

بررسی الگوهای رشد آلومتریک در ماهی هیبرید تریپلوبئید فیل ماهی و تاسماهی سیبری (*Acipenser baeri*) در مراحل اولیه تکوین

سهیل ایگدری^{*}^۱، مریم بهرامی زیارانی^۱، هادی پور باقر^۱، حمید فرحمدن^۱، حمید اسحقزاده^۱

* soheil.eagderi@ut.ac.ir

۱- گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۲

چکیده

آلومتری به عنوان رشد ناهمسان بخش‌های مختلف بدن یک ویژگی معمول در تکوین لارو ماهیان می‌باشد. در این تحقیق الگوی‌های رشد آلومتریک ماهی هیبرید تریپلوبئید (فیل ماهی ماده × ماهی سیبری نر) در مراحل اولیه تکوین از زمان تخم‌گشایی تا پنجاه روز پس از آن مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های ریخت‌سنجدی مورد مطالعه از روی تصاویر گرفته شده از نمونه‌ها توسط نرم‌افزار ImageJ استخراج و 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 در روز اول پس از تخم‌گشایی در ناحیه سر و دم الگوی رشد آلومتری مثبت بودند که دلیل آن می‌تواند اولویت عملکردهای حیاتی مانند سیستم‌های حسی، تنفس و شنا باشد. نقاط عطف سایر بخش‌های مورد سنجش تا روز بیست و پنجم پس از تخم‌گشایی بود و پس از این زمان تمامی قسمت‌های بدن به یک نسبت رشد کردن و الگوی رشد آنها ایزومتریک گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود تفاوت ژنتیکی ماهی تریپلوبئید با والدینش، الگوی رشد آن شباهت‌های زیادی به والدین خود دارد که بیانگر اهمیت انعطاف‌پذیری ریختی در تنظیم شکل بدن در مراحل اولیه تکوین می‌باشد.

کلمات کلیدی: فیل ماهی، تاسماهی سیبری، هیبرید، تغییرپذیری ریختی، ریخت‌سنجدی، آلومتری، تکوین.

* نویسنده مسئول

4 مقدمه

در مورد ماهیان خاویاری بپردازند (Bronzi *et al.*, 1999). هیبریدهای زیادی از ماهیان خاویاری تولید شده‌اند که رشد بهتری نسبت به گونه‌های والدینی نشان دادند (Bronzi *et al.*, 1999). در این بین ماهیان تریپلولئید اهمیت بالقوه‌ای در آبزیپروری دارند، زیرا آنها عقیم بوده و در نتیجه به میزان زیادی از تهدید ورود ژن در زمان رهاسازی ذخایر ماهیان پرورشی به جمعیت‌های وحشی می‌کاهد و همچنین سلول‌های ماهیان تریپلولئید به طور تقریبی ۵۰ درصد از همتایان دیپلولئیدشان بزرگ‌تر هستند (Altimiras & Larsen, 2001). ماهیان تریپلولئیدی هم به صورت طبیعی و هم مصنوعی القا می‌گردد. در طبیعت، اگر بین دو گونه‌ای که با هم نسبت دورتری داشته باشند آمیزشی صورت پذیرد، می‌تواند سبب پلی‌پلولئیدی گردد. تریپلولئیدی در ماهیان از طریق ممانعت از خروج گویچه قطبی دوم بعد از بارورسازی با اسپرم‌های طبیعی به دنبال القای شوک محیطی (مانند شوک حرارتی یا فشار هیدروستاتیک) ایجاد می‌شود (Thomas *et al.*, 2003).

شناخت تغییرات ریختی مهم در مراحل اولیه تکوین می‌تواند به درک بهتر مراحل تکوین اولیه این گونه منجر شده و در برنامه‌های مدیریتی برای مدیریت پرورش لارو مورد استفاده قرار گیرد. زیرا نشانگرهای ریختی-عملکردی شاخص‌های بسیار کارآمدتری برای بررسی کیفیت لاروها و ماهیان جوان نسبت به شاخص‌هایی مثل طول و وزن هستند. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی الگوی رشد آلومتری هیبرید تریپلولئید شده‌ی فیل ماهی ماده و تاسماهی سیری نر از زمان تفریخ تا ۵۰ روز پس از آن (که در ماهیان خاویاری فیل‌ماهی و تاسماهی سیری لاروها به مرحله نوجوانی می‌رسند (Asgari *et al.*, 2014a, b; Gisbert *et al.*, 2014 مناسب برای آبزیپروری به اجرا در آمد، چراکه هیچ اطلاعاتی در مورد الگوی رشد این ماهی خاویاری هیبرید تریپلولئید وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های مورد مطالعه حاصل تکثیر مصنوعی تخم فیل ماهی (*Huso huso*) و اسپرم تاسماهی سیری

تکوین اولیه در ماهیان فرآیند پیچیده رشد و تمایز شامل ریخت‌زایی، تغییر در شکل بدن، متابولیسم و رفتار است (Osse & van den Boogart, 1995; van Snik *et al.*, 1997; Gisbert, 1999). این توسعه در طی مراحل اولیه تکوین، علاوه بر این‌که تحت تاثیر ژن است، توسط محیط نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Gilbert & Bolker, 2003)، و در نتیجه سبب بروز فنتوپیلهای مختلف با نسبت‌های رشد متفاوت می‌گردد، که آلومتری خوانده می‌شود. از این‌رو آلومتری به عنوان بیان کننده تغییرات اندازه یک ساختار نسبت به کل بدن بوده و می‌تواند نشان دهنده تغییرات آنتورنیک در طی مراحل اولیه رشد و انعطاف‌پذیری ریختی در یک محیط خاص باشد (Fuiman, 1983) و تضمین می‌نماید که نخست اندام‌های ضروری برای عملکردهای اولیه تکوین یافته و سپس اندام‌هایی که اولویت کمتری برای بقا دارند، توسعه می‌یابند (Osse & van den Boogart, 1995).

