: soheil.eagderi@ut.ac.ir

کد مقاله: ۱۴۰۰۰۱۸۹۰ تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲ این مقاله پژوهشی و بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد است.

واژگان کلیدی: هیدرودینامیک، تیلاپیا نیل، ضریب پسا، عدد رینولدز.

مقدمه

در هر مرحله از رشد، ماهی دچار تغییرات ریختی میشود و این تغییرات پیامدهای چشمگیری بر روی عملکرد حرکتی آنها دارد. اندازه گیری چگونگی تغییر کارایی حرکت در طول مراحل اولیه زندگی ماهی و بررسی اساس مکانیکی این تغییرات اهمیت به سزایی داشته (McHenry *et* 2005, *al.*) و بسیار موردتوجه زیستشناسان قرار دارد. میکروارگانیسمها در مقابل گرانروی یا ویسکوزیته آب مقاومت میکنند درحالی که موجودات بزرگتر با طول کم (چند سانتیمتر) باید بر توزیع نامناسب فشار بر روی سطح بدنشان غلبه کنند (Videler *et al.*, 2002). در مورد موجودات در مقیاسهای متوسط تا بزرگ به دلیل تنوع فوق العاده ای که در شکل دارند، این مسئله که بدن هنگام حرکت متحمل چه مقدار نیرو گرانروی و نیروی اینرسی است هنوز به خوبی مشخص نشده است (Muller *et al.*, 2000). مطالعه رابطه بین شکل ماهی و عملکرد شنا پیشینه طولانی دارد (Alexander, 1989)، اخیراً الگوی حرکت ماهی و سایر جانوران آبزی توجه بسیاری از زیستشناسان و محققین که به دنبال الهام از طبیعت برای طراحی و ساخت وسایل انسان ساخت هستند را به خود جلب کرده است. طی بیست سال گذشته، زیستشناسان به طور فزاینده ای علاقه مند به مطالعه مکانیک موجودات زنده و بررسی خواص مکانیکی بافتها شده اند. از جمله آنها می توان به مطالعات McHenry و عرایت مالی به طور فزاینده ای

(۲۰۰۵) که بخش گلاید حرکت ماهی زبرا (Danio rerio) را موردبررسی قراردادند، اشاره کرد. نتیجه مطالعات این گونه بود که افراد بالغ بهطور نامتناسب گلاید بیشتر و سریعتر نسب به لاروها دارند، آنها همچنین یک مدل ریاضی برای مکانیک گلاید پیشنهاد دادند و دریافتند که تغییر عملکرد حرکت طی رشد در درجه اول تحت تأثیر مقدار حرکت بوده نه تغییرات هیدرودینامیکی. در مطالعه دیگری که توسط Donas و Lauder معملکرد حرکت طی رشد در درجه اول تحت تأثیر مقدار حرکت بوده نه تغییرات هیدرودینامیکی. در مطالعه دیگری که توسط Lauder و Cons نیروهای دخیل در شنا در مراحل مختلف رشد موردبررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که شعاعهای نرم باله سینهای گردابی را در امتداد نیروهای دخیل در شنا در مراحل مختلف رشد موردبررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که شعاعهای نرم باله سینهای گردابی را در امتداد را ایمی ایجاد می کند که بهطور چشمگیری جریان ورودی دم را تغییر می دهد. حرکت ماهی کپور توسط Majeed (۲۰۰۶) شبیهسازی شد. وی پارامترهای مختلف مؤثر بر عملکرد شنا مانند نیروهای محرک، سرعت شنا و مانور پذیری را در انواع مختلف شنا مانند شنای مستقیم، C-turn و S-shape موردمطالعه قرارداد. آنها همچنین نیروهای تولیدکننده، الگوی جریان ایجادشده در طول حرکت و تقابل بین الگوهای سینمای گردابی وی موردمطالعه قراردادند. آنها همچنین نیروهای تولیدکننده، الگوی جریان ایجادشده در طول حرکت و تقابل بین الگوهای سینماتیکی و موردمطالعه قراردادند. آنها همچنین نیروهای تولیدکننده، الگوی جریان ایجادشده در طول حرکت و تقابل بین الگوهای سینماتیکی و موردمطالعه قراردادند. آنها همچنین نیروهای تولیدکننده، الگوی جریان ایجادشده در طول حرکت و تقابل بین الگوهای سینماتیکی و موردمطالعه قراردادند. آنها همچنین نیروهای تولیدکننده، الگوی جریان ایجادشده در طول حرکت و تقابل بین الگوهای سینماتیکی و امواج با فرکانس بالای ۱ هرتز در مدل فیزیکی و دادهای آزمایشگاهی هاگ فیشها را موردمطالعه قراردادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که

دادههای مطالعه عملکرد حرکتی گونههای پرورشی در صنعت آبزیپروری میتواند بسیار کاربردی باشد و در طراحی سیستمهای پرورشی و همچنین ایجاد جریان متناسب با نوع ریخت بدن و حرکت گونه موردنظر مورداستفاده قرار گیرد. مطالعه عملکرد ریختی حرکت ماهی همچنین یک منبع غنی از ایده برای ساخت دستگاههای رباتیک است. تحقیقات در زمینه رباتیک دارای پتانسیلی برای طراحیهای نوین بوده و نیازمند مطالعاتی در زمینه زیستشناسی شنای ماهی میباشد. همچنین این نوع مطالعات در زمینه حفاظت و مدیریت تنوع زیستی ماهیان میتواند کاربرد داشته باشد (Schoenfuss, 2003). بهعلاوه مطالعه درزمینه ویژگیهای ساختاری ماهیان و عملکردهای ریختی آنها به درک رفتارهایی که منجر به تحمل برخی تغییرات محیطی و زنده ماندن آنها میشود، کمک میکند. محدودیت در عملکردهای ریختی میتواند باعث حذف گونهها در مقابل تغییرات پیشآمده، خصوصاً در مواجهه با تغییرات واردشده از طرف انسان میگردد (2003)، به همین

