University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 11, No. 4, 2026, pages: 15-31
DOI: 10.22124/janb.2026.34176.1313

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Comparative effects of vitamin C injection and dietary supplementation on growth performance and egg characteristics in female sterlet, *Acipenser ruthenus* broodstock

Maryam Madadi[1], Bahram Falahatkar[1]*, Roghieh Safari[2], Faezeh Mortezaei[2]

1- Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran

2- Department of Fisheries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran

Received 06 November 2025 Revised 19 December 2025 Accepted 20 December 2025 Published online 14 September 2026

KEYWORDS

Ascorbic acid
Sterlet
Broodstock
Nutrition
Oocyte diameter
Somatic growth

ABSTRACT

Introduction: Reproductive performance in female sturgeon is governed by a complex interaction of nutritional, hormonal, and environmental factors, with nutrition playing a central role in modulating the hypothalamic–pituitary–gonadal (HPG) axis and supporting gametogenesis. Among nutritional factors, vitamin C, a vital water-soluble micronutrient, significantly contributes to growth and broodstock reproductive functions. However, despite the intrinsic synthesis capability of sturgeons, heightened physiological demands under intensive aquaculture conditions necessitate further investigation into optimal supplementation strategies. Given the importance of aquaculture, this study compared the effects of dietary and injectable vitamin C supplementation on growth performance and oocyte characteristics in sterlet *Acipenser ruthenus* female broodstock.

Materials and Methods: A total of 36 female broodfish with an average body weight of 812.46 ± 174.96 g were randomly assigned to four treatments including: Control (fed a basal diet without vitamin C and without injection; F−I−), dietary vitamin C supplementation at 1000 mg/kg diet without injection (F+I−), injection of vitamin C at 50 mg/kg body weight while fed the unsupplemented basal diet (F−I+), and combined dietary (1000 mg/kg diet) + injectable (50 mg/kg body weight) vitamin C (F+I+) were evaluated over a 60-day experimental period. Growth indices and egg characteristics, including germinal vesicle (GV) polarization index and egg diameter, were measured at three sampling times: the first stage (before the start at the initiation of the

experiment), the second stage (30 days after the start of the experiment), and the third stage (60 days after the start of the experiment). Data were analyzed using repeated measures ANOVA to examine the effects of treatment and time.

Results: No statistically significant differences were observed among the experimental groups (F−I−, F+I−, F−I+, and F+I+) regarding growth indices at any stage (P>0.05). Survival remained 100% in all treatments throughout the study. Regarding oocyte quality, GV index showed no significant interaction between time and treatment (P=0.99) and no significant effect of treatment (P=0.75). Similarly, oocyte diameter increased over time, with the smallest values recorded in phase 1 (P=0.02). No significant treatment effect (P=0.86) or time × treatment interaction (P=0.56) was found for oocyte diameter.

Discussion: The absence of significant growth responses may be attributed to the prioritized allocation of metabolic energy toward vitellogenesis rather than somatic growth during the final stages of maturation. Furthermore, the endogenous ability of sturgeon to synthesize ascorbic acid, coupled with high tissue storage capacity, likely masked the effects of short-term supplementation. The observed changes in GV index and oocyte diameter were consistent with the natural progression of ovarian maturation regulated by the HPG axis, rather than a direct consequence of vitamin C supplementation.

Conclusion: The findings of this study indicate that growth performance and oocyte characteristics in female sterlet broodstock were unaffected by the applied doses of dietary and injected vitamin C. Instead, changes in these parameters were primarily driven by the progression of time and the natural course of gonadal maturation. Further studies on biochemical indicators, such as antioxidant enzyme activity under stress, are recommended.

*Corresponding author: falahatkar@guilan.ac.ir

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال یازدهم، شماره چهارم، دی ۱۴۰۴، صفحات ۳۱-۱۵

DOI: 10.22124/janb.2026.34176.1313

"مقاله پژوهشی"

مقایسه اثرات تزریق و تغذیه با ویتامین C بر عملکرد رشد و ویژگی‌های تخمک در ماهیان مولد ماده استرلیاد (*Acipenser ruthenus*)

مریم مددی[۱]، بهرام فلاحتکار*[۱]، رقیه صفری[۲]، فائزه مرتضائی[۱]

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، گیلان

۲- گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، گلستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۲۳

چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه اثرات تغذیه‌ای و تزریقی ویتامین C بر عملکرد رشد و ویژگی‌های تخمک استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) مولد ماده انجام شد. تعداد ۳۶ قطعه مولد ماده با میانگین وزن ۱۷۴/۹۶ ± ۸۱۲/۹۶ گرم در چهار تیمار شامل: شاهد (تغذیه با جیره پایه فاقد ویتامین C و بدون تزریق؛ F-I-)، تغذیه شده با ویتامین C با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره، بدون تزریق (F+I-)، تغذیه با جیره شاهد فاقد ویتامین، تزریق شده با ویتامین C با دوز ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (F-I+) و تغذیه و تزریق شده با ویتامین C (F+I+) به‌مدت ۶۰ روز بررسی شد. شاخص‌های رشد و ویژگی‌های تخمک شامل موقعیت هسته و قطر در سه مقطع زمانی شامل مرحله اول (شروع آزمایش) مرحله دوم (۳۰ روز پس از آزمایش) و مرحله سوم (۶۰ روز پس از آزمایش) اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تیمارهای تغذیه‌ای یا تزریقی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد در طی دوره آزمایش نداشتند ($P>0/05$). اثر زمان بر شاخص موقعیت هسته معنی‌دار بود و بالاترین میزان آن در مرحله اول مشاهده شد ($P<0/001$). قطر تخمک نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت ($P=0/86$)، اما در مرحله اول آزمایش به‌طور معنی‌دار نسبت به دو مرحله دیگر کاهش یافت ($P=0/02$). یافته‌های این تحقیق حاکی از آن است که رشد و ویژگی‌های تخمک در ماهیان مولد ماده استرلیاد، تحت تأثیر دوزهای به‌کار رفته ویتامین C (تزریقی و خوراکی) قرار نگرفتند و تغییرات فراسنجه‌های مذکور عمدتاً تابع زمان و سیر طبیعی رسیدگی گنادی بود. لذا به نظر می‌رسد که اثرات احتمالی ویتامین C بر دیگر جنبه‌های تولیدمثلی این گونه نیازمند بررسی‌های تکمیلی باشد.

کلمات کلیدی

ویتامین C

استرلیاد

ماهیان مولد

تغذیه

قطر تخمک

رشد سوماتیک

نویسنده مسئول: falahatkar@guilan.ac.ir

مقدمه

فرآیند تولیدمثل در ماهیان ماده تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل تغذیه‌ای، هورمونی و محیطی قرار دارد و تغذیه به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل داخلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم فعالیت محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد (HPG)[1] و پیشرفت گنادوژنز ایفا می‌کند (Gabilondo et al. 2022). فعال‌سازی این محور از طریق ترشح گنادوتروپین‌ها موجب تحریک رشد فولیکول‌های تخمدانی، تولید هورمون‌های جنسی و آغاز مسیرهای مرتبط با ساخت ویتلوژنین در کبد می‌شود. ویتلوژنین به‌عنوان پیش‌ساز اصلی زرده، در تخمک تجمع یافته و نقش مهمی در تعیین کیفیت تخم و موفقیت مراحل اولیه رشد جنینی دارد (Lubzens et al. 2010). در نتیجه، عواملی که بر این مسیرها اثر می‌گذارند می‌توانند شاخص‌هایی مانند هماوری، اندازه تخمک و عملکرد تولیدمثلی ماهیان مولد را تحت تأثیر قرار دهند (Fernandez-Palacios et al. 1997). در میان عوامل تغذیه‌ای، ریزمغذی‌ها به‌ویژه ویتامین‌ها نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با تولیدمثل دارند. این ترکیبات می‌توانند از طریق تأثیر بر مسیرهایی مانند استروئیدوژنز، ساخت زرده، رشد فولیکولی و تنظیم تعادل اکسایش-ضداکسایش، در رشد و تکامل گامت‌ها نقش داشته باشند (Izquierdo et al. 2001). ویتامین C، به‌عنوان یکی از ویتامین‌های محلول در آب، در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و به‌ویژه در تنظیم وضعیت ضداکسایشی بدن نقش دارد (Carr and Frei, 1999; Darias et al. 2011; Zhou et al. 2012; Ighodaro and Akinloye, 2018). همچنین، ویتامین C نقشی بنیادین در ارتقای شاخص‌های رشد و سلامت فیزیولوژیک ماهیان ایفا می‌کند (Khanjani et al. 2025). این ویتامین با ایفای نقش به عنوان کوفاکتور در واکنش‌های هیدروکسیلاسیون، کلاژن می‌سازد و از این طریق به رشد و ترمیم بافت‌ها کمک می‌کند (Trichet, 2015; Ighodaro and Akinloye, 2018). علاوه بر اثرات ساختاری، ویتامین C با مشارکت مستقیم در سوخت و ساز انرژی و بهبود کارایی آنزیم‌های دخیل در ساخت پروتئین، به ارتقای کارایی تغذیه و افزایش وزن کمک کرده و در نهایت با حفظ یکپارچگی یاخته‌ای، روند تقسیم یاخته‌ای و رشد ماهی را در شرایط بهینه قرار می‌دهد (Dabrowski, 2001; Mourente et al. 2007).