مطالعه روند تکوین ریختی و الگوهای رشد ماهیان در مراحل اولیه رشد این امکان را می‌دهد تا تقدم شکل‌گیری اندام‌ها و سازگاری‌های مربوط به اندازه در آنها را درک کرده و شناخت بهتری را پیرامون زیست‌شناسی، رفتار و اکولوژی آن‌ها که برای مدیریت ماهیگیری و آبزیپروری اهمیت بهسزایی دارد را به دست آوریم (Bengtson, 1999; Gisbert, 1999; Koumoundouros *et al.*, 1999; 1994, 1999). همچنین شناخت روند تغییرات آلومتری رشد در طی مراحل اولیه رشد، به عنوان یک مقیاس توسعه سایر محققان به عنوان کیفیت مناسب ماهیان پرورشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gisbert, 1999; Koumoundouros *et al.*, 1999).

ماهیان خاویاری (Acipenseridae)، گونه‌هایی با ارزش اقتصادی بالا هستند که در نیمکره شمالی از جمله دریای خزر پراکنش دارند. دریای خزر ذخیره منحصر به فردی از این ماهیان را دارد (Dettlaff *et al.*, 1993) ولی در سال‌های اخیر صید این ماهیان در دریای خزر به شدت کاهش یافته است. به دنبال کاهش ذخایر طبیعی ماهیان، نیاز به تنوع در تولیدات آبزیپروری منجر شد که پرورش دهنده‌گان به بررسی تولید گونه‌های جدید به ویژه

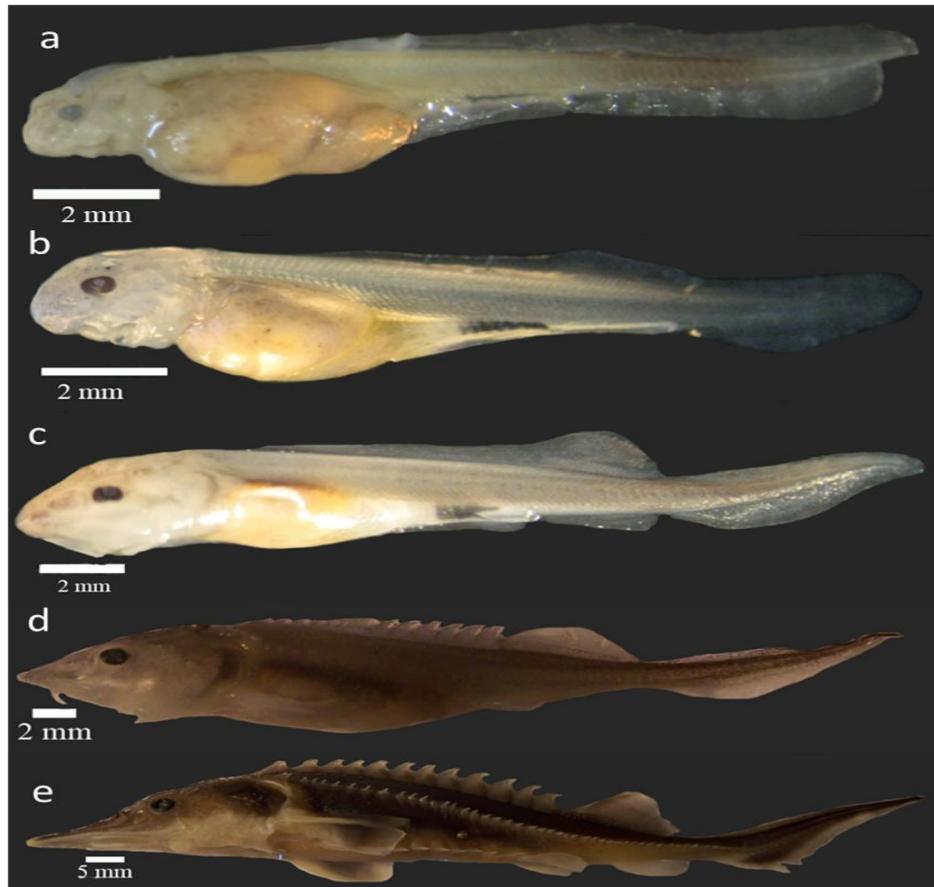
یا وزن)، X به عنوان متغیر وابسته (طول کل)، a عرض از مبدأ (intercept) و b ضریب رشد آلومتریک است. در این فرمول برای بررسی الگوهای رشد طول‌های مختلف بدن، $b=1$ بیانگر رشد ایزومتریک، $b > 1$ نشان دهنده رشد آلومتری مثبت و $b < 1$ بیانگر رشد آلومتری منفی می‌باشد. در مورد داده‌های حجمی یعنی مدل وزن-طول ضریب رشد ایزومتریک سه می‌باشد و مقادیر آلومتری در مدل وزن-طول براساس آن سنجیده می‌شوند. رگرسیون خطی ببروی داده‌های لگاریتمی شده با استفاده از طول کل به عنوان متغیر مستقل انجام شد. نقاط عطف van (Inflexion points) منحنی‌های رشد براساس روش Snik et al. (۱۹۹۷) تعیین شد. در ضمن به منظور ترسیم نمودارها از میانگین وزن و طول در هر مرحله رشدی (روز نمونه‌برداری) استفاده گردید. به‌منظور نمایش تغییرات ریختی مهم براساس نقاط عطف رشد، این نقاط در طول کل در طی مراحل اولیه رشد نمایش داده شد. همچنین قدرت (Robustness) رگرسیون با محاسبه r^2 (به عنوان بیان کننده درصد تغییرات در یک رابطه خطی) و سطح معنی‌داری اندازه گیری شد. پس از تعیین نقاط عطف رشد، نرخ‌های رشد منطقه‌ای (Regional growth rates) توسط مدل Huxley (Fuiman ۱۹۸۳) براساس انجام شد. آنالیز داده‌ها در مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ و نرم افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام پذیرفت.

