

بررسی تغییرات ریختی و آلومتری رشد تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در طی تکوین لاروی

- پگاه زرگریان*: گروه شیلات، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵
- ابوالقاسم کمالی: گروه شیلات، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵
- سهیل ایگدری: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ۴۱۱
- فریبرز معیر: گروه پاتوبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، صندوق پستی: ۳۱۳-۳۱۴۸۵

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۲

چکیده

در پژوهش حاضر الگوهای رشد آلومتری تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در طی دوره تکوین لاروی از زمان تخم‌گشایی تا روز پنجاهم مورد مطالعه قرار گرفت. برای این تحقیق تعداد ۱۸۰ لارو تاسماهی استرلیاد نمونه‌برداری و از سطح جانبی چاپ آن‌ها عکس‌برداری گردید. فواصل طولی با نرم‌افزار Image J از روی تصاویر دوبعدی اندازه‌گیری گردید. الگوی رشد آلومتری به صورت تابع توانی طول کل با استفاده از داده‌های تغییر نیافته در فرمول $Y=aX^b$ اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تمایز و ریخت‌زایی در طول مراحل پیش لاروی نسبت به مراحل لاروی و بعد از آن بیش‌تر می‌باشد. الگوی رشد طول دم تا روز چهاردهم، طول سر تا روز هفدهم، عرض سر تا روز بیستم بعد از تخم‌گشایی آلومتریک مثبت بود و دلیل آن می‌تواند اولویت عملکردهای حیاتی مانند دستگاه‌های حسی، تنفس و شنا باشد. زمان تفکیک چین باله‌ها در باله‌های غیرجفت در روز ۱۱-۱۴ بعد از تخم‌گشایی با الگوی دم (روز چهاردهم) مشابه بود. تمایز باله‌های غیرجفت، رشد سریع طول دم ماهی، رشد آلومتریک منفی در ارتفاع دم تا روز هفتم بعد از تخم‌گشایی همگی به بهبود قدرت شنای ماهی می‌تواند مرتبط باشد.

کلمات کلیدی: استرلیاد، رشد، آلومتری، تغییرات ریختی، تکوین لاروی



مقدمه

ندارد. تاسماهی استرلیاد از جمله ماهیان خاویاری با ارزشی است که در دریای خزر، سیاه، سفید و مناطق صیدگاهی دریای کارا و ندرتاً دریای بالتیک زیست می‌نماید. تاسماهی استرلیاد در بین ماهیان خاویاری به دلیل سن بلوغ کم، دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد، به طوری که نرها در سن ۴-۵ سالگی و ماده‌ها در سن ۹-۷ سالگی به بلوغ می‌رسند (Berg و همکاران، ۱۹۴۹). به دلیل بلوغ سریع و نیازهای زیست محیطی (آب شیرین)، تاسماهی استرلیاد یکی از مناسب‌ترین گونه‌ها جهت آبی‌پروری می‌باشد (Wagner و Ostazewska، ۲۰۰۹) و شناخت ویژگی‌های زیست‌شناختی به ویژه الگوهای رشد این ماهی جهت موفقیت در تولید این ماهی ضروری است چرا که این گونه اکنون در لیست ماهیان وارداتی و معرفی شده به ایران جهت پرورش قرار گرفته است. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی الگوهای رشد آلومتری تاسماهی استرلیاد در طی مراحل اولیه تکوین لاروی جهت فراهم آوردن اطلاعات پایه‌ای قابل استفاده در بهبود بیوتکنیک پرورش این ماهی در دوران لاروی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

روش نمونه‌برداری

تعداد ۱۸۰ قطعه لارو تاسماهی استرلیاد حاصل از تکثیر مصنوعی ۲ مولد ماده و ۳ مولد نر با هورمون LHRHa₂ در سال ۱۳۹۰ از انستیتو بین‌المللی تحقیقات ماهیان خاویاری شهید دادمان (رشت، ایران) از زمان تخم‌گذاری تا ۵۰ روز پس از آن نمونه‌برداری گردید. لاروهای تازه تفریخ یافته در سه وان فایبرگلاسی نیم تنی با حجم آب ۱۸۰ لیتر با مجموع ۳۳ گرم یا حدود ۱۸۰۰ عدد لارو تازه تفریخ یافته در هر وان پرورش داده شدند. منبع و دبی آب مخلوط آب چاه و رودخانه به ترتیب با دبی ۴۰۰ سی‌سی در دقیقه و ۲۵۰ سی‌سی در دقیقه بود. دمای آب، اکسیژن محلول و pH به ترتیب $8/0 \pm 6/17$ ppm و $2/8 \pm 4/0$ ppm و $8/7 \pm 2/0$ بودند. در طول مدت تحقیق لاروها در معرض نور فلورسنت با دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار داشتند. به دلیل شروع تغذیه آغازین، از روز نهم بعد از تخم‌گذاری ماهی‌ها با ناپلی آرتیمیا (۵۰۰ ناپلی به ازای هر لارو) و از روز دوازدهم تا بیستم با مخلوط ناپلی آرتیمیا و دافنی تغذیه شده، سپس با غذای دستی