علاوه بر نقش تغذیه‌ای، ویتامین C در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با تولیدمثل نیز اهمیت دارد. کمبود این ویتامین می‌تواند موجب کاهش تولید ۱۷بتا-استرادیول و ویتلوژنین شده و روند تکامل تخمدان را مختل کند (Waagbø et al. 1989). در دوره رسیدگی گناد، تأمین کافی مواد مغذی برای پشتیبانی از رشد گامت و موفقیت تولیدمثل ضروری است (Lavens et al. 1999; Furuita et al. 2009). افزایش دریافت ویتامین C در این دوره می‌تواند منجر به تجمع بیشتر این ترکیب در بافت‌های تولیدمثلی و تخم‌ها شده و در نهایت، کیفیت تخم و بقای لاروها را بهبود بخشد (Blom and Dabrowski, 1996; Bell et al. 1997). همچنین، وجود سطوح مناسب این ویتامین در لاروها نیز با بهبود روند رشد گزارش شده است (Jiménez-Fernández et al. 2015). استفاده از این ویتامین در جیره ماهیان مولد نیز در گونه‌هایی مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)، ماهی کاد (*Gadus morhua*) و سوف زرد (*Perca flavescens*) با بهبود عملکرد تولیدمثلی همراه بوده است (Sandnes et al. 1984; Blom and Dabrowski, 1996; Bell et al. 1997; Terova et al. 1998).

با وجود اثرات مثبت ویتامین C، اکثر گونه‌های ماهیان به‌دلیل فقدان آنزیم ال-گلونولاکتون اکسیداز (GLO)[2]، قادر به ساخت ویتامین C در بدن خود نیستند. بنابراین باید این ویتامین را از منابع غذایی دریافت کنند (Dabrowski, 1990). در مقایسه با دیگر گونه‌ها، ماهیان خاویاری تا حدی قادر به ساخت این ویتامین در کلیه هستند، اما در شرایط پرورش متراکم و مواجهه با تنش‌های محیطی، نیاز آن‌ها به منابع خارجی ویتامین C افزایش می‌یابد (Moreau and Dabrowski, 1998; Falahatkar et al. 2006a). کمبود این ویتامین در ماهیان مولد می‌تواند موجب اختلال در رشد فولیکولی، کاهش کیفیت تخمک و افزایش مرگ و میر جنینی شود (Halver, 2002).

[1] Hypothalamus-Pituitary-Gonad

[2] L-Gulonolactone oxidase

به‌منظور تأمین ویتامین C در آبزیان از روش‌های مختلفی مانند افزودن آن به جیره غذایی، غنی‌سازی غذای زنده، تخم و تزریق مستقیم استفاده شده است (Falahatkar et al. 2006b; Fernandez-Diaz et al. 2006; Yamamoto et al. 2011; Madadi and Falahatkar, 2025)؛ با وجود این، هر یک از این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی هستند. در روش تغذیه‌ای، بخشی از ویتامین C ممکن است در طی فرآیند تولید خوراک، نگهداری یا عبور از دستگاه گوارش دچار تخریب اکسیداتیو شده و میزان جذب آن کاهش یابد. در مقابل، تزریق درون‌صفاقی می‌تواند این محدودیت‌ها را تا حد زیادی برطرف کرده و با انتقال مستقیم ویتامین به جریان خون، دسترسی سریع‌تری به بافت‌های هدف فراهم کند. با وجود این، این روش می‌تواند با معایبی مانند ایجاد استرس در ماهی، افزایش خطر آسیب بافتی یا عفونت و نیاز به مهارت و نیروی کار ماهر همراه باشد. با وجود این، مطالعات اندکی به مقایسه مستقیم اثرات این دو روش بر شاخص‌های رشد و ویژگی‌های تخمک در ماهیان پرداخته‌اند.

ماهیان خاویاری از قدیمی‌ترین گروه‌های ماهیان محسوب می‌شوند که در حال حاضر ذخایر طبیعی بسیاری از گونه‌های آن‌ها به‌شدت کاهش یافته و در معرض تهدید قرار گرفته است (IUCN, 2022). از این‌رو، مدیریت صحیح ماهیان مولد و توجه به تولید و پرورش زاده‌ها به‌منظور احیا و حفاظت از ذخایر این گونه‌های ارزشمند، اهمیت ویژه‌ای دارد. مانند دیگر گونه‌های ماهیان، یکی از عوامل کلیدی در موفقیت برنامه‌های تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری، بهبود مدیریت تغذیه‌ای ماهیان مولد است، زیرا کیفیت تخم و کارایی تکثیر مصنوعی تا حد زیاد به وضعیت تغذیه‌ای وابسته است (Lie et al. 2020). با وجود این، اطلاعات موجود درباره نقش ریزمغذی‌هایی مانند ویتامین C در تنظیم رشد و ویژگی‌های تخمک در ماهیان مولد این گروه از ماهیان هنوز محدود است.

در بین گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری، تاسماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند رسیدگی زودرس، رشد مناسب، مقاومت نسبی در برابر استرس و قابلیت سازگاری با شرایط مختلف پرورشی، به‌عنوان یکی از گونه‌های مناسب برای مطالعات تغذیه‌ای و تولیدمثلی شناخته می‌شود (Falahatkar et al. 2012; Ghiasi et al. 2014; Pourhosein Sarameh et al. 2018). این گونه به تغییرات تغذیه‌ای پاسخ فیزیولوژیک قابل‌توجهی نشان می‌دهد و به همین دلیل به‌عنوان مدل مناسبی برای بررسی اثر مکمل‌های غذایی در ماهیان خاویاری استفاده می‌شود (Ineno et al. 2018).

با وجود اهمیت ویتامین C در بهبود عملکرد تولیدمثلی ماهیان، هنوز اطلاعات محدودی درباره کارایی نسبی روش‌های مختلف تأمین این ویتامین، به‌ویژه مقایسه مستقیم روش‌های تغذیه‌ای و تزریقی، در ماهیان خاویاری مولد وجود دارد. روشن شدن این موضوع می‌تواند در بهینه‌سازی راهبردهای مدیریتی تغذیه ماهیان مولد و افزایش کیفیت تخم و بازده تکثیر نقش مهمی داشته باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف مقایسه اثرات تزریق و تغذیه با ویتامین C بر عملکرد رشد و ویژگی‌های تخمک ماهیان مولد ماده استرلیاد طراحی و اجرا شد. فرضیه پژوهش بر این امر استوار شد که تزریق ویتامین C در مقایسه با روش تغذیه‌ای، تأثیر بیشتری بر شاخص‌های رشد و ویژگی‌های تخمک ماهیان مولد ماده استرلیاد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی جیره‌های آزمایشی و تطابق ماهیان با شرایط آزمایش

در این پژوهش، خوراک‌های آزمایشی بر اساس فرمول‌های اختصاصی و با استفاده از تجهیزات کارخانه تخصصی تولید خوراک آبزیان اوان‌دانه (بهشهر، ایران) تهیه شدند (جدول ۱). فرمول‌بندی جیره‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار Lindo V.6.1 (شیکاگو، آمریکا) و بر پایه اطلاعات مربوط به نیازهای تغذیه‌ای ماهیان مولد تاسماهی استرلیاد انجام شد (Pourhosein Sarameh et al. 2018).