نتایج

تمام روابط رگرسیونی رشد بخش‌های مختلف بدن نسبت به طول کل معنی دار بود ($p < 0.05$). الگوی رشد وزنی ماهی هیبرید مورد مطالعه دارای دو مرحله با یک نقطه عطف در روز پانزدهم (TL=۱۸/۹۸ mm) و BW=۵۳/۴ (BW) پس از تخم‌گشایی می‌باشد که در مرحله اول الگوی رشد آلومتری منفی ($b = 1/79$) و در مرحله دوم نیز آلومتری منفی ($b = 2/6$) با ضریب رشد بیشتر بود (شکل ۲). الگوی رشد طول سر ماهی تریپلوبید دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز بیست و سوم پس از تخم‌گشایی (TL=۳۳/۴۴ mm) بود. الگوی رشد هم قبل ($b = 1/5$) و هم پس از

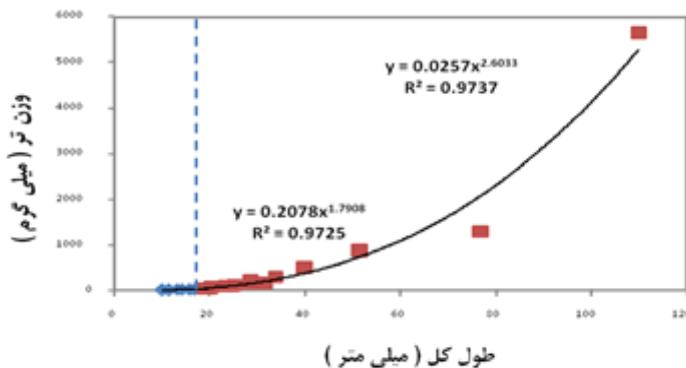
(*Acipenser baeri*) در انسستیتو بین المللی ماهیان خاویاری دکتر دادمان بود. تخم‌های لاقح یافته تحت شوک سرما برای تریپلوبیدی القا شده و ماهیت تریپلوبیدی آنها مورد تائید قرار گرفته‌اند (Hassanzadeh Saber et al., 2008). سپس تخم‌ها با تراکم ۷۵۰ گرم به ازای هر پاکت به انکوباتور یوشچنکو (با حجم مفید ۱۵ لیتر، عمق ۱۰ سانتی‌متر و دبی مستمر ۴۰/۵ لیتر در ثانیه) معرفی شدند. منبع تأمین آب مورد نیاز انکوباتورها آب چاه و رودخانه سفیدرود به صورت ترکیبی بود. دمای آب در طول دوره انکوباسیون به طور میانگین ۱۲ درجه سانتی‌گراد بود. نمونه‌ها از زمان تخم‌گشایی تا ۲۵ روز پس از آن به صورت روزانه، سپس تا روز ۳۵ پس از تخم‌گشایی روز در میان و پس از آن تا روز ۵۰ پس از تخم‌گشایی هر ۵ روز یک باره تعداد ده عدد در هر مرحله نمونه‌برداری صورت پذیرفت (Gisbert et al., 2014). نمونه‌ها در محلول MS222 با غلظت ۱۴۰ میلی گرم در لیتر بیهود و سپس در فرمالین بافری چهار درصد بافری ثبت شده بودند. برای محاسبه دقیق میانگین وزن یک لارو از ترازوی دیجیتالی (شرکت D & D مدل D0006 ژاپن) با دقت ۰/۰۱ گرم به روش وزنی (تعداد در گرم) استفاده شد. جهت مطالعات ریخت‌سنجدی از نمونه‌های روز ۱۲ و کمتر با استفاده از لوب مجهز به دوربین Canon با قدرت تفکیک ۵ مگاپیکسل و برای نمونه‌های روز ۱۴ و بیشتر با استفاده از دوربین Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل مستقر بر روی Copystand عکس‌برداری گردید. فواصل TL=Total length، طول سر (HL=Head length)، طول تنه TAL=Tail length (TRL=Trunk length)، طول چشم (SNL=Snout length)، طول پوزه (ED=Eye diameter)، پهنهای ساقه دمی (DCP=Depth of caudal peduncle) و ارتفاع کیسه زرد (DYS=Depth of yolk sac) توسط نرم‌افزار ImageJ (Version 1.240) از روی تصاویر با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر مورد سنجش قرار گرفتند. الگوی رشد آلومتری به صورت تابع توانی طول کل با استفاده از داده‌های تغییر نیافته در فرمول $Y = ax^b$ اندازه گیری شدنده در آن Y به عنوان متغیر مستقل (شامل طول بخش‌های مختلف بدن

نقطه عطف ($R^2 = 0.98$; $b = 1/15$) آلومتری مشبت بود (شکل‌های ۳ و ۴).



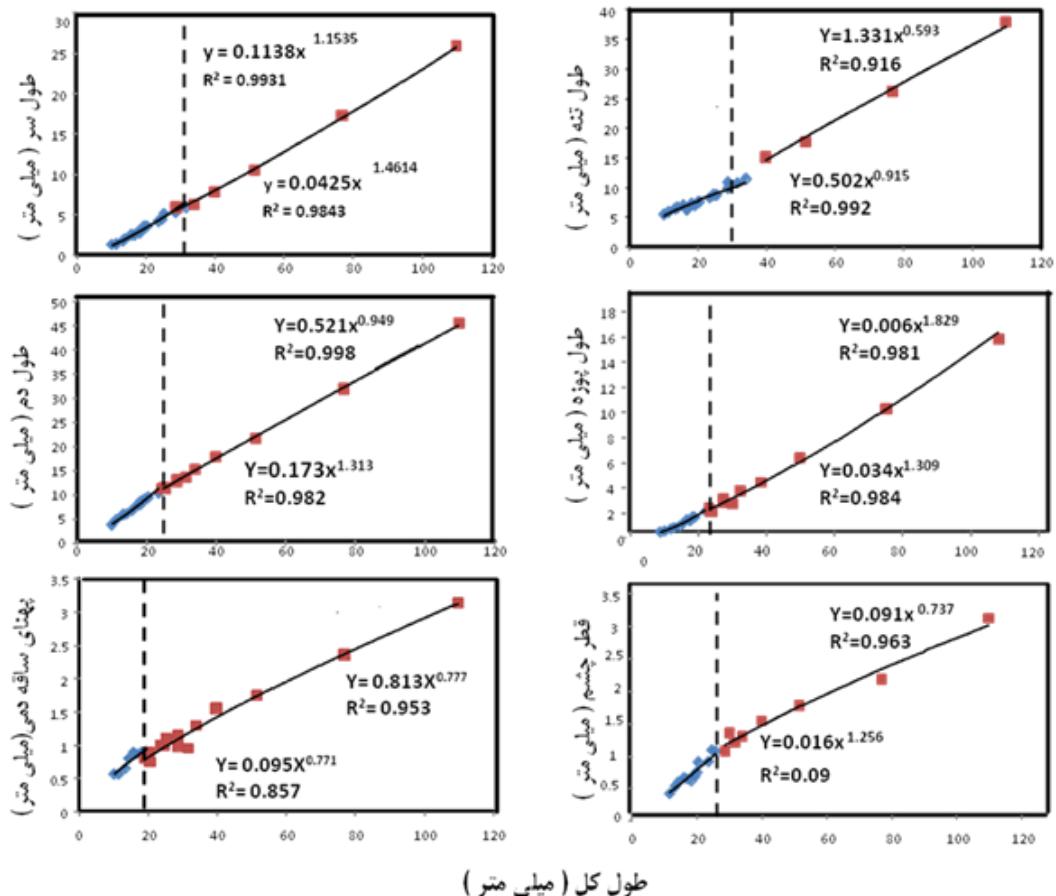
شکل ۱: روند تغییرات ریختی در طی مراحل اولیه رشد ماهی هیبرید تریپلوبئید (فیل ماهی ماده \times ماهی سیبری نر) (به ترتیب از a تا e در ۱، ۵، ۹، ۲۷ و ۵۰ روز پس از تخم‌گشایی).