لارو ماهیان در زمان تخم‌گذاری دارای سیستم‌های عملکردی ناقص بوده و در طی مراحل اولیه رشد به منظور تکوین اندام‌های مختلف بدن، به سرعت دچار تغییرات ریختی و فیزیولوژیک می‌شوند (Osse و همکاران، ۱۹۹۷). تغییرات ریختی مهمی در طی مراحل اولیه تکوین لاروی ماهیان اتفاق می‌افتد و این تغییرات در یک مدت زمان کوتاه به وقوع افتاده و شکل بدن را جهت سازگاری با محیط و بقاء از حالت لاروی ناقص به شکل ماهی جوان تغییر می‌دهد (Osse و van den Boogart، ۲۰۰۴). این تغییرات شکل توسط ژن‌ها تنظیم شده و البته تحت تاثیر شرایط مختلف محیطی نیز قرار دارند (Gilbert و Bolker، ۲۰۰۳). سرعت رشد در نواحی مختلف بدن در طول دوران لاروی یکسان نبوده که به این حالت رشد آلومتری اطلاق می‌شود. از نقطه نظر خصوصیات ریخت‌شناختی، بررسی الگوی رشد آلومتری می‌تواند میزان رشد نسبی قسمت‌های مختلف بدن را نسبت به طول کل بدن که در طی فرآیندهای تکوین لاروی و همچنین تحت تاثیر شرایط محیط زندگی ارایه نماید (Shingleton و همکاران، ۲۰۰۷؛ Simonovic و همکاران، ۱۹۹۹). به علاوه بررسی الگوهای رشد آلومتری در دوران لاروی می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی جهت برآورد شرایط بهینه سالن‌های هچری و تصمیم‌گیری جهت مدیریت تولید لاروها مورد استفاده قرار گیرد (Gisbert و همکاران، ۲۰۰۲؛ Van Maaren و Daniels، ۲۰۰۰؛ Koumoundouros و همکاران، ۱۹۹۹). مراحل رشد لاروی گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری تاکنون توسط محققان متعددی مورد مطالعه قرار گرفته است (Asgari و همکاران، ۲۰۱۳ a,b؛ Doroshov و Gisbert، ۲۰۰۳؛ ۲۰۰۶؛ Rodríguez و Gisbert، ۲۰۰۲؛ Gisbert و همکاران، ۱۹۹۹؛ Dettlaff و همکاران، ۱۹۹۳). مطالعات الگوهای رشد آلومتری در ماهیان خاویاری به نسبت ماهیان استخوانی بسیار محدود بوده (Asgari و همکاران، ۲۰۱۳؛ Doroshov و Gisbert، ۲۰۰۶؛ Rodríguez و Gisbert، ۲۰۰۲؛ Gisbert و همکاران، ۱۹۹۹؛ Gisbert، ۱۹۹۹) و چنین اطلاعاتی در مورد تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در شرایط محیط طبیعی ایران وجود



تعیین نقاط عطف رشد، نرخ‌های رشد منطقه‌ای توسط مدل Huxley براساس (Fuiman, ۱۹۸۳) انجام شد. آنالیز داده‌ها در مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ و نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام پذیرفت.

نتایج

تغییرات ریختی: بررسی تغییرات ظاهری در طی مراحل اولیه تکوین نشان داد که در پیش‌لاروها درست پس از تخم‌گذاری ($TL=35/8$ میلی‌متر) دهان و شکاف آبششی هنوز شکل نگرفته بودند. رنگ بدن آن‌ها نیز نسبتاً تیره بود که بیانگر مقادیر بالای ملانین در سلول‌های اپیدرمی آن‌ها می‌باشد. اندازه سر نیز نسبت به تنه کوچک و تا حدی به سمت توده کیسه زرده خمیده بود. تنه و دم با چین باله‌ای محصور شده و جوانه باله‌های شکمی و سینه‌ای هنوز ظاهر نشده بودند. در این زمان قسمت انتهایی نوتوکورد کمی به سمت بالا خمیده بود. جوانه اندام بویایی گرد بوده و حفره خروجی نداشت. چشم‌ها نیز به‌صورت نقاط ریز تیره رنگ دیده می‌شدند. طول پیش‌لاروها در روز دوم ($TL=67/8$ میلی‌متر) بود. روز دوم، مرحله‌ای است که دهان و اولین شکاف‌های آبششی شروع به باز شدن می‌کنند. در این روز جوانه‌های باله‌های سینه‌ای پدیدار شدند. خمیدگی سر کم‌تر شده و دهان از قسمت میانی باز شد. جوانه سیبک‌ها در جلوی دهان پدیدار شدند. در روز سوم، ($TL=59/10$ میلی‌متر) دم به آرامی به سمت بالا انحنایافته و شکاف آبششی کاملاً بازگردید و اولین کمان آبششی و جوانه‌های شعاع‌های آبششی گرفتند. در روز چهارم پس از تخم‌گذاری ($TL=11/13$ میلی‌متر) چین کوچکی در گوشه دهان شکل می‌گیرد که جوانه لب پایین است. در این روز جوانه دندان‌ها پدیدار شدند. باله‌های سینه‌ای بزرگ‌تر شده و کمی به سمت پایین متمایل گردیدند. باله دمی از باله‌های مخرجی و پشتی با شیار ملایمی جدا شد. دومین شکاف آبشش نیز در این زمان باز شد و اولین ردیف شعاع‌های اولین آبشش کمی طولی‌تر گردید. دومین ردیف شعاع‌های اولین آبشش هنوز کوتاه بودند. اولین ردیف شعاع‌های دومین آبشش نیز در این روز ظاهر شدند. باله شکمی و مخرجی و لبه پایینی باله دمی در روز پنجم ($TL=32/13$ میلی‌متر) توسعه یافتند. جوانه‌های سیبک‌ها نیز طولی‌تر شدند. شکاف سوم آبششی در این زمان کاملاً باز نشده بود. در روز ششم ($TL=25/13$ میلی‌متر) لب‌های تقسیم‌کننده حفره بویایی به هم متصل شدند و دم نیز بیش‌تر به سمت بالا انحنایافت.