در مرحله نخست، مواد اولیه شامل ترکیبات پایه و ریزمغذی‌ها پس از توزین، به‌وسیله دستگاه میکسر به‌صورت یکنواخت مخلوط شدند. سپس مقادیر مشخص روغن و آب به مخلوط افزوده شد تا خمیری همگن حاصل شود. خمیر آماده‌شده به دستگاه پلت‌زن مجهز به قالب‌هایی با قطر ۶ mm منتقل شد و فرآیند تولید پلت انجام شد. جیره پایه شامل پودر ماهی، کنجاله سویا، سبوس گندم، آرد گندم، لسیتین، روغن ماهی، روغن کلزا، پرمیکس ویتامینه فاقد ویتامین C، پرمیکس معدنی، مکمل پروبیوتیک و ضدقارچ بود. همچنین، جیره دیگری با ترکیب مشابه و دوز

۱۰۰۰mg/kg ویتامین C خالص تهیه شد. ویتامین C مورد استفاده به‌صورت ال-اسکوربیل-۲-مونوفسفات (ROVIMIX® STAY-C®) از شرکت DSM (ماستریخت، هلند) و با خلوص ۳۵٪ تهیه شد که از پایداری مناسبی در فرآیند تولید خوراک آبزیان برخوردار بود. پس از تولید، تمامی جیره‌های حاصل در کیسه‌های پلاستیکی ضخیم بسته‌بندی شده و تا زمان مصرف در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سنجش تقریبی ترکیب شیمیایی خوراک‌ها نیز بر اساس روش‌های استاندارد (AOAC, 2012) اندازه‌گیری شد تا یکنواختی و صحت فرمول‌بندی جیره‌ها تأیید شود.

جدول ۱ ترکیبات و آنالیز تقریبی جیره‌های آزمایشی (٪)

Table 1 Composition and proximate analysis of the experimental diets (%)

Ingredients	Experimental diets	
	Control (without vitamin C)	Vitamin C-supplemented
Fish meal[1]	55.00	55.00
Soybean meal[2]	13.00	13.00
Wheat bran	11.28	11.18
Wheat flour	8.00	8.00
Lecithin[3]	4.00	4.00
Fish oil[1]	3.00	3.00
Canola oil[2]	3.00	3.00
Mineral premix[4]	1.00	1.00
Vitamin premix (without vitamin C)[4]	1.50	1.50
Vitamin C[5]	0.00	0.10
Probiotic[6]	0.02	0.02
Antifungal agent[7]	0.20	0.20
Proximate analysis (mean ± SD)		
Protein	44.30 ± 0.42	44.15 ± 0.64
Lipid	18.31 ± 0.12	18.25 ± 0.35
Ash	10.40 ± 0.14	10.35 ± 0.35
Moisture	5.35 ± 0.31	5.35 ± 0.57

1. Kilka fish meal (Kilka Powder Co., Sari, Mazandaran, Iran)
2. Government Trading Corporation of Iran (Amirabad Port, Behshahr, Mazandaran, Iran)
3. Pacific Commodities (Mumbai, India)
4. Proprietary formulation by Abzi-Gostar Avan Co. (Behshahr, Mazandaran, Iran)
5. DSM (Maastricht, Netherlands)
6. Bactocell (Montreal, Canada)
7. Biotox (Arian Dam Alborz Co., Alborz, Iran)

تهیه و نگهداری ماهیان مولد

این پژوهش، در مزرعه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری بامداد، واقع در فاصله ۵ کیلومتری شهر رشت (روستای توسراوندان، استان گیلان) انجام شد. در مرحله آماده‌سازی اولیه، تعداد ۵۰ قطعه مولد تاسماهی استرلیاد ۴۳ ماهه با میانگین وزن ۱۷۴/۹۶ ± ۸۱۲/۹۶ گرم انتخاب شدند. این ماهیان به‌مدت دو هفته با جیره پایه فاقد ویتامین C تغذیه شدند. هدف از این مرحله، کاهش ذخایر باقیمانده ویتامین C در بافت‌های بدن و ایجاد شرایط یکنواخت فیزیولوژیک پیش از اعمال تیمارهای آزمایشی بود. در طی دوره آزمایش، غذادهی به‌صورت روزانه در دو وعده (ساعت‌های ۹:۰۰ و ۱۸:۰۰) و تا حد سیری ظاهری انجام شد. به‌منظور پایش شرایط محیطی آب، برخی فراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی شامل دمای آب (با استفاده از دماسنج دیجیتال؛ ۱/۲ ± ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد)، اکسیژن محلول (با استفاده از دستگاه اکسی‌متر؛ mg/L ۰/۶ ± ۷/۸) و

pH آب (با استفاده از pH متر دیجیتال؛ ۰/۴ ± ۸/۱) به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت شدند. در ادامه، تعداد ۳۶ قطعه تاسماهی استرلیاد با میانگین وزنی نسبتاً مشابه انتخاب و در یک سالن سرپوشیده در ۱۲ حوضچه پلی‌اتیلنی گرد توزیع شدند. هر حوضچه دارای حجم ۱۲۰ لیتر و عمق آبگیری ۵۰ سانتی‌متر بود و آب با دبی ۰/۱۸ ± ۱۲/۳ لیتر در دقیقه در آن‌ها جریان داشت. تمامی مخازن، روزانه دو مرتبه (یک ساعت قبل و پس از اتمام غذادهی) به‌منظور حذف مواد زائد و خوراک باقی‌مانده سیفون شدند. آب مورد استفاده برای پرورش از ترکیب مساوی آب چاه و آب رودخانه تأمین شد. همچنین، رژیم نوری به‌صورت چرخه ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم شد.

طراحی آزمایش

این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تیمار آزمایشی، هر یک در سه تکرار، اجرا شد. در هر تکرار، سه قطعه تاسماهی استرلیاد استفاده شد. در آغاز آزمایش، از تمامی ماهیان زیست‌سنجی اولیه شامل اندازه‌گیری درازای کل و وزن بدن انجام شد و نمونه‌برداری از تخمک‌ها به‌منظور تعیین قطر تخمک و شاخص موقعیت هسته در تخمک (GV[1]) انجام شد. نحوه توزیع ماهیان در حوضچه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شد که اختلاف معنی‌داری از نظر میانگین وزن بدن، قطر تخمک و شاخص GV میان تیمارها و تکرارها وجود نداشته باشد. همچنین، برای حذف اثر احتمالی موقعیت مکانی حوضچه‌ها، استقرار تکرارها به‌صورت تصادفی کامل انجام شد.

تزریق‌ها مطابق با تیمارهای تعریف شده در سه نوبت شامل ابتدای دوره آزمایش (روز صفر)، میانه دوره (روز ۳۰) و پایان دوره (روز ۶۰) انجام شد. به این منظور، ماهیان ابتدا با استفاده از محلول اسانس میخک با غلظت ۳۵۰ mg/L بیهوش شدند (Akbulut et al. 2012) و سپس تزریق در ناحیه حفره شکمی انجام شد. در تیمارهای دریافت‌کننده ویتامین C تزریقی، از ویتامین C تولید شرکت داروپخش (تهران، ایران) با خلوص ۱۰٪ و دوز ۵۰ mg/kg وزن بدن استفاده شد. محلول تزریقی به میزان ۰/۵ mL/kg وزن بدن پس از رقیق سازی تزریق شد. در تیمارهای فاقد ویتامین تزریقی، تنها سرم فیزیولوژی تزریق شد تا اثر ناشی از فرآیند تزریق در تمامی تیمارها یکسان باشد. در این آزمایش، دو نوع جیره شامل خوراک پایه فاقد ویتامین C و خوراک غنی‌شده با ۱۰۰۰ mg/kg ویتامین C خالص استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل -F-I: بدون تزریق ویتامین C + تغذیه با خوراک فاقد ویتامین C (شاهد)، -F+I: بدون تزریق ویتامین C + تغذیه با خوراک حاوی ویتامین C، +F-I: تزریق ویتامین C + تغذیه با خوراک فاقد ویتامین C، +F+I: تزریق ویتامین C + تغذیه با خوراک حاوی ویتامین C بودند. به‌منظور برآورد دقیق میزان خوراک مصرفی، باقی‌مانده خوراک موجود در حوضچه‌ها به‌صورت روزانه سیفون شد و پس از جداسازی از مدفوع ماهیان، توزین شد. سپس با مقایسه وزن خشک اولیه پلت‌ها و مقدار خوراک باقی‌مانده، میزان خوراک مصرف‌شده محاسبه شد (De Silva and Anderson, 1994).

