

## ویژگی‌های ریختی و تغییرات شکل بدن تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی در طی مراحل اولیه تکوین

فاطمه مشیدی<sup>۱</sup>، سهیل ایگدری<sup>۱\*</sup>، پگاه زرگریان<sup>۲</sup>، مسعود ایری<sup>۳</sup>

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

۲- گروه شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۳- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، گلستان

تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۴

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی روند تکوین ویژگی‌های ریختی و تغییرات شکل بدن تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی در مراحل اولیه تکوین از زمان تخم‌گشایی تا ۵۰ روز پس از آن به اجرا درآمد. برای این منظور تعداد ۱۹۰ نمونه در طی مراحل اولیه تکوین انتخاب شدند. برای استخراج داده‌های شکل از نیمرخ چپ نمونه‌ها تصاویر دوبعدی تهیه شد. سپس تعداد ۸ لندمارک هم‌ساخت تعریف و با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی نمونه‌ها رقمی شدند. داده‌های لندمارک پس از روی هم‌گذاری بر اساس آنالیز پروکراس با استفاده از تحلیل Relative warp مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روند تغییر شکل بدن تاسماهی استرلیاد در مراحل اولیه تکوین شامل افزایش طول سر و دم تا روز ۶ پس از تخم‌گشایی در مرحله اول و سپس رشد نسبی کمتر طول و عرض سر، توسعه ناحیه تنه‌ای و متمایل شدن دم به طرف بالا در مرحله بعد بود. آنالیز خوشه‌ای شکل بدن نمونه‌ها برای گروه‌بندی آن‌ها از نظر سن و اندازه نشان داد که مراحل لاروی این گونه به سه مرحله (۱) از ۶-۱ روزگی همراه با توسعه بیشتر ناحیه سر و دم، باز شدن شکاف دهانی و آبششی و توسعه جوانه‌های چشایی و بویایی، (۲) ۲۳-۷ روزگی شامل انحنای دم به سمت بالا، رشد نسبی بیشتر تنه، شکل‌گیری آبشش‌ها و باله‌ها و شروع تغذیه فعال و (۳) مرحله نوجوانی (۵۰-۲۴ روزگی) تبدیل به شکل مینیاتوری نمونه‌های بالغ قابل تقسیم است. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات شکل بدن تاسماهی استرلیاد در مراحل اولیه تکوین برای رفع نیازهای زیستی این گونه بر اساس اولویت‌های حیاتی آن است.

کلمات کلیدی: استرلیاد، انتوژنی، شکل بدن، ریخت‌سنجی هندسی

## مقدمه

(Wagner and Ostazewska, 2009) و از این رو، در فهرست ماهیان وارداتی و معرفی شده به ایران برای پرورش قرار گرفته است.

با توجه به ضرورت مطالعه تکوین مراحل اولیه زندگی در ماهیان پرورشی، این تحقیق با هدف بررسی تغییرات ریختی تاسماهی استرلیاد در مراحل اولیه تکوین با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق با فراهم آوردن اطلاعات پایه‌ای می‌تواند به درک بهتر تغییرات شکل بدن (اولویت‌های تکوینی) این گونه در طی مراحل اولیه تکوین کمک کرده و با شناخت بهتر روند رشد آن، در تهیه دستورالعمل‌های پرورشی لارو در برنامه‌های مدیریتی پرورشی این گونه مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

## روش نمونه‌برداری

لاروهای تاسماهی استرلیاد از طریق تکثیر مصنوعی ۲ مولد ماده و ۳ مولد نر با هورمون LHRHa2 در موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر (رشت، ایران) استحصال شد. هورمون مورد نظر در ناحیه عضله پشتی مولدین تزریق شد. تزریق ماهیان با دوز ۲/۵ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در ۲ مرحله به فاصله ۱۲ ساعت انجام شد (قیاسی و فلاحتکار، ۱۳۹۳). دمای آب هنگام تزریق ۱۱ درجه سانتیگراد بود. دبی آب با استفاده از مخلوط آب چاه و رودخانه به ترتیب، ۴۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه و ۲۵۰ میلی‌لیتر در دقیقه بود. به منظور جلوگیری از کاهش دما، در نوسانات شبانه روزی بالای دمای آب رودخانه، از آب چاه استفاده شد. طی دوره پرورش شرایط دما، اکسیژن و pH آب پرورش به صورت روزانه ثبت شد. میانگین pH آب در حدود ۷/۲، دمای آب ۱۵/۹ درجه سانتیگراد و اکسیژن محلول ۷/۸ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. نمونه‌برداری از لاروها بلافاصله بعد از تخم‌گشایی تا ۵۰ روز پس از آن انجام شد. در دوره پرورش، نمونه‌ها در تراف‌هایی با حجم آب ۱۸۰ لیتر و در معرض نور فلورسنت با دوره نوری ۱۲:۱۲ قرار داشتند. دمای آب، اکسیژن محلول و pH به ترتیب  $0.8 \pm 17.6$  درجه سانتیگراد،  $0.4 \pm 8.2$  و  $0.2 \pm 7.8$  ppm بر اساس دستورالعمل