دلیل توجه به این موضوع در گونههای مختلف، یکی از فاکتورهای زیستی مهم برای تصمیم گیریهای مدیریتی و حفاظتی خواهد بود. مطالعات نشان میدهد که شنای لارو ازلحاظ حرکتشناسی و جریان با شنای بالغین متفاوت است (Müller, 2008)؛ اما تاکنون اکثر مطالعات در زمینه حرکت بر روی ماهیان بالغ صورت گرفته است و مطالعات اندکی در مورد عملکرد حرکتی ماهیان پرورشی در طی مراحل اولیه تکوین وجود دارد. درک این مطلب که چگونه شکل و نوع حرکت جانداران آبزی بر کارایی شنای آنها اثر میگذارد، نیازمند داشتن دانش کافی در مورد نیروهایی سیال، شامل اصطکاک پوست، نیروی شکل یا همان فشار و واکنش شتاب بوده که موجب ایجاد نیروهای رانش یا پسا (دو نیروی مهم در فرآیند حرکت ماهی) هنگام حرکت میشود. نیروهای هیدرودینامیکی برای موجودات آبزی متنوع بوده و بستگی به دو عامل نیروهای چسبندگی و نیروهای اینرسی مایع اطراف دارد. برای درک بهتر سهم نسبی هر یک از نیروهای اینرسی و چسبندگی در ایجاد نیروهای رانش و پسا مدلهای تئوری برای هیدرودینامیک شنا توسعه یافت (Jordan, 1996; Muller and van Leeuwen, 2006). برای بیان نسبت بین این نیروها (نیروهای اینرسی به چسبندگی) از عدد رینولد استفاده میشود.

ماهی تیلاپیا نیل (Oreochromis niloticus) بعد از کپور ماهیان دومین گونه پرورشی جهان است. این گونه به دلیل سریع الرشد بودن، هزینه تولید پایین نسبت به سایر گونهها و مقاوم بودن در برابر انواع بیماریها از اولویتهای مدیران شیلاتی برای پرورش در کشورهای توسعهیافته و درحال توسعه می باشد. با توجه به اهمیت عملکرد ریختی، به خصوص حرکت، ماهیان در زمینههای مختلف حفاظت، مدیریت فون ماهیان، ساخت دستگاههای رباتیک و اهمیت قابل توجه این موضوع در صنعت آبزی پروری و با توجه به اهمیت گونه پرورشی تیلاپیا نیل، این مطالعه باهدف بررسی تغییرات ریختی مؤثر بر عملکرد حرکتی گونه پرورشی تیلاپیا طی مراحل مختلف تکوین به اجرا درآمد.

مواد و روشها

با توجه به این که گونه تیلاپیای نیل دهان تفریخ بوده، تخمها در دهان جنس ماده تفریخ می شوند، بنابراین لاروهای تازه تفریخ شده تا زمان جذب محتویات کیسه زرده و گاهی تا زمانی که توانایی شنا کردن پیدا کنند، همچنان در دهان ماهی ماده می مانند که این زمان ممکن است تا ۱۰ روز به طول بینجامد. ازاین رو برای این مطالعه از لاروهای ۱۰ روزه که دوره دهان پروری را به طور کامل پشت سر گذاشته اند استفاده شد. در زمستان ۱۳۹۸ تعداد حدود ۳۰۰ عدد لارو از یک مرکز تکثیر و پروش ماهیان زینتی در کشور هاند تهیه و به آزمایشگاه بیومکانیک مرکز تحقیقات زمستان ۱۳۹۸ تعداد حدود ۳۰۰ عدد لارو از یک مرکز تکثیر و پروش ماهیان زینتی در کشور هاند تهیه و به آزمایشگاه بیومکانیک مرکز تحقیقات زمستان ۱۳۹۸ تعداد حدود ۳۰۰ عدد لارو از یک مرکز تکثیر و پروش ماهیان زینتی در کشور هاند تهیه و به آزمایشگاه بیومکانیک مرکز تحقیقات زمستان ۱۳۹۸ تعداد حدود ۳۰۰ عدد لارو از یک مرکز تکثیر و پروش ماهیان زینتی در کشور هاند تهیه و به آزمایشگاه بیومکانیک مرکز تحقیقات زمستان ۱۳۹۸ تعداد حدود ۳۰۰ عدد لارو از یک مرکز تکثیر و پروش ماهیان زینتی در کشور هاند تهیه و به آزمایشگاه بیومکانیک مرکز تحقیقات (سازی داروها به مدت دو روز، آزمایش بر روی لاروهای ۱۲ روزه آغاز و تا ۱۰۵ روز پس ازآن ادامه یافت. مراحل تکوین ماهی تیلاپیا بدین صورت است که ماهیان تا ۴۱ روز پس از تخم گشایی در گروه لارو (Weaning larva)، ۲۲ تا ۲۴ روزه (۲/۰ تا ۲ گرم) در گروه بچه ماهیان نورس (Fry و از ۲۵ روزگی به بعد در گروه بچه ماهیان انگشت قد (Fingerling) طبقه بندی شدند (شکل ۱) (Ng and Romano, 2013). از رژیم نوری طبیعی برای رشد ماهیان استفاده شد. دمای آب در تمام مراحل رشد ۱± ۲۸ درجه سانتیگراد بود (۷۱۰ تا ۲ گرم) در گرانول ۲/۰–۱ میلی متر و ۱–۱/۵ مراحل مختلف رشد توسط ۳ نوع غذای خشک به شکل پودر (۲/۰ > میلی متر) برای دوره لاروی و ۲ سایز گرانول ۲/۰–۱ میلی متر و ۱–۵/۱