بیومار با نسبت ۱۰ درصد وزن بدن در روز غذادهی شدند که تا پایان دوره پرورش میزان تغذیه به‌همین میزان باقی ماند (بر اساس دستورالعمل موجود در انیستیتو ماهیان خاویاری شهید دادمان). تعداد دفعات غذادهی در کل دوره ۶-۴ بار در روز در نظر گرفته شد. لاروها به‌صورت روزانه (۱۰ قطعه) تا روز دهم و سپس در روزهای ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۵، ۳۱، ۳۶، ۴۲ و ۵۰ بعد از تخم‌گذاری به تعداد ۱۰ قطعه نمونه‌برداری شدند. نمونه‌ها بلافاصله پس از نمونه‌برداری به آزمایشگاه فیزیولوژی انستیتو بین‌المللی تحقیقات ماهیان خاویاری شهید دادمان منتقل و سپس در عصاره گل میخک بی‌هوش شدند. سپس از سمت جانبی چپ با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال (Canon SD8900) با قدرت تفکیک ۱۲ مگاپیکسل و با بزرگ‌نمایی و فاصله طولی یکسان عکس‌برداری شدند. هم‌چنین نمونه‌ها پس از خشک شدن با ترازوی با دقت ۰/۱۰ میلی‌گرم توزین شدند.

بررسی الگوی رشد

فاصله‌های طولی زیر، با استفاده از نرم‌افزار ImageJ از تصاویر دوبعدی تهیه شده، با دقت ۰/۱۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. فاصله‌های مورد سنجش عبارت بودند از: طول کل (L_T)، طول سر (L_H) (از نوک پوزه تا ابتدای سرپوش آبششی)، عرض سر (W_H)، طول تنه (L_{TR}) (بین انتهای سر و مخرج)، طول دم (L_{TA}) (از مخرج تا انتهای دم)، طول پوزه (L_{SN}) (از نوک پوزه تا ابتدای چشم)، قطر چشم (L_O). لازم به‌ذکر است جهت بررسی الگوهای رشد نرمال، نمونه‌های دارای بدشکلی از این مطالعه حذف شدند. تغییرات ریختی ظاهری لاروه در طی دوره تکوین اولیه در زیر استریومیکروسکوپ Laica (SMS) با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و تغییرات ریختی در طی مراحل اولیه رشد به‌صورت توصیفی بیان گردید. الگوی رشد آلومتری به‌صورت تابع توانی طول کل با استفاده از داده‌های تغییر نیافته در فرمول $Y=ax^b$ اندازه‌گیری شدند که در آن Y به‌عنوان متغیر مستقل، X به‌عنوان متغیر وابسته، a عرض از مبدا (intercept) و b ضریب رشد است. در این فرمول $b=1$ بیانگر رشد ایزومتریک، $b < 1$ نشان‌دهنده رشد آلومتری مثبت و $b > 1$ بیانگر رشد آلومتری منفی می‌باشد. در رابطه طول کل با وزن، زمانی که $b=3$ باشد، رشد ایزومتریک خواهد بود. رگرسیون خطی بر روی داده‌های لگاریتمی شده با استفاده از طول کل به‌عنوان متغیر مستقل انجام شد. نقاط عطف (Inflexion points) منحنی‌های رشد براساس روش van Snik و همکاران (۱۹۹۷) تعیین شد. پس از

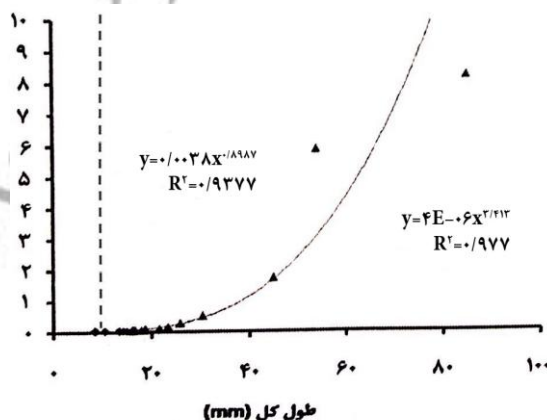


ریختی کمی از روز ۱۴-۱۱ بعد از تخم‌گذاری (TL=۱۸-۷۶/۱۶/۷۹) میلی‌متر) مشاهده شد. تمایز باله‌های غیر جفت ادامه یافت. بین روزهای ۱۴-۱۷ بعد از تخم‌گذاری (TL=۷۹/۱۸-۵۲/۲۱) میلی‌متر) جوانه‌های پلاک‌های استخوانی پشتی قابل تشخیص بوده و نوتوکورد نیز کمی به سمت بالا خمیده شده بود. در روز هجدهم بعد از تخم‌گذاری (LT=۷/۲۱) میلی‌متر)، جوانه‌های پلاک‌های استخوانی پهلوئی و شکمی در سطح بدن قابل مشاهده شد. از روز بیستم (TL=۲۵/۲۲) میلی‌متر) بعد از تخم‌گذاری لارو ماهی‌ها شکل مینیاتوری ماهی نوجوان را گرفته و از نظر ظاهری واجد ریخت یک موجود بالغ می‌باشد. در این روز ردیف‌های پلاک استخوانی به ۱۸-۱۳ عدد می‌رسد. در بین روزهای ۲۰ تا ۵۰ دگردیسی انجام شد و بعضی از ویژگی‌های جدید ماهی‌های نوجوان پدیدار شد. ردیف‌های پشتی، پهلوئی و شکمی پلاک‌های استخوانی پشتی به خوبی توسعه یافتند، ردیف‌های پهلوئی و شکمی در روزهای ۳۱ و ۴۲ بعد از تخم‌گذاری دیده شد و به علاوه نوک پوزه کاملاً تیز شده بود.