مطالعه تکوین مراحل اولیه زندگی ماهی‌ها به جهت اینکه تغییرات ریختی و روندهای توسعه‌ای پیچیده‌ای را در این دوره سپری می‌کنند، از اهمیت بالایی برخوردار است (Osse et al. 1997)، چرا که این تغییرات علاوه بر اینکه تحت تأثیر ژنوم است، از محیط نیز تأثیر می‌پذیرد (Gisbert et al. 2002). در ماهی‌ها، تغییر شکل بدن و تبدیل به شکل مینیاتوری (ماهی جوان) در یک دوره زمانی نسبتاً کوتاه به وقوع می‌پیوندد (Osse et al. 1997) و در ماهی توانایی لازم برای انجام بسیاری از فعالیت‌های حیاتی مانند متابولیسم، شنا، تنفس و تغذیه را فراهم می‌کند (Peña and Dumas, 2009).

مطالعات متعددی در مورد انتوژنی شکل بدن ماهی‌ها در مراحل اولیه رشد بسیاری از گونه‌ها با استفاده از روش ریخت‌سنجی سنتی انجام شده است (Osse and Van den Boogaat, 1995; Gisbert, 1999; Gisbert and Doroshov, 2006; Peña and Dumas, 2009). ریخت‌سنجی هندسی (روش لندمارک پایه) از جمله روش‌های مدرن است که در دهه‌های اخیر کاربرد آن توسعه یافته است (Bookstein, 1991; Rohlf, 1998; Zelditch et al. 2004). این روش ابزار مناسبی برای استخراج داده‌های مربوط به شکل بدن و تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری چندمتغیره را فراهم کرده و مصورسازی تغییرات ریختی از جمله در مراحل اولیه تکوین را امکان‌پذیر می‌کند (Zelditch et al. 2004).

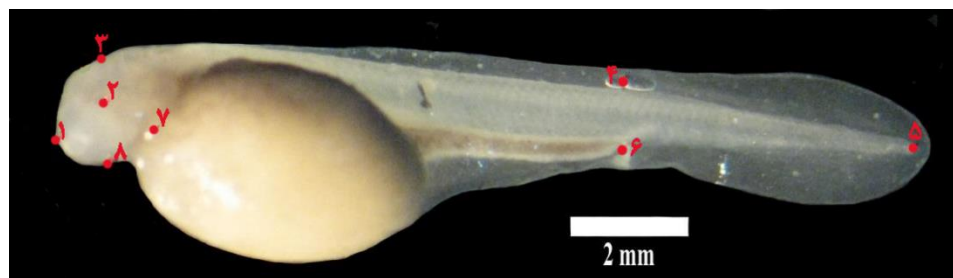
استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) از جمله ماهیان خاویاری ارزشمند آب شیرین است که در حوضه‌های آبریز دریای خزر، سیاه، سفید و همچنین حوضه‌های آبریز دریای کارا و به ندرت دریای بالتیک به سر می‌برد (Rybníkáret al. 2014). این گونه به دلیل اینکه در سنین پایین به بلوغ می‌رسد و همچنین داشتن گوشت و خاویار با ارزش دارای اهمیت ویژه‌ای در صنعت آبزی‌پروری است (Wegner et al. 2009). در این گونه، نرها در سن ۴-۵ سالگی و ماده‌ها در سن ۷-۹ سالگی به بلوغ می‌رسند (Berg et al. 1949). به دلیل همین بلوغ سریع استرلیاد، این گونه یکی از مناسب‌ترین گونه‌ها برای آبزی‌پروری آبهای داخلی است

غیرشکل شامل اندازه، جهت و موقعیت از آنالیز پروکراست (GPA) استفاده شد و سپس داده‌های حاصل با استفاده از آنالیز (RW) Relative Warp که نظیر آنالیز PCA است، به منظور بررسی روند تغییرات شکل بدن مورد تحلیل قرار گرفتند (Rohlf, 1998). برای ترسیم نمودارهای RW از مجموع نمونه‌های هر مرحله‌ی نمونه‌برداری (هر سن)، شکل اجماع (میانگین) آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار tpsSmall استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. در این آنالیز از امتیازات RW (RW1 و RW2) به عنوان شاخص‌های توصیف‌کننده تغییرات شکل بدن استفاده شد (Bookstein, 1996). همبستگی بین شاخص‌های توصیف‌کننده شکل بدن یعنی RW1 و RW2 و طول کل با استفاده از آنالیز رگرسیون با ارزش P حاصل از Permutation test با ۱۰۰۰ تکرار در نرم‌افزار tpsReg (Rohlf, 2003) مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت، آنالیز خوشه‌ای بر اساس ۸ لندمارک و مجذور فاصله اقلیدسی با استفاده از الگوریتم Ward برای گروه‌بندی نمونه‌ها از نظر سن (استخراج مراحل تکوینی بر اساس شکل بدن) انجام شد (Legendre and Legendre, 1998). در نهایت، روند تغییرات ریختی و تکوینی لاروها در مراحل اولیه رشد توسط استریومیکروسکوپ (Leica MS5 (Leica Camera AG, Germany) در بزرگنمایی‌های مختلف بررسی و توصیف شد.

