



بررسی آلومتری رشد خصوصیات ریختی ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در طی مراحل اولیه تکوینی

قدیر قربانزاده^{۱*}، غلامرضا رفیعی^۲، سهیل ایگدری^۳، هادی پورباقر^۳، ایرج عفت پناه^۴

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
- ۲- استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
- ۳- استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
- ۴- مرکز تکثیر و بازسازی ذخایر ماهیان خاویاری شادروان دکتر یوسف پور، سیاهکل، گیلان.

دریافت: ۹۲/۱۰/۰۳ پذیرش: ۹۳/۰۴/۲۲

* نویسنده مسئول مقاله: ghadir.ghorbanzadeh@gmail.com

چکیده:

این تحقیق برای بررسی تمایز ریختی و الگوهای رشد آلومتریک ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در مراحل اولیه زندگی (از روز ۰ تا ۳۵ پس از تفریح) انجام شد. داده‌های ریختی مورد مطالعه از روی تصاویر گرفته شده از نمونه‌ها، با نرم‌افزار ImageJ استخراج و الگوهای رشد آلومتری براساس $\text{Log}_{10} y = \text{Log}_{10} \alpha + \beta \text{Log} x$ محاسبه شدند. براساس آستانه‌های تغییرات در رشد ویژگی‌های ریختی و تغییرات شکل، مراحل مختلف زندگی لاروی ماهی سفید به دوره‌های Eleuthero-embryo، Propterygio-larval، و Pterygio-larval و نوجوانی تقسیم گردید، که در هر یک از این مراحل وقایع مهم و حیاتی در لارو رخ می‌دهد. تغییرات در مراحل اولیه لاروی با سرعت و شدت بیشتری (Propterygio-larvae, eleuthero-embryo) رخ داد که از آن جمله می‌توان به تکوین ساختار آبششی، شروع تغذیه فعال و تکوین ساختارهای تغذیه‌ای، حسی و اندام‌های مؤثر در شنا اشاره کرد. همچنین نتایج نشان داد که بروز این وقایع مهم حیاتی با نقاط عطف خصوصیات ریختی همخوانی داشته و روند تغییر آن‌ها، ترجیحات تکوینی ساختارهای دخیل در تغذیه، تنفس، شنا و اندام‌های حسی را نشان می‌دهد.

کلید واژگان: ماهی سفید، الگوهای رشد آلومتری، تکوین لاروی، ویژگی‌های ریختی

مقدمه

نشان دهند (Peña and Dumas, 2009). الگوهای رشد آلومتریکی در طی دوره تکوین لاروی، در گروه‌های مختلفی از ماهیان استخوانی و غضروفی استخوانی بررسی شده‌اند (Gisbert, 1999; Osse and Van den Boogaart, 2004; Peña and Dumas, 2009; Khemis et al., 2013). نتایج نشان می‌دهد که تغییر در الگوهای رشد آلومتریکی در پاسخ به فشارهای محیطی برای سازگاری انجام شده و احتمال بقا و رشد را در طی این دوره با ایجاد تغییرات در شکل بالا می‌برد (Fuiman, 1983). از طرفی تکوین ریختی و الگوهای رشدی در مراحل اولیه زندگی ماهی از این جهت اهمیت دارد که امکان درک مراحل مختلف زندگی لارو، تقدم در رشد اندام‌های مختلف و اندازه مرتبط با این تغییرات را فراهم کرده و می‌تواند به بینش کامل از زیست‌شناسی، رفتارشناسی و بوم‌شناسی ماهی منجر شود (Gisbert, 1999; Russo et al., 2007; Peña and Dumas, 2009).

ماهی سفید (*R. frisii kutum*) یکی از مهم‌ترین ماهیان تجاری در حوزه دریای خزر است (Salehi, 2003) که از رود ولگا تا خلیج آستراباد پراکنش دارد. این گونه مهاجر آندروموس از اواخر بهمن تا اواسط اردیبهشت به رودخانه‌های حوزه دریای خزر مهاجرت کرده و اقدام به تخم‌ریزی می‌کند (Ebrahimi and Ouraji, 2012). طی سال‌های ۱۳۱۸ تا ۱۳۶۰ عواملی مانند آلودگی منابع آبی، صید بی‌رویه، تخریب بسترهای تخم‌ریزی و زیستگاه‌های زندگی این گونه باعث کاهش صید از ۵/۸ هزار تن به ۳۵۰ تن شد، اما در سال‌های اخیر میزان صید در طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۷ از ۱۴۶ تن به ۱۴/۸ متریک تن رسیده است (Abdolhay et al., 2011). برنامه‌های بازسازی ذخایر سازمان شیلات ایران از طریق تکثیر مصنوعی و رهاسازی سالیانه ۲۰۰ میلیون بچه‌ماهی به رودخانه‌ها و مصب‌ها در حوزه دریای خزر، از عوامل مهم در این افزایش بوده است

ماهیان در طی مراحل اولیه زندگی تغییرات ریختی و روندهای رشدی پیچیده‌ای را طی می‌کنند (Osse et al., 1997) که قابلیت‌های رفتاری و فیزیولوژیکی آن‌ها را در طی این دوره تعیین می‌کند. برطبق تحقیقات انجام شده شکار و گرسنگی از عوامل مهم دخیل در بقا در طی مراحل اولیه تکوین اندام‌های مختلف در این دوره باعث بهبود شرایط فیزیولوژیکی و رفتاری ماهی شده (Peña and Dumas, 2009) و در نهایت به بقای ماهی کمک می‌کند. کمک به بقا از طریق بهبود در فرایندهای رفتاری در طی مراحل اولیه اونتوژنی بسیاری از گونه‌های ماهی استخوانی، به‌صورت تغییرات ریختی- فیزیولوژیکی (مانند تکوین ساختارهای دخیل در شنا، اندام‌های حسی، سیستم‌های تنفسی و تغذیه‌ای) بروز کرده و هر کدام از این مراحل بر پراکنش، بقا و بازگشت شیلاتی تأثیر خواهد گذاشت (Gisbert, 1999). اندازه و شکل، عوامل تعیین‌کننده برای گونه‌ها محسوب شده و تکامل ریختی، منجر به تغییرات در اندازه بدن و اندازه نسبی اندام‌های بدن می‌شود (Russo et al., 2008).

تغییر در ساختار بدن و به طبع آن، تکوین ساختارهای عملکردی ماهی در مراحل اولیه به‌سرعت رخ داده و چون ساختارهای بدن براساس اهمیت‌شان برای عملکردهای زندگی اولیه تکوین می‌یابند (Osse et al., 1997; Simonović et al., 1999)، بنابراین در گونه‌های مختلف فرایندهای تکوینی ممکن است به‌صورت قابل ملاحظه‌ای با تغییرات اونتوژنتیک در زیستگاه و منابع مورد استفاده در ارتباط باشد (Ward-Campbell and Beamish, 2005). بر این اساس می‌توان مراحل لاروی را به چند مرحله تقسیم کرد که هر یک ممکن است الگوهای رشدی مختلفی را