برای ثبت حرکت ماهی در هنگام گلاید از یک دوربین فیلمبرداری (مدل Phantom MIRO R311) با توانایی ۲۰۰۰ fps و وضوحبالا (1224 pixels) × 1024) استفاده شد. فیلمها با فرمت cine که قابل استفاده در نرمافزارهای ردیابی بود ذخیره شدند. لاروها بهصورت تصادفی انتخاب و به یک پتری دیش (مجهز به یک کاغذ مقیاس) که حاوی آب اکواریوم به ارتفاع تقریباً ۱ سانتیمتر بود، منتقل و فیلمبرداری از نمای پشتی انجام شد. نمونهبرداری از لاروها بهصورت روزانه تا یک ماه و پس ازآن بهصورت هفته ای صورت گرفت. برای مطالعه ویژگیهای ریختی در هرروز تعداد ۳ لارو در محلول تثبیت کننده (پارافرمالدهید به علاوه گلوتاراًلدهید ۲۵ درصد) ذخیره شد. پس از فیلمبرداری بهمنظور ردیابی مسیر حرکت نمونهها با استفاده از نرمافزار ۲۰۱۷, ۲۰۱۶ ProAnalyst از موقعیت یک نقطه بین دو چشم (نسبت به محوری که از نقطه میانی دو چشم می گذرد و به بخش قدامی سر می رسد زمانی که بدن ماهی در یک خط مستقیم قرار دارد) استفاده شد. با استفاده از پکیج trajr در نرمافزار R (۲۰۱۸) R



شکل ۱: نمای جانبی گونه تیلاییا نیل (Oreochromis niloticus) در سه دوره لارو (۱۲ یس از تخم گشایی) (الف)، بچه ماهی (۴۸ روزه) (ب) و انگشت قد (۱۰۵ روزه) (ج)، موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸).

تغییرات مکانی موقت بدن، اساس اندازه گیری عدد رینولد و ضریب پسا را در شرایط in vivo فراهم می آورد. رشد آلومتری عدد رینولدز (Re) و ضریب پسا (Ca) رژیم اینرسی در مراحل مختلف رشد مورد ارزیابی قرار گرفت. عدد رینولد با استفاده از سرعت متوسط ماهی حین حرکت از رابطه شماره ۱ محاسبه گردید؛ که در آن p چگالی آب در دمای ۲۸ درجه، L طول بدن ماهی، U سرعت متوسط شنا ماهی و µ ویسکوزیته دینامیکی آب میباشد. $Re = \rho \overline{U}L/\mu$

برای محاسبه ضریب پسا از فرم اصلاحشده و توسعهیافته رابطه شماره ۲ استفاده شد (Billo and Nachtigall, 1980). در این فرمول، D نیروی پسا و A سطح جسم در حال حرکت می باشد. $Cd = 2D/(ApU^2)$ رابطه ۲:

از روی نمودار سرعت لحظهای هنگام گلاید تابع معکوس سرعت نسبت به زمان محاسبه (رابطه شماره ۳) و از شیب آن برای محاسبه ضریب پسا اينرسى استفاده شد (Billo and Nachtigall, 1980). $1/v = ct + 1/v_0$ رابطه ۳:

نشريه علمي زيست شناسي دريا / دانشگاه آزاد اسلامي واحد اهواز

درنهایت با داشتن مقادیر جرم و سطح نمونهها و چگالی آب و با استفاده از معکوس سرعت لحظهای، ضریب پسا با استفاده از رابطه شماره ۴ محاسبه گردید (Billo and Nachtigall, 1980). رابطه ۴:

بهمنظور توصیف شکل سهبعدی بدن ماهی که امکان محاسبه پارامترهای مکانیکی وابسته به ریخت را به ما میدهد، عکسبرداری از دو نمای پشتی و جانبی نمونههای تثبیت شده از دوره لاروی تا انگشت قد انجام شد. بازسازی شکل سهبعدی بدن ماهی در یک سیستم مختصات xyz که مرکز آن در بخش قدامی پوزه ماهی است توسط نرمافزار Solidworks premium (نسخه ۲۰۲۰) صورت پذیرفت (محور y موازی خط میانی بدن بوده و از نوک پوزه تا انتهای دم امتداد دارد). هر بیضی حاصل از مقطع عرضی بدن دارای یک مختصات x و یک مختصات z است، که مرکز آن در بخش قدامی پوزه تا انتهای دم امتداد دارد). هر بیضی حاصل از مقطع عرضی بدن دارای یک مختصات x و یک مختصات z است، که توصیف کننده شکل بدن هستند و مقادیر آنها از تصاویر گرفته شده استخراج و وارد نرمافزار Solidworks شد. وزن نمونههای تثبیت شده با است، که استفاده از یک ترازو دیجیتال با دقت ۲۰۰۰ گرم اندازه گیری شد (2014) و وارد نرمافزار Gisbert *et al.*, 2014). الگوی رشد آلومتری به مورت تابع توانی طول استفاده از یک ترازو دیجیتال با دقت ۲۰۰۰ گرم اندازه گیری شد (2014). و وارد نرمافزار Y بهعنوان متغیر وابسته، X بهعنوان متغیر مستقل، عرض از ماول استفاده از یک ترازو دیجیتال با دقت ۲۰۰۰ گرم اندازه گیری شده که در آن Y بهعنوان متغیر وابسته، X بهعنوان متغیر مستقل، ۵ مرض از مرف از مرافزار Moshayedi *et al.*, 2015). الگوی رشد آلومتری به مستول، منتها، م عرض از مردأ و d ضریب رشد است. در این فرمول m = عرانی مستقل، ۲ می مینون منیز وابسته، X بهعنوان متغیر مستقل، ۵ می باشد. رگرسیون خطی بر روی داده ها با استفاده از طول کل به عنوان متغیر مستقل انجام شد (70 میل و علی مرافزار ۲۰۹۸). نقاط عطف می باشد. رگرسیون خطی بر روی دادهها با استفاده از طول کل به عنوان متغیر مستقل انجام شد (۲۰۹۳) انجام شد. همچنین قدرت رگرسیون استه و همکران (۱۹۹۷) تعیین شد. نرخهای رشد منطقه ای توسط مدل و باده مال روش مناور می مینی می می از می از این از داده ای بر ورفان بین کننده درصد تغییرات در یک رابطه خطی) و سطح معنی داری معنی داری معنی داری منحیهای رشد منطقه ی توسط مدل روی انجام پذیرفت. درمد تغییرات در یک رابطه خطی) و سطح معنی داری اندازه گیری شد. آنالیز دادهها در نرمافزار کار معاصو با محاسبه ² (بهعنوان بیان کننده درصد تغییرات در یک رابطه خطی) و سطح معنی داری اندازه گیری شد. آنالیز دادهها