بررسی شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای

دوره آزمایش، به‌مدت ۶۰ روز ادامه یافت. اندازه‌گیری و نمونه‌برداری‌ها در سه مقطع زمانی شامل مرحله اول (شروع آزمایش)، مرحله دوم (۳۰ روز پس از آزمایش) و مرحله سوم (۶۰ روز پس از آزمایش) انجام شد. پیش از هر مرحله نمونه‌برداری، ماهیان به مدت ۲۴ ساعت در شرایط محرومیت غذایی قرار گرفتند. سپس تمامی ماهیان با محلول اسانس میخک بیهوش شدند و اندازه‌گیری درازای کل با استفاده از تخته زیست‌سنجی با دقت ۱ mm و وزن بدن با ترازوی دیجیتال (MH 886, Dongguan Ming Heng Electronic Technology Co, Dongguan, China) با دقت ۰/۱ گرم انجام شد. شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای بر اساس روابط زیر محاسبه شدند (Falahatkar, 2015):

وزن کسب شده (WG[2]): $WG\ (g) = (g)\text{ وزن نهایی} - (g)\text{ وزن ابتدایی}$

افزایش وزن روزانه (ADG[3]): $ADG\ (g/day) = [(g)\text{ وزن نهایی} - (g)\text{ وزن ابتدایی}] / \text{طول دوره پرورش}$

[1] Germinal vesicle

[2] Weight gain

[3] Average daily growth

ضریب چاقی (CF[1]): $CF = [وزن (g) / طول کل (cm)^3] \times ۱۰۰$

کارایی غذا (FE[2]): FE (٪) = [وزن کسب شده (g) / غذای خشک مصرفی (g)] × ۱۰۰

درصد بقا (SR[3]): SR (٪) = [تعداد ماهیان در انتها / تعداد ماهیان در ابتدا] × ۱۰۰

بررسی شاخص‌های تخمک

نمونه‌برداری از تخمک‌ها مانند شاخص‌های رشد، در سه مقطع زمانی شامل مرحله اول (شروع آزمایش)، مرحله دوم (۳۰ روز پس از آزمایش) و مرحله سوم (۶۰ روز پس از آزمایش) با استفاده از سوند انجام شد. به این صورت که با وارد کردن سوند به حفره شکمی ماهیان، تخمک‌ها استخراج شدند (Falahatkar and Alizadeh Afshar, 2022). بخشی از تخمک‌های برداشت شده در ویال‌های حاوی محلول فرمالین ۱۰٪ تثبیت و تا زمان سنجش شاخص GV و اندازه‌گیری قطر تخمک نگهداری شدند. در مرحله بعد قطر تخمک‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال (Guanglu Motor, Taizhou, China) اندازه‌گیری و ثبت شد. به این صورت که از هر ماهی (۹ ماهی از هر تکرار) قطر ۳۰ عدد تخمک اندازه‌گیری شد. همچنین، پس از جداسازی تخمک‌ها فاصله هسته تا قطب حیوانی و نیز قطر کل تخمک با استفاده از لوپ (Bresser, Germany) اندازه‌گیری و شاخص GV به‌عنوان نسبت فاصله بالایی هسته تا قطب حیوانی به قطر کل تخمک محاسبه شد (Dettlaff et al. 1993).

سنجش‌های آماری

در گام نخست، توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov–Smirnov) ارزیابی شد. برای بررسی تغییرات فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در بین ماهیان مولد، از آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری (Repeated Measures ANOVA) بهره گرفته شد. به‌منظور آزمون فرض کرویت در داده‌های تکراری، آزمون کرویت ماچلی (Mauchly's test of sphericity) به‌کار رفت؛ به‌طوری‌که تیمارهای آزمایشی به‌عنوان متغیر بین‌عاملی (Between-subject factor) و زمان‌های نمونه‌برداری به‌عنوان متغیر درون‌عاملی (Within-subject factor) تعریف شدند. در مواردی که فرض کرویت نقض شد، نتایج با اعمال اصلاح گرین‌هاوس-گایزر (Greenhouse–Geisser correction) گزارش شدند. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون تعقیبی توکی (Tukey's post hoc test) استفاده شد. سطح معنی‌داری آماری در $P<۰/۰۵$ در نظر گرفته شد. کلیه سنجش‌های آماری توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام شد.

نتایج

فراسنجه‌های رشد

در مرحله اول آزمایش (روزهای ۱ تا ۳۰، جدول ۲)، شاخص‌های رشد ماهیان استرلیاد مولد ماده در تیمارهای مختلف تغذیه و تزریق ویتامین C تفاوت آماری معنی‌دار نشان ندادند ($P>۰/۰۵$). بیشترین افزایش وزن روزانه در تیمار F+I- و کمترین مقدار در تیمار شاهد ثبت شد. بیشترین مقدار کارایی غذا در تیمار F+I+ و کمترین مقدار در شاهد ثبت شد، اما این اختلاف‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار نبودند. در مرحله دوم آزمایش (روزهای ۳۰ تا ۶۰، جدول ۳) و پایان دوره آزمایش (روزهای ۱ تا ۶۰، جدول ۴) نیز شاخص‌های رشد ماهیان استرلیاد مولد ماده در تیمارهای مختلف تغذیه و تزریق ویتامین C تفاوت آماری معنی‌دار نشان ندادند ($P>۰/۰۵$). در پایان آزمایش، میانگین افزایش وزن روزانه نیز در تیمار F+I- بیشترین و در تیمار F-I+ کمترین مقدار را نشان داد. درصد بقا در تمامی تیمارها طی کل دوره آزمایش ۱۰۰٪ بود.

جدول ۲ شاخص‌های رشد ماهیان استرلیاد مولد ماده (*Acipenser ruthenus*) طی روزهای ۱ تا ۳۰ پس از تزریق و تغذیه با ویتامین C در تیمارهای مختلف (میانگین ± انحراف معیار، n = ۹)

[1] Condition factor
[2] Feed efficiency
[3] Survival rate

Table 2 Growth performance of female sterlet (*Acipenser ruthenus*) from day 1 to 30 following dietary and injectable vitamin C supplementation in different treatments (mean ± SD, n = 9)

Growth Indices	Experimental treatments			
	F-I-	F+I-	F-I+	F+I+
Initial weight (g)	817.18 ± 3.87	811.10 ± 3.81	809.87 ± 10.18	812.46 ± 5.69
Final weight (g)	860.32 ± 31.16	890 ± 17.36	861.60 ± 37.51	869.13 ± 34.93
Weight gain (g)	42.55 ± 29.75	78.94 ± 19.53	50.50 ± 34.41	59.27 ± 35.32
Average daily growth (g/day)	1.42 ± 0.99	2.63 ± 0.65	1.68 ± 1.15	1.97 ± 1.18
Condition factor	0.41 ± 0.06	0.36 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.41 ± 0.01
Feed efficiency (%)	42.90 ± 26.54	52.60 ± 4.11	46.43 ± 27.49	59.25 ± 21.68
Survival rate (%)	100	100	100	100

F-I-: Control (fed with basal diet lacking vitamin C, no injection); F+I-: Dietary vitamin C supplementation, no injection; F-I+: Fed with control diet, injected with vitamin C; F+I+: Combined dietary and injectable vitamin C supplementation

جدول ۳ شاخص‌های رشد ماهیان استرلیاد مولد ماده (*Acipenser ruthenus*) طی روزهای ۳۱ تا ۶۰ پس از تزریق و تغذیه با ویتامین C در تیمارهای مختلف (میانگین ± انحراف معیار، n = ۹).

Table 3 Growth performance of female sterlet (*Acipenser ruthenus*) from day 31 to 60 following dietary and injectable vitamin C supplementation in different treatments (mean ± SD, n = 9)

Growth Indices	F-I-	F+I-	F-I+	F+I+
Initial weight (g)	860.32 ± 31.16	890.00 ± 17.36	861.60 ± 37.51	869.13 ± 34.93
Final weight (g)	927.97 ± 33.93	958.97 ± 7.40	918.20 ± 33.53	918.23 ± 30.25
Weight gain (g)	67.65 ± 30.63	68.92 ± 10.07	56.60 ± 4.42	49.10 ± 4.88
Average daily growth (g/day)	2.25 ± 1.01	2.30 ± 0.33	1.88 ± 0.15	1.63 ± 0.16
Condition factor	0.42 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.38 ± 0.01	0.41 ± 0.01
Feed efficiency (%)	53.73 ± 9.34	57.37 ± 15.45	58.67 ± 19.35	51.83 ± 17.58
Survival rate (%)	100	100	100	100

F-I-: Control (fed with basal diet lacking vitamin C, no injection); F+I-: Dietary vitamin C supplementation, no injection; F-I+: Fed with control diet, injected with vitamin C; F+I+: Combined dietary and injectable vitamin C supplementation.

