University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 10, No. 4, 2025, pages: 35-54
DOI: 10.22124/janb.2024.28696.1259

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Effects of different live Artemia and chironomid larvae and dry feeds in adaptation to weaning strategies on growth performance, survival rate and digestive enzyme of Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*

Mahmoud Mohseni[1], Zabihollah Pajand[1], Omid Hashemi[2], Ali Naghi Sarpanah[1], Reza Ghorbani Vaghei[1], Touraj Sohrabi[1], Hossein Ali Abdolhay[3], Mir Hamed Seyyed Hassani[1], Maryam Monsef Shokri[1], Houshang Yeganeh[1], Sajjad Ghasemian[1], Soheil Yousefi[1]

1- International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Guilan, Iran
2- Gwar Kavir Company Aria, Rafsanjan, Kerman, Iran
3- Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Received 22 October 2024 Revised 13 December 2024 Accepted 15 December 2024

KEYWORDS
Feeding strategy
Co-feeding
Artemia biomass
Chironomid
Dry feed
Siberian sturgeon

Abstract:

Introduction: The initial feeding of larvae is a critical stage in fish development that significantly influences the enhancement of quality, reduction of skeletal abnormalities, resilience to stressful environments, and future survival rates of fish. The transition stage facilitates external feed adaptation in larvae, providing both live and formulated feeds. This period involves gradually reducing the consumption of live feed while increasing the amount of formulated feed. In this study, we aim to investigate the effects of various live feeds (such as Artemia and chironomid larvae) and dry feeds on the Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* growth performance, survival rate, and digestive enzyme activity.

Materials and methods: A 34-day study was conducted to investigate the effects of mixed-formulated diets and various live feeds on growth, survival rate, and digestive enzyme activity in the larvae of Siberian sturgeon. The larvae were fed Artemia nauplii during the 8 to 20 days following larval hatching. A total of 1,500 larvae, each with an initial weight of 0.24 ± 0.00 g, were randomly distributed into 15 plastic containers, each with a capacity of 50 liters, across three replicates (n = 100). Larvae were fed using five different feeding strategies: frozen chironomid larvae (CH), frozen Artemia biomass (Ar), a combination of Artemia biomass and chironomid (M), a mixture of Artemia, chironomid and dry feed (MF), and dry feed alone (FD). All treatments replaced 10% of the

consumed live feed with dry feed every three days. The larvae were fed *ad libitum*.

Results and Discussion: The final weight and biomass of larvae in CH were significantly higher than in M and MF. The fish in CH and then FD had the highest final weight, yield, and production value. Furthermore, CH and FD exhibited the most apparent increase in the amounts of digestive enzymes, including pepsin, trypsin, and amylase ($P<0.05$).

Conclusion: According to the results, Siberian sturgeon larvae experienced rapid physiological and morphological changes during the early stages of their life cycle. Dry feed with high digestibility can be used to initiate external feeding. Additionally, frozen chironomid larvae are recommended as a feed supplement during this crucial weaning stage due to their high digestibility, improved survival rate, and reduced production costs.

*Corresponding author: mahmoudmohseni73@gmail.com

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال دهم، شماره چهارم، دی ۱۴۰۳، صفحات ۵۴-۳۵

DOI: 10.22124/janb.2024.28696.1259

"مقاله پژوهشی"

عملکرد غذای زنده و خشک در زمان عادت‌پذیری مرحله گذار بر رشد، زنده‌مانی و تغییرات آنزیم‌های گوارشی لارو تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii* Brandt, 1869)

محمود محسنی[1*]، ذبیح‌اله پژند[1]، امید هاشمی[2]، علینقی سرپناه[1]، رضا قربانی واقعی[1]، تورج سهرابی[1]، حسینعلی عبدالحی[3]، میرحامد سید حسنی[1]، مریم منصف شکری[1]، هوشنگ یگانه[1]، سجاد قاسمیان[1]، سهیل یوسفی[1]