نتايج

اندازه گیریهای ریختی تغییرات شکل بدن طی رشد را نشان میدهند (جدول ۱). الگوی رشد جرم نمونهها آلومتری مثبت (۳۲۸۲ = b) بود (شکل A ۲). الگوی رشد مساحت سطح سهبعدی بدن با یک نقطه عطف در روز ۳۳ پس از تخم گشایی نشان داد که روند رشد قبل از نقطه عطف آلومتری مثبت (b= ۲/۲۱۴۷) و بعدازآن نیز مثبت (b= ۲/۱۷۱۱) (b= ۲/۱۷۱۱) یا و رشکل ۲ B). الگوی رشد حجم بدن نیز آلومتری مثبت با ضریب رشد ۳/۳۱۶ = d را نشان داد (شکل ۲ C) که نسبت به دو ویژگی سطح سهبعدی و جرم، بهخوبی منعکس کننده رشد آلومتری بدن است. بازسازی شکل سهبعدی بدن نمونهها در مراحل مختلف تکوین نشان داد که بدن لارو در بخش خلفی تقریباً مخروطی شکل بوده و بیشترین عرض بدن در قسمت چشمها مشاهده می شود (شکل ۲). همزمان با رشد لارو، ناحیه تنه و باله دمی ضخیمتر شده که این مسئله به ایجاد حالت استریم لاین (دوکی شکل) بدن کمک می کند. این روند رشد از مرحله بچه ماهی به انگشت قد همچنان ادامه دارد (شکل ۳).

جدول ۱: برخی پارامترهای ریختی و هیدرودینامیکی نسبت به طول بدن در ماهی تیلاپیا نیل (Oreochromis

r ²	α	b	b ₀	رشد ألومترى	متغير وابسته
•/૧۶૧૧	γ×۱۰ _{-۶}	٣/٢٨٣	٣	مثبت	جرم (m)
•/٩٩۴۵	۶/۳×۱۰ ^{-۳}	٣/٣٠٧٢	٣	مثبت	حجم (V)
•/9987	٣/179×1+-1	7/1711	۲	مثبت	مساحت سطح بدن (A)
٠/٩١٠٩	4/212Y×1+.	۲/۰۱۰۶	۲	ايزومترى	عدد رينولدز (Re)
۰/۵۵۰۶	۱/۹۳۳×۱۰ ^{-۱}	$(TL \leq 12) - 1/172$		•.	(\mathbf{C}_{i})
•/4790	V/۲۹۵×۱۰ ^{-۱}	$(TL \ge vr) - v/rvr$	•	مىقى	صريب پسا (۲۵)





شکل ۲: نمودار جرم (A)، سطح سهبعدی (B) و حجم بدن (C) گونه تیلاپیا نیل (Oreochromis niloticus) طی رشد، موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸).

نشریه علمی زیستشناسی دریا / دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

سال سیزدهم، شماره چهل و نهم، بهار ۱۳۹۹



شکل ۳: فرم سهبعدی بازسازی شده ماهی تیلاپیا نیل (Oreochromis niloticus) در مراحل مختلف رشد، موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸). لارو (الف)، بچه ماهی (ب) و انگشت قد (ج)

در این بخش مقادیر عدد رینولدز و ضریب پسا برای رفتار شنا تیلاپیا نیل در فاز گلاید محاسبه شد. برای این فاز حالتی از ماهی در حال حرکت در نظر گرفته شد که هیچکدام از اندامهای آن در حال حرکت نباشد. در هنگام ورود به فاز گلاید متوسط سرعت حرکت در بیشترین حالت خود بوده در ادامه رفتهرفته کاهشیافته تا در انتهای حرکت به صفر برسد (شکل ۴). متوسط سرعت اولیه در تمام مراحل رشدی موردمطالعه کمتر از ۱۱ طول کل بر ثانیه بود.



شکل ۴: تغییرات سرعت برای یکفاز گلاید در نمونه ۸۴ روز پس از تخم گشایی گونه تیلاپیا نیل (زمستان ۱۳۹۸)، موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸).