بررسی آلودگی رشد خصوصیات ریختی ماهی سفید... www.sid.ir قربانزاده و همکاران

رودخانه سفیدرود که یکی از رودخانه‌های اصلی تکثیر مولدین ماهی سفید است، تأمین شد. به علاوه برای غنی‌سازی محیط استخر از پلانکتون‌های جانوری، به‌طور میانگین هر سه روز یک‌بار استخر با استفاده از کود گاوی کوددهی گردید. لاروهای سه روزه پس از اینکه حجم کیسه زرده آن‌ها تقریباً به نصف کاهش یافته و امکان تغذیه خارجی (باز شدن دهان) در آن‌ها فراهم شده بود، به استخر خاکی منتقل شدند. تعداد ۳۰ هزار لارو سه روزه به استخر خاکی منتقل گردید به‌طوری که میزان تراکم لاروها در هر لیتر سه عدد برآورد شد. از آنجایی که مزوکوزم ایجاد شده توان پاسخ‌گویی غذای زنده برای کل دوره پرورشی را نداشت، لاروها پس از یک هفته با غذای مخصوص تهیه شده برای لارو ماهی سفید (SFK) دو بار در روز و در هنگام صبح و عصر تغذیه شدند. میانگین دمای آب استخر کل دوره ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین pH در حدود ۸/۱ و میزان اکسیژن اشباع ۷/۴ ثبت شد. دوره نمونه‌برداری ۳۵ روز و تا وزن یک گرمی (وزن رهاسازی بچه‌ماهی سفید به دریا) به طول انجامید. نمونه‌گیری‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی بوده و تعداد ۴۵۰ نمونه لاروی و بچه‌ماهی (۳۰ عدد به ازای هر روز) برای انجام آنالیزها استفاده شدند. نمونه‌گیری‌ها در پنج روز ابتدایی پس از تخم‌گشایی به‌صورت روزانه، از روز پنجم تا ۱۵ پس از تخم‌گشایی با فواصل یک روز در میان و از روز ۱۵ تا ۳۵ با فواصل ۵ روزه صورت گرفت. نمونه‌ها پس از صید در محلول بافر فسفات‌فرمالدئید چهار درصد تثبیت گردیدند و برای مطالعات بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. برای وزن کردن نمونه‌های ماهی از ترازوی دیجیتال با دقت ۱۰ هزارم گرم استفاده شد. برای تهیه تصاویر از نمونه‌های ماهی، از لاروها در زیر لوپ مجهز به دوربین سونی با قدرت تفکیک ۱۸ مگاپیکسل، از نیم‌رخ چپ ماهی

(Jafari et al., 2010). نتایج این مطالعه برای بهبود شرایط پرورشی درباره گونه‌های در حال بازسازی مثل ماهی سفید لازم به نظر می‌رسد، زیرا در خصوص الگوهای آلودگی رشد و مکانیزم تغییرات ریختی در مراحل اولیه رشدی ماهی سفید اطلاعاتی وجود ندارد. از این‌رو با توجه به اهمیت شناخت مراحل تکوین لاروی این گونه با ارزش، این تحقیق با هدف بررسی الگوهای رشد آلودگی و مکانیزم تغییرات ریختی در طی مراحل تکوین اولیه ماهی سفید انجام شد.

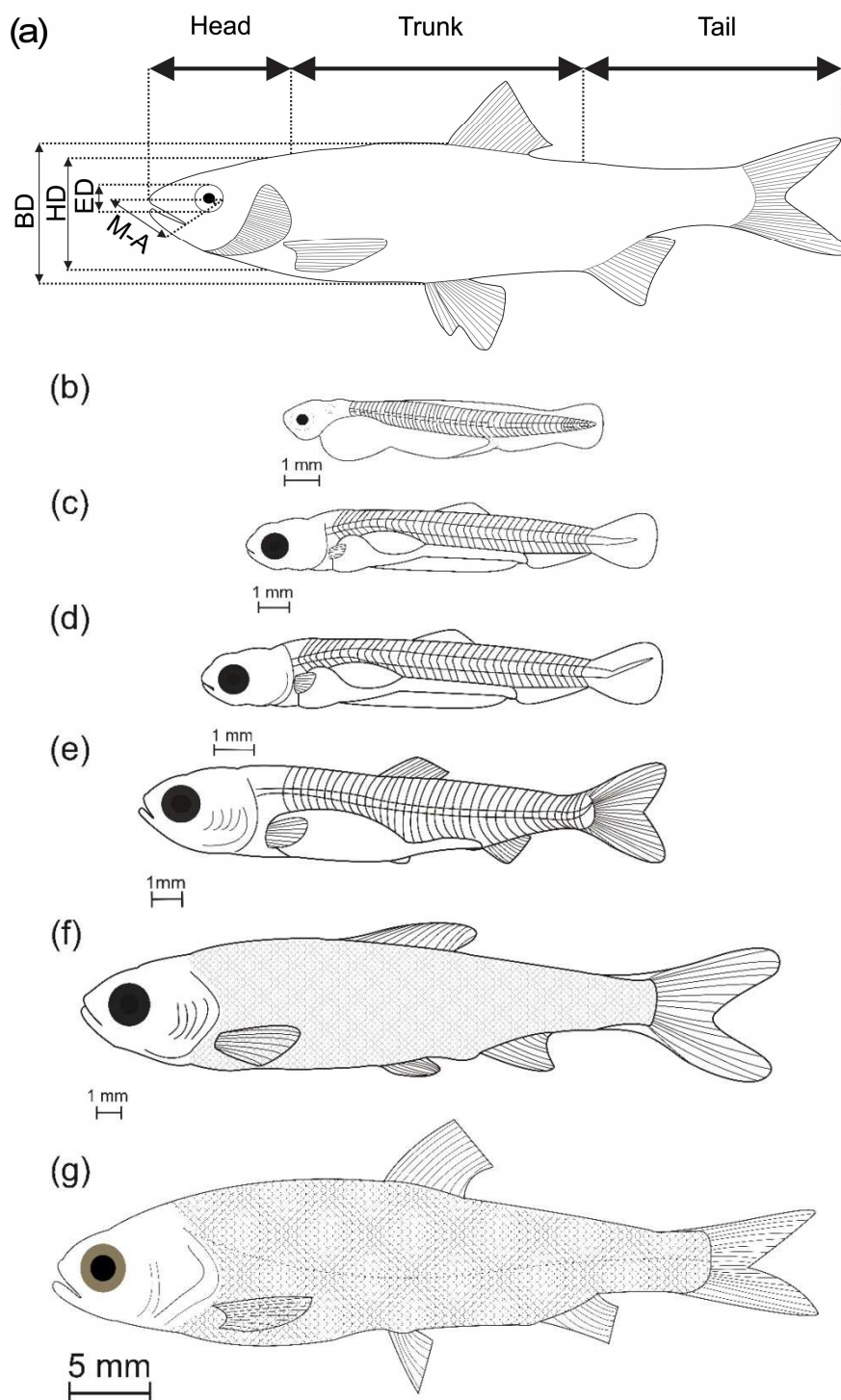
مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری: برای انجام این آزمایش، لاروهای ماهی سفید از مجتمع بازسازی ذخایر ماهیان دریایی شادروان یوسف‌پور تأمین شدند. از ۳۰ مولد نر و ۱۵ مولد ماده پس از تزریق هیپوفیز اقدام به تکثیر مصنوعی گردید. تخم‌های حاصل پس از شستشو و رفع چسبندگی برای گذراندن دوره جنینی به ویس منتقل شدند. لاروها پس از گذشت تقریباً شش روز در داخل ویس‌ها تفریخ شدند. دمای متوسط فضای سرپوشیده تفریخگاه در حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود. نمونه‌برداری از لاروها به‌سرعت پس از تفریخ لاروها شروع گردید. فواصل نمونه‌برداری از ویس‌ها در روزهای ابتدایی برای تعیین جزئیات تکوینی لاروی هر ۱۲ ساعت انجام شد. برای ادامه پرورش دوره لاروی پس از جذب کیسه زرده یک استخر خاکی ۰/۱ هکتاری با ایجاد یک مزوکوزم طبیعی آماده گردید. از لحاظ جمعیت پلانکتونی نیز سعی شد شرایطی مشابه با محیط طبیعی پرورش لارو ماهی سفید از طریق پایش شفافیت آب و نیز دسترسی به غذاهای زنده مختلف از قبیل دافی، روتیفر، جلبک و شیرونومید با توجه به مراحل مختلف زندگی (Razavi Sayad, 1995) تأمین گردد. آب استخر از آب

$\beta \text{Log } x$ بوده و در این معادله y متغیر وابسته، x متغیر مستقل، α محل تقاطع و β شیب یا ضریب رشد در نظر گرفته شده است (Osse et al., 1997; van Snik et al., 1997). برای تعیین نقطه عطف عوامل اندازه‌گیری شده، از روش (van Snik et al., 1997) استفاده شد. در رشد ایزومتریک مقدار β یک است، مقادیر کمتر بیانگر رشد آلومتریک منفی و مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده رشد آلومتریک مثبت است. درباره داده‌های حجمی یعنی مدل وزن-طول ضریب رشد ایزومتریک سه است و مقادیر آلومتری در مدل وزن-طول براساس آن سنجیده می‌شوند. جدول ۱ بیومتری ماهی سفید در سنین مختلف را نشان می‌دهد.

عکس‌برداری گردید و از ماهیان بزرگ‌تر با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال Canon، با قدرت تفکیک ۱۴ مگاپیکسل عکس‌برداری شد.