۱- انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، گیلان

۲- شرکت گوار کویر آریا، رفسنجان، کرمان

۳- مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

چکیده

در این مطالعه، اثرات تغذیه با غذای فرموله شده و انواع غذاهای زنده بر رشد، زنده‌مانی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی در لارو تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) طی ۳۴ روز بررسی شد. تعداد ۱۵۰۰ عدد لارو با میانگین وزن اولیه ۰/۰۰ ± ۰/۲۴ گرم به‌طور تصادفی در ۱۵ تشتک پلاستیکی (۱۰۰ لارو به ازای هر حوضچه) ۵۰ لیتری و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در سه تیمار و سه تکرار توزیع شدند. تیمارها شامل تغذیه با لارو منجمد شیرونومید (CH)، زی‌توده منجمد آرتمیا (Ar)، نسبت مساوی مخلوطی از زی‌توده آرتمیا + شیرونومید (M)، نسبت مساوی مخلوط زی‌توده آرتمیا، شیرونومید، غذای کنسانتره (MF) و ۱۰۰٪ جیره فرموله (FD) بودند. در تمامی تیمارها هر سه روز، ۱۰٪ از میزان غذای زنده مصرفی کاسته و به جیره فرموله اضافه شد. ماهی‌ها با جیره‌های آزمایشی ۱۲ بار (هر دو ساعت یکبار) تا حد سیری تغذیه شدند. وزن و زی‌توده نهایی لاروهای تغذیه شده با تیمار CH نسبت به ماهیان تغذیه شده با تیمارهای M و MF به‌طور معنی‌دار بالاتر بود (P<۰/۰۵). به‌علاوه، بالاترین مقادیر آنزیم‌های پپسین، تریپسین و آمیلاز در تیمارهای CH و FD مشاهده شد (P<۰/۰۵). نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن است که تغییرات فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی در لارو تاسماهی سیبری به‌خصوص در مراحل ابتدایی چرخه زندگی به‌سرعت انجام می‌شود. از این‌رو، می‌توان از جیره فرموله شده متناسب با نیازمندی غذایی با قابلیت هضم و جذب گوارشی بالا، به‌طور مستقیم از شروع تغذیه خارجی استفاده کرد. همچنین، استفاده از لارو منجمد شیرونومید به‌عنوان جیره مکمل در مرحله گذار به سبب ارتقای هضم‌پذیری، تضمین زنده‌مانی و کاهش هزینه تولید توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی

مدیریت تغذیه

تغذیه مختلط

زی‌توده آرتمیا

شیرونومید

خوراک مرحله لاروی

تاسماهی سیبری

نویسنده مسئول: mahmoudmohseni73@gmail.com

مقدمه

تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالا نسبت به شرایط محیطی و پرورشی توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Ruban and Mugue, 2022)، به‌طوری‌که تولید آن در جهان حدود ۴۰٪ از کل تولید ماهیان خاویاری در بیش از ۴۵ کشور دنیا را تشکیل می‌دهد. در سال ۲۰۲۱، تولید جهانی تاسماهیان به ۱۴۳۲۳۴ تن افزایش یافت که ۱۴۳۰۱۷ تن از این مقدار مربوط به فعالیت‌های آبزی‌پروری بود و تنها ۲۱۶ تن از طریق صید تأمین شد (FAO, 2023). امروزه، شناخته شده‌ترین گونه‌های تجاری تاسماهیان برای تکثیر و پرورش شامل تاسماهی سیبری، تاسماهی روسی (*A. gueldenstaedtii*)، فیل‌ماهی (*Huso huso*)، تاسماهی استرلیاد (*A. ruthenus*)، تاسماهی آدریاتیک (*A. naccarii*) و تاسماهی سفید (*A. transmontanus*) هستند (Bronzi et al. 2019). میزان کل تولیدات تاسماهیان در ایران در سال ۱۴۰۱، حدود ۴۶۶۴ تن گزارش شده که نسبت به سال ۱۳۹۷، حدود ۶۰٪ افزایش یافته است (FAO, 2023). تاسماهی سیبری اولین بار در اسفند سال ۱۳۸۳ برای توسعه آبزی‌پروری در راستای فراهم کردن بانک ژن تمامی گونه‌های تاسماهیان کشور، از کشور مجارستان وارد ایران شد. با توجه به توسعه طرح‌های پرورش ماهیان خاویاری در کشور در افق تولید ۱۴۰۴ (تولید ۱۰۰ هزار تن گوشت و ۱۰ هزار تن خاویار پرورشی) در مناطق مستعد کشور، باید کلیه جوانب امر در زمینه تکثیر و پرورش آن در شرایط آب و هوایی ایران به دقت بررسی شود.