موجود در موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر، از روز نهم بعد از تخم‌گذاری ماهی‌ها با ناپلیوس‌های آرتمیا (۵۰۰ ناپلیوس به ازای هر لارو) و از روز دوازدهم تا بیستم با مخلوط ناپلیوس آرتمیا و دافنی تغذیه شدند و از روز بیستم تا پایان دوره پرورش از طریق غذای دستی بیومار به نسبت ۱۰٪ وزن بدن در روز غذادهی شدند. در طول دوره آزمایش، در مجموع تعداد ۱۹۰ عدد نمونه برداری شد. لاروها به صورت روزانه تا روز دهم و سپس در روزهای ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۵، ۳۱، ۳۶، ۴۲ و ۵۰ بعد از تخم‌گذاری به تعداد ۱۰ عدد نمونه‌برداری شدند. نمونه‌ها بلافاصله پس از نمونه‌برداری در عصاره گل میخک بیهوش و سپس از سمت جانبی چپ آنها با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال (Canon SD8900) با قدرت تفکیک ۱۲ مگاپیکسل عکس‌برداری شد.

#### آنالیز ریخت‌سنجی هندسی

به منظور مطالعه تغییرات شکل بدن با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی (لندمارک‌پایه)، پس از تعریف تعداد ۸ لندمارک هم‌ساخت بر روی بدن ماهی‌ها، با استفاده از نرم‌افزارهای tpsUtil (Rohlf, 2005) از تصاویر دیجیتالی، فایل tps تهیه و با استفاده از نرم‌افزار tpsDig2 (Rohlf, 2005) رقومی شدند (شکل ۱). برای حذف اثرات



شکل ۱- لندمارک‌های تعریف شده به منظور استخراج داده‌های شکل بدن. ۱- ابتدایی‌ترین بخش فک بالا، ۲- مرکز چشم، ۳- لبه بالایی سر عمود بر مرکز چشم، ۴- لبه پشتی بدن عمود بر مخرج، ۵- انتهای نوتوکورد یا ستون مهره، ۶- مخرج، ۷- قسمت پایینی انتهای سرپوش آبششی ۸- لبه پایینی سر عمود بر مرکز چشم.

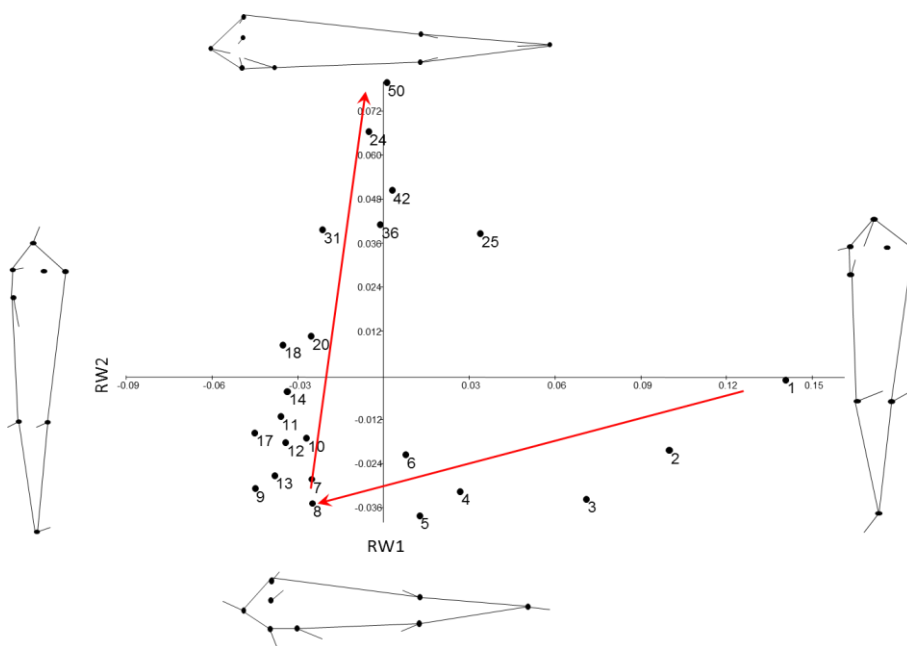
جابه‌جایی قدیمی موقعیت چشم، (۳) رشد نسبی بیشتر طول تنه و (۴) متمایل شدن دم به سمت بالا است.