بررسی رشد آلومتری: طول کل (L_T)، طول سر (L_H)، طول دم (L_{TA}) و طول تنه (L_{TR})، قطر چشم (ED)، زاویه دهان ($M-A$)، ارتفاع سر (HD) و ارتفاع بدن (BD) (شکل ۱) با استفاده از نرم‌افزار Image J version. 1.44p از تصاویر دو بعدی استخراج شد ($L_{TR} = L_T - L_H - L_{TA}$). از داده‌های خطی تبدیل شده بر اساس لگاریتم پایه ۱۰ رگرسیون خطی گرفته شد و برای انجام آن طول کل به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. رگرسیون‌های محاسبه شده منحنی‌های نوع $\text{Log}_{10} y = \text{Log}_{10} \alpha +$



شکل ۱ (a) عوامل اندازه‌گیری شده مربوط به شکل در ماهی سفید، (HL) طول سر، (TrL) طول تنه، (TL) طول دم، (M-A) زاویه دهان، (ED) قطر چشم، (HD) ارتفاع سر، (BD) ارتفاع بدن. مراحل مختلف تکوینی لارو و بچه‌ماهی سفید از روز صفر تا روز ۳۵: (b) لارو تازه تخم‌گشایی شده، (c) لارو پنج روزه، (d) لارو هفت روزه، (e) لارو ۱۱ روزه، (f) لارو ۲۰ روزه، (g) بچه‌ماهی ۳۵ روزه.

جدول ۱ سن، زیست‌سنجی و تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده ماهی سفید از صفر تا ۳۵ روز پس از تفریخ.

| سن | دامنه طول کل (mm) | SD±میانگین طول کل (mm) | تعداد نمونه |
|----|-------------------|------------------------|-------------|
| ۰ | ۷/۶۱-۸/۸۹ | ۸/۳۷±۰/۶۰ | ۳۰ |
| ۱ | ۸/۰۵-۹/۲۱ | ۸/۷۳±۰/۳۴ | ۳۰ |
| ۲ | ۹/۴۰-۸/۴۴ | ۸/۹۴±۰/۲۴ | ۳۰ |
| ۳ | ۸/۴۲-۹/۸۲ | ۹/۰۸±۰/۳۶ | ۳۰ |
| ۴ | ۹/۳۲-۱۱/۳۶ | ۱۰/۳۳±۰/۴۹ | ۳۰ |
| ۵ | ۹/۶۴-۱۲/۱۱ | ۱۱/۱۳±۰/۶۲ | ۳۰ |
| ۷ | ۱۱/۳۳-۱۳/۶۴ | ۱۲/۴۵±۰/۶۷ | ۳۰ |
| ۹ | ۱۱/۶۴-۱۶/۴۰ | ۱۴/۰۸۵±۱/۰۷ | ۳۰ |
| ۱۱ | ۱۵/۲۴-۱۹/۲۹ | ۱۷/۲۳±۱/۲۵ | ۳۰ |
| ۱۳ | ۱۸/۱۸-۲۲/۲۸ | ۱۹/۹۶±۱/۰۱ | ۳۰ |
| ۱۵ | ۲۱/۴۰-۲۶/۶۴ | ۲۴/۰۵±۱/۲۱ | ۳۰ |
| ۲۰ | ۲۸/۸۴-۳۳/۸۵ | ۳۱/۵۲±۱/۴۸ | ۳۰ |
| ۲۵ | ۳۵/۸۳-۴۹/۰۱ | ۳۹/۵۹±۲/۶۱ | ۳۰ |
| ۳۰ | ۳۹/۶۶-۴۹/۴۴ | ۴۳/۳۵±۲/۴۱ | ۳۰ |
| ۳۵ | ۴۳-۵۲/۹۰ | ۴۸/۳۰±۲/۰۸ | ۳۰ |

نتایج

خارجی و تشکیل چین‌های باله‌ای است. در این مرحله هنوز شعاع‌های باله‌ای تکوین نیافته‌اند. در مرحله Propterygio-larval تکمیل خمیدگی نوتوکورد نیز در روز هفت پس از تفریخ (شکل ۱d) قابل مشاهده است. سومین مرحله تکوینی یا Pterygio-larval است که از روز ۱۱ (شکل ۱e) تا روز ۲۰ پس از تفریخ (شکل ۱f) را دربر می‌گیرد (طول کل $31/52 \pm 1/48$ میلی‌متر). در طی این دوره شعاع‌های باله‌ها و اندام‌های حرکتی به‌طور کامل شکل می‌گیرند. در پایان مرحله Pterygio-larval دگرذیسی رخ داده و لارو وارد مرحله بچه‌ماهی جوان (Juvenile) می‌شود و یک شکل مینیاتوری از ماهی بالغ را بروز می‌دهد و نیز در این مرحله پیدایش فلس‌ها را می‌توان مشاهده کرد (در انتهای دوره $48/30 \pm 2/08$ میلی‌متر).

الگوهای رشد در مراحل مختلف لاروی: الگوی رشد بخش‌های اصلی بدن ماهی سفید در مراحل مختلف لاروی و نیز بچه‌ماهی متفاوت بود و نوسانات

تکوین در طی مراحل اولیه لاروی: مراحل مختلف زندگی اولیه ماهی سفید براساس خصوصیات ریختی و آستانه‌های به‌دست آمده برای نقاط عطف از صفر تا ۳۵ روز پس از تخم‌گشایی به چهار دوره مجزا قابل تقسیم است. این مراحل شامل دوره Eleuthero-embryo، Propterygio-larval، Pterygio-larval و Juvenile Younger هستند. مرحله Eleuthero-embryo از روز صفر ($8/37 \pm 0/60$ میلی‌متر) (شکل ۱b) تا روز پنجم پس از تفریخ (طول کل $11/13 \pm 0/62$) (شکل ۱c) را دربر می‌گیرد. در این دوره لارو دارای کیسه زرده بوده و تا روز سوم پس از تفریخ تغذیه داخلی و از آن روز به بعد تغذیه مختلط دارد. در پایان این مرحله کیسه زرده لارو جذب شده و لارو شروع به تغذیه خارجی می‌کند. مرحله دوم یا Propterygio-larval (طول کل $17/23 \pm 1/25$ میلی‌متر) است، که شامل شکل‌گیری زوائد تغذیه‌ای، آغاز تغذیه

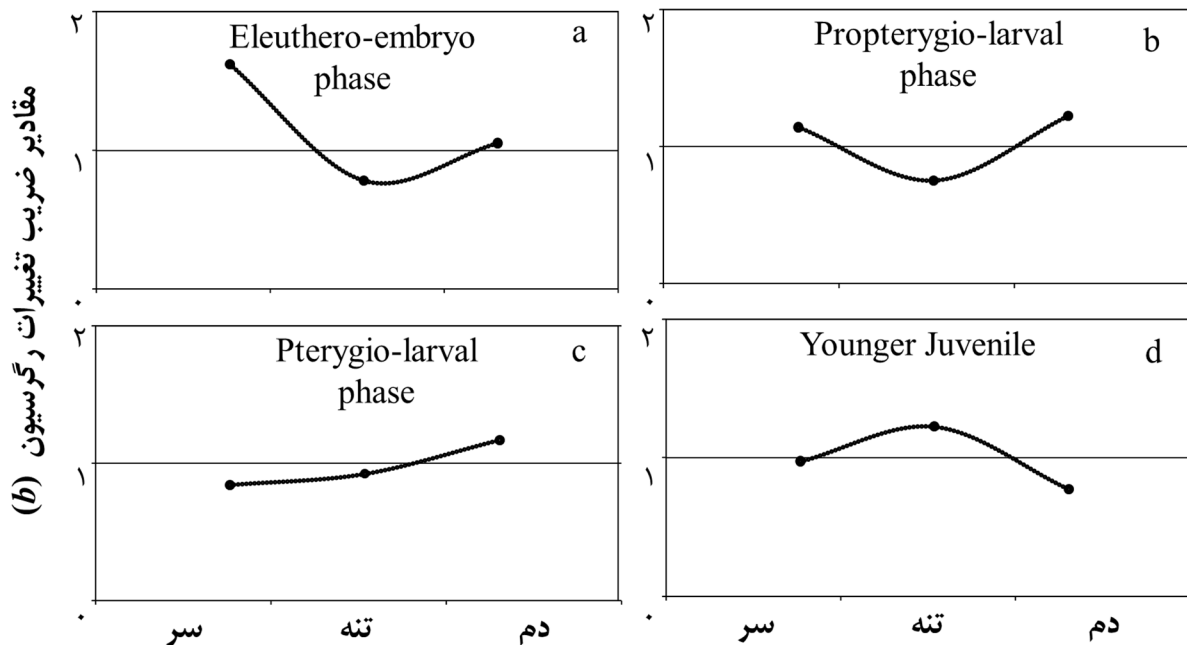
بررسی آلومتری رشد خصوصیات ریختی ماهی سفید... قربانزاده و همکاران

دگرذیسی و ورود به مرحله بچه ماهی آلومتری طول تنه مثبت می شود. در خصوص طول دم وضعیت متفاوت بود و الگوی آلومتری رشد طول دم در Eleuthero-embryo و Propterygio-larvae مثبت و در مراحل Pterygio-larvae و Younger Juvenile منفی بود (شکل ۲).