جدول ۴ شاخص‌های رشد استرلیادهای مولد ماده (*Acipenser ruthenus*) پس از ۶۰ روز تزریق و تغذیه با ویتامین C در تیمارهای مختلف (میانگین ± انحراف معیار، n = ۹)

Table 4 Growth performance of female sterlet (*Acipenser ruthenus*) following 60 days of dietary and injectable vitamin C supplementation in different treatments (mean ± SD, n = 9)

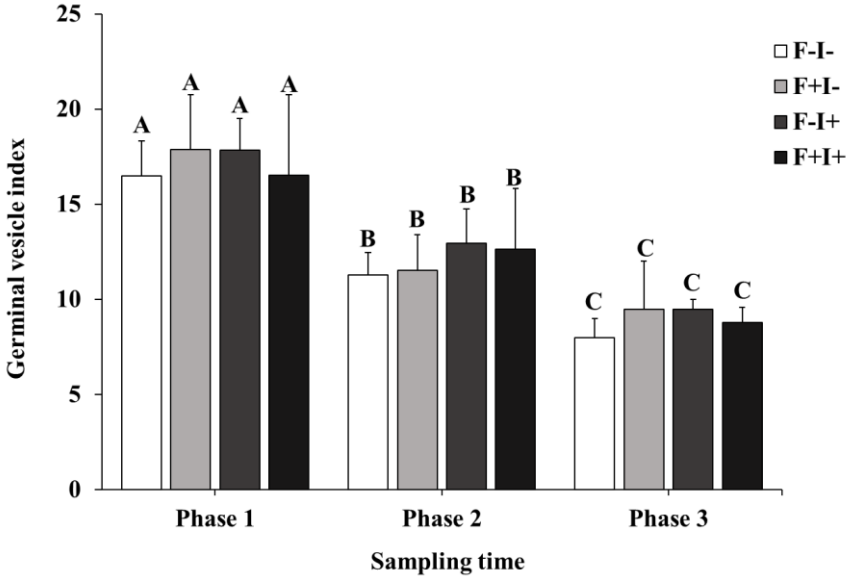
Growth Indices	F-I-	F+I-	F-I+	F+I+
Initial weight (g)	817.18 ± 3.87	811.10 ± 3.81	809.87 ± 10.18	812.46 ± 5.69
Final weight (g)	927.97 ± 33.93	958.97 ± 7.40	918.20 ± 33.53	918.23 ± 30.25
Weight gain (g)	110.20 ± 36.07	147.87 ± 9.51	107.10 ± 30.05	108.37 ± 30.95
Average daily growth (g/day)	1.84 ± 0.60	2.47 ± 0.16	1.79 ± 0.50	1.81 ± 0.52
Condition factor	0.43 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.38 ± 0.03	0.41 ± 0.01
Feed efficiency (%)	49.61 ± 9.42	54.09 ± 5.81	53.42 ± 11.87	56.04 ± 12.87
Survival rate (%)	100	100	100	100

F-I-: Control (fed with basal diet lacking vitamin C, no injection); F+I-: Dietary vitamin C supplementation, no injection; F-I+: Fed with control diet, injected with vitamin C; F+I+: Combined dietary and injectable vitamin C supplementation.

فراسنجه‌های تخمک

شاخص موقعیت هسته تخمک استرلیادهای مولد ماده در تیمارهای مختلف تغذیه و تزریق ویتامین C طی سه مرحله نمونه‌برداری در شکل ۱ ارائه شده است. تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که اثر متقابل زمان و تیمار (P=۰/۹۹) و اثر مستقل تیمارهای مختلف در کل دوره بر

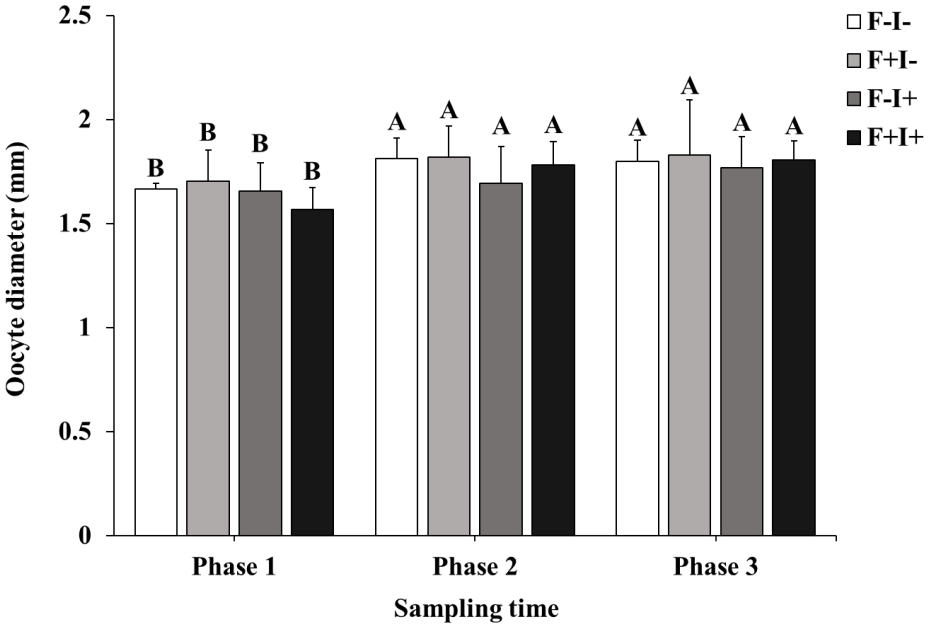
GV (P=۰/۷۵) از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود. با وجود این، مقادیر GV در طی سه مرحله زمانی آزمایش با یکدیگر متفاوت بود؛ به‌نحوی که این شاخص در مرحله اول به‌طور معنی‌دار نسبت به دو مرحله دیگر افزایش، و با گذشت زمان در انتهای آزمایش ۶۰ روزه، به شکل یکسان در تمامی تیمارها کاهش یافت (P<۰/۰۰۱).



شکل ۱ شاخص موقعیت هسته تخمک استرلیادهای مولد ماده (*Acipenser ruthenus*) پس از تزریق و تغذیه با ویتامین C در تیمارهای مختلف طی سه مرحله زمانی (میانگین ± انحراف معیار، n = ۹). حروف لاتین بزرگ روی ستون‌های هر مرحله زمانی، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری است (P<۰/۰۵). مرحله اول (شروع آزمایش) مرحله دوم (۳۰ روز پس از آزمایش) و مرحله سوم (۶۰ روز پس از آزمایش). -F-I: شاهد (تغذیه با جیره پایه فاقد ویتامین C و بدون تزریق)؛ -F+I: تغذیه شده با ویتامین C، بدون تزریق؛ +F-I: تغذیه با جیره شاهد فاقد ویتامین، تزریق شده با ویتامین C؛ +F+I: تغذیه و تزریق شده با ویتامین C.

Figure 1 Germinal vesicle index of oocytes in female sterlet (*Acipenser ruthenus*) following dietary and injectable vitamin C supplementation in different treatments across three sampling times (mean ± SD, n = 9). Different uppercase letters above the bars within each sampling time indicate significant differences among sampling times (P<0.05). Phase 1: before the start of the experiment; phase 2: 30 days after the start of the experiment; phase 3: 60 days after the start of the experiment. F-I-: control (fed a basal diet lacking vitamin C, without injection); F+I-: dietary vitamin C supplementation without injection; F-I+: fed the vitamin C-free control diet and injected with vitamin C; F+I+: both dietary and injectable vitamin C supplementation.

قطر تخمک استرلیادهای مولد ماده در تیمارهای مختلف تغذیه و تزریق ویتامین C طی سه مرحله نمونه‌برداری بررسی شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که اگرچه قطر تخمک در طی دوره آزمایش روند افزایشی داشت، اما تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت (P=۰/۸۶). اثر متقابل تیمار و زمان‌های نمونه‌برداری روی قطر تخمک استرلیادهای مولد نیز اختلاف معنی‌دار نشان نداد (P= ۰/۵۶). در مرحله نخست نمونه‌برداری، قطر تخمک در دامنه ۱/۵۷ تا ۱/۷۰ میلی‌متر قرار داشت و در مقایسه با مراحل دوم و سوم نمونه‌برداری، به‌طور معنی‌دار پایین بود (P= ۰/۰۲). اختلافی در مقادیر قطر تخمک بین مراحل دوم و سوم مشاهده نشد (P>۰/۰۵).



شکل ۲ قطر تخمک استرلیادهای مولد ماده (*Acipenser ruthenus*) پس از تزریق و تغذیه با ویتامین C در تیمارهای مختلف طی سه مرحله زمانی (میانگین ± انحراف معیار، n = ۹). مرحله اول (شروع آزمایش) مرحله دوم (۳۰ روز پس از آزمایش) و مرحله سوم (۶۰ روز پس از آزمایش). F-I: شاهد (تغذیه با جیره پایه فاقد ویتامین C و بدون تزریق تغذیه با جیره پایه فاقد ویتامین C و بدون تزریق)؛ F+I-: تغذیه شده با ویتامین C، بدون تزریق؛ F-I+: تغذیه با جیره شاهد فاقد ویتامین، تزریق شده با ویتامین C؛ F+I+: تغذیه و تزریق شده با ویتامین C.

