

بررسی الگوهای رشد آلومتریک در ماهی هیبرید تریپلوئید فیل ماهی (*Huso huso*) و تاسماهی سبیری (*Acipenser baeri*) در مراحل اولیه تکوین

سهیل ایگدري^{۱*}، مریم بهرامی زیارانی^۱، هادی پور باقر^۱، حمید فرحمنی^۱، حمید اسحقزاده^۱

*soheil.eagderi@ut.ac.ir

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

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۲

چکیده

آلومتری به عنوان رشد ناهمسان بخش های مختلف بدن یک ویژگی معمول در تکوین لارو ماهیان می باشد. در این تحقیق الگوی های رشد آلومتریک ماهی هیبرید تریپلوئید (فیل ماهی ماده × ماهی سبیری نر) در مراحل اولیه تکوین از زمان تخم گشایی تا پنجاه روز پس از آن مورد بررسی قرار گرفت. داده های ریخت سنجی مورد مطالعه از روی تصاویر گرفته شده از نمونه ها توسط نرم افزار ImageJ استخراج و الگوی رشد آلومتری به صورت تابع توانی طول کل با استفاده از داده های تغییر نیافته در فرمول $Y=ax^b$ اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد که در روز اول پس از تخم گشایی در ناحیه سر و دم الگوی رشد آلومتری مثبت بودند که دلیل آن می تواند اولویت عملکردهای حیاتی مانند سیستم های حسی، تنفس و شنا باشد. نقاط عطف سایر بخش های مورد سنجش تا روز بیست و پنجم پس از تخم گشایی بود و پس از این زمان تمامی قسمت های بدن به یک نسبت رشد کردند و الگوی رشد آنها ایزومتریک گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود تفاوت ژنتیکی ماهی تریپلوئید با والدینش، الگوی رشد آن شباهت های زیادی به والدین خود دارد که بیانگر اهمیت انعطاف پذیری ریختی در تنظیم شکل بدن در مراحل اولیه تکوین می باشد.

کلمات کلیدی: فیل ماهی، تاسماهی سبیری، هیبرید، تغییرپذیری ریختی، ریخت سنجی، آلومتری، تکوین.

* نویسنده مسئول

مقدمه

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 این که تحت تاثیر ژن است، توسط محیط نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Gilbert & Bolker, 2003)، و در نتیجه سبب بروز فنوتیپ‌های مختلف با نسبت‌های رشد متفاوت می‌گردد، که آلومتری خوانده می‌شود. از این رو آلومتری به‌عنوان بیان‌کننده تغییرات اندازه یک ساختار نسبت به کل بدن بوده و می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات آنتوژنیک 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 آبی‌پروری اهمیت به‌سزایی دارد را به‌دست آوریم (Bengtson, 1999; Gisbert, 1999; Koumoundouros *et al.*, 1994, 1999). همچنین شناخت روند تغییرات آلومتری رشد در طی مراحل اولیه رشد، به‌عنوان یک مقیاس توسط سایر محققان به‌عنوان 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 منحصراً به‌فردی از این ماهیان را دارد (Dettlaff *et al.*, 1993)، ولی در سال‌های اخیر صید این ماهیان در دریای خزر به‌شدت کاهش یافته است. به دنبال کاهش ذخایر طبیعی ماهیان، نیاز به تنوع در تولیدات آبی‌پروری منجر شد که پرورش دهندگان به بررسی تولید گونه‌های جدید به ویژه

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 تریپلوئید اهمیت بالقوه‌ای در آبی‌پروری 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 تریپلوئید به‌طور تقریبی ۵۰ درصد از هم‌تایان دیپلوئیدشان بزرگ‌تر هستند (Altimiras & Larsen, 2001). ماهیان تریپلوئیدی هم به صورت طبیعی و هم مصنوعی القا می‌گردند. در طبیعت، اگر بین دو گونه‌ای که با هم نسبت دورتری داشته باشند آمیزشی صورت پذیرد، می‌تواند سبب پلی‌پلوئیدی گردد. تریپلوئیدی 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 تریپلوئید شده‌ی فیل ماهی ماده و تاسماهی سیبری نر از زمان تفریح تا ۵۰ روز پس از آن (که در ماهیان خاویاری فیل‌ماهی و تاسماهی سیبری لاروها به مرحله نوجوانی می‌رسند) (Asgari *et al.*, 2013a, b; Gisbert *et al.*, 2014) به‌عنوان یک گونه مناسب برای آبی‌پروری به اجرا در آمد، چراکه هیچ اطلاعاتی در مورد الگوی رشد این ماهی خاویاری هیبرید تریپلوئید وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