مهم‌ترین چالش در تولیدات تاسماهیان، حفظ بقا در دوره لاروی است. به‌نحوی که میزان مرگ و میر در این دوره گاهی به ۸۰-۶۵٪ نیز می‌رسد (Mohseni et al. 2012; Falahatkar et al. 2017). در شرایط اسارت، بازماندگی لارو پس از تخم‌گشایی و زمانی که ذخایر کیسه‌زرده را به اتمام می‌رسد، به عوامل مختلفی مانند ترکیب جیره، شرایط محیطی و مدیریت پرورشی بستگی دارد (Conte et al. 1988). تغذیه آغازین در لارو، یک مرحله بحرانی و حساس تلقی می‌شود، زیرا تمامی رویدادهای این مرحله می‌توانند بر ارتقای کیفیت، کاهش ناهنجاری‌های اسکلتی، مقاومت به شرایط تنش‌زای محیطی و در مجموع، بازماندگی ماهیان در آینده اثرگذار باشند (Teletchea, 2019). مرحله گذار تنها تغییر یک جیره با انواع دیگر نیست، بلکه به‌عنوان مرحله‌ای برای سازگاری تغذیه‌ای شناخته می‌شود که در آن، هر دو نوع غذای زنده و فرموله تحت بازه زمانی مشخصی فراهم می‌شود؛ به‌نحوی که مصرف غذای زنده طی این بازه زمانی به‌تدریج کاهش یافته و بر میزان جیره فرموله افزوده می‌شود. در واقع، لارو به مرور فرصت سازگاری به نوع جدیدی از غذا را به‌دست می‌آورد. بنابراین استراتژی‌های غذایی در مرحله گذار، زمانی کارآمد خواهند بود که مجموعه‌ای از شاخص‌ها مانند رشد، بقا و کیفیت بچه‌ماهیان حاصل در مراحل بعدی دوره پرورش و هزینه‌های تولید را ارزیابی کنند. بسیاری از ماهیان خاویاری قادر به تغذیه از جیره‌های دستی مناسب برای رشد و سلامت در مراحل اولیه زندگی و رشد و نمو نیستند و این امر خود از دلایل اصلی پرورش ناموفق برخی از گونه‌های ماهیان خاویاری در محیط پرورشی است (Conceição et al. 2010).

مدیریت مناسب و اقدامات پیشگیرانه تأثیر به‌سزایی در جلوگیری از تلفات احتمالی خواهد داشت. برخی از علائم تلفات دوره لاروی شامل بدون تغییر ماندن توده زرده، عدم شکل‌گیری کامل روده به‌خاطر نبود قطرات چربی در وسط روده، عدم وجود ملانین در بخش روده مارپیچی، و ناهنجاری در تشکیل لوب‌های کبد است. لارو تاسماهیان در مرحله گذار به جیره فرموله، نیازمند جیره‌ای هستند که در کنار هضم‌پذیری بالا، اندازه‌ای کوچک‌تر از دهان ماهی داشته باشد و بتواند مواد مغذی لازم را برای رشد فراهم سازد. عدم توجه به این موضوع سبب تلفات شدید در لاروها خواهد شد (Mohseni et al. 2023a).

ماهیان خاویاری در دوران لاروی از موجودات غذایی زنده مختلفی از جمله جنس آرتمیا، به‌دلیل داشتن مجموعه‌ای از اسیدهای چرب ضروری شامل لینولنیک‌اسید، ایکوزاپنتانوئیک‌اسید و دکوزاهگزانوئیک‌اسید، تغذیه می‌کنند (Sorgeloos et al. 2001). علاوه بر این، لارو شیرونومید، یکی دیگر از موجودات غذایی زنده شناخته شده در بیش‌تر کشورهاست و در اغلب بوم سازگان آب شیرین گسترش دارد (Pajand et al. 2023). ارزش غذایی بالای لاروهای شیرونومید شامل مقادیر بالای پروتئین (حدود ۵۵/۷٪ وزن خشک) و حضور اسیدهای آمینه ضروری، آنها را به غذای مناسبی برای اغلب ماهیان و به‌خصوص تاسماهیان مبدل ساخته است (Volkman