الگوهای رشدی: بررسی الگوهای رشد نشان داد که الگو

رشد وزن دارای دو فاز با یک نقطه عطف در روز نهم پس از تخم‌گذاری (TL=۱/۱۶) میلی‌متر) می‌باشد که در فاز اول به صورت آلومتری منفی ($a=۰/۰۰۴$, $b=۰/۰۹$, $R^2=۰/۰۹$) و در فاز دوم به صورت آلومتری مثبت ($a=۰/۰۰۰۰۶$, $b=۳/۴$, $R^2=۰/۰۹۸$) بود (شکل ۱).

ردیف دوم شعاع‌های آبششی در آبشش دوم جوانه زد و ردیف اول سومین کمان آبششی آغاز به شکل‌گیری کرد. در روز هفتم (TL=۰۹/۱۴) میلی‌متر) پوزه به صورت مستقیم رشد کرد. باله سینه‌ای نیز به میانه جانبی بدن پیش‌لارو رسید. بخش انتهایی باله مخرجی پهن‌تر شده و جوانه‌های اولین ردیف شعاع‌های آبششی نیز روی سومین کمان آبششی قابل تشخیص بودند. در روز هشتم طول پیش‌لاروها به (TL=۰۶/۱۶) میلی‌متر) رسید. پوزه در این زمان به حالت مسطح درآمد و باله شکمی به لبه چین باله مخرجی رسید. جوانه‌های شعاع‌های ثانویه در اولین آبشش نمایان گردید. جوانه‌های ردیف دوم شعاع‌های در آبشش سوم ظاهر شد. شکاف‌های آبششی چهارم در این روز باز شد. سرپوش آبششی لبه جلویی باله سینه‌ای را پوشاند. روز نهم و دهم پس از تخم‌گذاری (TL=۱/۱۶-۳۸/۱۶) میلی‌متر) شروع مرحله لاروی و آغاز انتقال به مرحله تغذیه فعال است. در ابتدای مرحله لاروی جوانه‌های پلاک‌های استخوانی پشتی ظاهر شدند. هم‌چنین جوانه‌های فلس‌های استخوانی روی سطح سر نمایان شدند. به دلیل افزایش طول پوزه طول نسبی سر نیز افزایش یافت. خروج مقادیر زیادی ملانین از مخرج دیده شد. ارتفاع باله پشتی افزایش یافت. جوانه‌های شعاع‌های سبیلک‌ها از دهان فاصله قابل ملاحظه‌ای گرفتند. باله پشتی و مخرجی هنوز به‌طور کامل از باله دم‌ی جدا نشده بود. خط جانبی تا میانه باله دم‌ی کشیده شد. در این مرحله حجم کیسه زرده به شدت کاهش یافته و در دستگاه گوارش لارو غذا قابل مشاهده بود. تغییرات



شکل ۱: نمودار رشد آلومتری و رابطه بین وزن و طول کل تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در مراحل طی تکوین لاروی (از تخم‌گذاری تا روز ۵۰) (خط چین نمایانگر نقطه عطف رشد می‌باشد).

الگوی رشد طول سر در طی تکوین لاروی دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز هجدهم پس از تخم‌گذاری (TL=۲۱/۵۲) میلی‌متر) بود که در فاز اول الگوی رشد آلومتری مثبت ($a=۰/۰۱۸$, $b=۱/۷۲$, $R^2=۰/۰۹۴$) و در فاز دوم آلومتری منفی

الگوی رشد طول سر در طی تکوین لاروی دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز هجدهم پس از تخم‌گذاری (TL=۲۱/۵۲) میلی‌متر) بود که در فاز اول الگوی رشد آلومتری مثبت