Figure 1: Morphological changes in hybrid triploid sturgeon (*Acipenser baeri*♂ \times *Huso huso*♀) during early development (at 1, 5, 9, 27 and 50 day post hatching from a to e, respectively).



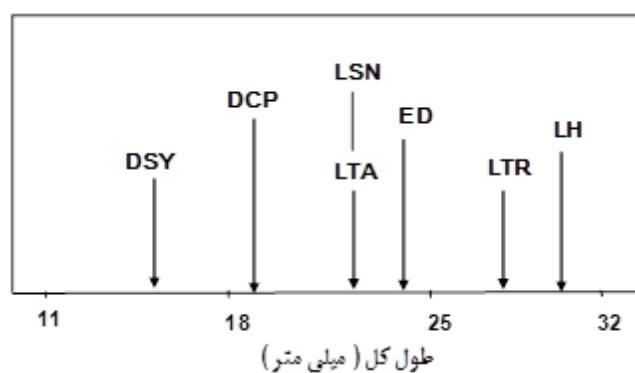
شکل ۲: الگوی رشد آلومتریک و ارتباط وزن تر و طول کل ماهی هیبرید تریپلوبئید (فیل ماهی ماده \times ماهی سیبری نر) از زمان تخم‌گشایی تا روز ۵۰ روز پس از تخم‌گشایی (خط چین بیانگر نقطه عطف رشد در طول کل ۱۸/۸۹ میلی متر می باشد).

Figure 2: Allometric growth patterns and length-weight relationship in hybrid triploid sturgeon (*Acipenser baeri*♂ \times *Huso huso*♀) from hatching up to 50 day post hatching (Dash-line shows Inflexion points at 18.89mm total length).



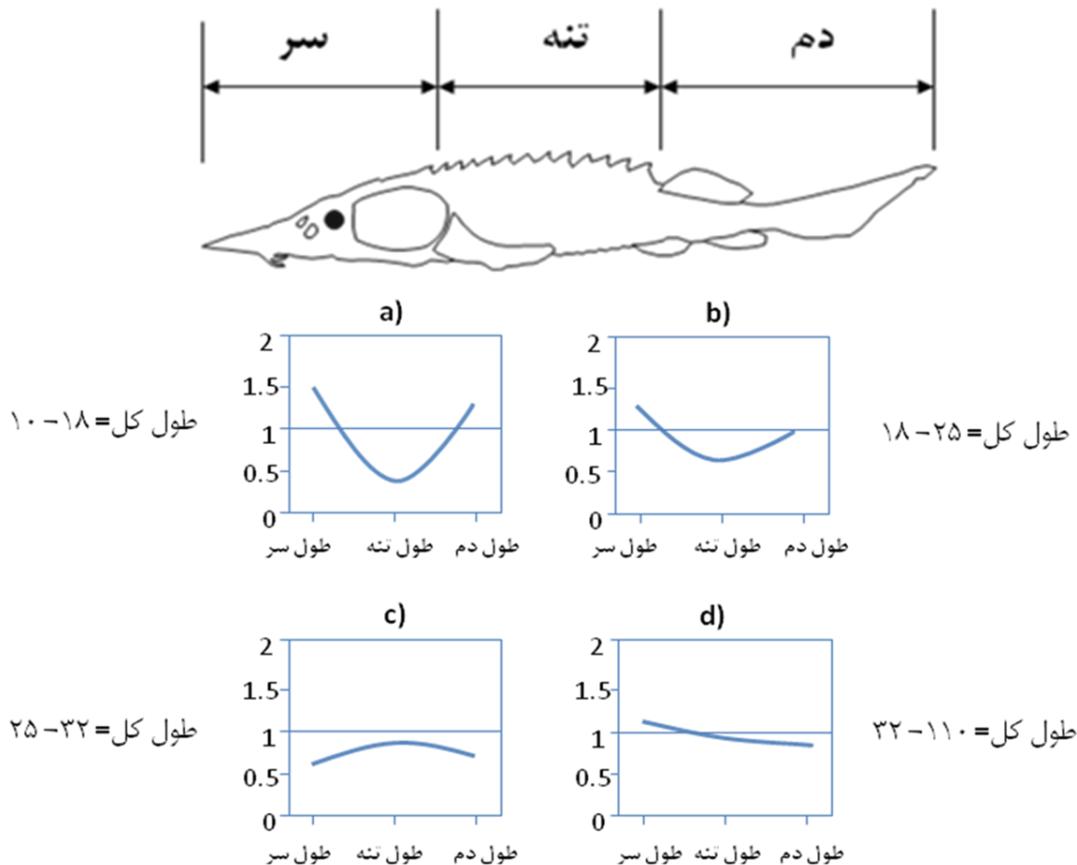
شکل ۳: الگوهای رشد آلومتری اندام های مختلف بدن نسبت به طول کل (TL) در ماهی هیبرید تریپلوبیود (فیل ماهی ماده × ماهی سبیری نر) از روز اول تا ۵۰ روز پس از تخم گشایی (خط چین ها، بیانگر نقطه عطف در هر ویژگی می باشد).