et al. 2004). با وجود این، تولید و دسترسی به غذای زنده اغلب هزینه زیادی به پرورش‌دهندگان تحمیل می‌کند. تحقیقات نشان داده‌اند که بسیاری از موجودات غذایی زنده با وجود خصوصیات مطلوب، دارای کمبودهایی نیز از نظر برخی مواد مغذی و ویتامین‌ها هستند. با توجه به تأثیر بازه زمانی مرحله گذار از غذای زنده به فرموله و ارزش و اهمیت تاسماهی سیبری در زمینه آبزی‌پروری و تولید خاویار، بررسی راهبردهای تغذیه‌ای در این مرحله و طی یک بازه زمانی طولانی‌تر می‌تواند برای شناسایی و معرفی روش‌های بهینه و کارآمد در پرورش مراحل لاروی این گونه ارزشمند مؤثر باشد. دوران گذار لارو از غذای زنده به جیره فرموله از مهم‌ترین مسائل مرتبط در مراکز تکثیر بوده تا بتوان این ماهیان را در اندازه انگشت‌قد برای پرورش استفاده کرد. تاکنون برای بررسی دوره گذار از غذای زنده به خشک در گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری، تاسماهی ایرانی (Agh et al. 2013) و فیل ماهی (Ghorbani Vaghei et al. 2023) پژوهش‌هایی انجام شده است. در مطالعه حاضر نیز به بررسی سازگاری لارو تاسماهی سیبری به‌عنوان یکی از گونه‌های ارزشمند تاسماهیان با موجودات غذایی زنده شامل لارو شیرونومید، زی‌توده آرتمیا و ترکیب آن دو در فرآیند گذار به جیره فرموله و تأثیر آن بر شاخص‌های رشد و آنزیم گوارشی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه، شرایط نگهداری و تغذیه لارو تاسماهی سیبری

ابتدا، ماهیان مولد نر و ماده پرورشی تاسماهی سیبری در انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری به‌روش القای هورمونی (هورمون LHRH-a2 با دوز ۵ µg/kg طی دو مرحله و با وقفه ۱۲ ساعته بین هر تزریق) تکثیر شدند. تخم‌ها پس از لقاح به انکوباتورهای مک‌دونالد واقع در کارگاه تکثیر انستیتو منتقل شدند. پس از سپری شدن سه روز، لاروهای تاسماهی سیبری از تخم خارج شدند. سه روز پس از تخم‌گشایی، ۳۰۰۰ عدد با وزن اولیه ۰/۲ ± ۵۰ میلی‌گرم برای گذراندن مراحل ابتدایی رشد در پنج تراف ۲۵۰ لیتری به تعداد ۳۰۰ عدد در هر تراف انتقال داده شدند. لاروها پس از جذب یک‌سوم کیسه زرده (روز هشتم پس از تخم‌گشایی)، به‌مدت ۷ روز (تا روز پانزدهم پس از تخم‌گشایی) با ناپلیوس‌های تازه تخم‌گشایی شده آرتمیا (*Artemia franciscana*) تغذیه شدند. طی این مدت، لاروها به کف حوضچه شنا کرده و به‌علت ویژگی فتوتروپیسم منفی در یک نقطه از کف حوضچه در خلاف منطقه تابش نور تجمع یافتند. در طی دوره پژوهش، فراسنجه‌های کیفی آب مانند درجه حرارت، میزان اکسیژن محلول و pH با استفاده از دستگاه مالتی‌متر Hach (لاولند، آمریکا) در طی دوره اندازه‌گیری شدند و مقادیر به‌ترتیب برابر با ۰/۲۲ ± ۱۸/۵۲ °C، ۰/۱۴ ± ۹/۲۰ mg/L و ۰/۰۴ ± ۷/۴۶ بود. آب حوضچه‌های پرورشی با میانگین دبی ۰/۵ L/min از چاه عمیق تأمین و پس از رسوب‌گیری و عبور از پالاینده‌ها وارد حوضچه‌های بخش پرورش لارو شد. همچنین، دوره نوری در طی مراحل پرورش ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی بود.