عدد رینولدز و ضریب پسا طی گلاید تغییرات هیدرودینامیک شنا طی رشد را بهخوبی نشان داد. رژیمهای هیدرودینامیکی ویسکوزیته و اینرسی در طیف وسیعی از مقادیر Re بین ۱۰۰ تا ۴۰۰۰۰ موردبررسی قرار گرفت. استفاده از میانگین عدد رینولدز برای شناسایی رژیمهای هیدرودینامیکی نشان داد که لاروهای جوان با اندازه کوچکتر از ۱۴ میلیمتر در رژیمهای ویسکوزیته ۱۰۰۰ Re > ۳۰۰ یا میانه ۳۰۰ Re > ۱۰۰ ماهیان با اندازه بزرگتر از ۱۷ میلیمتر در رژیمهای اینرسی ۱۵۰۰ Re عمل میکنند. برای نمونههای موردمطالعه در این تحقیق ضریب رشد عدد رینولدز نسبت به طول بدن ۵۲/۷۵۵ be ایو که الگوی رشد ایزومتری را نشان داد (شکل ۵ A).

نشریه علمی زیستشناسی دریا / دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

سال سیزدهم، شماره چهل و نهم، بهار ۱۳۹۹



شکل۵: نمودار عدد رینولدز (A) و ضریب پسا (B) در گونه تیلاپیا نیل (Oreochromis niloticus) طی رشد، موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸).



شکل ۶: نمودار ضریب پسا نسب به مقادیر عدد رینولدز در گونه تیلاپیا نیل (Oreochromis niloticus)، موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸).

الگوی رشد ضریب پسا بهطورکلی آلومتری منفی با یک نقطه عطف در انتهای دوره لاروی TL= ۱۵ میلیمتر بود. سرعت کاهش ضریب پسا قبل از نقطه عطف بیشتر از سرعت کاهش آن در بچه ماهیان و انگشت قدها بود (شکل B B). نمودار ضریب پسا محاسبهشده نسبت به مقادیر رینولدز لحظهای در طول گلاید نیز ترسیم شد (شکل ۶). بر اساس آن با افزایش مقادیر عدد رینولدز طی رشد مقدار ضریب پسا کاهش یافت. سطح معنیداری برای همه پارامترهای محاسبهشده در جدول ۲ آورده شده است.

r ²	р	b	а	متغيرها
•/827	•/••*	14/94	<i>⊱</i> /૧૧	جرم بدن
۰/۸۲۵	•/••*	14/91	٠/٠٠٨	حجم بدن
•/٩٣٧	•/••*	۱۲/۳۸	•/•٢	سطح سه بدی بدن
•/እ۴٧	•/••*	-4718/148	TD9/TD	عدد رينولدز
• 88	*/***	•/١•٧	$-1/22 \times 2^{2}$	ضریب درگ

جدول ۲: نتایج رگرسیون خطی پارامترهای ریختی و هیدرودینامیکی موزه تاریخ طبیعی پاریس (زمستان ۱۳۹۸).

(* معنیداری در سطح ۵٪ را نشان میدهد)

بحث و نتیجه گیری

فرم بدن ماهی تیلاپیا نیل همانند بسیاری از گونههای دیگر طی رشد به شکل دوکی نزدیک میشود. بازسازی شکل سهبعدی بدن و بررسی فرم آن نشان داد که با رشد از مرحله لاروی به بزرگسالی یک تغییر حجم در بخش خلفی بدن رخ میدهد که به ایجاد شکل دوکی بدن کمک میکند. اندازه این تغییر حجم از دوره لاروی به بچه ماهیان قابلتوجه است. تغییرات در فرم بدن، در آلومتری مثبت جرم و حجم بدن هم به خوبی میکند. اندازه این تغییر حجم از دوره لاروی به بچه ماهیان قابلتوجه است. تغییرات در فرم بدن، در آلومتری مثبت جرم و حجم بدن هم به خوبی منعکسشده است. پس از تفریخ، برخی از اندامهای مهم عملکردی مانند تغذیه و شنا رشد سریعی را نشان میدهند (2020). این پدیده خاص تفاوت نسبی رشد در قسمتهای مختلف بدن، در بسیاری از ماهیان مانند Cyprinus carpio (Khemis et al., 2013). این و Song et al., 2013) Oncorhynchus keta الگوهای غالب رشد در ماهی تیلاپیا را منعکس میکند که مشابه برخی گونهها میباشد، در بررسی آنتوژنی شکل بدن گونه ماهی زبرا که توسط McHenry و McHenry (۲۰۰۵) مورت گرفت، الگوی رشد آلومتری مثبت در پارامترهای مختلف ریختی این گونه ماهی زبرا که توسط شاخص استریم لاین از ۲۰۰۸ میر از منعکس میکند که مشابه برخی گونهها میباشد، در بررسی آنتوژنی شکل بدن گونه ماهی زبرا که توسط ماه مای زبرا که توسط McHenry و میکان مای را منعکس می کند که مشابه برخی گونه میبا انجام شد، الگوی تغییر شکل بدن گونه ماهی زبرا که توسط شاخص استریم لاین از ۲۰۰۸ در لاروها به ۹۴/۰ در ماهیان بالغ با طول کل ۴۰ میلی متر رسید. بهطورمعمول ماهیان بزرگ در رژیمهای اینرسی شاخص استریم لاین از ۲۰۲۰، در لاروها به ۹۴/۰ در ماهیان بالغ با طول کل ۴۰ میلی متر رسید. بهطورمعمول ماهیان بزرگ در رژیمهای اینرسی عمل میکند که در آن ها شکل دوکی بدن برای کاهش پسا بهینهشده است (1960, 1967ه). تغییر آلومتریک در شری هاو برایی زر در برایهای می کند که در آنها شکل دوکی بدن برای کاهم پسانهای مربوطه در طول رشد است (2010). (عمل می کند که در آن ها شکل دوکی بدن برای کاهش پسا بهینهشده است (1960, 1967ه). تغییر آلومتریک در رژیمهای اینرسی دیشتریم رای رو از ماریق ملی قادر به کنار آمدن با محدودیتهای محیطی مربوطه در طول رشد است (2010). (Higham) را فراهم می کند را و در دارا و در دارای الاول کل میکان تغییر در استاه مای منای ملی منه به مای مندید و درکت (درار