زیادی را نشان داد (جدول ۲). نتایج نشان داد که آلومتری رشد طول سر در طی دوره های Eleuthero-embryo و Propterygio-larvae مثبت و در مراحل Pterygio-larvae و Younger Juvenile تقریباً ایزومتریک است. درباره طول تنه الگوی رشد آلومتری در طی مراحل لاروی Eleuthero-embryo و Propterygio-larvae منفی و در مرحله Pterygio-larvae تقریباً ایزومتریک بود ولی پس از

جدول ۲ مقادیر ضریب رشد *b* (شیب خط رگرسیون) رگرسیون خطی طول سر، تنه، دم در مراحل مختلف دوران اولیه زندگی ماهی سفید. ضریب یک به عنوان ضریب ایزومتریک ویژگی های طولی در نظر گرفته شده است. *P*-value محاسبه شده با آزمون *t*-نشان داده نشده است ($p < 0.05$, $p < 0.01$)

| | طول دم | طول تنه | طول سر |
|--------------------|--------|---------|--------|
| Eleuthero-embryo | ۱/۰۵** | ۰/۷۸** | ۱/۶۲** |
| Propterygio larvae | ۱/۲۲** | ۰/۷۵** | ۱/۱۴** |
| Pterygio larvae | ۱/۱۷** | ۰/۹۲** | ۰/۸۴** |
| Younger Juvenile | ۰/۷۷** | ۱/۲۲** | ۰/۹۷** |



شکل ۲ روند تغییرات ضرایب رشد قسمت های مختلف بدن (سر، تنه، دم) با توجه به مراحل مختلف زندگی لاروی و بچه ماهی جوان از روز صفر تا ۳۵ پس از تفریح: (a) Eleuthero-embryo، (b) Propterygio-larvae، (c) Pterygio-larvae و (d) Younger Juvenile

تفریخ به دست آمد و نقطه آلومتری منفی ($b=0/08$) و پس از آن مثبت ($b=1/33$) بود (شکل ۴b). روند تغییرات قطر چشم (شکل ۴c) نسبت به طول کل همبستگی معناداری را نشان داد ($p<0/01$). نقطه عطف تغییرات قطر چشم در روز هفت پس از تفریخ رخ داد (طول کل $12/5 \pm 0/67$ میلی‌متر) و الگوی رشد آن از روز صفر تا روز هفتم پس از تفریخ آلومتری مثبت ($b=1/05$) و سپس تقریباً ایزومتریک متمایل به منفی بود ($b=0/8$).

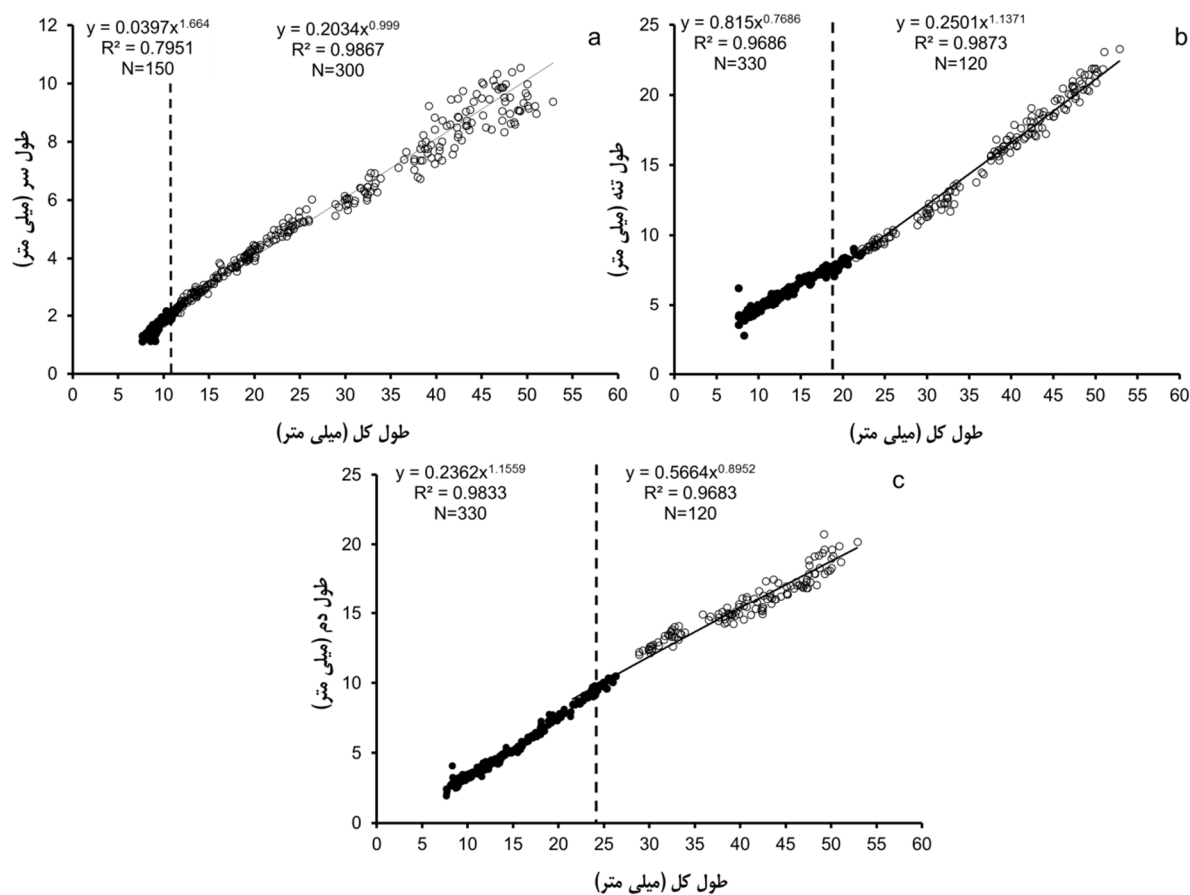
روند تغییرات وزن نسبت به طول کل مانند تغییرات ارتفاع تنه بود، به طوری که نقطه عطف تغییرات وزن در روز سوم پس از تفریخ بوده و الگوی آن تا پیش از نقطه عطف آلومتری منفی ($b=-0/24$) و پس از آن مثبت ($b=3/1$) بود (شکل ۴d). در بررسی تغییرات زاویه دهان (شکل ۴e) نسبت به طول کل مشاهده شد که بین تغییرات زاویه دهان و طول کل همبستگی معناداری وجود دارد ($p<0/01$) و همگام با رشد ماهی تا مرحله بچه ماهی اندازه زاویه دهان نیز افزایش می‌یابد. نقطه عطف تغییرات زاویه دهان در روز هفتم پس از تفریخ (طول کل $12/5 \pm 0/67$ میلی‌متر) رخ داد. با این حال الگوی آلومتری تغییرات زاویه دهان از روز صفر تا روز ۳۵ پس از تفریخ منفی بود ($b=0/46$). مقادیر مربوط به آلومتری پیش و پس از نقطه عطف به ترتیب $b=0/68$ و $b=0/48$ بود و در هر دو مرحله روند آلومتری منفی را دنبال می‌کند.