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

(*Acipenser baeri*) در انستیتو بین‌المللی ماهیان خاویاری دکتر دادمان بود. تخم‌های لقاح یافته تحت شوک سرما برای تریپلوئیدی القا شده و ماهیت تریپلوئیدی آنها مورد تأیید 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 ۰/۴-۰/۵ لیتر در ثانیه) معرفی شدند. منبع تأمین آب مورد نیاز انکوباتورها آب چاه و رودخانه سفیدرود به‌صورت ترکیبی بود. دمای آب در طول دوره انکوباسیون به‌طور میانگین ۱۲ درجه سانتی‌گراد بود. نمونه‌ها از زمان تخم‌گشایی تا ۲۵ روز پس از آن به‌صورت روزانه، سپس تا روز ۳۵ پس از تخم‌گشایی یک روز در میان و پس از آن تا روز ۵۰ پس از تخم‌گشایی هر ۵ روز یک بار به تعداد ده عدد در هر مرحله نمونه‌برداری صورت پذیرفت (Gisbert *et al.*, 2014). نمونه‌ها در محلول MS222 با غلظت ۱۴۰ میلی گرم در لیتر بیهوش و سپس در فرمالین بافری چهار درصد بافری تثبیت شده بودند. برای محاسبه دقیق میانگین وزن یک لارو از ترازوی دیجیتال (شرکت A&D مدل D0006 ژاپن) با دقت ۰/۰۰۱ گرم به روش وزنی (تعداد در گرم) استفاده شد.

جهت مطالعات ریخت‌سنجی از نمونه‌های روز ۱۲ و کمتر با استفاده از لوپ 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 مورد نظر بر روی نمونه‌ها شامل طول کل (TL=Total length)، طول سر (HL=Head length)، طول تنه (TRL=Trunk length)، طول دم (TAL=Tail length)، طول پوزه (SNL=Snout length)، قطر چشم (ED=Eye diameter)، پهناى ساقه دمى (DCP=Depth of caudal peduncle) و ارتفاع کیسه زرده (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 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 (شامل طول بخش‌های مختلف بدن

یا وزن)، X به‌عنوان متغیر وابسته (طول کل)، α عرض از مبدا (intercept) و b ضریب رشد آلومتری است. در این فرمول برای بررسی الگوهای رشد طول‌های مختلف بدن، $b=1$ بیانگر رشد ایزومتری، $b>1$ نشان دهنده رشد آلومتری مثبت و $b<1$ بیانگر رشد آلومتری منفی می‌باشد. در مورد داده‌های حجمی یعنی مدل وزن-طول ضریب رشد ایزومتری سه می‌باشد و مقادیر آلومتری در مدل وزن-طول براساس آن سنجیده می‌شوند. 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 *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 (به‌عنوان بیان‌کننده درصد تغییرات در یک رابطه خطی) و سطح معنی‌داری اندازه‌گیری شد. پس از تعیین نقاط عطف رشد، نرخ‌های رشد منطقه‌ای (Regional growth rates) توسط مدل Huxley براساس Fuiman (۱۹۸۳) انجام شد. آنالیز داده‌ها در مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ و نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام پذیرفت.

نتایج

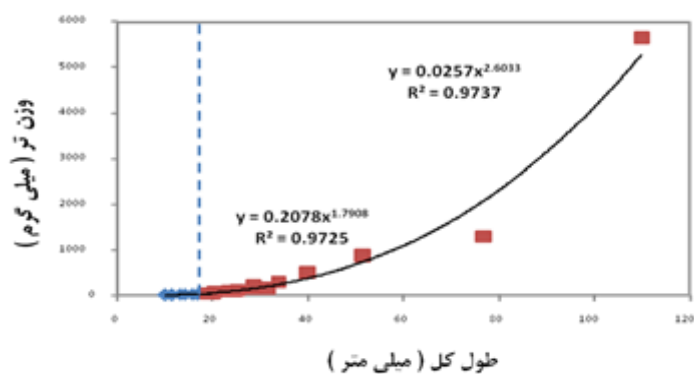
تمام روابط رگرسیونی رشد بخش‌های مختلف بدن نسبت به طول کل معنی‌دار بود ($p<0/05$). الگوی رشد وزنی ماهی هیبرید مورد مطالعه دارای دو مرحله با یک نقطه عطف در روز پانزدهم ($TL=18/98$ mm؛ mg ؛ $BW=53/4$) پس از تخم‌گشایی می‌باشد که در مرحله اول الگوی رشد آلومتری منفی ($b=1/79$ ؛ $R^2=0/97$) و در مرحله دوم نیز آلومتری منفی ($b=2/6$ ؛ $R^2=0/97$) با ضریب رشد بیشتر بود (شکل ۲). الگوی رشد طول سر ماهی تریپلوئید دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز بیست و سوم پس از تخم‌گشایی ($TL=33/44$ mm) بود. الگوی رشد هم‌قبل ($b=1/5$ ؛ $R^2=0/99$) و هم‌پس از