Figure 2 Oocyte diameter of female sterlet (*Acipenser ruthenus*) following dietary and injectable vitamin C supplementation in different treatments across three sampling times (mean ± SD, n = 9). Phase 1: before the start of the experiment; phase 2: 30 days after the start of the experiment; phase 3: 60 days after the start of the experiment. F-I-: control (fed a basal diet lacking vitamin C, without injection); F+I-: dietary vitamin C supplementation without injection; F-I+: fed the vitamin C-free control diet and injected with vitamin C; F+I+: both dietary and injectable vitamin C supplementation.

بحث

عملکرد رشد

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغذیه و یا تزریق ویتامین C تأثیر معنی‌دار بر شاخص‌های رشد استرلیادهای مولد ماده در طی دوره آزمایش نداشت؛ اگرچه در برخی شاخص‌ها مانند وزن نهایی، افزایش وزن و افزایش وزن روزانه، مقادیر عددی بالاتری در تیمار تغذیه شده با ویتامین C بدون تزریق (F+I-) مشاهده شد. نتایج مشابهی نیز در برخی مطالعات روی گونه‌های مختلف ماهیان گزارش شده است، به‌طوری‌که افزودن ویتامین C به جیره غذایی تأثیر معنی‌دار بر رشد نشان نداده است (He and Lawrence, 1992; Thompson et al. 1993; Henrique et al. 1998). همچنین، در ماهیان خاویاری نیز نتایج مشابهی گزارش شده است؛ برای مثال، Moreau و همکاران (۱۹۹۶) نیز در مطالعه‌ای بر تاسماهی سیبری (*A. baerii*) نشان دادند که استفاده از جیره‌های حاوی ویتامین C موجب تفاوت معنی‌دار در رشد ماهیان نسبت به گروه فاقد این ویتامین نشد.

یکی از دلایل احتمالی عدم مشاهده اختلاف در شاخص‌های رشد طی دوره ۶۰ روزه آزمایش را می‌توان با وضعیت فیزیولوژیک ماهیان مولد و اولویت‌بندی اختصاص منابع انرژی مرتبط دانست. ماهیان در مراحل نهایی رسیدگی جنسی، بخش عمده‌ای از انرژی دریافتی خود را صرف فعالیت‌هایی مانند تولید غدد جنسی و ویتلوژنین در کبد می‌کنند. در واقع، تخصیص منابع انرژی به سمت فرآیندهای تولیدمثلی، توان بالقوه رشد سوماتیک را در این بازه زمانی محدود می‌کند که این امر خود منجر به کند شدن نرخ رشد و در نتیجه، کاهش نیاز سوخت و سازی به

ویتامین C می‌شود (Jobling, 1985; Dabrowski, 1991). علاوه بر این، اندازه ماهی نیز نقش به‌سزایی در پاسخ به مکمل‌های غذایی ایفا می‌کند. ماهیان بزرگ‌تر دارای ذخایر بافتی ویتامین C بالاتری بوده و نرخ تخلیه این ذخایر در آنها به مراتب کندتر از ماهیان جوان یا لاروهاست (Dabrowski, 1996). این ظرفیت ذخیره‌سازی بالا در ماهیان مولد باعث می‌شود که حتی در تیمارهای فاقد مکمل، علائم کمبود یا تغییرات محسوس در وزن طی یک دوره کوتاه آزمایش نمایان نشود (Ai et al. 2006). از سوی دیگر، برخی مطالعات نشان داده‌اند که ماهیان خاویاری توانایی ساخت درون‌زاد ویتامین C را دارند. گزارش شده است که آنزیم GLO در بافت کلیه این ماهیان فعال بوده و امکان ساخت این ویتامین را فراهم می‌کند (Moreau et al. 1996). در نتیجه، در شرایطی که نیاز فیزیولوژیک ماهی تأمین شده باشد، افزودن این ویتامین به جیره غذایی یا تزریق آن ممکن است تأثیر محسوسی بر شاخص‌های رشد نشان ندهد. با وجود این، Falahatkar (۲۰۰۷) گزارش کرد که اگرچه ماهیان خاویاری قادر به ساخت ویتامین C هستند، اما در شرایط پرورشی متراکم و مواجهه با عوامل استرس‌زا، نیاز آن‌ها به این ویتامین ممکن است افزایش یابد. در نهایت، به نظر می‌رسد توانایی ماهیان مولد استرلیاد در ساخت درون‌زاد ویتامین C (از طریق فعالیت آنزیم GLO) و اولویت‌بندی سوخت و سازی بدن در این مرحله از چرخه زندگی برای تخصیص انرژی به فرآیندهای رسیدگی جنسی، منجر به عدم مشاهده تغییرات معنی‌دار در رشد پیکری طی دوره ۶۰ روزه آزمایش شده است.

با وجود نتایج به‌دست‌آمده، تفسیر یافته‌های این پژوهش باید با در نظر گرفتن برخی محدودیت‌ها انجام شود. از جمله محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به کوتاه بودن دوره آزمایش (۶۰ روز) در مقایسه با چرخه کامل رسیدگی جنسی ماهیان مولد و نیز عدم بررسی کیفیت بیوشیمیایی تخمک‌ها اشاره کرد. این موارد ممکن است در شناسایی دقیق‌تر سازوکارهای اثر ویتامین C بر فرآیندهای تولیدمثلی و تبیین کامل‌تر نتایج نقش داشته باشند. بنابراین، انجام مطالعات تکمیلی با دوره‌های طولانی‌تر و همراه با ارزیابی شاخص‌های بافتی و بیوشیمیایی، برای روشن‌تر شدن نقش این ویتامین در فیزیولوژی تولیدمثل ماهیان خاویاری ضروری به نظر می‌رسد.

شاخص‌های تخمک

در مطالعه حاضر، GV در طول دوره آزمایش روند کاهشی نشان داد و قطر تخمک به‌تدریج افزایش یافت. با وجود این، بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کاهش تدریجی GV را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از پیشرفت طبیعی فرآیند رسیدگی تخمک و مهاجرت هسته به سمت قطب حیوانی تفسیر کرد؛ فرایندی که یکی از مراحل کلیدی در رسیدگی تخمک محسوب می‌شود و عمدتاً تحت کنترل محور HPG، افزایش هورمون‌های لوتئینه کننده[1] و القاکننده رسیدگی جنسی[2] قرار دارد (Lubzens et al. 2010). در این مرحله، با پیشرفت رسیدگی غدد جنسی، موقعیت هسته در تخمک تغییر کرده و به‌تدریج به سمت قطب حیوانی حرکت می‌کند که این تغییر به صورت کاهش شاخص GV منعکس می‌شود. در مقابل، افزایش قطر تخمک بیانگر تداوم رشد سیتوپلاسمی تخمک و تجمع مواد ذخیره‌ای مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و ویتلوژنین در طی فرآیند ویتلوژنز است که نقش مهمی در تأمین انرژی مورد نیاز برای مراحل اولیه رشد جنینی دارد (Tyler and Sumpter, 1996). بنابراین، الگوی مشاهده‌شده در این پژوهش بیش از آنکه ناشی از اثر تیمارهای ویتامین C باشد، بازتاب روند طبیعی رشد و رسیدگی تخمک در طی زمان است.