الگوهای آلومتری رشد بخش‌های مختلف بدن: روند

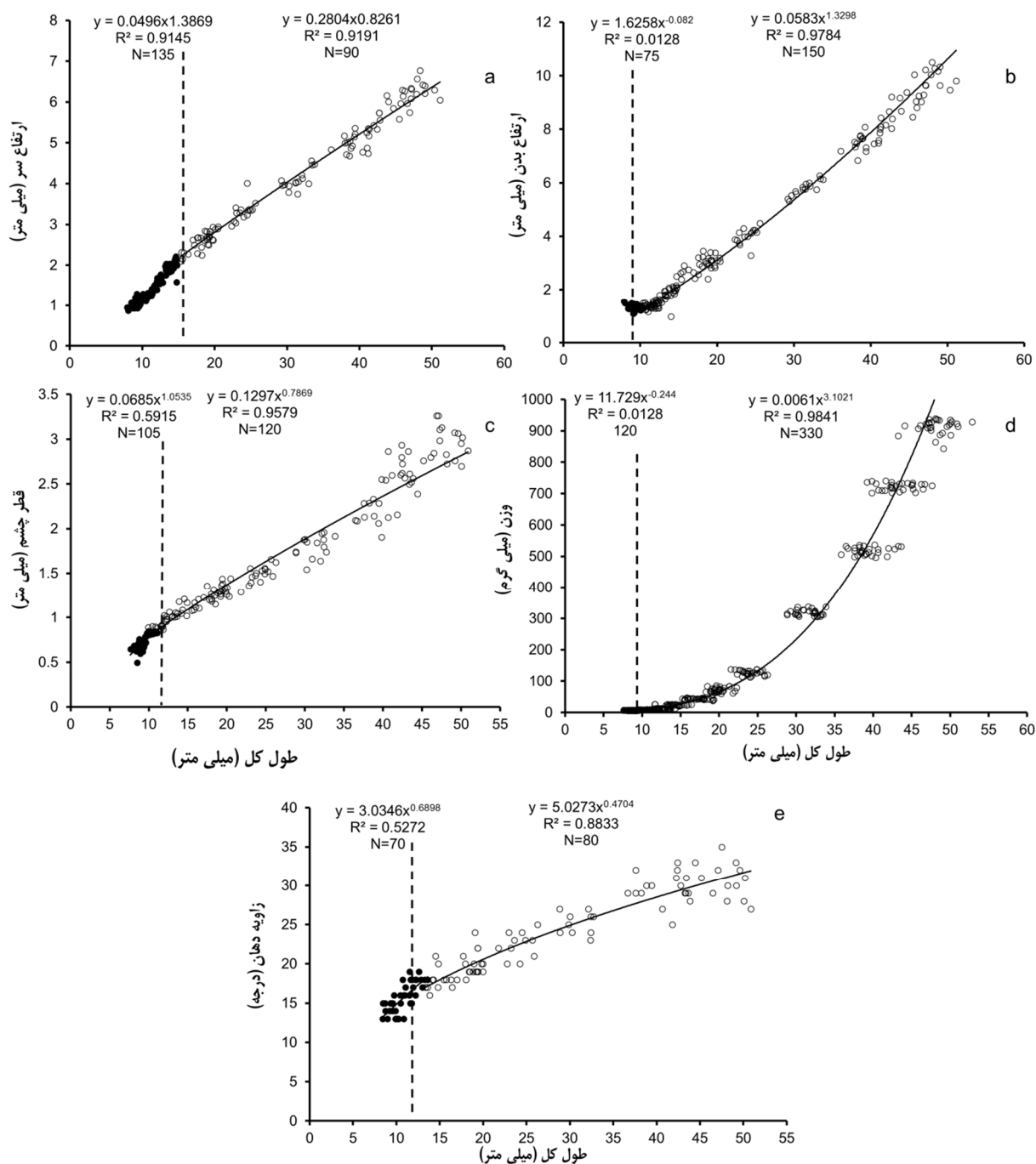
تغییرات اندازه سر نسبت به طول کل از مدل خطی پیروی کرده و همبستگی بین تغییرات طول سر و طول کل بسیار معنادار بود ($p<0/01$). نقطه عطف تغییرات طول سر در روز پنجم پس از تفریخ رخ داد و الگوی رشد اندازه طول سر از روز صفر تا روز پنجم آلومتری مثبت ($b=1/66$)، و پس از نقطه عطف تقریباً ایزومتریک و ضریب رشد آن برابر یک بود (شکل ۳a). همبستگی بین تغییرات طول تنه و طول کل معنادار بود ($p<0/01$). بر اساس نتایج به دست آمده نقطه عطف تغییرات طول تنه در روز ۱۳ پس از تفریخ (طول کل $19/96 \pm 1/01$ میلی‌متر) رخ می‌دهد (شکل ۳b). الگوی رشد تنه از روز صفر تا روز ۱۳ پس از تفریخ آلومتری منفی ($b=0/77$) و سپس مثبت بود ($b=1/14$).

نقطه عطف تغییرات طول دم در روز ۱۵ پس از تفریخ (طول کل $24/05 \pm 1/21$ میلی‌متر) رخ داد (شکل ۳c) و این تغییرات به طور معناداری با تغییرات طول کل همبستگی داشت ($p<0/01$). الگوی رشد طول دم تا روز ۱۵ بعد از تفریخ آلومتری مثبت ($b=1/16$)، ولی از روز ۱۵ تا ۳۵ پس از تفریخ تقریباً ایزومتریک بود ($b=0/9$). الگوی رشد ارتفاع سر با طول سر همخوانی داشت و پیش از نقطه عطف در روز نهم پس از تفریخ آلومتری مثبت ($b=1/4$) و پس از آن تقریباً ایزومتریک ($b=0/82$) بود (شکل ۴a). در بررسی تغییرات ارتفاع تنه نقطه عطف در روز سوم پس از

بررسی آلومتری رشد خصوصیات ریختی ماهی سفید... قربانزاده و همکاران



شکل ۳ الگوهای آلومتری رشد بخش‌های اصلی بدن ماهی سفید شامل سر، تنه و دم، روند تغییرات و معادله رشد مربوط به این بخش‌ها نسبت به طول کل در طی مراحل اولیه تکوینی (از روز صفر تا ۳۵ پس از تفریخ): (a) طول سر، (b) طول تنه، (c) طول دم (خط چین بیانگر نقاط عطف است).



شکل ۴ الگوهای آلومتری رشد بخش‌های مختلف بدن ماهی سفید. (a) الگوی آلومتری رشد ارتفاع سر، (b) الگوی آلومتری رشد ارتفاع بدن، (c) قطر چشم، (d) وزن، (e) زاویه دهان (خط چین بیانگر نقاط عطف است).

بحث

براساس نتایج الگوی‌های رشد بخش‌های سر و دم لارو ماهی سفید، که از بخش‌های دخیل در تغذیه و حرکت ماهی می‌باشند، در مراحل اولیه لاروی تا پیش از نقطه عطف دارای الگوی آلومتری مثبت بودند. با توجه به نتایج van den Boogaart و Osse (۲۰۰۴)، آلومتری مثبت طول سر و دم در دوره تغذیه داخلی و مختلط بیانگر ترجیح تکوینی ساختارهای مرتبط با شنا و تغذیه است. از طرفی تمایز و تکوین سیستم‌های حسی، عصبی و تغذیه‌ای در قسمت سر به افزایش قابلیت‌های مربوط به شناسایی و گرفتن طعمه غذایی و فرایندهای هضمی منجر می‌شود (Koumoundouros et al., 1999a). Van Sink و همکاران (۱۹۹۷) اظهار می‌دارند که یکی از دلایل رشد سریع سر در مراحل اولیه کاهش ذخایر کیسه زرده بوده و لارو نیازمند استفاده از زواید تغذیه‌ای کارآمد برای تغذیه خارجی است. لارو ماهی سفید در طی مرحله Eleuthero-embryo دارای کیسه زرده بوده و با توجه به اینکه این ذخیره غذایی پس از مدتی مصرف می‌شود و لارو ناگزیر به استفاده از گزینه‌های غذایی محیطی می‌گردد، به همین دلیل در روز دوم پس از تفریخ شاهد باز شدن دهان هستیم. باز شدن دهان با پر شدن کیسه شنا که در این مرحله هنوز تک بخشی است، هم‌زمان است. پر شدن کیسه شنا به همراه حرکات باله سینه‌ای که تکوین آن از مراحل جنینی شروع شده ولی لارو پس از گذراندن مرحله شنای عمودی در روز دوم پس از تفریخ از آن استفاده می‌کند، یک نیروی پیش‌ران به همراه تعادل در لارو ایجاد کرده تا لارو انرژی کمتری را در حفظ شناوری خود مصرف کند. در این مرحله الگوی شنای لاروها به صورت شنای انفجاری است که نقش اصلی در این الگوی شنا بر عهده باله سینه‌ای بوده (Osse et al., 1997) و انتظار می‌رود که این الگوی شنا پاسخی مناسبی