بر اساس نتایج مربوط به مدل رگرسیون تغییرات شکل بدن با استفاده از نرم‌افزار tpsReg و آزمون Goodal F با مقدار  $۰.۶۲/۲۵$  ( $P < ۰/۰۰۱$ ) رابطه مناسبی بین متغیرهای شکل بدن و طول کل در مراحل اولیه رشد را نشان داد. به‌علاوه نتایج نشان داد که رابطه بین شاخص توصیف‌کننده شکل بدن RW1 و طول کل شامل دو مرحله با یک نقطه عطف در روز ۶ بعد از تخم‌گذاری ( $TL = ۱۵/۰۸$ ) است که در مرحله اول و قبل از عطف یک همبستگی پایین ( $R^2 = ۰/۸۳۲$ ) و بعد از نقطه عطف یک همبستگی پایین ( $R^2 = ۰/۲۱۲$ ) وجود داشت (شکل ۳). در نهایت آنالیز خوشه‌ای داده‌های شکل بدن بر اساس شکل اجماع هر سن و با توجه به روند توسعه ویژگی‌های ریختی مراحل اولیه تکوین به سه مرحله کلی دسته‌بندی شد (شکل ۴).

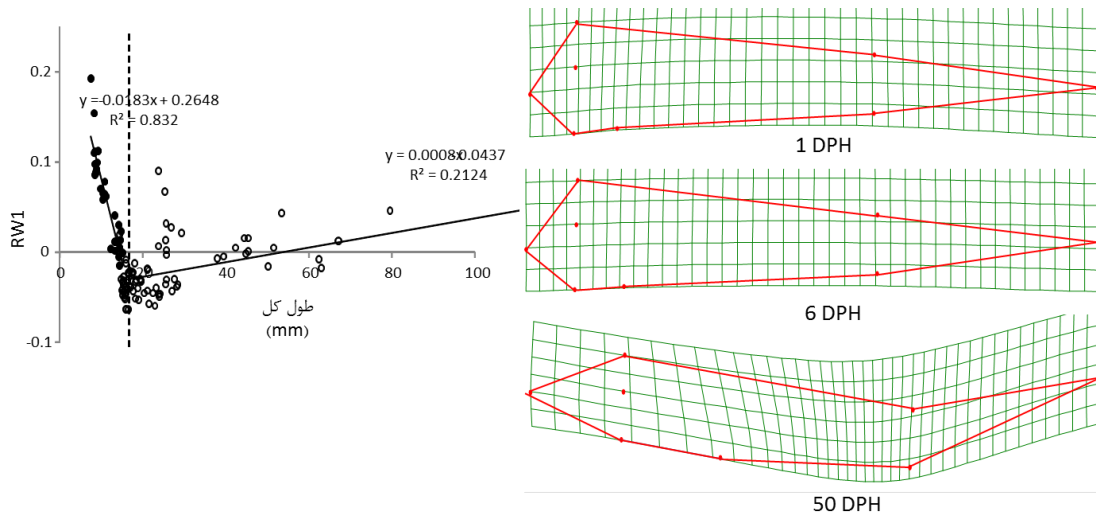
## نتایج

### ریخت‌سنجی هندسی

در آنالیز RW دو مؤلفه نخست در مجموع  $۸۲/۵۷\%$  از واریانس داده‌های مربوط به تغییرات شکل بدن را شامل می‌شدند ( $RW1 = ۵۳/۸۶\%$  و  $RW2 = ۲۸/۷۱\%$ ). شکل ۲ نمودار پراکنش نمونه‌های لاروها را بر اساس روند تغییرات شکل در امتداد محورهای RW1 و RW2 نشان می‌دهد. اعداد بیان شده از کوچک به بزرگ بیانگر روند تغییرات سن نمونه‌ها است. بر اساس نتایج، از روز اول تا ششم بعد از تخم‌گذاری پراکنش نمونه‌ها بیشتر در امتداد محور RW2 بود. عمده تغییرات شکل بدن در طول محور RW2 بر اساس سن نمونه‌ها از  $+RW2$  به  $-RW2$  شامل (۱) افزایش طول و عرض سر و (۲) دراز شدن طول دم بود. نتایج همچنین نشان داد که از روز ۶ تا ۵۰ پس از تخم‌گذاری روند تغییرات شکل بدن در طول محور RW1 (از  $-RW1$  تا  $+RW1$ ) بوده و بر اساس سن نمونه‌ها این تغییرات شامل (۱) رشد نسبی کمتر طول و عرض سر و (۲)



شکل ۲- نمودار آنالیز Relative Warp نمونه‌های *A. ruthenus* بر اساس تغییرات شکل بدن از روز تخم‌گذاری تا روز ۵۰ بعد از آن در طول محور RW1 و RW2. کم سن‌ترین نمونه با شماره ۱ نشان داده شده و نمونه‌های با سن بیشتر با اعداد بزرگ‌تر علامت‌گذاری شده‌اند.