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



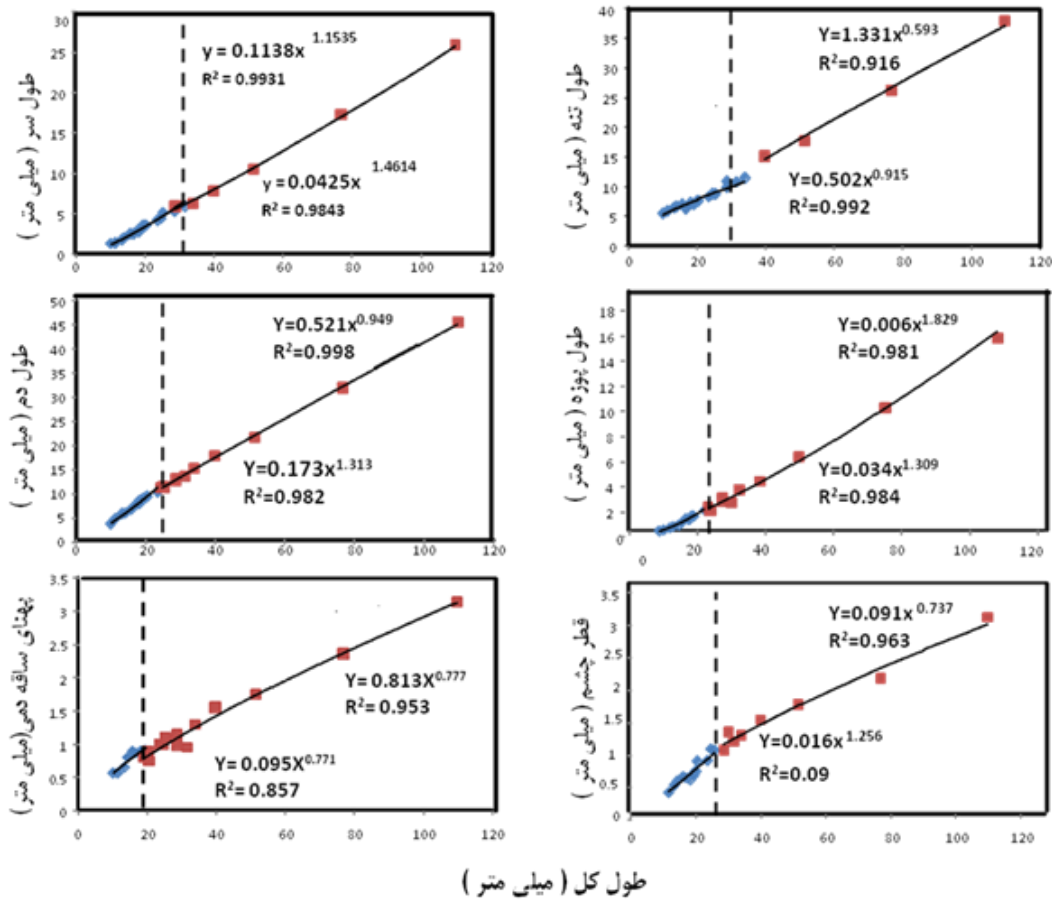
شکل ۱: روند تغییرات ریختی در طی مراحل اولیه رشد ماهی هیبرید تریپلوئید (فیل ماهی ماده × ماهی سیبری نر) (به ترتیب از a تا e در ۱، ۵، ۹، ۲۷ و ۵۰ روز پس از تخم‌گشایی).