Figure 3: Growth allometries of the different body segments in relation to total length (tl) in hybrid triploid sturgeon (*Acipenser baeri*♂ x *Huso huso*♀) from hatching up to 50 day post hatching (Dash-line shows Inflexion points).



شکل ۴: طول های کل در هر یک از نقاط عطف رشد ویژگی های مطالعه در ماهی هیبرید تریپلوبیود (فیل ماهی ماده × ماهی سبیری نر) از روز اول تا ۵۰ روز پس از تخم گشایی.

Figure 4: Total lengths at which the inflection points of allometric growths were found during early development in hybrid triploid sturgeon (*Acipenser baeri*♂ x *Huso huso*♀) from hatching up to 50 day post hatching.



شکل ۵: نرخهای رشد منطقه‌ای در نواحی سر، تنہ و دم در ماهی هیبرید تریپلولوئید (فیل ماهی ماده × ماهی سیبری نر) براساس مدل Huxley

Figure 5 : Regional growth rates of head, trunk and tail in hybrid triploid sturgeon (*Acipenser baeri* ♂ × *Huso huso* ♀) based on Huxley model.

آیزومتریک ($R^2=0.99$; $b=0.94$) می‌باشد. الگوی رشد طول پوزه همانند طول دم دو مرحله با یک نقطه عطف در روز هفدهم پس از تخم‌گشایی بود که در هر دو مرحله اول (R²=0.98; b=1/3) و دوم (R²=0.98; b=1/8) الگوی رشد آلومتریک مثبت بود (شکل‌های ۳ و ۴).

کیسه زرد نمونه‌های مورد مطالعه از روز اول تا چهاردهم پس از تخم‌گشایی قابل مشاهده بودند. الگوی رشد ارتفاع کیسه زرد نیز دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز پنجم پس از تخم‌گشایی (TL=15/81 mm) بود که در مرحله اول آلومتری منفی و در مرحله دوم آیزومتریک بود (شکل ۴).

براساس نقاط عطف رشد بخش‌های مختلف بدن (شکل ۲)، مراحل اولیه رشد ماهی تریپلولوئید به چهار مرحله قابل

الگوی رشد قطر چشم دارای دو مرحله با یک نقطه عطف در روز بیست پس از تخم‌گشایی (TL=25/65 mm) بود. در مرحله اول رشد قطر چشم آلومتری مثبت (R²=0.96; b=0.73) و در مرحله دوم آلومتری منفی (R²=0.90) بود (شکل‌های ۳ و ۴). الگوی رشد طول تنہ نیز دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز بیست و پنجم پس از تخم‌گشایی (TL=28/59 mm) می‌باشد. در مرحله اول الگوی رشد طول تنہ آلومتری منفی (R²=0.92; b=0.59) و در مرحله دوم تقریباً آیزومتریک (R²=0.91; b=0.91) است. الگوی رشد طول دم دارای دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز هفدهم پس از تخم‌گشایی (TL=23/47 mm) بود که در مرحله اول این الگو آلومتری مثبت (R²=0.98; b=1/31) و در مرحله دوم تقریباً

(Doroshov, 2006). الگوی رشد آلومتریک منفی قبل از جذب کیسه زرده می‌تواند به استفاده از ذخایر کیسه‌زرده در این مرحله مرتبط باشد چراکه لارو در این زمان تنها انرژی مصرف می‌نماید و منبعی برای تغذیه از محیط خارجی ندارد ولی با شروع تغذیه فعال روند رشد افزایشی مشاهده می‌شود تا به وضعیت ایزومتری برسد. دلیل افزایش ضریب رشد وزن در ماهیان مورد مطالعه در این تحقیق و یا الگوی رشد ایزومتریک در تاسماهی سیبری و فیل ماهی می‌تواند این باشد که میزان انرژی به دست آمده از غذای خارجی با میزان انرژی مورد نیاز جهت اعمال ضروری بدن در تعادل با یکدیگر می‌باشند (Gisbert, 1999).

الگوی رشد طول سر در لارو ماهی تریپلوبئید تا قبل از نقطه عطف (۲۳ روز پس از تخم‌گشایی) آلومتری مثبت بود و پس از آن به سمت ایزومتری تغییر یافت. در تاسماهی سبز در تمام دوران تکوین اولیه الگوی رشد آلومتری مثبت بود (Doroshov, 2006; Gisbert & Doroshov, 2006) ولی الگوی رشد طول سر تاسماهی سیبری با یک نقطه عطف همزمان با آغاز تغذیه خارجی (Gisbert, 1999) و فیل (Gisbert et al., 2014) مشابه الگوی ماهی هیبرید تریپلوبئید بودند. الگوی رشد آلومتری مثبت سر یک ویژگی معمول در انتوژنی اولیه ماهیان از جمله تاسماهیان می‌باشد (Van Snik et al., 1997) و با تکوین مغز، اندام‌های حسی، تغذیه‌ای و تنفسی همزمان و مرتبط می‌باشد (Fuiman, 1983; Osse & van der Boogart, 1995; van Snik et al., 1997; Osse et al., 1997; Gisbert, 1999; Loy et al., 2001; Sala et al., 2005; Gisbert & Doroshov, 2006). دلیل تفاوت در نقطه عطف بین گونه‌های مختلف تاسماهیان می‌تواند عوامل محیطی، ژنتیکی و تغذیه‌ای باشد.