شکل ۳- روند تغییرات شکل بدن *A. ruthenus* از روز تخم‌گذاری تا ۵۰ روز بعد از آن بر اساس RW1 نسبت به طول کل (خط چین نشان‌دهنده نقطه عطف است).

### تغییرات ریختی

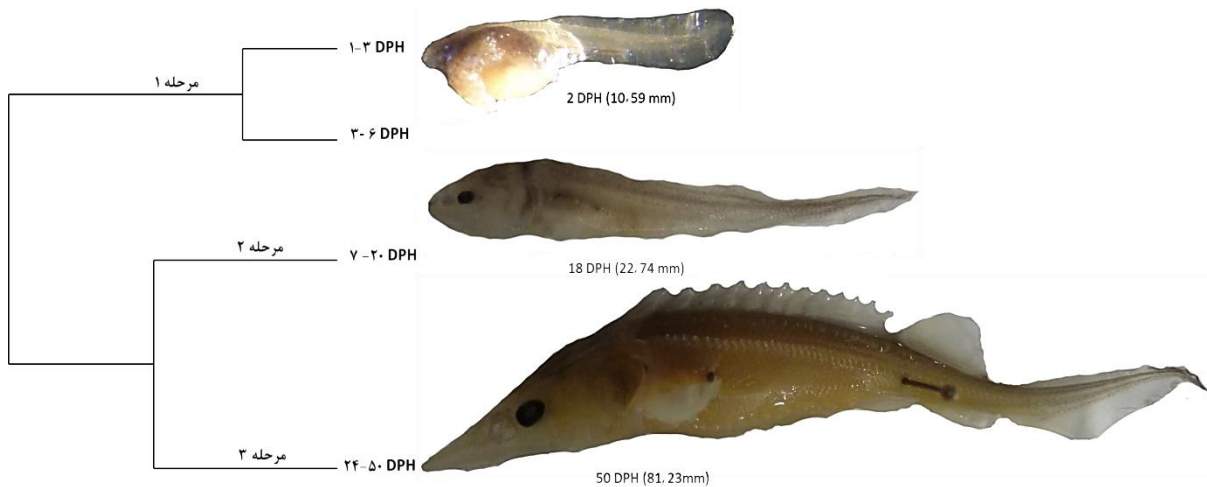
بررسی تغییرات ریختی در مرحله اولیه تکوین نشان داد که پس از تخم‌گذاری (TL=۸/۳۵ mm) دهان و شکاف آبششی هنوز شکل نگرفته بودند. رنگ بدن نسبتاً تیره بود که بیانگر مقادیر بالای ملانین در سلول‌های اپیدرمی آنها است. اندازه سر نیز نسبت به تنه کوچک و تا حدی به سمت توده کیسه زرده خمیده بود. تنه و دم با چین باله‌ای محصور شده و جوانه باله‌های شکمی و سینه‌ای هنوز ظاهر نشده بودند. چشم‌ها نیز به صورت نقاط ریز تیره رنگ دیده می‌شدند. در روز دوم بعد از تخم‌گذاری (mm TL=۸/۶۷) دهان و اولین کمان آبششی شروع به شکل‌گیری کرده و جوانه‌های باله‌های سینه‌ای پدیدار شدند. خمیدگی سر کمتر شده، دهان از قسمت میانی باز شد و جوانه سبیلک‌ها نیز در جلوی دهان پدیدار شدند. در روز سوم (TL=۱۰/۵۹ mm) دم به آرامی به سمت بالا انحنا یافته و شکاف آبششی کاملاً باز شد. فاز بعدی رشد در مرحله اول تکوین از روز چهارم پس از تخم‌گذاری (mm TL=۱۳/۱۱) همزمان با پیدایش چین کوچکی در گوشه دهان آغاز شد. در این روز باله‌های سینه‌ای بزرگ‌تر شده و کمی به سمت پایین متمایل شدند. باله دمی از باله‌های مخرجی و پشتی با شیار ملایمی جدا شد. دومین کمان آبششی نیز در این زمان مشخص شد و اولین ردیف