در طی مراحل اولیه تکوینی لاروها تغییرات زیادی را متحمل می‌شوند و سرعت رشد بخش‌های مختلف بدن با توجه به گونه ماهی، شرایط محیطی و ویژگی ژنتیکی نوسانات زیادی را نشان می‌دهند (Falk-Petersen, 2005; Peña and Dumas, 2009). مرحله لاروی یک مرحله انتقالی محسوب شده که با تغییرات ریختی عمده‌ای همراه است (Strauss and Bond, 1990). در این مرحله گذار ساختارهای عملکردی باید به گونه‌ای تمایز پیدا کنند تا در پایان دوره لاروی، عملکرد هر بخش مشخص باشد (Fuiman, 1983). همچنین روند رشد لارو با مرحله بچه‌ماهی از لحاظ عوامل طولی تفاوت‌های اساسی دارد، زیرا شدت تغییرات به‌طور یکنواخت در بدن توزیع نشده است، ولی گرادیان آن آرام و پیوسته است (Fuiman, 1983). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که تغییرات ریختی در لارو ماهی سفید بسیار شدید بوده و پس از تفریخ رشد نسبی برخی از عوامل ریختی روند آلومتری مثبت داشته و پس از مدت کوتاهی روند این تغییرات ایزومتریک می‌شود. به نظر می‌رسد تغییرات در الگوهای رشد آلومتری عوامل ریختی به عملکردهای تنفس، تغذیه و توانایی شنا در لارو ماهی مرتبط باشد (Osse and Boogaart, 1995) و نیز الگوهای رشد آلومتری در لاروها و بچه ماهیان می‌توانند اهمیت و ترجیح تکوینی قسمت‌های مختلف بدن را به تصویر بکشند (Osse et al., 1997; van Snik et al., 1997; Gisbert, 1999; Gisbert et al., 2002; Osse and Van den Boogaart, 2004)؛ زیرا فرض بر این است که گاه‌شناسی تغییرات آلومتری با گاه‌شناسی وقایع مهم در طی مراحل اولیه در ارتباط بوده و از طریق پاسخ اوتوژنتیک تکاملی به نیازهای اساسی بروز می‌کند (Huysentruyt et al., 2009).

از ماهیان برای تغذیه به بینایی خود متکی هستند. در لارو ماهی سفید روند تغییرات الگوی رشد قطر چشم با تغییرات الگوی آلومتری چشم در بسیاری از تحقیقات انجام شده بر روی دیگر ماهیان از جمله تاس‌ماهی سیبری (Gisbert, 1999) و کفال خاکستری لب-کلفت (Khemis et al., 2012) در طی دوره لاروی مشابه بود.

اوتوزنی تغذیه‌ای همراه با تغییراتی در خصوصیات ریختی شامل تغییر در شکل کلی و ساختارهای دهان است (Joakim et al., 2003). در مراحل اولیه رشد ماهی سفید تکوین دهان با آلومتری مثبت طول و ارتفاع سر همخوانی داشته و تغییرات زاویه شکاف دهانی صورت گرفته در طی دوران لاروی، بیانگر افزایش حفره دهانی بود، هر چند الگوی آلومتری این تغییرات منفی بود. دهان از ساختارهای اساسی در تغذیه محسوب شده و اندازه حفره دهانی از عوامل دخیل در انتخاب طعمه با اندازه مناسب است (Yúfera and Darias, 2007) قدرت مکش بالا در دهان بستگی به حجم سر دارد؛ به عبارتی، رشد سریع سر امکان افزایش کارایی مکشی را فراهم می‌کند (Huysentruyt et al., 2009). همچنین باز شدن دهان امکان شنا در سطح و بلعیدن هوا به وسیله لارو برای پر کردن کیسه شنا و در نتیجه پایداری در وضعیت شنا را فراهم می‌کند (Pinder and Gozlan, 2004).

لارو ماهی سفید پس از گذراندن مرحله Eleuthero-embryo وارد مرحله Propterygio-larvae می‌شود. در این مرحله لارو به‌طور کلی به محیط خارج وابسته بوده و باید از محیط اطراف غذا کسب کند. بنابراین در این مرحله باید عوامل دخیل در تغذیه و شنا تا اندازه‌ای تکوین یافته باشند. از این رو تغییرات در بخش‌های تغذیه‌ای با توجه به الگوی آلومتری مثبت بخش سر قابل تشخیص است. در مرحله Propterygio-larvae با توجه به آلومتری مثبت

برای فرار از شکارچی در این مرحله از زندگی باشد (Huysentruyt et al., 2009). به‌علاوه الگوی رشد طول دم لارو ماهی سفید در طی مرحله Eleuthero-embryo ایزومتری است، ولی در طی مراحل Propterygio-larvae و Pterygio-larvae الگوی آن مثبت شده و با ورود به مرحله Younger-Juvenile الگوی آن آلومتری منفی می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده آلومتری مثبت طول دم به لارو کمک می‌کند تا از طریق بهبود شنا و رفتارهای مربوط به فرار از دست شکارچی، هزینه‌های انرژی مربوط به جابه‌جایی و انتقال لارو کاهش یافته و بهینه شوند (Fuiman, 1983; Peña and Dumas, 2009).

در طی مرحله Eleuthero-embryo شاهد تغییر الگوی آلومتری ارتفاع تنه از منفی به مثبت بودیم، که از دلایل آلومتری منفی مرحله پیش از نقطه عطف ارتفاع تنه می‌توان کاهش ذخایر کیسه زرده را نام برد، ولی پس از شروع تغذیه مختلط یعنی روز سوم بعد از تفریح، به دلیل تکوین سیستم‌های آنزیمی، هضمی و افزایش کارایی تغذیه آلومتری مثبت را شاهد بودیم (Peña and Dumas, 2005).

بسیاری از لاروهای ماهیان برای جستجوی غذا، جهت‌یابی، رفتارهای گروهی و پرهیز از شکارچی به بینایی خود متکی هستند (Rodríguez and Gisbert, 2001). همچنین بینایی نقش مهمی در پاسخ ماهی به جریان‌های آبی (Gisbert, 1999) و واکنش به محرک‌های نوری (Gisbert et al., 2002) بازی می‌کند. بر طبق تحقیقات انجام شده، آلومتری مثبت قطر چشم بیانگر رشد مغز (Packard and Wainwright, 1974)، تکوین و تمایز ساختارهای حسی و عصبی (Gisbert et al., 2002; Van den Boogart and Osse, 2012) است. (Khemis et al., 1995) بر این عقیده‌اند که چشم‌ها نقش مهمی را در تغذیه کپور در مراحل لاروی بر عهده دارند؛ زیرا این گونه

بررسی آلومتری رشد خصوصیات ریختی ماهی سفید... قربانزاده و همکاران

افزایش و بهبود ظرفیت تنفسی یکی از اولویت‌های تکوینی در طی دوران لاروی است (Khemis et al., 2012). اکثر لاروها در طی دوران پس از تخم‌گشایی، تنفس جلدی داشته و ساختارهای تنفسی آن‌ها هنوز تکوین نیافته است (Gisbert et al., 2002; Comabella et al., 2010; Khemis et al., 2012). تنفس آبششی نسبت به تنفس جلدی، انتقال اکسیژن را تسهیل نموده و باعث افزایش فعالیت شنا در ماهی می‌گردد (Gisbert et al., 2002). علاوه بر این رشد سرپوش آبششی در طی مراحل اولیه اوتوژنی پس از تکوین هیوئید اتفاق افتاده و یک ساختار جانبی کمکی در امر تغذیه محسوب می‌شود (Russo et al., 2007). تکوین ساختارهای آبششی در کپور *Cyprinus carpio*، تاس‌ماهی سیبری *Acipenser baeri* و کفال لب-کلفت خاکستری با نقطه عطف تغییرات طول سر (Van Snik et al., 1997; Gisbert, 1999; Khemis et al., 2012)، که در لارو ماهی سفید نیز این گونه بود. در لارو ماهی سفید تکوین کمان‌های آبششی با باز شدن دهان هم‌زمان بوده و از طرفی تکوین ساختارهای آبششی با جذب کیسه زرده در تطابق است (Jafari et al., 2009). بنابراین با توجه به الگوی آلومتری مثبت سر در طی مراحل اول و دوم لاروی تغییر در ساختارهای آبششی مانند تشکیل سرپوش آبششی، رشته‌ها و خارهای آبششی در لارو ماهی سفید قابل پیش‌بینی است.