در گونه هیبرید مورد مطالعه مشابه با طول سر، الگوی رشد ناحیه دم نیز ابتداء آلومتری مثبت و سپس ایزومتریک بود و همانند بسیاری از ماهیان نمودار نرخ‌های رشد منطقه‌ای در نواحی سر، تنه و دم ماهی تریپلوبئید به صورت پروفیل رشد U بود (Osse & van der Boogart, 1995). این الگوی رشد مشابه سر و دم به این

تقسیم می‌باشد. مرحله اول با جذب کیسه زرده همراه است. مرحله دوم نیز شامل تغییرات در پهنهای ساقه دمی، طول دم، طول پوزه و قطر چشم می‌باشد. مرحله سوم تغییرات در طول تنه است که پس از آن یعنی در مرحله چهار (از طول ۳۲ میلی متر به بعد) رشد تمامی بخش‌های بدن تقریباً ایزومتریک می‌گردد (شکل ۵).

بحث

در زمان تخم‌گشایی اکثر سیستم‌های عملکردی لارو ماهی هیبرید تریپلوبئید فیل ماهی ماده و ماهی سیبری نر همانند سایر ماهیان هنوز به طور کامل تمایز پیدا نکرده بودند. از این‌رو لارو این ماهی همانند سایر ماهیان در مواجهه با عوامل زنده و غیر زنده محیطی نیاز به تغییرات سریع و به موقع در سیستم‌های احشایی، سوماتیک و همچنین سیستم‌های تخصصی برای تعامل با محیط نیازمند است (Gisbert, 1999). در طی مراحل تکوین اولیه، چندین ویژگی ریختی بلافارسله بعد از تخم‌گشایی دارای الگوی رشد آلومتری مثبت بودند و این تغییرات در الگوی رشد با تغییرات در سیستم‌های تنفسی، تغذیه‌ای و قابلیت‌های شنا مرتبط می‌باشند (Osse & van den Boogart, 1995).

الگوی رشد وزن ماهی هیبرید تریپلوبئید تا زمان شروع تغذیه فعال (۱۵ روز پس از تخم‌گشایی) بسیار آلومتریک منفی بود که پس از آن همچنان آلومتریک منفی البته با ضریب رشد بیشتر بود. در این ماهی نقطه عطف در شروع تغذیه فعال همزمان می‌باشد. این نتایج مشابه تاسماهی سیبری با یک نقطه عطف در روز یازدهم پس از تخم‌گشایی (Gisbert, 1999) و فیل ماهی با یک نقطه عطف در روز ۱۴ پس از تخم‌گشایی (Gisbert et al., 2014) می‌باشد ولی الگوی رشد آن با تاسماهی سبز (*Acipenser medirostris*) متفاوت است زیراکه این ماهی دارای دو نقطه عطف در روزهای ۶ و ۱۵ پس از تخم‌گشایی (در طول‌های کل ۱۹/۹ و ۲۴/۸ میلی متر) می‌باشد (Gisbert & Doroshov, 2006). در مورد تاسماهی سبز و سیبری هم بیان شده است که از اولین تغذیه فعال تا روز ۵۰ پس از تخم‌گشایی الگوی رشد ایزومتریک می‌باشد (Gisbert &

شده است که با مطالعه فیل ماهی و ماهی هیبرید تریپلوبئید مورد مطالعه مغایرت دارد. تمایز در رشد میوتوم، اسکلروتوم و انتوژنی اندام‌های گوارشی در رشد ناحیه‌ی Osse & van den Boogart, (2004) و به نظر می‌رسد رشد این بخش در تاسماهیان اولویت کمتری نسبت به سر و دم دارد.

الگوی رشد ناحیه پوزه در ماهی تریپلوبئید تا قبل از نقطه عطف (۱۷ روز پس از تخم‌گشایی) آلومتری مثبت و بعد از آن به سمت ایزومتری پیش می‌رود. الگوی رشد طول پوزه فیل ماهی دارای ۳ فاز با دو نقطه عطف در روزهای ۵ و ۲۸ پس از تخم‌گشایی می‌باشد (Gisbert et al., 2014). نقطه عطف طول پوزه ماهی هیبرید تریپلوبئید همزمان با شروع تغذیه فعال بود و دلیل آن می‌تواند اهمیت تکوین این ناحیه از سر را در تغذیه خارجی داشت، چراکه بر روی پوزه گیرنده‌های الکتریکی وجود دارد که در شناسایی و به دام انداختن طعمه موثر می‌باشند. به علاوه می‌توان بیان نمود که در ماهی هیبرید تریپلوبئید الگوی آلومتری مثبت پوزه در مرحله اولیه زندگی تا قبل از نقطه عطف می‌تواند به دلیل تغییر وضعیت دهان به زیرین و ایجاد حالت مکشی دهان باشد چراکه طی این دوره دهان به واسطه از دست دادن دندان از تغذیه قاپنده (grabber) به تغذیه مکشی تغییر حالت می‌دهد.

علیرغم اینکه بیان شده است که تغییرات ژنتیکی عامل اصلی در تنظیم فرم یک موجود ذکر شده است (West-Eberhard, 2003; Gerhart & Kirschner, 2007) ولی نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود تفاوت ژنتیکی ماهی هیبرید تریپلوبئید مورد مطالعه با والدین، الگوی رشد آن شباهت‌های زیادی به والدین خود (به ویژه فیل ماهی) دارد. از این‌رو این تحقیق نشان داد که در مراحل اولیه تکوین بمویزه در ماهیان خاویاری، فاکتورهای محیطی در تنظیم شکل بدن بسیار موثرتر از عامل ژنتیکی می‌باشند. بنابراین در کنار ویژگی‌های اجدادی، انعطاف-پذیری ریختی ماهی به فاکتورهای محیطی سبب سازگاری آن به شرایط محیطی می‌گردد. از سوی دیگر بیان شده است که تفاوت‌های فیزیولوژیک بین ماهی

دلیل اتفاق می‌افتد تا در ابتدا اندام‌هایی که برای بقاء ضرورت دارند، شکل بگیرند. از این‌رو ویژگی‌های ریختی رشد نسبتاً سریعی را در مرحله لاروی اولیه در ارتباط با تقدم‌های عملکردی پیش‌بینی شده برای لارو ماهی مثل تغذیه، شنا و تبادل گاز نشان می‌دهند که هر دو برای صید طعمه و فرار از شکارچی ضروری هستند (Balon, 1985; van Snik et al., 1997) نقطه عطف الگوی رشد ناحیه دم در ماهی تریپلوبئید تقریباً با شروع تغذیه فعال همزمان است، که با فیل ماهی، تاسماهی سیبری و تاسماهی سبز تطابق دارند (Gisbert et al., 2014).