رشته‌های اولین کمان آبششی کمی طولی‌تر شد. دومین ردیف رشته‌های اولین آبشش هنوز کوتاه بودند. اولین ردیف رشته‌های دومین کمان آبششی نیز در این روز ظاهر شدند. در روز پنجم (TL=۱۳/۳۲ mm) باله‌های شکمی و مخرجی و لبه پایینی باله دمی توسعه یافته و جوانه‌های سبیلک‌ها نیز طولی‌تر شدند. در روز ششم (TL=۱۳/۲۵ mm) لب‌های تقسیم‌کننده حفره بویایی به هم متصل شدند و دم نیز بیشتر به سمت بالا انحنا یافت. ردیف دوم رشته‌های آبششی در کمان آبششی دوم جوانه زد و ردیف اول رشته‌های آبششی سومین کمان آبششی نیز آغاز به شکل‌گیری کرد. مرحله بعدی رشد از روز هفتم بعد از تخم‌گذاری (TL=۱۴/۰۹ mm) آغاز شد و عمده تغییرات ریختی در این مرحله شامل: (۱) پهن‌تر شدن بخش انتهایی باله مخرجی و رسیدن باله سینه‌ای به میانه جانبی بدن موجود در روز هفتم بعد از تخم‌گذاری، (۲) پیدایش جوانه رشته‌های آبششی ثانویه در اولین آبشش و شکل‌گیری کمان آبششی چهارم در روز هشتم بعد از تخم‌گذاری (TL=۱۶/۰۶ mm)، (۳) ظهور پلاک‌های استخوانی پشتی و همچنین قطعات استخوانی روی سطح سر از روز نهم و دهم پس از تخم‌گذاری (mm TL=۱۶/۱-۱۶/۳۸) و (۴) کاهش شدید حجم کیسه زرده و آغاز انتقال به مرحله تغذیه فعال و ظهور پلاک‌های استخوانی

پلاک استخوانی به ۱۸-۱۳ عدد رسید و بعضی ویژگی‌های جدید ماهی‌های نوجوان پدیدار شد. ردیف‌های پشتی، پهلویی و شکمی پلاک‌های استخوانی پشتی به خوبی توسعه یافتند و به‌علاوه، نوک پوزه کاملاً تیز شده بود.

پهلویی و شکمی در سطح از روز هجدهم بعد از تخم‌گذاری (LT=۲۱/۷ mm) بود.

از روز بیستم (TL=۲۲/۲۵ mm) بعد از تخم‌گذاری، لارو ماهی‌ها شکل مینیاتوری ماهی جوان بوده و از نظر ظاهری واجد ریخت یک موجود بالغ شدند. در این روز ردیف‌های



شکل ۴- دندوگرام آنالیز خوشه‌ای تغییرات شکل بدن در *A. ruthenus* از روز تخم‌گذاری تا ۵۰ روز بعد از آن.

اولویت‌های زیستی تاسماهی استرلیاد است را به سه مرحله مجزا تقسیم کند.

عمده تغییرات شکل بدن در مرحله اول تکوین تاسماهی استرلیاد تا روز ششم بعد از تخم‌گذاری شامل افزایش طول سر و دم بود. رشد سر یک ویژگی معمول در انتورثنی اولیه ماهی‌ها است که با تکوین مغز، اندام‌های حسی، تغذیه‌ای و تنفسی ارتباط دارد (Fuiman, 1983; Osse and Van Der Boogart, 1995; Van Snik et al. 1997; Osse et al. 1997; Gisbert, 1999; Loy et al. 2001; Gisbert and Doroshov, 2006). زرگریان و همکاران (۱۳۹۲) بیان داشتند که رشد طول سر در دوره اولیه لاروی تاسماهی استرلیاد آلومتریک مثبت بود که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. تغییرات ریختی سر در این مرحله شامل باز شدن شکاف دهان و شکاف آبششی (روز دوم بعد از تخم‌گذاری) و پیدایش نخستین جوانه‌های بویایی و سبیلک‌ها (روز پنجم و ششم بعد از تخم‌گذاری) است. توسعه سبیلک‌ها و اندام بویایی در این مرحله به ماهی اجازه یافتن غذا در هنگام اتمام ذخیره

#### بحث

در طی مراحل اولیه تکوین، تغییرات سیستم‌های عملکردی همگام با توسعه شکل بدن به وقوع می‌پیوندد و در واقع، مراحل تکوین شکل بدن ارتباط نزدیکی با تغییرات عملکردی و در نتیجه تغییر شرایط محیطی و منابع مورد استفاده از قبیل غذا و زیستگاه دارد (Russo et al. 2007). 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 داده و همزمان سیستم‌های تغذیه‌ای و حرکتی نیز باید به همان اندازه توسعه پیدا کند (Osse et al. 1997). بنابراین، توسعه شکل بدن بر اساس اولویت‌های زیستی است و استخراج چنین اولویت‌هایی می‌تواند به درک و شناخت مراحل مختلف لاروی یک گونه کمک کند. نتایج تحقیق حاضر نیز به خوبی توانست بر اساس تغییرات شکل بدن مستخرج از روش ریخت‌سنجی هندسی و با استفاده از آنالیز خوشه‌ای، مراحل لاروی این گونه از زمان تخم‌گذاری تا ۵۰ روز بعد از آن بر اساس روند تغییرات ریختی که منطبق بر