از روز بیستم پس از تخم‌گشایی، ۱۵۰۰ عدد لارو تاسماهی سیبری با میانگین وزن و درازای اولیه ۰/۰۰۹ ± ۲۴۰ میلی‌گرم و ۰/۰۳۵ ± ۳/۴۸ سانتی‌متر به ۱۵ تشتک پلاستیکی (پنج تیمار آزمایشی و سه تکرار) با حجم ۵۰ لیتر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (آب چاه گذرانده شده از پالاینده) در بخش آبزی‌پروری انستیتو تحقیقات منتقل و به‌شکل تصادفی با تراکم ۱۰۰ عدد در هر حوضچه به‌مدت ۳۴ روز با تیمارهای آزمایشی (جدول ۱) شامل لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا (شرکت گوار کویر آریا، رفسنجان، ایران (پیرو قرارداد مشترک) تغذیه شدند. در تیمار (CH)، لاروها برای عادت‌پذیری به جیره فرموله با لارو منجمد شیرونومید تغذیه شدند؛ به‌نحوی که هر سه روز، ۱۰٪ از میزان شیرونومید مصرفی کاسته و به جیره فرموله اضافه شد. در تیمار (Ar) تغذیه لارو با استفاده از زی‌توده منجمد آرتمیا و جیره فرموله انجام شد (درصد تغییرات جایگزینی غذای زی‌توده آرتمیا با جیره فرموله مانند تیمار اول ۱۰٪ در نظر گرفته شد). در تیمار مخلوط (M) عادت‌پذیری به جیره فرموله با استفاده از مخلوط زی-توده آرتمیا و شیرونومید (به نسبت ۱:۱) انجام، و درصد تغییرات جایگزینی مانند تیمار CH و AR، ۱۰٪ در نظر گرفته شد. در تیمار (MF) عادت‌پذیری به جیره فرموله با استفاده از مخلوط زی‌توده آرتمیا، شیرونومید، غذای کنسانتره (به نسبت ۱:۱:۱) و جیره فرموله شده انجام، و درصد تغییرات جایگزینی مانند تیمار CH و AR، ۱۰٪ در نظر گرفته شد. در تیمار چهارم (FD) نیز از روز ۲۰ پس از تخم‌گشایی به‌مدت ۳۴ روز ماهیان تنها با جیره فرموله تغذیه شدند. مقادیر جیره‌های آزمایشی مورد استفاده در

مرحله گذار طی بازه‌های زمانی معین در جدول ۳ آمده است. درصد غذادهی با غذای زنده و جیره فرموله به‌ترتیب به میزان ۳۰٪ و ۱۰-۳٪ در شبانه‌روز جیره فرموله در هر وعده و بر حسب اشتها تعیین شد (Mohseni et al. 2006). دفعات غذادهی روزانه ۱۲ مرتبه طی ۲۴ ساعت (با فاصله هر دو ساعت یکبار) بود و تلفات در هر حوضچه در ابتدای هر روز جمع‌آوری و شمارش شد. حوضچه‌ها روزانه دو مرتبه در ساعات ۸:۰۰ و ۲۰:۰۰ سیفون شدند. جیره فرموله در مرحله گذار با استفاده از تجهیزات کارگاه ساخت جیره انستیتو تحقیقات ساخته شد (Mohseni et al. 2023b). اقلام غذایی به‌همراه سنجش تقریبی جیره فرموله و غذاهای زنده به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ذکر شده است. برای تهیه جیره فرموله، ابتدا اقلام غذایی مورد نیاز برای ساخت جیره توسط آزمایشگاه غذا دارو (تهران، ایران) از نظر ترکیبات شیمیایی بررسی شدند تا اطلاعات صحیحی برای فرمولاسیون به‌دست آید.