در بررسی تفکیکی مراحل لاروی، تغییرات آلومتری طول تنه ابتدا در مرحله Pterygio-larvae ایزومتریک بوده و پس از دگردیسی و ورود به مرحله Juvenile آلومتری مثبت می‌شود. آلومتری منفی طول تنه در مراحل اولیه دلیل دیگری بر اهمیت تکوین اندام‌های عملکردی (تنفسی، تغذیه‌ای، حرکتی و حسی) است (Gisbert et al., 2002)، زیرا تا مرحله دگردیسی انعطاف‌پذیری بخش جلویی بدن

ارتفاع و طول سر، رشد قسمت‌های مربوط به تغذیه و تنفس (مانند فک، حلق و آبشش) و همچنین اندام‌های حرکتی مانند دم، که آلومتری رشد آن همچنان مثبت است، ادامه دارد.

در مرحله Propterygio-larvae خمیدگی نوتوکورد که از روز سوم پس از تفریح شروع شده، تکمیل گردید. از آن جا که به دنبال این مرحله، تکوین شعاع‌های باله‌ها، تغییر شکل ماهی و بهبود توانایی حرکتی و رفتار تغذیه‌ای ماهی رخ می‌دهد، خمیدگی نوتوکورد یکی از مراحل مهم در زندگی ماهی محسوب می‌گردد (Hoar and Randall, 1988; Koumoundouros et al., 1999b) و تغییرات با تکوین ستون مهره همراه بوده که باعث قوام و استحکام محور بدن شده و نیروی حرکتی را بالا می‌برد (Koumoundouros et al., 1999b). همچنین در این مرحله نقطه عطف تغییرات ارتفاع سر در روز نهم پس از تفریح رخ داد و آلومتری آن از مثبت به آلومتری منفی متمایل به ایزومتریک تغییر کرد ($b=1/4-0/83$) که با نتایج تحقیقات انجام شده از سوی Khemis و همکاران (۲۰۱۲) بر روی کفال خاکستری لب-کلفت *Chelon labrosus* و Dumas و Peña (۲۰۰۹) بر روی باس خالدار شنی *Paralabrax maculatofasciatus* مطابقت داشت. از دلایل آلومتری مثبت ارتفاع سر در طی مراحل اول و دوم لاروی می‌توان به رشد و شکل‌گیری جمجمه و نیز تکوین آبشش‌ها اشاره کرد (Comabella et al., 2010). پدیدار شدن بخش جلویی کیسه شنا که از آغاز این مرحله رخ می‌دهد به پایداری و شناوری بیشتر لارو کمک می‌کند؛ به طوری که بخش عقبی کیسه‌ی شنا کشیده‌تر شده و به سمت انتهای بدن متمایل می‌شود. از دلایل دو بخشی شدن را می‌توان به افزایش وزن بدن و عدم تکوین کامل بخش‌های حرکتی ذکر کرد.

به تغذیه است (Sabatés and Saiz, 2000; Russo et al., 2007).
 طعمه‌های کوچک‌تر در قیاس با طعمه‌های
 بزرگ‌تر گسترش بیشتری داشته و ماهی نیاز به پیمودن
 مسافت‌های زیاد برای دسترسی به طعمه‌های بزرگ‌تر دارد
 (Russo et al., 2008) که خود دلیل دیگری بر نیاز ماهی
 به قابلیت بالا در شناسا تا بتواند تمامی سطوح را جستجو
 کند.

با توجه به نتایج این مطالعه مشخص شد که با استفاده
 از اندازه‌گیری خصوصیات ریختی و بررسی آلومتری رشد
 بخش‌های مختلف می‌توان بروز وقایع مهم در مرحله
 لاروی را پیش‌بینی کرده و براساس تغییرات انجام شده
 تکوین لاروی را به مراحل مختلف تقسیم کرد. همچنین
 نتایج نشان داد که بروز این وقایع با نقاط عطف
 خصوصیات ریختی همخوانی داشته و روند تغییر عوامل
 ریختی، ترجیحات تکوینی ساختارهای دخیل در تغذیه،
 تنفس، شنا و اندام‌های حسی را نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی

از همکاری صمیمانه ریاست محترم مرکز بازسازی ذخایر
 شادروان یوسف‌پور، جناب آقای مهندس عفت‌پناه، معاونت
 تکثیر این مرکز جناب آقای مهندس رسولی، کارکنان
 آزمایشگاه و بخش تکثیر مرکز مربوط و تمام عزیزانی که
 در انجام این تحقیق یاری‌رسان بنده بودند، تشکر و
 سپاسگزاری می‌نمایم.

منابع

Abdolhay, H. A., Daud, S. K., Rezvani Ghilcolahi, S., Pourkazemi, M., Siraj, S. S. and Abdul Satar, M. K. 2011. Fingerling production and stock enhancement of Mahisefid (*Rutilus frisii kutum*) lessons for others in the south of Caspian

در امر شنا به سبب الگوی شنای anguilliform اهمیت
 به‌سزایی دارد (Osse et al., 1997; Russo et al., 2007).
 همچنین بر طبق تحقیقات انجام شده بر روی ماهی سوف
 (*Perca fluviatilis*) و کلمه (*Rutilus rutilus* (L.)) ثابت
 شد که افزایش رشد تنه و ایجاد حالت دیسکی با رفتار
 تغذیه از بستر ارتباط مستقیم دارد، زیرا در این حالت ماهی
 نیاز به مانور بالا در قیاس با حمله سریع دارد (Hjelm et al.,
 2003; Joakim et al., 2000). تشکیل فلس نیز در
 مرحله سوم لاروی رخ می‌دهد و پس از دگرذیسی کامل
 می‌گردد. فرایند تشکیل فلس به همراه تکوین باله‌ها و
 تشکیل استخوان‌ها از شاخص‌های اصلی در تفکیک مرحله
 لاروی و بچه‌ماهی می‌باشند (Balon, 1999; Peña and
 Dumas, 2009).

کمی پیش از دگرذیسی الگوی شنا لارو ماهی نیز از
 الگوی ماما‌های شکلان^۱ به الگوی گیش‌ماهی شکلان^۲ تغییر
 می‌کند (Osse, 1990)؛ که در لارو ماهی سفید نیز این گونه
 بود و از عوامل این تغییر در وضعیت شنا می‌توان به
 تغییرات باله‌ها و شکل‌گیری شعاع‌های باله و افزایش رشد
 تنه اشاره کرد (Gisbert, 1999). این تغییرات باعث افزایش
 توانایی شنا و قدرت هیدرودینامیکی در لارو شده تا بتوانند
 برای دسترسی به غذا و حمله به شکار مناطق وسیعی را
 جستجو کنند و نیز برای فرار از شکارچی توانایی بالایی
 داشته باشند (Osse et al., 1997; Gisbert, 1999; Simonović et al., 1999).
 پس از ورود به مرحله
 بچه‌ماهی تقریباً تمامی بخش‌های دخیل در بقای ماهی
 تکوین یافته و یک شکل مینیاتوری از ماهی بالغ به‌وجود
 می‌آید. ماهی در این مرحله بیشتر به طعمه‌های بزرگ‌تر و
 با کیفیت بالاتر حمله کرده و تقریباً از همه سطوح آبی قادر