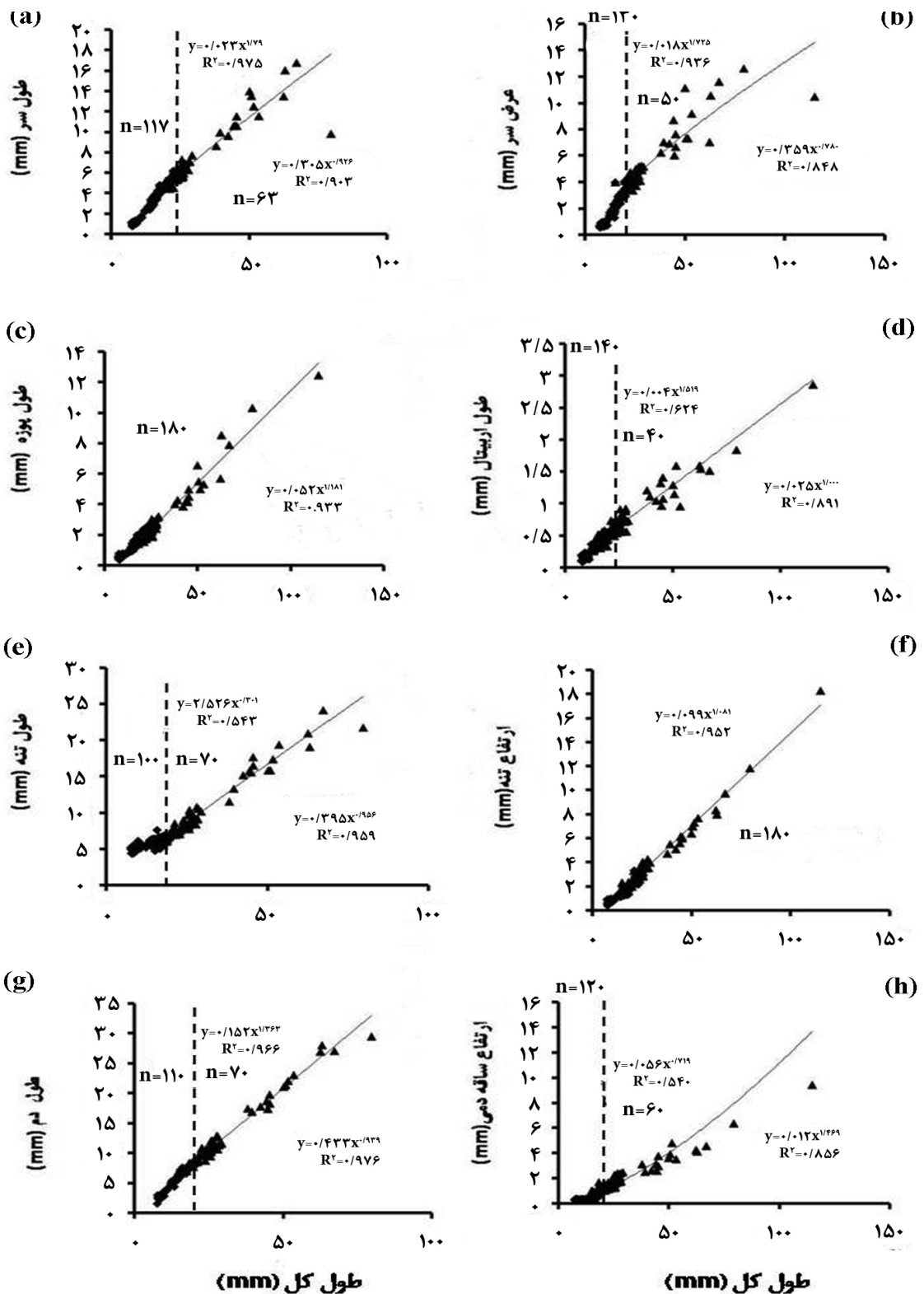


شرایط تنفسی، تغذیه و شنا که اولویت‌های مراحل اولیه تکوین هستند (Osse و Van den Boogart، ۱۹۹۵). در طی مراحل اولیه تکوین، شکار شدن و گرسنگی دلایل اصلی مرگ و میر لاروها می‌باشد (Bailey و Houde، ۱۹۸۹). هنگامی که لاروها سیستم‌های ریختی-عملکردی ضروری برای فرار از شکارچیان و کسب غذای خارجی را کامل کنند در واقع شانس بقای خود را افزایش می‌دهند و هم‌زمان دستگاه‌های تغذیه و حرکتی نیز باید به همان اندازه توسعه پیدا کند (Osse و همکاران، ۱۹۹۷). در طی مراحل اولیه رشد تاسماهی استرلیاد، الگوهای رشد بیشتر بخش‌های بدن آلومتری مثبت بود که این تغییرات در جهت افزایش قابلیت‌های فوق‌الذکر برای سازگاری با محیط می‌تواند تعبیر شود. نقطه عطف قطر چشم در ماهی استرلیاد در روز چهارم به دست آمد. Gisbert (۱۹۹۹) در مطالعاتی که روی تاسماهی سیبری (*Acipenser baeri*) انجام داد نشان داد که نقطه عطف قطر چشم در این ماهی در روز سوم بعد از تخم‌گذاری می‌باشد که حدوداً مشابه نقطه عطف قطر چشم در تاسماهی استرلیاد است. پاسخ رتوتاکتیک مثبت هم‌زمان با افزایش سریع قطر چشم در طول انتوزونی پیش‌لاروهای اولیه می‌باشد. Gisbert (۱۹۹۹) هم‌چنین عنوان کرد که بینایی نقش مهمی در پاسخ ماهی به جریان آب ایفا می‌کند و هنگامی ماهی توسط جریان آب رانده می‌شود نقاط مرجع در شبکیه چشم به حرکت در می‌آید و ماهی به سمت جلو شنا می‌کند تا زمانی که نقاط مرجع از حرکت بایستد یا به جهت مخالف حرکت کنند. البته در شرایط آزمایشگاهی، رتوتاکسی در طول شب وجود نداشت زیرا نور در سطحی پایین‌تر از سطح دید لارو ماهی‌ها می‌باشد (Pavlov و همکاران، ۱۹۶۸). اما به هر حال این مطالعات اهمیت بینایی را در طول مراحل اولیه زندگی تاسماهی استرلیاد در زمانی که هنوز مکانیسم حسی جهت‌گیری کامل نشده است تایید می‌کند. الگوی رشد طول و عرض سر استرلیاد ابتدا آلومتری مثبت بود. الگوی رشد طول و عرض سر در تاسماهی سیبری (*A. baeri*) نیز با نقطه عطف در روز نهم پس از تخم‌گذاری به صورت آلومتری مثبت بود (Geerinckx و همکاران، ۲۰۰۸؛ Gisbert، ۱۹۹۹). چنین وضعیتی در لارو تاسماهی سیبری و فیل‌ماهی نیز مشاهده شد (Van sink و همکاران، ۱۹۹۹؛ ۱۹۹۷). در مطالعه دیگری در تاسماهی سبز (*A. medirostris*) نیز رشد طول سر در دوره لاروی به صورت آلومتریک مثبت بود (Doroshov و Gisbert، ۲۰۰۶). در طول این مدت سیستم‌های خطی جانبی، تنفس و تغذیه رشد سریعی داشته و لارو استرلیاد را آماده مرحله لاروی کردند.