بر اساس نتایج ماهیان انگشت قد نسبت به لاروها، پهنتر و بلندتر بوده و بنابراین مساحت سطح سهبعدی بیشتری دارند که در تولید نیروی پسا سهم به سزایی دارد. ماهی طی رشد با تغییر شکل به حالت دوکیشکل آن را جبران میکند. ضریب پسا بیانگر تمایل شکل یک موجود برای ایجاد نیروی پسا در یک رژیم مناسب صرفنظر از اندازه بدن و سرعت حرکت است (McHenry and Lauder, 2006)؛ بنابراین در این

سال سیزدهم، شماره چهل و نهم، بهار ۱۳۹۹

پژوهش ضریب پسا اندازه گیری شد تا مشخص شود که تغییر شکل بدن طی رشد چه اثری بر نیروی پسا تولیدی دارد. سرعت کاهش ضریب پسا قبل از نقطه عطف بیشتر از سرعت کاهش آن در بچه ماهیان و انگشت قدها بود که ممکن است به تغییرات سریعتر و بیشتر شکل بدن در دوره لاروی نسبت به ماهیان بزرگتر مرتبط باشد. بر اساس نتایج این تحقیق شکل دوکی بدن ماهیان در آخرین مراحل رشد ضریب پسا اینرسی حدود ۲ تا ۳ برابر کوچکتر نسبت به لاروهای کوچک ایجاد کرد. به طورکلی موجوداتی که دارای بدن دوکی شکل ضعیفی هستند نیروی درگ نسبتاً بالایی تولید میکنند بنابراین برای شنا در محیط آب نیاز به تولید نیروی رانش بیشتری دارند (2018) (Cees et al., 2018)

مقادیر بالای ضریب پسا تولیدشده توسط لارو تائید کننده سازگاری شکل بدن آنها برای رژیمهای ویسکوزیته است. در طبیعت، ضریب پسا در رژیمهای لزجت، ممکن است بهوسیله کاهش سطح تماس با مایع اطراف کاهش یابد (McHenry and Lauder, 2006). مثلاً یک بدن کروی حداقل سطح را برای یک حجم فراهم میکند و پیشبینی میشود که پسا نسبتاً کمی ایجاد کند. فرم کشیده و دراز بدن لارو سطح بیشتری نسبت به کره، اما سطح کمتری نسبت به شکل بدن انگشت قدهایی با همان حجم ایجاد میکند؛ بنابراین همان طور که شکل بدن ماهی به حالت نسبت به کره، اما سطح کمتری نسبت به شکل بدن انگشت قدهایی با همان حجم ایجاد میکند؛ بنابراین همان طور که شکل بدن ماهی به حالت نسبت به کره، اما سطح کمتری نسبت به شکل بدن انگشت قدهایی با همان حجم ایجاد میکند؛ بنابراین همان طور که شکل بدن ماهی به حالت دوکی نزدیکتر میشود ضریب پسا اینرسی از ۲۰۱۰ در مرحله لاروی به حدود ۲۰ در بچه ماهیان به خوبی نشاندهنده اثر تغییر شکل بدن با می با دود و کندتر شدن کاهش آن در آخرین مراحل رشد از مقدار ۲۰۰۱ به زیر ۲۰۰۷ ماهی به حالت ماهیان به خوبی نشاندهنده اثر تغییر شکل بدن با موده و کندتر شدن کاهش آن در آخرین مراحل رشد از مقدار ۲۰۰۱ به زیر ۲۰۰۷ ماهیان به خوبی نشاندهنده اثر تغییر شکل بدن بر ضریب پسا اوده و کندتر شدن کاهش آن در آخرین مراحل رشد از مقدار ۲۰۱۱ به زیر ۲۰۰۷ اهمیت تغییرات کوچک در شکل بدن بر ضریب پسا را نشان داد؛ بنابراین همان طور که McHenry و Tove (۲۰۰۶) بیان کردند، تغییر در شکل بدن تأثیر بارز و قابل توجهی در ضریب پسا اینرسی نسبت به ضریب پسا ویسکوزیته دارد. افزایش حالت دوکی شکل بدن طی رشد بر دیگر شکل بدن تأثیر بارز و قابل توجهی در ضریب پسا اینرسی نسبت به ضریب پسا ویسکوزیته دارد. افزایش حالت دوکیشکل بدن طی رشد بر دیگر مدین رادی رو ایل رو می گذارد که می تواند مکانیک حرکتی را تحت تأثیر قرار دود (2006) و میکوزیته دارد. افزایش حالت دوکی شکل بدن طی رشد بر دیگر جنبه بین از می گذارد که می تواند مکانیک حرکتی را تحت تأثیر قرار دوه (2006) در ایل را و قابل وی می گذارد که می تواند مکانیک حرکتی را تحت تأثیر قرار دو (2006) در ایل و می گذارد که می تواند مکانیک حرکتی را تحت تأثیر قرار دو (2006) در ایل و می گذارد که می تواند مکانیک حرکتی را تحت تأثیر قرار دو (2006) در ایل و می ولی و میل و می می ایل و می می در ایل و می و میل و