در مرحله آخر تکوین، تغییر شکل بدن ماهی به صورت شکل مینیاتوری ماهی بالغ بود که از نظر ظاهری واجد ریخت یک موجود بالغ است و بعد از روز ۲۴ پس از تخم‌گذاری در تاسماهی استرلیاد به وقوع پیوست. به نظر می‌رسد که دراز شدن و نوک‌تیز شدن پوزه در این مرحله، می‌تواند بیانگر نوعی سازگاری برای کاهش مصرف انرژی در حرکت ماهی و کاهش نیروهای اصطکاک بر روی بدن ماهی باشد (Osse and Van den Boogart, 1995; Van Sink et al. 1997). همچنین، دراز شدن پوزه می‌تواند بیانگر ایجاد توسعه گیرنده‌های الکتریکی، چشایی و حرکتی در سطح شکمی پوزه نیز باشد که به یافتن غذا در این گونه بنتیک کمک کند. این گونه از سخت‌پوستان، کرم‌ها و حشرات آبی تغذیه می‌کند (Gerasimov and Vasyura, 2013). در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد که تکوین سیستم‌های عملکردی از قبیل توسعه ساختارهای کسب غذا، جوانه‌های بویایی و آبشش و تغییرات شکل بدن شامل طول سر و دم در مرحله اول، رشد بیشتر تنه در مرحله دوم و افزایش طول و نوک تیز شدن پوزه در مرحله سوم همگام با اولویت‌های زیستی تاسماهی استرلیاد از قبیل کسب غذا، فرار از شکارچی و تنفس در هر مرحله تکوین است که می‌تواند به درک بهتر نیازهای موجود در پرورش لارو آن کمک کند.

#### تشکر و قدردانی

از موسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر (رشت، ایران) به واسطه تأمین نمونه‌ها و از دانشگاه تهران به واسطه حمایت مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

قیاسی، س.، فلاحتکار، ب. ۱۳۹۳. تغییرات فیزیولوژیک و عملکرد تولیدمثلی مولدین ماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در حضور یا عدم حضور تیمین در جیره. تغذیه و بیوشیمی آبزیان ۱: ۱-۱۴.

Abdali, H., Eagderi, S. 2015. Ontogeny of gill structure in Sterlet, *Acipenser ruthenus*

کیسه زرده را می‌دهد (زرگریان و همکاران، ۱۳۹۲). به علاوه، رشد نسبی بیشتر طول دم در این دوره 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).

عمده تغییرات شکل بدن در مرحله دوم مربوط به انحنای دم به سمت بالا، رشد بیشتر طول تنه و رشد نسبی کمتر سر نسبت به طول بدن بود. همزمان با شروع این مرحله، کاهش شدید حجم کیسه زرده مشاهده شد که در واقع، حاکی از وارد شدن ماهی به مرحله تغذیه فعال در روز نهم پس از تخم‌گذاری است (Abdali and Eagderi, 2015). تغییرات ریختی در این مرحله شامل کامل شدن کمان‌ها و رشته‌های آبششی در روز هشتم بود. تکوین ساختارهای آبششی در این مرحله منجر به تغییر استراتژی تنفس از حالت پوستی به آبششی شده که در نتیجه، اکسیژن بیشتری برای اندام‌های ماهی فراهم می‌آورد (Dettlaff et al. 1993) و می‌تواند با تغییر الگوهای حرکتی و شنای موجود مرتبط باشد (Gisbert, 1999). تکمیل تمایز باله‌ها در شروع این دوره می‌تواند بیانگر این تغییر الگوی شنا در تاسماهی استرلیاد باشد. همچنین، افزایش رشد تنه و ایجاد بدن پهن‌تر ممکن است احتمالاً با رفتار تغذیه از بستر ارتباط داشته باشد (Joakim et al. 2003). تمایز باله‌های فرد و رشد طول دم ماهی، همگی با بهبود قدرت شنای ماهی همراه است که به لاروها این توانایی را می‌دهد تا فعالانه در منطقه گسترده‌ای پراکنش یافته 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, 1999).

#### منابع

زرگریان، پ.، کمالی، ا.، ایگدری، س.، معیر، ف. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات ریختی و آلومتری رشد تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) در طی تکوین لاروی. محیط زیست جانوری ۵: ۷۸-۷۱.