بود ($R^2=0/۸$, $b=0/۷۸$, $a=0/۳۶$) (شکل ۲a). هم‌چنین الگوی رشد عرض سر دو فازی با یک نقطه عطف در روز بیستم پس از تخم‌گذاری ($TL=۲۲/۲۵$ میلی‌متر) بود. الگوی رشد در این ناحیه از روز تخم‌گذاری تا نقطه عطف به صورت آلومتری مثبت ($R^2=0/۹۷$, $b=۱/۷۹$, $a=0/۰۲۳$) و سپس تقریباً ایزومتریک بود ($R^2=0/۹$, $b=0/۹۳$, $a=0/۳۰$) (شکل ۲b). در بخش سر الگوهای رشد ناحیه پوزه و چشم نیز مورد بررسی قرار گرفت. الگوی رشد طول پوزه نقطه عطف نداشت و یک فازی به صورت آلومتری مثبت بود ($R^2=0/۹۳$, $b=۱/۱۸$, $a=0/۰۵۲$) (شکل ۲c). الگوی رشد قطر چشم نیز دارای دو فاز با یک نقطه عطف در روز چهارم پس از تخم‌گذاری ($TL=۱۳/۱۱$ میلی‌متر) بود که در فاز اول آلومتری مثبت ($R^2=0/۶۲۴$, $b=۱/۵۲$, $a=0/۰۰۴$) و در فاز دوم ایزومتریک بود (شکل ۲d). الگوی رشد در طول تنه در دوره اولیه تکوین لاروی دو مرحله‌ای بود. از زمان تخم‌گذاری تا روز دوازدهم پس از تخم‌گذاری ($TL=۱۷/۹۴$ میلی‌متر) یا نقطه عطف به صورت آلومتری منفی ($R^2=0/۳$, $a=۲/۵۳$) و سپس تقریباً ایزومتریک بود ($R^2=0/۵۴$, $b=0/۹۶$, $a=0/۳۹$) (شکل ۲e). الگوی رشد ارتفاع تنه نقطه عطفی نداشت و در طول دوره تکوین لاروی تقریباً به صورت ایزومتریک بود ($R^2=0/۹۴$, $b=۱/۰۸$, $a=0/۰۹۹$) (شکل ۲f). الگوی رشد طول و ارتفاع دم در طی تکوین دارای دو فازی با یک نقطه عطف بودند. الگوی رشد طول دم از زمان تخم‌گذاری تا روز چهاردهم پس از تخم‌گذاری ($TL=۱۸/۷۹$ میلی‌متر) آلومتری مثبت ($R^2=0/۹۶$, $b=۱/۳۶$, $a=0/۱۵$) و سپس تقریباً ایزومتریک بود ($R^2=0/۹۸$, $b=0/۹۹$, $a=0/۴۳$) (شکل ۲g). هم‌چنین الگوی رشد ارتفاع دم نیز با یک نقطه عطف در روز هفتم پس از تخم‌گذاری ($TL=۱۴/۲۵$ میلی‌متر) در فاز اول آلومتری منفی ($R^2=0/۵۴$, $b=0/۷۲$, $a=0/۰۶$) و سپس آلومتری مثبت ($R^2=0/۸۶$, $b=۱/۷۴$, $a=0/۰۱$) (شکل ۲h) بود.

بحث

شناخت الگوهای رشد آلومتری از جمله عوامل مهم در مدیریت تولید یک گونه در آبی‌پروری می‌باشد چراکه این الگوها می‌توانند تحت تاثیر شرایط محیطی قرار گیرند و در تعیین نهایی شکل بدن موثر باشند (Loy و همکاران، ۱۹۹۸). اساساً تغییرات الگوی رشد آلومتری ماهیان در راستای افزایش قدرت بقا بوده و بر اساس اولویت‌های زیستی گونه به وقوع می‌پیوندد و یا به عبارت دیگر این تغییرات برای سازگاری با



شکل ۲- الگوهای رشد آلومتری در نواحی مختلف بدن ماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در طول تکوین لاروی (از تخم‌گذاری تا روز ۵۰) (خط چین‌ها نمایانگر نقاط عطف رشد در فواصل طولی اندازه‌گیری شده نسبت به طول کل می‌باشند).



متناسب با توانایی کاهش نیروهای اصطکاک بر روی بدن ماهی است (Osse و Van den Boogart, ۱۹۹۵). مکانیسم دیگری که باعث کاهش نیروی اصطکاک در طول مراحل اولیه زندگی می‌شود می‌تواند وجود چین‌خوردگی باله مخرجی اولیه بعد از تفکیک چین‌خوردگی باله‌های غیرجفت اولیه باشد. چین‌خوردگی باله مخرجی اولیه در لاروهای سایر گونه‌های ماهیان استخوانی نیز گزارش شده است (Osse و Van den Boogart, ۱۹۹۵) که به‌عنوان یک راه حل آسان برای کم کردن اصطکاک و حداقل استفاده از بافت بدن و کاهش توربالانس مطرح می‌باشد (Van sink و همکاران, ۱۹۹۷).