انرژی خام جیره (۲۲ kJ/g) بر اساس انرژی خام آزاد شده از هر گرم پروتئین (۲۳/۶۰ kJ)، چربی (۳۹/۵۰ kJ) و کربوهیدرات (۱۷/۲۰ kJ) و مطابق با روش اندازه‌گیری استاندارد NRC (۲۰۱۱) محاسبه شد. از پودر ماهی کیلکای عمل‌آوری‌شده در دمای پایین (به‌عنوان منبع پروتئینی جانوری) و از کنجاله سویا به‌عنوان منبع پروتئین گیاهی استفاده شد. برای ساخت جیره، ابتدا مواد خشک پایه با استفاده از آسیاب خرد شده و سپس با چشمه µm ۵۰۰ الک شدند. برای مخلوط کردن اقلام غذایی، ابتدا اقلام خشک به‌مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از دستگاه همزن دو زبانه کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند. سپس، مواد ریزمغذی به مخلوط اقلام خشک افزوده شد. در مرحله بعد، ترکیب مساوی از روغن گیاهی و جانوری به مخلوط حاصل اضافه و با دستگاه همزن به‌مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شدند. در پایان کار، میزان کافی آب (۲۰٪)، تا رسیدن به رطوبت یکنواخت به مخلوط جیره اضافه، و به‌مدت ۱۰ دقیقه دیگر با یکدیگر مخلوط شدند. مخلوط حاصل با استفاده از چرخ گوشت صنعتی به رشته‌هایی با قطر ۲ mm تبدیل و با استفاده از خشک‌کن در دمای ۴۰ °C به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شد. رشته‌ها بر اساس اندازه دهان ماهی خرد و توسط الک با چشمه ۰/۵ mm دانه‌بندی شدند. جیره تولید شده به بسته‌های پلاستیکی عاری از هوا منتقل، و در دمای ۱۸- °C نگهداری شد (Mohseni et al. 2012).

جدول ۱ مقادیر مصرفی غذاهای زنده و جیره فرموله در تیمارهای مختلف طی ۳۴ روز تغذیه لارو تاسماهی سیبری

Table 1 Consumption rate (%) of live feeds and formulated diet during 34 days of feeding Siberian sturgeon larvae

Treatments		Days of Rearing										
	Experimental Diets	1-3	3-6	6-9	9-12	12- 15	15- 18	18- 21	21-24	24- 27	27 - 30	30 - 34
CH	Chironomid larvae (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	Formulated diet (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ar	Artemia (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	Formulated diet (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
M	Artemia+Chironomid (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	Formulated diet (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
MF	Artemia + Chironomid larvae + Formulated diet (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	Formulated diet (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FD	Formulated diet (%)	100	100	100	100	100	100	100				

جدول ۲ اقلام مورد استفاده در جیره فرموله شده

Table 2 ingredient of experimental formulated diet

Feed ingredient	(%)
Fish meal	56
Wheat gluten	5
Hydrolyzed protein	5
Wheat flour	6
Soybean meal	5
Fish oil	4
Soybean oil	4
Vitamin E	0.6
Vitamin premix[1]	2
Mineral premix[2]	1.5
Immune stimulator[3]	1.7
Lecithin	3
Hydrolyzed yeast[4]	2
Appetizer[5]	2
Anti-oxidant	0.2
Binder[6]	2

۱: پرمیکس ویتامین: ۱۶۰۰۰۰ IU ویتامین A، ۴۰۰۰۰۰ IU ویتامین D_3، ۴۰ mg ویتامین E، ۲ g ویتامین K_3، ۶ g ویتامین B_1، ۸ g ویتامین B_2، ۱۲ g کلسیم پنتوتنات، ۴۰ g ویتامین B_3، ۴ g ویتامین B_6، ۸ g ویتامین B_{12}، ۰/۲۴ g H_2، ۶۰ g ویتامین C، ۲۰ mg اینوزیتول. ۲: پرمیکس معدنی: ۲۶۰۰ mg منگنز، ۶۰۰ mg مس، ۶۰۰۰ mg آهن، ۴۶۰۰ mg روی، ۱۰۰ mg سلنیوم، ۱۰۰ mg ید، ۵۰ mg کبالت، ۳: سوپرمکمل تهیه شده در انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، ۴: شرکت کیمیازیم (تهران، ایران)، ۵: شرکت Liaoning Biochem (چین)، ۶: شرکت مهرتابان (یزد، ایران)

1: Vitamin premix: Vit A 160000 IU, Vit D_3 40000 IU, Vit E 40 mg, Vit K_3 2 g, Vit B_1 6 g, Vit B_2 8 g, Calcium pantothenate 12 g, Vit B_3 40 g, Vit B_6 4 g, Vit B_{12} 8 g, H_2 0.24 g, Vit C 60 g, Inositol 20 mg, 2: Mineral premix: Mn 2600 mg, Cu 600 mg, Fe 6000 mg, Zn 4600 mg, Se 100 mg, I 100 mg, Co 50 mg. 3: Supplement prepared at International Sturgeon Research Institute. 4: Kimiazyme Co, Tehran. 5: Liaoning Biochem CO. China. 6: Mehr Taban Co, Yazd, Iran.