- (Linnaeus, 1758). Iranian Journal of Ichthyology 2: 87-92.
- Berg, L.S., Bogdanov, A.S., Kozhin, N.I., Rass, T.S. 1949. Promyslovyeryby SSSR. Atlas tsvetnykhrisunkovryb, Mockva.
- Bookstein, F.L. 1991. Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology. Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge, 435 p.
- Bookstein, F.L. 1996. Combining the tools of geometric morphometry. In: Advances in Morphometry Marcus, L.F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G.J.P., Slice, D.E. (Eds.). New York: Plenum Press, 131-152.
- Dettlaff, T.A., Ginsburg, A.S., Schmalhausen, O.I. 1993. Sturgeon Fishes. Developmental Biology and Aquaculture. Berlin: Springer-Verlag, Berlin, 300 p.
- Fuiman, L.A. 1983. Growth gradients in fish larvae. Journal of Fish Biology 23: 117-123.
- Gerasimov, Y.V., Vasyura, O.L. 2013. Growth and feeding of juvenile sterlet *Acipenser ruthenus* L. (Acipenseridae) in a pond after various durations of being preliminarily kept in tanks. Inland Water Biology 6: 228-235.
- 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., Doroshov, S.I. 2006. Allometric growth in green sturgeon larvae. Journal of Applied Ichthyology 22: 202-207.
- Gisbert, E., Merino, G.E., Mugeut, J.B., Bush, D., Piedrahita, R.H., Conklin, D.E. 2002. Morphological development and allometric growth patterns in hatchery-reared California halibut larvae. Journal of Fish Biology 61: 1217-1229.
- Joakim, H., Gerco, H.V.D.W., Ferdinand, A.S. 2003. Functional link between foraging performance, functional morphology, and diet shift in roach (*Rutilus rutilus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 60: 700-709.
- Loy, A., Bertelletti, M., Costa, C., Ferlin, L., Cataudella, S. 2001. Shape changes and growth trajectories in the early stages of three species of the genus *Diplodus* (Perciformes, Sparidae). Journal of Morphology 250: 24-33.
- Legendre, P., Legendre, L. 1998. Numerical Ecology, 2nd edn. Amsterdam: Elsevier Science B.V. Elsevier Science BV, Amsterdam, The Netherlands, 853 p.
- Osse, J.W.M., Van Den Boogart, J.G.M. 1995. Fish larvae, development allometric growth, and the aquatic environment. ICES Marine Science Symposium 201: 21-34.
- Osse, J., Van Den Boogaart, J., Van Snik, G., Van Der Sluys, L. 1997. Priorities during early growth of fish larvae. Aquaculture 155: 249-258.
- Peña, R., 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.
- Rohlf, F.J. 1998. On applications of geometric morphometrics to studies of ontogeny and phylogeny. Systematic Biology 47: 147-158.
- Rohlf, F.J. 2003. tpsRegr, shape regression, version 1.28. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J. 2005. <http://life.bio.sunysb.edu/ee/rohlf/software.html>. Downloaded on 01 April 2015.
- Russo, T., Costa, C., Cataudella, S. 2007. Correspondence between shape and feeding habit changes throughout ontogeny of gilthead sea bream *Sparus aurata* L., 1758. Journal of Fish Biology 71: 629-656.
- Rybníkář, J., Prokeš, M., Mareš, J., Čileček, M. 2014. Early development and growth of sterlet (*Acipenser ruthenus*) in the Czech Republic. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis 59: 217-226.
- Van Snik, G.M.J., Van Den Boogaart, J.G.M., Osse, J.W.M. 1997. Larval growth patterns in *Cyprinus carpio* and *Clarias gariepinus* with attention to finfold. Journal Fish Biology 50: 1339-1352.
- Wegner, A., Ostaszewska, T., Roek, W. 2009. The ontogenetic development of the digestive tract and accessory glands of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) larvae during endogenous feeding. Reviews in Fish Biology and Fisheries 19: 431-444.
- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D., Fink, W.L. 2004. Geometric Morphometrics



for Biologists: A Primer. Elsevier (USA),

Academic Press, New York, 416 p.

## **Morphological development and body shape change of Sterlet (*Acipenser ruthenus*) using geometric morphometric technique during early development**

**Fatemeh Moshayedi<sup>1</sup>, Soheil Eagderi<sup>\*1</sup>, Pegah Zargarian<sup>2</sup>, Masoud Iri<sup>3</sup>**

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

2- Fisheries Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Fisheries Department, Agricultural and Natural Resources Faculty, Gonbad Kavoods University, Gonbad Kavoods, Iran

Received 2 April 2016; accepted 10 September 2016

### **Abstract**

This research was conducted to study the morphological development and body shape changes of the Sterlet (*Acipenser ruthenus*) using geometric morphometric technique during early development from hatching up to 50 days post-hatch (dph). A total of 190 specimens were collected from different early developmental stages. The left side of specimens was photographed to extract body shape data. Then 8 homologous landmark-points were defined and digitized on 2D pictures using tpsDig2 software. Landmark data after Generalized Procrustes Analysis (GPA), analyzed using Relative Warp. The results showed that change of body shape in the Sterlet during early development includes the increased length of head and tail up to 6 dph at first phase and the decreased relative growth of the depth and length of head, development of the trunk region and upward bending of tail at next stages. The cluster analysis based on body shape changes of specimens to identify age and size groups revealed that larval stages of this species can be divided into three stages including (1) 1-6 dph comprising development of the head, caudal region, opening mouth, gill slits, the taste and olfactory buds, (2) 7-23 dph consisting of increased relative growth of the trunk region, complete formation of the gills and fins and starting exogenous feeding and (3) juvenile stage (from 24-50 dph) including formation of a miniaturized specimen similar to that of adults. Based on the finding, the body shape changes of this species during early development is due to adjusting its vital priority.

**Keywords:** Sterlet, Ontogeny, Body shape, Geometric morphometric

\* Corresponding author: soheil.eagderi@ut.ac.ir