1. anguilliform
 2. subcarangiform

- Huysentruyt, F., Moerkerke, B., Devaere, S. and Adriaens, D. 2009.** Early development and allometric growth in the armoured catfish *Corydoras aeneus* (Gill, 1858). *Hydrobiologia*, 627: 45-54.
- Jafari, M., Salleh Kamarudin, M., Saad, C. R., Arshad, A., Oryan, S. and Guilani, M. H. T. 2010.** Embryonic Development of Caspian kutum, *Rutilus frisii kutum*. *Journal of the World Aquaculture Society* 41: 378-390.
- Joakim, H., Gerco, H. V. D. W. and Ferdinand, A. S. 2003.** Functional link between foraging performance, functional morphology, and diet shift in roach (*Rutilus rutilus*). In *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, pp. 700-709. Ottawa, Canada, Ottawa: National Research Council of Canada.
- Khemis, I. B., Gisbert, E., Alcaraz, C., Zouiten, D., Besbes, R., Zouiten, A., Masmoudi, A. S. and Cahu, C. 2013.** Allometric growth patterns and development in larvae and juveniles of thick-lipped grey mullet *Chelon labrosus* reared in mesocosm conditions. *Aquaculture Research*, 44: 1872-1888.
- Koumoundouros, G., Divanach, P. and Kentouri, M. 1999a.** Ontogeny and allometric plasticity of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae) in rearing conditions. *Marine Biology*, 135: 561-572.
- Koumoundouros, G., Divanach, P. & Kentouri, M. 1999b.** Osteological development of the vertebral column and of the caudal complex in *Dentex dentex*. *Journal of Fish Biology*, 54: 424-436.
- Osse, J. 1990.** From changes in fish larvae i relation to changing demands of function. *Netherlands Journal of Zoology*, 40: 1-2.
- Osse, J., Van Den Boogaart, J., Van Snik, G. and Van Der Sluys, L. 1997.** Priorities during early growth of fish larvae. *Aquaculture*, 155: 249-258.
- Osse, J. W. M. and Van den Boogaart, J. G. M. 2004.** Allometric growth in fish larvae: timing and function. In *American Fisheries Society Symposium*, pp. 167-194: American Fisheries Society.
- Peña, R. and Dumas, S. 2005.** Effect of delayed first feeding on development and feeding ability of Sea. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21: 247-257.
- Bailey, K. M. and Houde, E. D. 1989.** Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem. In *Advances in Marine Biology* (Blaxter, J. H. S. & Southward, A. J., eds.), pp. 1-83: Academic Press.
- Balon, E. 1999.** Alternative Ways to become a juvenile or a definitive phenotype (and on some persisting linguistic offenses). *Environmental Biology of Fishes*, 56: 17-38.
- Comabella, Y., Hurtado, A. and García-Galano, T. 2010.** Ontogenetic Changes in the Morphology and Morphometry of Cuban Gar (*Atractosteus tristoechus*). *Zoological Science*, 27: 931-938.
- Ebrahimi, G. and Ouraji, H. 2012.** Growth performance and body composition of kutum fingerlings, *Rutilus frisii kutum* (Kamenskii 1901), in response to dietary protein levels. *Turkish Journal of Zoology*, 36(4): 551-558.
- Falk-Petersen, I. B. 2005.** Comparative organ differentiation during early life stages of marine fish. *Fish and Shellfish Immunology*, 19: 397-412.
- Fuiman, L. A. 1983.** Growth gradients in fish larvae. *Journal of Fish Biology*, 23, 117-123.
- Gisbert, E. 1999.** Early development and allometric growth patterns in Siberian sturgeon and their ecological significance. *Journal of Fish Biology*, 54: 852-862.
- Gisbert, E., Merino, G., Muguet, J. B., Bush, D., Piedrahita, R. H. and Conklin, D. E. 2002.** Morphological development and allometric growth patterns in hatchery-reared California halibut larvae. *Journal of Fish Biology*, 61: 1217-1229.
- Hjelm, J., Persson, L. and Christensen, B. 2000.** Growth, morphological variation and ontogenetic niche shifts in perch (*Perca fluviatilis*) in relation to resource availability. *Oecologia*, 122: 190-199.
- Hoar, W. S., and Randall, D. J. 1988.** The Physiology of Developing Fish. Part A: Eggs and Larvae. *Fish Physiology*, 11, 546.

- breadth of myctophiform fish larvae. *Marine Ecology. Progress series*, 201: 261-271.
- Salehi, H. 2003.** Economic assessment of fingerling releasing *Rutilus frisii kutum* in Iran. *Journal of Marine Sciences and Technology*, 2(1): 35-46. (Abstract in English)
- Simonović, P. D., Garner, P., Eastwood, E. A., Kováč, V. and Copp, G. H. 1999.** Correspondence between ontogenetic shifts in morphology and habitat use in minnow *Phoxinus phoxinus*. *Environmental Biology of Fishes*, 56: 117-128.
- Strauss, R. E. and Bond, C. E. 1990.** Taxonomic methods: morphology. *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 109-140.
- 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 the finfold. *Journal of Fish Biology*, 50: 1339-1352.
- Ward-Campbell, B. S. and Beamish, F. W. H. 2005.** Ontogenetic changes in morphology and diet in the snakehead, *Channa limbata*, a predatory fish in western Thailand. *Environmental Biology of Fishes*, 72: 251-257.
- Yúfera, M. and Darias, M. J. 2007.** The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268: 53-63.
- Paralabrax maculatofasciatus* larvae. *Journal of Fish Biology*, 67: 640-651.
- Peña, R. and Dumas, S. 2009.** Development and allometric growth patterns during early larval stages of the spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* (Percoidei: Serranidae). *Scientia Marina*, 73: 183-189.
- Pinder, A. C. and Gozlan, R. E. 2004.** Early ontogeny of sunbleak. *Journal of Fish Biology*, 64: 762-775.
- Razavi Sayad, B. 1995.** Mahisefid. Iranian Fisheries Research Organization. Tehran, Iran, 164p. (In Persian)
- Rodríguez, A. and Gisbert, E. 2001.** Morphogenesis of the eye of Siberian sturgeon. *Journal of Fish Biology*, 59: 1427-1429.
- Russo, T., Costa, C. and Cataudella, S. 2007.** Correspondence between shape and feeding habit change throughout ontogeny of gilthead sea bream *Sparus aurata* L., 1758. *Journal of Fish Biology*, 71(3): 629-656.
- Russo, T., Pulcini, D., O'Leary, Á., Cataudella, S. and Mariani, S. 2008.** Relationship between body shape and trophic niche segregation in two closely related sympatric fishes. *Journal of Fish Biology*, 73: 809-828.
- Sabatés, A. and Saiz, E. 2000.** Intra- and interspecific variability in prey size and niche



Early development and allometric growth patterns in Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*)

Ghadir Ghorbanzadeh^{1*}, Gholamreza rafiee², Soheil eagderi³, Hadi Pourbagher³, Iraj Efatpanah⁴

1- M.Sc. graduated of Aquaculture, Department of fisheries and aquaculture, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.

2- Professor, Department of fisheries and aquaculture, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.

3- Assistant Prof. Department of fisheries and aquaculture, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.

4- Dr. Yousefpour Fish Hatchery Center, Siahkal, Guilan.

Received: 24/12/2013

Accepted: 13/07/2014

* Corresponding author: ghadir.ghorbanzadeh@gmail.com

Abstract:

The early morphological development and allometric growth pattern of Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) during early development (from 0-35 days post hatch=dph) was studied. Morphological data were obtained using ImageJ software from 2D pictures and allometric growth patterns were computed based on $\text{Log}_{10} y = \text{Log}_{10} \alpha + \beta \text{Log} x$ function. Based on inflexion point of morphological traits and body shape changes, the early developmental of kutum were divided into Eleuthero-embryo, Propterygio-larval, Pterygio-larval” and younger juvenile phases, each of which included vital developmental events. Rapid and intense changes occurred during Eleuthero-embryo and Propterygio-larvae stages such as development of gills, depletion of yolk-sac and exogenous feeding, development of feeding apparatus, sense organs and organs related to swimming performance. The results also revealed that developmental changes occurred in agreement with the inflexion points of morphological characters and their developmental priority imply on functional importance of feeding, respiration and swimming related structures.

Keywords: Caspian Kutum, Allometric growth pattern, Larval development, Morphological trait.