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



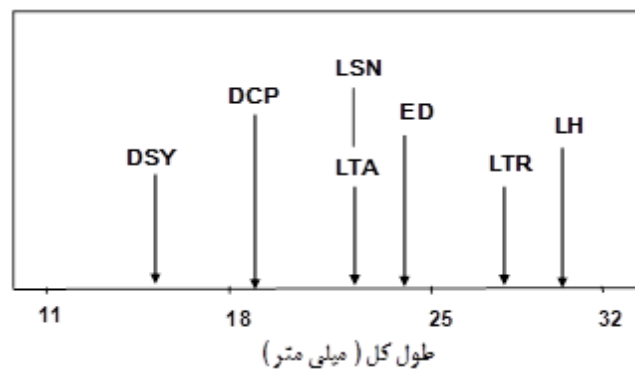
شکل ۲: الگوی رشد آلومتریک و ارتباط وزن تر و طول کل ماهی هیبرید تریپلوئید (فیل ماهی ماده × ماهی سیبری نر) از زمان تخم-گشایی تا روز ۵۰ روز پس از تخم‌گشایی (خط چین بیانگر نقطه عطف رشد در طول کل ۱۸/۸۹ میلی متر می باشد).

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



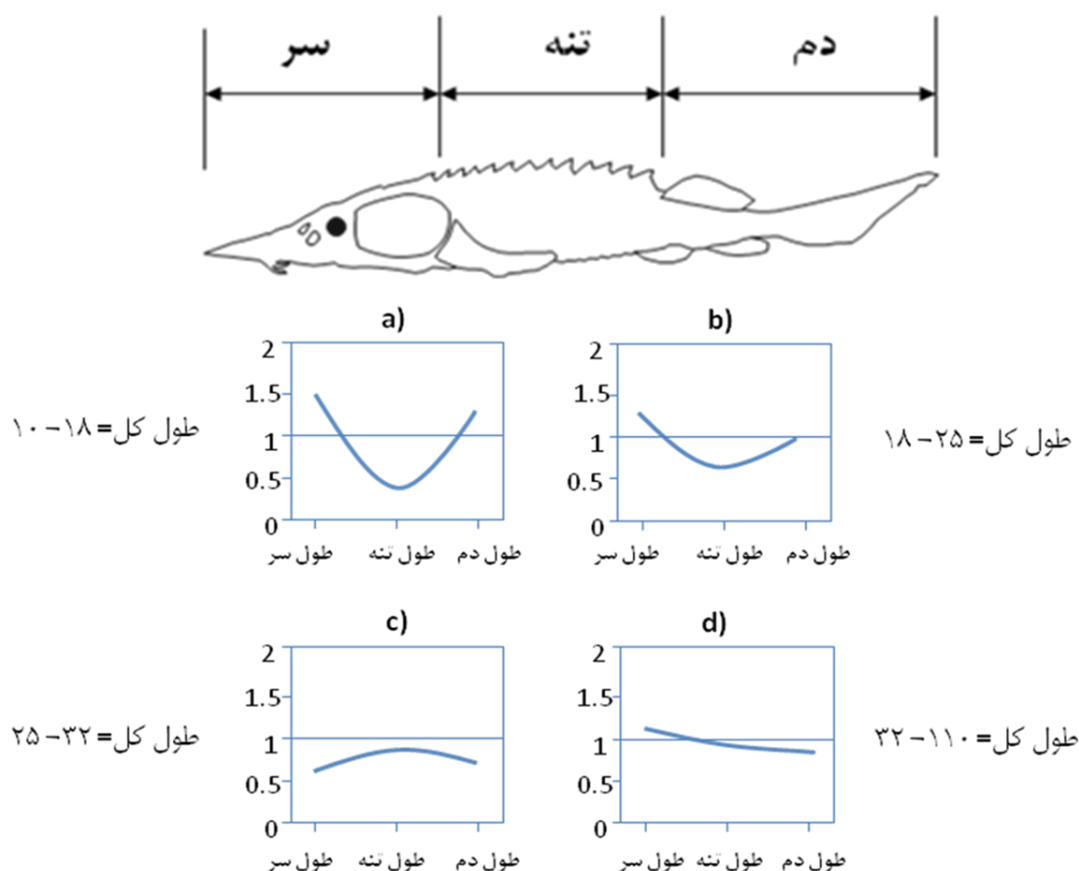
شکل ۳: الگوهای رشد آلومتری اندام های مختلف بدن نسبت به طول کل (TL) در ماهی هیبرید تریپلوئید (فیل ماهی ماده × ماهی سیبری نر) از روز اول تا ۵۰ روز پس از تخم گشایی (خط چین ها، بیانگر نقطه عطف در هر ویژگی می باشد).