منابع

1. **Asgari, R.; Rafiee, G.H.; Eagderi, S.; Noori, F.; Pourbagher, H.; Agh, N. and Gisbert, E., 2013.** Ontogeny of the digestive enzyme activities in hatchery produced beluga (*Huso huso*). *Aquaculture*, doi: 10.1016/j.
2. **Asgari, R.; Rafiee, G.H.; Eagderi, S.; Shahrooz, R.; Poorbagher, H.; Agh N. and Gisbert, E., 2013.** Ontogeny of the digestive system in hatchery produced Beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1758); a comparative study between Beluga and genus *Acipenser*. *Aquaculture Nutrition*, doi: 10.1111/anu.12113.
3. **Bailey, K.M. and Houde, E.D., 1989.** Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem. *Advances in Marine Biology*, 25: 1-83.
4. **Berg, L.S.; Bogdanov, A.S.; Kozhin, N.I. and Rass, T.S., 1949.** *Promyslovyryby SSSR. Atlas tsvetnykh risunkov ryb*, Moskva.
5. **Birstein, V.J. and De Salle, R., 1998.** Molecular phylogeny of Acipenserinae. *Molecular Phylogeny*, 9: 141-155. doi: 10.1006/mpev.1997.0443.
6. **Detlaff, T.A.; Ginsburg, A.S. and Schmalhausen, O.I., 1993.** *Sturgeon Fishes. Developmental Biology and Aquaculture*. Berlin: Springer-Verlag.
7. **Gessner, J.; Würtz, S.; Kamerichs, C.M. and Kloas, W., 2009.** Substrate related behavioural response in early life stages of American Atlantic sturgeon *A. oxyrinchus*. *Journal of Applied Ichthyology*, Vol. 25, No. 2, pp. 83-90.
8. **Gilbert, S.F. and Bolker, J.A., 2003.** Ecological developmental biology: preface to the symposium. *Evolution and Development*, 5: 3-8.
9. **Gisbert, E. and Doroshov, S.I., 2006.** Allometric growth in green sturgeon larvae (*Acipenser medirostris*). *Journal of Applied Ichthyology*, Vol. 22, No. 1, pp. 203-207.
10. **Gisbert, E. and Doroshov, S.I., 2003.** Histology of the development digestive system and the effect

هم‌چنین در این دوره سبیلک‌ها و اندام بویایی به‌خوبی توسعه یافته بودند که به ماهی اجازه یافتن غذا در هنگام اتمام ذخیره کیسه زرده می‌داد. هم‌چنین در نقطه عطف رشد طول سر یعنی روز هفدهم، پوشش کامل شعاع‌های آبششی توسط سرپوش آبششی و تغییرات تنفسی از حالت پوستی به آبششی، منجر به فراهم‌سازی بهتر اکسیژن در اندام‌های ماهی (Detlaff و همکاران, ۱۹۹۳) و تغییر در شنا و الگوهای حرکتی می‌شود (Gisbert, ۱۹۹۹). بنابراین با توجه به موارد بالا، بخشی از رشد سریع طول سر در این دوره را می‌توان به توسعه دستگاه‌های تنفسی، حسی و تغذیه‌ای برای کسب غذا و تغذیه خارجی نسبت داد. الگوی رشد طول و عرض سر در دوران تکوین لاروی بعد از نقطه عطف در ماهی استرلیاد به ترتیب به صورت آلومتری منفی و ایزومتریک بود که مشابه تاسماهی سیبری بود.

نتایج نشان داد که هم‌زمانی تفکیک چین‌باله‌ها در باله‌های غیرجفت در روزهای ۱۴-۱۱ بعد از تخم‌گشایی با نقطه عطف رشد آلومتریک طول دم در روز چهاردهم بعد از تخم‌گشایی در ماهی استرلیاد با تاسماهی سیبری و تاسماهی سبز مشابه بود (Doroshov و Gisbert, ۲۰۰۶؛ Gisbert, ۱۹۹۹). در حالی که از روز چهاردهم به بعد تا روز پنجاه طول دم به صورت ایزومتریک رشد کرد. بنابراین به نظر می‌رسد که در این سن توانایی شنای لاروها به‌طور اساسی در مقایسه با زمان تخم‌گشایی و پیش‌لاروی تغییر کرده و بهبود می‌یابد و فعالیت ماهی افزایش می‌یابد (Gisbert و همکاران, ۱۹۹۹). تمایز باله‌های غیرجفت، رشد سریع طول دم ماهی، رشد آلومتریک منفی در ارتفاع دم تا روز هفتم بعد از تخم‌گشایی همگی با بهبود قدرت شنای ماهی همراه است که به لارو این توانایی را می‌دهد که فعالانه در منطقه گسترده‌ای متفرق شوند و بتوانند از نواحی تغذیه‌ای متعدد و زیستگاه‌های پرورشی برای یافتن غذا و فرار از شکارچیان و حمله به طعمه و حفظ بقای خود استفاده کنند (Gisbert, ۱۹۹۹). الگوی رشد پوزه در طول دوره به صورت آلومتریک مثبت بود و هم‌چنین رشد عرض سر تا روز بیستم به صورت آلومتری مثبت بود. رشد طول سر نیز همان‌طور که ذکر شد تا روز چهاردهم به صورت آلومتری مثبت بود، هم‌چنین رشد طول دم تا روز چهاردهم آلومتری مثبت بود. در نتیجه رشد قسمت جلویی و انتهای بدن ماهی نسبت به رشد طول بدن که تا روز دوازدهم بعد از تخم‌گشایی به صورت آلومتریک منفی بود، زودتر اتفاق افتاده است که می‌تواند بیانگر نوعی سازگاری برای کاهش مصرف انرژی در نقل و انتقال ماهی باشد (Vansink و همکاران, ۱۹۹۷). رشد سریع آلومتریک در سر و دم