الگوی رشد قطر چشم در ماهی تریپلوبئید تا روز بیستم پس از تخم‌گشایی آلومتری مثبت و پس از آن منفی بود. در فیل ماهی و تاسماهی سیبری هم الگوی آلومتری رشد قطر چشم دو مرحله‌ای به ترتیب با نقاط عطف در روز ششم (Gisbert et al., 2014) و سوم (Gisbert et al., 1999) پس از تخم‌گشایی گزارش شده‌اند. در فیل ماهی و ماهی سیبری الگوی رشد قطر چشم ابتداء آلومتری مثبت و سپس ایزومتری بودند ولی در تاسماهی سبز در تمام دوران تکوین اولیه لاروی قطر چشم دارای الگوی ایزومتریک بود (Gisbert & Doroshov, 2006). تاکنون مطالعه‌ای در خصوص انتوژنی سیستم بینایی ماهی خاویاری هیبرید تریپلوبئید و فیل ماهی گزارش نشده است و فقط مشاهده شده که چشم‌های ماهی هیبرید تریپلوبئید و فیل ماهی (Gisbert et al., 2014) از روز دوم پس از تخم‌گشایی رنگدانه‌دار می‌شوند. لارو تاسماهی سیبری در زمان تخم‌گشایی فاقد گیرنده‌های نوری تمایز یافته است (Rodriguez & Gisbert, 2002) و در حالی که تاسماهی سبز در زمان تخم‌گشایی دارای شیکیه تمایز یافته می‌باشد (Deng et al., 2002).

الگوی رشد ناحیه تنه ماهی هیبرید تریپلوبئیدی تا قبل نقطه عطف (۲۵ روز پس از تخم‌گشایی) آلومتری منفی و پس از آن ایزومتریک بود. چنین الگویی نیز در تاسماهی Gisbert & Doroshov, 2006) و فیل ماهی با یک نقطه عطف در روز ۶ (Doroshov, 2006) و فیل ماهی با یک نقطه عطف در روز ۲۸ (Gisbert et al., 2014) دیده شده است. وجود نقطه‌ی عطف در روزهای ابتدایی زندگی در ناحیه‌ی تنه در بسیاری دیگر از لارو ماهیان نیز گزارش

- Bronzi, P., Rosenthal, H., Arlati, G. and Williot, P., 1999.** A brief overview on the status and prospects of sturgeon farming in western and Central Europe. *Journal of Applied Ichthyology*, 15: 224-227. DOI: 10.1111/j.1439-0426.1999.tb00239.x
- Chatain, B., 1994.** Standard morphoanatomic and morphometric criteria to assess performance of larval rearing in *Dicentrarchus labrax* and *Sparus aurata*. In: Kestemont P., Muir J., Sevilla F. and Williot, P., (eds), Measures for Success. Cemagref-Dicova, Bordeaux, France. pp: 249-250.
- Coop, G.H., Kovac, V. and Hensel K., 1999.** When do fishes become juveniles? Kluwer Academic Publishers, London, UK. 289 P.
- Deng, X., Van Eenennaam, J.P. and Doroshov, S.I., 2002.** Comparison of early life stages and growth of green and white sturgeon. In: Van Winkle W., Anders P.J., Secor D.H., Dixon. D.A. (eds), Biology, Management and Protection of North American Sturgeon. American Fisheries Society, Symposium, Bethesda, Maryland. pp: 237-248.
- Dettlaff, T.A., Ginsburg, A.S. and Schmalhausen, O.I., 1993.** Sturgeon fishes: developmental biology and aquaculture. Springer-Verlag, Berlin. 300 P.
- Fuiman, L.A., 1983.** Growth gradients in fish larvae. *Journal of Fish Biology*, 23: 117-123.
- Johnston *et al.* هیبرید تریپلۆئید و دیپلۆئید کم می‌باشد (1999).
- Altimiras, J. and Larsen, E., 2000.** Non-invasive recording of heart rate and ventilation rate in rainbow trout during rest and swimming. *Journal of Fish Biology*, 57: 197-209. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2000.tb00786.x
- Asgari, R., Rafiee, G., Eagder, S., Shahrooz, R., Pourbagher, H., Agh, N. and Gisbert, E., 2013a.** Ontogeny of the digestive system in hatchery produced Beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1758); a comparative study between Beluga and genus *Acipenser*. *Aquaculture Nutrition*, 416(416-417): 33-40. DOI: 10.1111/anu.12113
- Asgari, R., Rafiee, G., Eagderi, S., Noori, F., Agh, N., Poorbagher, H. and Gisbert, E., 2013b.** Ontogeny of the digestive enzyme activities in hatchery produced Beluga (*Huso huso*). *Aquaculture*, 416-417: 33-40. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.08.014
- Balon, E.K., 1985.** Terminology of intervals in fish development. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32: 1663-1670.
- Bengtson D.A., 1999.** Aquaculture of summer flounder (*Paralichthys dentatus*): status of knowledge, current research and future research priorities. *Aquaculture*, 176: 39-49. DOI: 10.1016/S0044-8486(99)00048-4