عدم مشاهده اختلاف بین تیمارها در شاخص‌های GV و قطر تخمک نشان می‌دهد که ویتامین C، دست‌کم در شرایط این آزمایش، اثر مستقیمی بر شاخص‌های ساختاری تخمک نداشته است. یافته‌های حاضر با نتایج Mangor Jensen و همکاران (۱۹۹۴) همسو است؛ به‌طوری که آنان نیز گزارش کردند افزودن سطوح مختلف ویتامین C به جیره ماهیان کاد مولد، تأثیر معنی‌داری بر اندازه تخمک و میزان هماوری نداشت و میانگین قطر تخمک در طی فصل تخم‌ریزی در بین تیمارهای مختلف تقریباً مشابه باقی ماند. این موضوع نشان می‌دهد که تغییر در سطوح ویتامین C الزاماً با تغییر در ویژگی‌های ریخت‌شناسی تخم همراه نیست. همچنین، نتایج Sarmento و همکاران (۲۰۱۷)

[1] Luteinizing hormone

[2] Maturation inducing hormone

نشان داد که قطر تخمک در ماهیان مولدی که جیره فاقد ویتامین C دریافت کرده بودند به‌طور معنی‌دار کمتر از تیمارهای دارای مکمل بود، اما میان سطوح مختلف مکمل اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. این یافته بیانگر آن است که پس از تأمین کمینه نیاز فیزیولوژیک، افزایش بیشتر این ویتامین لزوماً منجر به تغییر قابل توجه در ویژگی‌های تخمک نمی‌شود. در این راستا، عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار در مطالعه حاضر ممکن است حاکی از آن باشد که ماهیان مولد مورد بررسی دچار کمبود ویتامین C نبوده‌اند و بنابراین افزایش سطح آن از طریق تغذیه یا تزریق نتوانسته است تغییری در شاخص‌های GV یا قطر تخمک ایجاد کند. با توجه به اینکه غلظت ویتامین C در غدد جنسی و تخم‌های ماهیان به‌طور طبیعی در سطح نسبتاً بالایی گزارش شده است (Dabrowski and Blom, 1994)، می‌توان استنباط کرد که در صورت کفایت ذخایر درون‌زاد، شاخص‌های ساختاری تخمک بیشتر تحت کنترل سازوکارهای فیزیولوژیک و هورمونی مرحله رسیدگی قرار دارند و تغییرات تغذیه‌ای کوتاه‌مدت الزاماً قادر به ایجاد تغییر محسوسی در این ویژگی‌ها نخواهند بود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که تجویز ویتامین C از طریق جیره یا تزریق درون‌صفاقی طی دوره ۶۰ روزه آزمایش، تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و ویژگی‌های ساختاری تخمک، شامل قطر تخمک و شاخص GV در استرلیادهای مولد ماده نداشت. این یافته‌ها، در کنار شواهد مربوط به فعالیت آنزیم GLO و اولویت‌بندی سوخت و سازی انرژی برای فرآیندهای رسیدگی جنسی، بیانگر آن است که احتمالاً تغییرات ساختاری مشاهده شده در تخمک، بازتابی از روند طبیعی رسیدگی غدد جنسی است. از نظر کاربردی، نتایج این پژوهش برای مدیریت تغذیه ماهیان مولد در صنعت آبزی‌پروری حائز اهمیت است، زیرا نشان می‌دهد که در شرایط این مطالعه و با توجه به نتایج ارائه شده در این بخش، استفاده از روش تزریقی مزیت مشخصی نسبت به روش تغذیه‌ای نداشته است. بنابراین، با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار بین دو روش و نیز هزینه کمتر، سهولت اجرا و استرس کمتر روش تغذیه‌ای، استفاده از جیره حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم ویتامین C به ازای هر کیلوگرم غذا برای استرلیادهای ماده مولد را می‌توان قبل از فصل تکثیر به‌عنوان گزینه‌ای عملی‌تر و مناسب‌تر توصیه کرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، اثر ویتامین C بر کیفیت بیوشیمیایی گامت‌ها از جمله فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی و میزان پراکسیداسیون لیپیدی، در دوره‌ای طولانی‌تر (حداقل ۶ ماه) و همراه با اندازه‌گیری مستقیم غلظت ویتامین C در بافت تخمدان بررسی شود تا درک دقیق‌تری از سازوکار اثر این ریزمغذی بر عملکرد تولیدمثلی ماهیان خاویاری مولد حاصل شود.

سپاسگزاری

از همکاری و همراهی آقایان سیروس مددی، نیما مددی و پدرام زاد فلاح که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین، از تمامی کارکنان و عوامل مزرعه بامداد که در اجرای مراحل مختلف این تحقیق همکاری داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود. از مدیریت و کارکنان کارخانه اوان‌دانه نیز به‌دلیل همکاری در تولید و تهیه جیره فرموله مورد استفاده در این مطالعه، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. این مطالعه با حمایت بنیاد ملی علم ایران در قالب پروژه مصوب با شماره ۴۰۴۰۲۸۹۴ انجام شد که بدین وسیله از این مجموعه نیز تشکر می‌گردد.

منابع

Akbulut, B., Çakmak, E., Özel, O.T., Dülger, N. 2012. Effect of anaesthesia with clove oil and benzocaine on feed intake in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 12: 667-

Ai, Q., Mai, K., Tan, B., Xu, W., Zhang, W., Ma, H., Liufu, Z. 2006. Effects of dietary vitamin C on survival, growth, and immunity of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. Aquaculture 261: 327-336. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.07.027

673. DOI: 10.4194/1303-2712-v12_3_15

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 19th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

Bell, J.G., Farndale, B.M., Bruce, M.P., Navas, J.M., Carillo, M. 1997. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid compositions of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture 149: 107-119. DOI: 10.1016/S0044-8486(96)01436-6

Blom, J.H., Dabrowski, K. 1996. Ascorbic acid metabolism in fish: is there a maternal effect on the progeny? Aquaculture 147: 215-224. DOI: 10.1016/S0044-8486(96)01409-3

Carr, A.C., Frei, B. 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. American Journal of Clinical Nutrition 69: 1086-1107. DOI: 10.1093/ajcn/69.6.1086

Dabrowski, K. 1990. Gulonolactone oxidase is missing in teleost fish. Biological Chemistry Hoppe-Seyler 371: 207-214. DOI: 10.1515/bchm3.1990.371.1.207

Dabrowski, K. 1991. Environmental ascorbic acid status in high-mountain charr, *Salvelinus alpinus*, in relation to the reproductive cycle. Environmental Biology of Fishes 31: 213-217. DOI: 10.1007/BF00001023

Dabrowski, K. 2001. History, present, and future of ascorbic acid research in aquatic organisms. In: Ascorbic Acid in Aquatic Organisms-Status and Perspectives. Dabrowski, K. (Ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 255-277.

Dabrowski, K., Blom, J.H. 1994. Ascorbic acid deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs and survival of embryos. Comparative Biochemistry and Physiology 108A: 129-135. DOI: 10.1016/0300-9629(94)90064-7

Dabrowski, K., Ciereszko, A. 2001. Ascorbic acid and reproduction in fish: endocrine regulation and gamete quality. Aquaculture Research 32: 623-638. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2001.00598.x.

Dabrowski, K., Matusiewicz, K., Matusiewicz, M., Hoppe, P.P., Ebeling, J. 1996. Bioavailability of vitamin C from two ascorbyl monophosphate esters in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture Nutrition 2: 3-10. DOI: 10.1111/j.1365-2095.1996.tb00002.x

Darias, M.J., Mazurais, D., Koumoundouros, G., Le Gall, M.M., Huelvan, C., Desbruyeres, E., Quazuguel, P., Cahu, C.L., Zambonino-Infante, J.L. 2011. Imbalanced dietary ascorbic acid alter molecular pathways involved in skeletogenesis of developing European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Comparative Biochemistry and Physiology 159A: 46-55. DOI: 10.1016/j.cbpa.2011.01.013

De Silva, S.S., Anderson, T.A. 1995. Aquaculture. In: Fish Nutrition in Aquaculture. De Silva, S.S. (Ed.). Chapman and Hall, London, UK, 1-15.

Dettlaff, T.A., Ginsburg, A.S., Schmalhausen, O.I. 1993. Sturgeon Fishes: Developmental Biology and Aquaculture. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Falahatkar, B., 2007. Synthesis of ascorbic acid in three sturgeon species (Acipenseriformes) and its role in quantitative growth parameters. Iranian Journal of Biology 20: 128-137. DOI: 20.1001.1.23832614.1394.28.4.12.3 [In Persian].

Falahatkar, B., 2015. Nutrition and Diet Formulation in Aquatic Animals. University of Applied Science and Technology Press, Tehran, 334 p. [In Persian].

Falahatkar, B., Alizadeh Afshar, M., 2022. Determination of oocyte maturation in beluga (*Huso huso*) in vitro. Aquatic

Physiology and Biotechnology 10: 21-35. DOI: 10.22124/japb.2021.19468.1421 [In Persian].

Falahatkar, B., Dabrowski, K., Arslan, M., Rinchard, J. 2006a. Effects of ascorbic acid enrichment by immersion of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) eggs and embryos. Aquaculture Research 37: 834-841. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2006.01504.x.