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 مورد مطالعه در ماهی هیبرید تریپلوئید (فیل ماهی ماده × ماهی سیبری نر) از روز اول تا ۵۰ روز پس از تخم گشایی.

Figure 4: Total lengths at which the inflexion 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، تنه و دم در ماهی هیبرید تریپلوئید (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* ♂ x *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 تخم‌گذاری بود که در هر دو مرحله اول ($R^2=0/98$; $b=1/3$) و دوم ($R^2=0/98$; $b=1/8$) الگوی رشد آلومتریک مثبت بود (شکل‌های ۳ و ۴).

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

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

الگوی رشد قطر چشم دارای دو مرحله با یک نقطه عطف در روز بیستم پس از تخم‌گذاری ($TL=25/65$ mm) بود. در مرحله اول رشد قطر چشم آلومتری مثبت ($b=1/25$ ؛ $R^2=0/96$) و در مرحله دوم آلومتری منفی ($b=0/73$ ؛ $R^2=0/09$) بود (شکل‌های ۳ و ۴). الگوی رشد طول تنه نیز دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز بیست و پنجم پس از تخم‌گذاری ($TL=28/59$ mm) می‌باشد. در مرحله اول الگوی رشد طول تنه آلومتری منفی ($b=0/59$ ؛ $R^2=0/92$) و در مرحله دوم تقریباً ایزومتریک ($b=0/91$ ؛ $R^2=0/99$) است. الگوی رشد طول دم دارای دو مرحله‌ای با یک نقطه عطف در روز هفدهم پس از تخم‌گذاری (mm) بود که در مرحله اول این الگو آلومتری مثبت ($b=1/31$ ؛ $R^2=0/98$) و در مرحله دوم تقریباً

بحث

تقسیم می‌باشد. مرحله اول با جذب کیسه زرده همراه است. مرحله دوم نیز شامل تغییرات در پهنای ساقه دم، 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).

در زمان تخم‌گذاری اکثر سیستم‌های عملکردی لارو ماهی هیبرید تریپلوئید فیل ماهی ماده و ماهی سبیری نر همانند سایر ماهیان هنوز به‌طور کامل تمایز پیدا نکرده بودند. از این رو 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 بلافاصله بعد از تخم‌گذاری دارای الگوی رشد آلومتری مثبت بودند و این تغییرات الگوی رشد با تغییرات در سیستم‌های تنفسی، تغذیه‌ای و قابلیت‌های شنا مرتبط می‌باشند (Osse & van den Boogart, 1995).

الگوی رشد وزن ماهی هیبرید تریپلوئید تا زمان شروع تغذیه فعال (۱۵ روز پس از تخم‌گذاری) بسیار آلومتریکی منفی بود که پس از آن همچنان آلومتریکی منفی البته با ضریب رشد بیشتر بود. در این ماهی نقطه عطف با شروع تغذیه فعال همزمان می‌باشد. این نتایج مشابه تاسماهی سبیری با یک نقطه عطف در روز یازدهم پس از تخم‌گذاری (Gisbert, 1999) (TL=۲۰ mm) و فیل ماهی با یک نقطه عطف در روز ۱۴ پس از تخم‌گذاری (mm TL=۲۲) (Gisbert et al., 2014) می‌باشد ولی الگوی رشد آن با تاسماهی سبز (*Acipenser medirostris*) متفاوت است زیرا که این ماهی دارای دو نقطه عطف در روزهای ۶ و ۱۵ پس از تخم‌گذاری (در طول‌های کل ۱۹/۹ و ۲۴/۸ میلی متر) می‌باشد (Gisbert & Doroshov, 2006). در مورد تاسماهی سبز و سبیری هم بیان شده است که از اولین تغذیه فعال تا روز ۵۰ پس از تخم‌گذاری الگوی رشد ایزومتریک می‌باشد (Gisbert &