منابع

- Geerinckx, T., Verhaegen, Y. and Adriaens, D., 2007.** Ontogenetic allometries and shape changes in the suckermouth armoured catfish *Ancistrus cf. triradiatus* Eigenmann (Loricariidae, Siluriformes), related to suckermouth attachment and yolk-sac size. *Journal of Fish Biology*, 72: 803–814. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2007.01755.x
- Gerhart, J. and Kirschner M., 2007.** The theory of facilitated variation. *Proceeding of the National Academy of Science (PNAS)*, 104: 8582–8589. DOI: 10.1073/pnas.0701035104
- Gilbert, S.F. and Bolker, J.A., 2003.** Ecological developmental biology: preface to the symposium. *Evolution and Development*, 5: 3-8. DOI: 10.1046/j.1525-142X.2003.03002.x
- Gisbert, E., 1999.** Early development and allometric growth patterns in Siberian sturgeon and their ecological significance. *Journal of Fish Biology*, 54: 852–862. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1999.tb02037.x
- Gisbert, E. and Doroshov, S.I., 2006.** Allometric growth in green sturgeon larvae. *Journal of Applied Ichthyology*, 22:202-207. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2007.00952.x
- 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. DOI: 10.1111/jai.12617
- Hassanzadeh Saber, M., Noveiri, S.B., Pourkazemi, M. and Yarmohammadi, M., 2008.** Induction of gynogenesis in stellate sturgeon (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) and its verification using microsatellite markers. *Aquaculture Research*, 39:1483-1487. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2008.02015.x
- Hernandez, L.P. and Motta, P.J., 1997.** Trophic consequences of differential performance: ontogeny of oral jaw-crushing performance in the sheeps head, *Archosargus probatocephalus* (Teleostei, Sparidae). *Journal of Zoology*, 243:737–756. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1997.tb01973.x
- Huskey, S.H. and Turingan, R.G., 2001.** Variation in prey-resource utilization and oraljaw gape between two populations of largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Environmental Biology of Fishes* 61:185–194. DOI: 10.1023/A:1011095526939
- Johnston, I.A., Strugnell G., McCracken M.L. and Johnstone, R., 1999.** Muscle growth and development in normal-sex-ratio and all female diploid and triploid Atlantic salmon. *Journal of Experimental Biology*, 202: 1991-2006.
- Koumoundouros, G., Kiriakos Z., Divanach, P. and Kentouri, M., 1994.** Morphometric relationships as criteria for the evaluation of culture condition of gilthead seabream (*Sparus aurata*) at the larval stage. In: Kestemont, P., Muir, J., Sevilla, F., Williot, P. (eds). *Measures for Success*. Bordeaux: Cemagref-DICOVA. pp. 199–205.

- 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. DOI: 10.1007/s002270050657
- Kovac, V., Copp, G.H. and Francis, M.P., 1999.** Morphometry of the stone loach, *Barbatula barbatula*: do mensural characters reflect the species' life history thresholds? *Environmental Biology of Fishes* 56: 105–115. DOI: 10.1023/A:1007570716690
- Linde, M., Palmer, M. and Gomez-Zurita, J., 2004.** Differential correlates of diet and phylogeny on the shape of the premaxilla and anterior tooth in sparid fishes (Perciformes: Sparidae). *Journal of Evolutionary Biology*, 17:941–952. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2004.00763.x
- Luczkovich, J.J., Motta, P.J., Norton, S.F. and Liem, K.F., 1995.** Ecomorphology of Fishes. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, London, UK. 312 P.
- Norton, S.F., Luczkovich, J.J. and Motta, P.J., 1995.** The role of ecomorphological studies in the comparative biology of fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 287–304.
- Osse, J.W.M. and van den Boogart, J.G.M., 1995.** Fish larvae, development allometric growth, and the aquatic environment. Paper presented at the ICES Marine Science Symposium, 201: 21–34.
- Osse, J.W.M., van den Boogart, J.G.M., van Snik, G.M.J., van der Sluys, L., 1997.** Priorities during early growth of fish larvae. *Journal of Aquaculture*, 155: 249–258. DOI: 10.1016/S0044-8486(97)00126-9
- Osse, J.W.M. and van den Boogart, J.G.M., 2004.** Allometric growth in fish larvae: timing and function. Paper presented at the American Fisheries Society Symposium, 40:167-194.
- Piet, G.J., 1998.** Ecomorphology of a size-structured tropical freshwater fish community. *Environmental Biology of Fishes*, 51: 67–86. DOI: 10.1023/A:1007338532482
- 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. DOI: 10.1046/j.1439-0426.2002.00406.x
- Sidnei, E.L.-J. and Goitein, R., 2003.** Ontogenetic diet shifts of a Neotropical catfish, *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae): An ecomorphological approach. *Environmental Biology of Fishes*, 68: 73–79. DOI: 10.1023/A:1026079011647
- Simonovic, P.D., Garner, P., Eastwood, E.A., Kovac, V. and Copp, G.E., 1999.** Correspondence between ontogenetic shifts in morphology and habitat use in *Phoxinus phoxinus*. *Environmental Biology of Fishes*, 56: 117–128. DOI: 10.1007/978-94-017-3678-7_9
- 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.

DOI: 10.1111/j.1095-
8649.1997.tb01657.x

Wainwright, P.C. and Richard. B.A., 1995.
Predicting pattern of prey use from
morphology of fishes. Environmental

Biology of Fishes, 44: 97–113. DOI:
10.1007/BF00005909

West-Eberhard, M.J., 2003. Developmental
Plasticity and Evolution. Oxford
University Press, New York. 794 P.

Allometric growth patterns in a hybrid triploid-sturgeon (*Huso huso*♀ × *Acipenser baeri*♂) during early development

Eagderi S.^{1*}; Bahrami Zaiarani M.¹; Pourbagher H.¹; Farahmand H.¹; Eshaghzadeh H.

* soheil.eagderi@ut.ac.ir

1- Fisheries Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

Allometric growth pattern is a phenomena during early development of fishes. This research was conducted to study the allometric growth patterns of a hybrid triploid sturgeon (*Acipenser baeri*♂ × *Huso huso*♀) during early developmental stage up to 50 day post hatching (dph). 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: $Y=ax^b$. The results revealed that during early development of the triploid sturgeon after hatching, head and tail regions have positive allometric growth pattern that can be as result of importance vital functions, including swimming, respiration and sensory systems during this period. The inflection points of the most body parts have been occurred prior 25dph and afterward their growth patterns were isometric. Despite the genetic difference between the hybrid triploid sturgeon with its parents, the results showed that its allometric growth patterns have many similarities with them. This results, also, provide evidence that the phenotypic plasticity plays important role in regulation of the body shape during early development.

Keywords: Beluga, Siberian sturgeon, Hybrid, Phenotypic plasticity, Morphometrics, Allometric, Ontogeny.

*Corresponding author