Falahatkar, B., Soltani, M., Abtahi, B., Kalbassi, M.R., Pourkazemi, M. 2006b. Effects of dietary vitamin C supplementation on performance, tissue chemical composition and alkaline phosphatase activity in great sturgeon (*Huso huso*). Journal of Applied Ichthyology 22: 283-286. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2007.00969.x

Falahatkar, B., Sotoudeh, E., Lazur, M. 2012. Evaluation of *Artemia* and formulated diets on performance of Persian sturgeon *Acipenser persicus* larvae. Journal of Applied Ichthyology 28: 709-712. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2012.02038.x

Fernández Palacios, H., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Valencia, A., Salhi, M., Montero, D. 1997. The effect of dietary protein and lipid from squid and fish meals on egg quality of broodstock for gilthead seabream (*Sparus aurata*). Aquaculture 148: 233-246. DOI: 10.1016/S0044-8486(96)01312-9

Fernandez-Diaz, C., Kopecka, I., Canavate, J.P., Sarasquete, C., Sole, M. 2006. Variations on development and stress defences in *Solea senegalensis* larvae fed on live and microencapsulated diets. Aquaculture 251: 573-584. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.06.014

Furuita, H., Ishida, T., Suzuki, T., Unuma, T., Kurokawa, T., Sugita, T., Yamamoto, T. 2009. Vitamin content and quality of eggs produced by broodstock injected with vitamins C and E during artificial maturation in Japanese eel *Anguilla japonica*. Aquaculture 289: 334-339. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.01.032

Gabilondo, A.R., Pérez, L.H., Rodríguez, R.M. 2022. Hormonal and neuroendocrine control of reproductive function in teleost fish. Bionatura 6: 2122-2133. DOI: 10.21931/RB/2021.06.03.35

Ghiasi, S., Falahatkar, B., Dabrowski, K., Abasalizadeh, A., Arslan, M. 2014. Effect of thiamine injection on growth performance, hematology and germinal vesicle migration in sterlet sturgeon *Acipenser ruthenus* L. Aquaculture International 22: 1563-1576. DOI: 10.1007/s10499-014-9765-7

Halver, J.E. 2002. The vitamins. In: Fish Nutrition. Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.). Academic Press, San Diego, USA, 62-141.

He, H., Lawrence, A.L. 1993. Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei*. Aquaculture 114: 305-316. DOI: 10.1016/0044-8486(93)90305-I

Henrique, M.M.F., Gomes, E.F., Gouillou-Coustans, M.F., Oliva-Teles, A., Davies, S.J. 1998. Influence of supplementation of practical diets with vitamin C on growth and response to hypoxic stress of seabream, *Sparus aurata*. Aquaculture 161: 415-426. DOI: 10.1016/S0044-8486(97)00289-5

Ighodaro, O.M., Akinloye, O.A. 2018. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defense grid. Alexandria Journal of Medicine 54: 287-293. DOI: 10.1016/j.ajme.2017.09.001

Ineno, T., Kodama, R., Taguchi, T., Yamashita, Y. 2018. Growth and maturation in sterlet (*Acipenser ruthenus*) under high concentrations of dissolved oxygen. Fisheries Science 84: 605-612. DOI: 10.1007/s12562-018-1216-3

Izquierdo, M.S., Fernandez-Palacios, H., Tacon, A.G.J. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. Aquaculture 197:

25-42. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00581-6

Jiménez-Fernández, E., Ponce, M., Rodriguez-Rúa, A., Zuasti, E., Manchado, M., Fernández-Díaz, C. 2015. Effect of dietary vitamin C level during early larval stages in Senegalese sole (*Solea senegalensis*). Aquaculture 443: 65-76. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.03.013

Jobling, M. 1985. Physiological and social constraints on growth of fish with special reference to Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. Aquaculture 44: 83-90. DOI: 10.1016/0044-8486(85)90011-0

Khanjani, M.H., Ghaedi, G., Sharifinia, M. 2025. The role of vitamins in fish farming: growth performance, immunity, disease resistance, and body composition. Fish Physiology and Biochemistry 51: 1-50. DOI: 10.1007/s10695-025-01579-8

Lavens, P., Lebegue, E., Jaunet, H., Brunel, A., Dhert, P., Sorgeloos, P. 1999. Effect of dietary essential fatty acids and vitamins on egg quality in turbot broodstocks. Aquaculture International 7: 225-240. DOI: 10.1023/A:1009225028889

Lie, Ø., Mangor-Jensen, A. 2020. Importance of broodstock nutrition for optimal production in aquaculture. In: Fish Farming Technology. Reinersten, H., Dahle, L.A., Jorgensen, L. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 35-40.

Lubzens, E., Young, G., Bobe, J., Cerdà, J. 2010. Oogenesis in teleosts: how fish eggs are formed. General and Comparative Endocrinology 165: 367-389. DOI: 10.1016/j.ygcen.2009.05.022

Madadi, M., Falahatkar, B. 2025. Effectiveness of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) fertilized eggs enrichment with ascorbic acid on incubation performance, tissue concentration and stress responses in larval stage. Aquaculture 608: 701-742. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2025.742701

Mangor-Jensen, A., Holm, J.C., Rosenlund, G., Lie, Ø., Sandnes, K. 1994. Effects of dietary vitamin C on maturation and egg quality of cod *Gadus morhua* L. Journal of the World Aquaculture Society 25: 30-40. DOI: 10.1111/j.1749-7345.1994.tb00801.x

Moreau, R., Dabrowski, K. 1998. Body pool and synthesis of ascorbic acid in adult sea lamprey (*Petromyzon marinus*): an agnathan fish with gulonolactone oxidase activity. Proceedings of the National Academy of Sciences 95: 10279-10282. DOI: 10.1073/pnas.95.17.10279

Moreau, R., Kaushik, S.J., Dabrowski, K. 1996. Ascorbic acid status as affected by dietary treatment in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt): tissue concentration, mobilisation and L-gulonolactone oxidase activity. Fish Physiology and Biochemistry 15: 431-438. DOI: 10.1007/BF01875586

Mourente, G., Bell, J.G., Tocher, D.R. 2007. Does dietary tocopherol level affect fatty acid metabolism in fish? Fish Physiology and Biochemistry 33: 269-280. DOI: 10.1007/s10695-007-9139-4

Pourhosein Sarameh, S., Bahri, A.H., Falahatkar, B., Yarmohammadi, M., Salarzadeh, A.R. 2018. The effect of fish and rapeseed oils on growth performance, egg fatty acid composition and offspring quality of sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*). Aquaculture Nutrition 25: 543-554. DOI: 10.1111/anu.12856

Sandnes, K., Ulgenes, Y., Braekkan, O.R., Utne, F. 1984. The effect of ascorbic acid supplementation in broodstock feed on reproduction of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 43: 167-177. DOI: 10.1016/0044-8486(84)90019-X

Sarmento, N.L., Martins, E.F., Costa, D.C., Mattioli, C.C., da Costa Julio, G.S., Figueiredo, L.G., Luz, M.R., Luz, R.K. 2018. Reproductive efficiency and egg and larvae quality of Nile tilapia fed

different levels of vitamin C. Aquaculture 482: 96-102. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.08.035

Terova, G., Sarogia, M., Papp, Z.G., Cecchini, S. 1998. Ascorbate dynamics in embryos and larvae of sea bass, originating from broodstock fed supplements of ascorbic acid. Aquaculture International 6: 357-367. DOI: 10.1023/A:1009237022692

Thompson, I., White, A., Fletcher, T.C., Houlihan, D.F., Secombes, C.J. 1993. The effect of stress on the immune response of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets containing different amounts of vitamin C. Aquaculture 114: 1-18. DOI: 10.1016/0044-8486(93)90246-U

Trichet, V.V., Santigosa, E., Cochin, E., Gabaudan, J. 2015. The effect of vitamin C on fish health. In: Lee, C.S., Lim, C., Gatlin III, D.M., Webster, C.D. (Eds.). Dietary Nutrients, Additives, and Fish Health. Wiley-Blackwell, New Jersey, USA, 151-171.

Tyler, C.R., Sumpter, J.P. 1996. Oocyte growth and development in teleosts. Reviews in Fish Biology and Fisheries 6: 287-318. DOI: 10.1007/BF00122584

Yamamoto, T., Furuita, H., Matsunari, H., Sugita, T., Mineshima, F., Nakagawa, T., Ishida, T. 2011. Effects of fortification of nutrients to female broodstock by diet alone and by both diet and direct injection on the egg quality of Japanese eel *Anguilla japonica*. Aquaculture Science 59: 123-130. DOI: 10.11233/aquaculturesci.59.123

Zhou, Q.C., Wang, L.G., Wang, H.L., Xie, F.J., Wang, T. 2012. Effect of dietary vitamin C on the growth performance and innate immunity of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). Fish and Shellfish Immunology 32: 969-975. DOI: 10.1016/j.fsi.2012.01.024