Doroshov, 2006). الگوی رشد آلومتریکی 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 سبیری و فیل ماهی می‌تواند این باشد که میزان انرژی به‌دست 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 تریپلوئید تا قبل از نقطه عطف (۲۳ روز پس از تخم‌گذاری) 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 (Gisbert & Doroshov, 2006) ولی الگوی رشد طول سر تاسماهی سبیری با یک نقطه عطف همزمان با آغاز تغذیه خارجی (Gisbert, 1999) و فیل ماهی با یک نقطه عطف در روز ۲۸ پس از تخم‌گذاری (Gisbert et al., 2014) مشابه الگوی ماهی هیبرید تریپلوئید بودند. الگوی رشد آلومتری مثبت سر یک ویژگی معمول در انتورثنی 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 تریپلوئید به صورت پروفیل رشد U بود (Osse & van der Boogart, 1995). این الگوی رشد مشابه سر و دم به این

شده است که با مطالعه فیل ماهی و ماهی هیبرید تریپلوئید مورد مطالعه مغایرت دارد. تمایز در رشد میوتوم، اسکروتوم و انتوزنی اندام‌های گوارشی در رشد ناحیه ی تنه تعیین کننده است (Osse & van den Boogart, 2004) و به نظر می‌رسد رشد این بخش در تاسماهیان اولویت کمتری نسبت به سر و دم دارند.

الگوی رشد ناحیه پوزه در ماهی تریپلوئید تا قبل از نقطه عطف (۱۷ روز پس از تخم‌گذاری) 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 تخم‌گذاری می‌باشد (Gisbert *et al.*, 2014). نقطه عطف طول پوزه ماهی هیبرید تریپلوئید همزمان با شروع تغذیه فعال بود و دلیل آن می‌تواند اهمیت تکوین این ناحیه از سر را در تغذیه خارجی دانست، چراکه بر روی پوزه گیرنده های الکتریکی وجود دارند که در شناسایی و به دام انداختن طعمه موثر می‌باشند. به علاوه می‌توان بیان نمود که در ماهی هیبرید تریپلوئید 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 باوجود تفاوت ژنتیکی ماهی هیبرید تریپلوئید مورد مطالعه با والدینش، الگوی رشد آن شباهت‌های زیادی به والدین خود (به-ویژه فیل ماهی) دارد. از این رو این تحقیق نشان داد که در مراحل اولیه تکوین به‌ویژه 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 این رو ویژگی‌های ریختی رشد نسبتاً سریعی را در مرحله لاروی اولیه در ارتباط با تقدم‌های عملکردی پیش بینی 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 تریپلوئید تقریباً با شروع تغذیه فعال همزمان است، که با فیل ماهی، تاسماهی سبیری و تاسماهی سبز تطابق دارند (Gisbert *et al.*, 2014).

الگوی رشد قطر چشم در ماهی تریپلوئید تا روز بیستم پس از تخم‌گذاری آلومتری مثبت و پس از آن منفی بود. در فیل ماهی و تاسماهی سبیری هم الگوی آلومتری رشد قطر چشم دو مرحله‌ای به ترتیب با نقاط عطف در روز ششم (Gisbert *et al.*, 2014) و سوم (Gisbert, 1999) پس از تخم‌گذاری گزارش شده‌اند. در فیل ماهی و ماهی سبیری 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 ایزومتری بود (Gisbert & Doroshov, 2006). تاکنون مطالعه‌ای در خصوص انتوزنی سیستم بینایی ماهی خاویاری هیبرید تریپلوئید و فیل ماهی گزارش نشده است و فقط مشاهده شده که چشم‌های ماهی هیبرید تریپلوئید و فیل ماهی (Gisbert *et al.*, 2014) از روز دوم پس از تخم‌گذاری رنگدانه‌دار می‌شوند. لارو تاسماهی سبیری در زمان تخم‌گذاری فاقد گیرنده‌های نوری تمایز یافته است (Rodriguez & Gisbert, 2002) و در حالی که تاسماهی سبز در زمان تخم‌گذاری دارای شبکه تمایز یافته می‌باشد (Deng *et al.*, 2002).

الگوی رشد ناحیه تنه ماهی هیبرید تریپلوئیدی تا قبل نقطه عطف (۲۵ روز پس از تخم‌گذاری) آلومتری منفی و پس از آن ایزومتری بود. چنین الگویی نیز در تاسماهی سبز با یک نقطه عطف در روز ۶ (Gisbert & Doroshov, 2006) و فیل ماهی با یک نقطه عطف در روز ۲۸ پس از تخم‌گذاری (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.
- هیبرید تریپلوئید و دیپلوئید کم می باشد (Johnston *et al.*, 1999).
- منابع
- 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

- 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 larve: 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*♀ x *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*♂ x *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 inflexion 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