نیروهای اینرسی نقش برجستهای در هیدرودینامیک حرکت ماهی به عهدهدارند، عدد رینولدز مقدار این نیرو به نیروی ویسکوزیته را بیان میکند به همین دلیل یک شاخص بدون بعد و بسیار بااهمیت در هیدرودینامیک میباشد (McHenry and Lauder, 2006). بر اساس نتایج، لارو تیلاپیا نیل که در رژیم ویسکوزیته و میانی فعالیت میکند، فقط زمانهای محدود وقتی که سرعت آن به ۸۰ تا ۱۰۰ میلیمتر بر ثانیه برسد در اعداد رینولدزی که بالغین در آن قرار دارند، قرار می گیرند. Muller و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که بیشتر رفتار شنا لارو در رژیم لزجت و رینولدزهای پایین بین ۱۰ تا ۱۰۰ اتفاق میافتد (Muller et al., 2008). لارو ماهی زبرا در اعداد رینولدز پایین تر نسبت به تیلاپیا نیل یعنی بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ شنا می کند این در حالی است که شنای ماهی بالغ آن در اعداد رینولدز ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ است. بیشتر بودن مقادیر Re در گونه موردمطالعه نسبت به گونه ماهی زبرا ممکن است به دلیل بزرگ بودن اندازه و بالا بودن سرعت تولیدشده در لاروهای تیلاپیا نیل باشد. در یک لارو در فاز گلاید، پسا در ابتدا بهوسیله نیروهای ویسکوزیته در اعداد رینولدز کمتر از ۳۰۰ و پسازآن با رشد ماهی، توسط نیروهای اینرسی در اعداد رینولدز بیشتر از ۱۰۰۰ ایجاد می شود (McHenry and Lauder, 2006). عدد رینولدز همچنین توضیحاتی در مورد جریان ایجادشده پشت جسم در حال حرکت و کاهش سرعت جریان ایجادشده میدهد (Muller et al., 2008). در اعداد رینولدز کمتر از ۱۰۴ حلقههای گرداب ایجادشده پایدار بوده و احتمال ازهمپاشیدگی آنها وجود ندارد، درحالیکه رژیمهای لزجت آثار همه جریانهای شدید ایجادشده هنگام پاسخ فرار را در کمتر از ۰/۵ ثانیه از بین میبرد (Muller et al., 2008). اعداد رینولدز پایین تفاوت مهم دیگری بین لاروها و بالغین ایجاد می کند، لاروها نسبت به بالغین اندازه لایهمرزی بسیار ضخیم تری دارند (Vogel, 1981). وقتی لارو ماهی در حال گلاید است لایه اطراف أن ازلحاظ ضخامت قابل مقایسه با عرض بدنش است. در بالغین لایهمرزی نسبت بهاندازه بدنشان باریکتر است (Anderson et al., 2001). اثر مقادیر رینولدز در رفتارهای شنا غیرثابت مانند شروع حرکت از حالت سکون برجستهتر است (Tytell and Lauder, 2004). در مطالعهای که بر روی مارماهیان صورت گرفت نیز اعداد رینولدز بالا حدود ۱۰۴ برای آن ها گزارش شد (Tytell and Lauder, 2004).

تغییرات انتوژنی رفتار و ریخت بر اساس نیاز جاندار ممکن است نتیجه فوری یا دیرهنگام در عملکرد حرکتی آبزیان داشته باشد (McHenry تغییرات انتوژنی رفتار و ریخت بر اساس نیاز جاندار ممکن است نتیجه فوری یا دیرهنگام در عملکرد حرکتی آبزیان داشته باشد (and Jed, 2003) (and Jed, 2003) که زمان گذار از رژیم هیدرودینامیک ویسکوزیته به اینرسی بر این مسئله مؤثر است. عملکرد حرکتی پایین طی یک دوره

رشد نتیجه اجتنابناپذیر محدودیت در شکل ماهی یا تقاضاهای مختلف عملکردی در رژیمهای ویسکوزیته و اینرسی است. تغییر شکل طی رشد همیشه با انتقال نسبتاً سریع از رژیم هیدرودینامیک ویسکوزیته به اینرسی همراه نیست (McHenry and Lauder, 2006). در ماهیانی مثل تیلاپیا نیل اندازه بزرگ لاروها از همان ابتدا آنها را وارد رژیم اینرسی میکند درحالیکه لارو هنوز ازلحاظ فرم سازگار با این نوع رژیم نشده است و این مسئله اثر نامطلوب بر بسا تولیدی توسط لارو دارد که با تغییر شکل ماهی طی رشد جبران میشود.

سپاسگزاری

منابع

مقاله حاضر بخشی از رساله دوره دکترا رشته شیلات دانشگاه تهران میباشد. نویسندگان بر خود لازم میدانند مراتب تشکر خود را از دانشگاه تهران برای حاضر بخشی از میاند مراتب تشکر خود را از دانشگاه تهران برای حمایتهای مالی و مرکز تحقیقات CNRS فرانسه برای تأمین نمونه ماهی و در اختیار گذاشتن تجهیزات آزمایشگاهی، اعلام نمایند.

Alexander, R. M., 1989. Optimization and gaits in the locomotion of vertebrates. Physiological Reviews. 69, 1199-1227.

Ahnelt, H., Sauberer, M., Ramler D., Koch, L. and Pogoreut, C., 2020. Negative allometric growth during ontogeny in the large pelagic flter-feeding basking shark. Zoomorphology. 139, 71–83.

Anderson, E. J., McGillis, W. R. and Grosenbaugh, M. A., 2001. The boundary layer of swimming fish. J. Exp. Biol. 204, 81-102.

Batchelor, G. K., 1967. An introduction to fluid dynamics. New York: Cambridge University Press.

Billo, D. and Nachtigall, W., 1980. A simple method to determine drag coefficients in aquatic animals. Journal of experimental biology. 87, 357-359.