22. Osse, J.W.M. and van den Boogaart, J.G.M., 1995. Fish larvae, development, allometric growth, and the aquatic environment. ICES Marine Science Symposia, 201: 21–34.
23. Osse, J.W.M. and van den Boogaart, J.G.M., 2004. Allometric Growth in Fish Larvae: Timing and Function. In: The Development of Form and Function in Fishes and the Question of Larval Adaptation, Govoni, J.J. (Ed.). American Fisheries Society, Maryland, pp.167-194.
24. Ostaszewska, T.; Wegner, A. and Wegiel, M., 2003. Development of the digestive tract of ide, *Leuciscus idus* (L.) during the larval stage. Arch Pol Fish, 11: 181–195.
25. Pavlov, D.S.; Sbikin, N.; Vashchinnikov, A.Y. and Mochev, A.D., 1968. The effect of illumination in running water on the speed of fishes in relation to features of their orientation. Journal of Ichthyology, 8: 250-254.
26. Robert, R.; Sokal, F. and Rohlf, J., 1995. Edition, illustrated, reprint. Publisher, Macmillan, Length, 887 p.
27. Rodríguez, A. and Gisbert, E., 2002. Eye development and the role of vision during Siberian sturgeon early ontogeny. Journal of Applied Ichthyology, 18: 280–285.
28. Scherrer, B., 1984. Biostatistique. Paris: Gae'tan Morin Ed., Lavoisier, 643 p.
29. Simonovic, P.D.; Garner, P.; Eastwood, E.A., Kovac, V. and Copp, G.H., 1999. Correspondence between ontogenic shifts in morphology and habitat use in minnow *Phoxinus phoxinus*. Environmental Biology of Fishes, 56: 117–128.
30. Shingleton, A.W.; Frankino, W.A.; Flatt, T.; Nijhout, H.F. and Emlen, D.J., 2007. Developmental mechanisms and the evolution of allometries. BioEssays, 29: 536-548.
31. Van Maaren, C.C. and Daniels, H.V., 2000. A practical guide to the morphological development of Southern flounder, *Paralichthys lethostigma*, from hatch to metamorphosis. Journal of Applied Aquaculture, 10: 1-9.
32. 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 finfold. Journal of Fish Biology, 50: 1339–1352.
33. Wegner, A.; Ostaszewska, T. and Roek, W., 2009. The ontogenetic development of the digestive tract and accessory glands of starlet (*Acipenser ruthenus* L.) larvae during endogenous feeding. Reviews in Fish Biology and Fisheries, Vol. 19, No. 4, pp. 431-444.
- of food deprivation in larval green sturgeon (*Acipenser medirostris*). Aquat. Liv. Res, 16: 77–89.
11. Gisbert, E.; Merino, G.E.; Mugeut, 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.
12. Gisbert, E.; Williot, P. and Castello´Orvay, F., 1999. Behavioural modifications of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*, Brandt) during early life stages of development: their significance and use. Journal of Applied Ichthyology, in press.
13. Gisbert, E., 1999. Early development and allometric growth patterns in Siberian sturgeon and their ecological significance. Journal of Fish Biology, 54: 852–862.
14. Gisbert, E.; Rodriguez, A.; Castello´Orvay, F. and Williot, P., 1998. A histological study of the development of the digestive tract of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) during early ontogeny. Aquaculture, 167: 195–209.
15. Gisbert, E. and Williot, P., 1997. Larval behaviour and effect of the timing of initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon larvae under small scale hatchery production. Aquaculture, 156: 63-76.
16. Kirschbaum, F. and WILLIOT, P., 2011. Ontogeny of the European Sturgeon, *Acipenser sturio*: Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758, Part 1, pp. 65-80.
17. Koumoundouros, G.; Divanach, P. and Kentouri, M., 1999. Ontogeny and allometric plasticity of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae) in rearing conditions. Marine Biology, 135: 561-572.
18. Kynard, B. and Horgan, M., 2002. Ontogenetic behavior and migration of Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*, and shortnose sturgeon, *A. brevirostrum*, with notes on social behavior. Environmental Biology of Fish, 63: 137-150.
19. Kynard, B.; Suci, R. and Horgan, M., 2002. Migration and habitats of diadromous Danube River sturgeons in Romania: 1998–2000. Journal of Applied Ichthyology, 18: 529–535.
20. Loy, A.; Mariani, L.; Bertelletti, M. and Tunesi, L., 1998. Visualizing allometry: geometric morphometry in the study of shape changes in the early stages of the two-banded sea bream, *Diplodus vulgaris* (Perciformes, Sparidae). Journal of Morphology, 237: 137–146.
21. Osse, J.W.M.; van den Boogaart, J.G.M.; van Snik, G.M.J. and van der Sluys, L., 1997. Priorities during early growth of fish larvae. Aquaculture, 155: 249–258.



Study of morphogenesis and allometric growth pattern of Sterlet, *Acipenser ruthenus*, during early larval development

- **Pegah Zargarian***: Department of Fishereis, Islamic Azad University, Science and Research, P.O.Box: 775-14515 Tehran, Iran
- **Abolghasem Kamali**: Department of Fishereis, Islamic Azad University, Science and Research, P.O.Box: 775-14515 Tehran, Iran
- **Soheil Eagderi**: Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P.O. Box:4111, Karaj, Iran
- **Fariborz Moaier**: Department of Pathobiology, Islamic Azad university Karaj Branch, P.O. Box:31485-313, Karaj, Iran

Received: March 2013

Accepted: May 2013

Keywords: Sterlet, Growth, Allometry, Morphogenesis, Larval development

Abstract

Allometric growth pattern of Sterlet (*Acipenser ruthenus*) was studied during larval development from hatching up to 50 days post hatching. For this experiment, in total 180 specimens were sampled and their left side photographed using a digital camera. Morphometric parameters of this study obtained from 2D pictures of specimens using the software ImageJ and allometric growth pattern was calculated as a power function of total length using non-transformed data: $Y=ax^b$. Results revealed that morphogenesis and differentiation during early ontogeny i.e. prelarval stages is more intense than larval stage. The allometric growth pattern of the tail length, head length and head width were positive allometric up to 14, 17 and 20 dph, respectively. This can be as result of vital functions importance including swimming, respiration and sensory systems during this period. The timing of finfold differentiation into unpaired fins (11-14 dph) is similar to that of tail growth pattern. Differentiation into unpaired along with growth of the tail and negative allometry of caudal peduncle in day 7 dph can be related to improve of fish swimming ability.