Cees, J. Voesenek, C. J., Florian, T., Muijres, F. T. and van Leeuwen, J. L., 2018. Biomechanics of swimming in developing larval fish. Journal of Experimental Biology. 221: 1-14.

Danos, N. and Lauder, G. V. 2007. The ontogeny of fin function during routine turns in zebrafish *Danio rerio*. The Journal of Experimental Biology.210: 3374-3386.

El-Sayed, Abdel-Fattah, M. and Kawanna, M., 2004. Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia Oreochromis niloticus: I. Growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. Aquaculture. 231: 393-402.

Fuiman L. A., 1983. Growth gradients in fish larvae. Journal of Fish Biology. 23: 117-123.

Gisbert, E., Asgari, R., Rafiee, G., Agh, N., Eagderi, S., Eshaghzadeh, H. and Alcaraz, C., 2014. Early development and allometric growth patterns of beluga *Huso huso* (Linnaeus, 1758). Journal of Applied Ichthyology. 30: 1264-1272.

Higham, T. E., Seamone, S. G., Arnold, A., Toews D., Janmohamed, Z., Smith, S. J. and Rogers, S. M., 2018. The ontogenetic scaling of form and function in the spotted ratfish, *Hydrolagus colliei* (Chondrichthyes: Chimaeriformes): fins, muscles, and locomotion. J Morphol. 279: 1408–1418.

Jordan, C. E., 1996. Coupling internal and external mechanics to predict swimming behavior: a general approach. Am. Zool. 36: 710-722.

Khemis I. B., Gisbert E. and Alcaraz C., 2014. Allometric growth patterns and development in larvae and juveniles of thick-lipped grey mullet *Chelon labrosus* reared in mesocosm conditions Aquaculture Research vol 44 p 1872-1888.

Lim, J. L. and Lauder, G. V., 2016. Mechanisms of anguilliform locomotion in fishes studied using simple threedimensional physical models. Bioinspiration & Biomimetics. 11, 046006.

نشريه علمي زيست شناسي دريا / دانشگاه آزاد اسلامي واحد اهواز

Majeed, A. I. and Ali, A. A., 2016. Fish locomotion modeling and simulation based on carp fish monitoring. Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA). 1-6.

McHenry, M. J. and Lauder, G., 2006. Ontogeny of Form and Function: Locomotor Morphology and Drag in Zebrafish (*Danio rerio*). Journal of Morphology. 208: 1099-1109.

McHenry M. J. and Lauder G., 2005. The mechanical scaling of coasting in zebrafish (*Danio rerio*). Journal of Experimental Biology. 208: 2289-2301.

McHenry M. J. and Jed, J., 2003. The ontogenetic scaling of hydrodynamics and swimming performance in jellyfish (*Aurelia aurita*). Journal of Experimental Biology. 206, 4125-4137.

McHenry, M. J., Azizi, E. and Strother, J. A., 2002. The hydrodynamics of locomotion at intermediate Reynolds numbers: undulatory swimming in ascidian larvae (*Botrylloides* sp.). Journal of Experimental Biology. 206: 327-434. McLean D. J. and Skowron Volponi, M. A., 2018. trajr: An R package for characterisation of animal trajectories. Ethology. https://doi.org/10.1111/eth.12739.

Moshayedi,, F., Eagderi, S., Jalili, P. and Mousavi-Sabet, H., 2015. Allometric growth pattern and morphological development of sailfin molly *Poecilia latipinna* (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) during early development. Poecilid Research. 5: 1-7.

Muller, U. K., Stamhuis, E. J. and Videler, J. J., 2000. Hydrodynamics of unsteady fish swimming and the effects of body size: Comparing the flow fields of fish larvae and adults. Journal of Experimental Biology. 203: 193-206.

Muller, U. K., van den Boogaart, J. G. M., van Leeuwen, J. L., 2008. Flow patterns of larval fish: undulatory swimming in the intermediate flow regime. Journal of Experimental Biology. 211: 196-205.

Ng W. K. and Romano N., 2013. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. Reviews in aquaculture. 5 (4): 220-254.

Osse, J. W., van den Boogaart, J. G. M. and van Snik, G. M. J., 1997. Priorities during early growth of fish larvae Aquaculture. 155: p 249-258.

Schoenfuss, H. L. and Blob, R.W., 2003. Kinematics of waterfall climbing in Hawaiian freshwater fishes (Gobiidae): vertical propulsion at the aquatic-terrestrial interface. Journal of Zoology. 261: 191-205.

Song, H. J., Liu, W. and Wang, J. L., 2013. Allometry during yolk-sac larvae of fine scale fish (*Oncorhynchus keta* Walabaum) and consequent ecological significance Acta Hydrobiological Sinica. 37: p 329-335

Tytell E. D. and Lauder G. V., 2004. The hydrodynamics of eel swimming. I.Wake structure. Journal of Experimental Biology. 208: 25-41.

Videler, J. J., Stamhuis, E. J., Muller, U. K. and van Duren, L. A., 2002. The scaling and structure of aquatic animal wakes. Integr. Comp. Biol. 42: 988-996.

van Snik, G. M. J., van den Boogaart, J. G. M. and Osse, J. W. M., 1997. Larval growth patterns in Cyprinus carpio and Clarias gariepinus with attention to fin fold. Journal Fish Biology, 50: 1339–1352.

Vogel, S., 1981. Life in Moving Fluids. Princeton: Princeton University Press.

Wolter, C. and Arlinghaus, R. 2003. Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 13, 63-89.

Yang, G., Wang, Z., He, J., Li, W. and Yuan, D., 2020. Development and Allometry Patterns of Fine Scale Fish Larvae at Low Temperature. J. Phys.: Conf. Ser. 1575 012202.