جدول ۳ سنجش تقریبی غذاهای زنده در تغذیه لارو تاسماهی سیبری (میانگین ± خطای استاندارد؛ n=۳)

Table 3 Chemical composition of live feeds in Siberian sturgeon larvae diet (average ± SE; n=3)

Chemical composition (%)	Diets		
	Frozen chironomid larvae	Frozen Artemia biomass	Formulated dry feed
Moisture	81.34 ± 3.29	90.06 ± 3.64	7.9 ± 0.32
Crude Protein	52.04 ± 2.10	57.55 ± 2.33	53.53 ± 2.24
Crude Fat	13.72 ± 0.55	12.07 ± 0.49	15.26 ± 0.86
Fiber	-	-	2.14 ± 0.19
Phosphorus	-	-	1.28 ± 0.14
Ash	24.92 ± 1.01	17.51 ± 0.71	10.73 ± 0.47

بررسی شاخص‌های رشد و تغذیه

برای بررسی وزن و درازای ماهیان، ۳۰٪ زی‌توده در فواصل هر سه روز، به‌ترتیب از ترازوی دیجیتال مدل XB-1200C شرکت Precisa (دیتیکن، سوئیس) با دقت g ۰/۰۱ و تخته زیست‌سنجی با دقت mm ۱ استفاده شد. بررسی شاخص‌های رشد و تغذیه شامل وزن کسب شده (WG)، نرخ رشد ویژه (SGR)، شاخص وضعیت (CF) و درصد بازماندگی (SR) بود که بر اساس معادله‌های زیر محاسبه شدند:

$WG\ (g) =$ وزن اولیه (g) – وزن نهایی (g)

$SGR\ (٪/\text{روز}) = [(\text{Ln}$ وزن نهایی $\text{Ln} -$ وزن ابتدایی$) /$ (تعداد روزها (زمان)$]$ × ۱۰۰

$CF = [$وزن (g)$/$ (طول کل (cm))$^3]$ × ۱۰۰

$SR\ (٪) = [$تعداد ماهی در ابتدای دوره$/$ تعداد ماهی در انتهای دوره$]$ × ۱۰۰

بررسی فعالیت آنزیم‌های گوارشی

نمونه‌برداری برای بررسی فعالیت آنزیم‌های گوارشی طی ۴ مرحله (روزهای صفر، ۱۱، ۲۲ و ۳۴ آزمایش) بعد از ۱۰ ساعت قطع غذادهی، انجام شد. از هر تیمار ۶ عدد ماهی پس از قرار گرفتن در محلول گل میخک (۲۰۰ ppm) تا بیهوشی کامل و مرگ، جدا شدند. نمونه‌برداری در روز صفر (۲۰ روز پس از تخم‌گشایی) و روز ۱۱ آزمایش (۳۰ روز پس از تخم‌گشایی) از کل بدن، در روزهای ۲۲ آزمایش (۴۰ روز پس از تخم‌گشایی) و ۳۴ آزمایش (۵۰ روز پس از تخم‌گشایی) از دستگاه گوارش، شامل معده و روده انجام شد. نمونه‌ها به‌سرعت به گاز ازت و سپس دمای $-80\ ^{\circ}C$ منتقل شدند. پروتئین محلول نمونه‌های هموژن شده دستگاه گوارش توسط دستگاه اسپکترومتری و با روش Bradford (۱۹۷۶) سنجیده شد. برای رسم منحنی استاندارد از آلبومین سرم گاوی (BSA) استفاده شد. برای تعیین فعالیت آنزیم پپسین از سوبسترا و با روش Worthington (۱۹۹۱)، آنزیم تریپسین از روش Benzoyl-DL-arginin-p-nitroanilide به عنوان سوبسترا، آنزیم کیموتریپسین از سوبسترا Succinyl-2-Pro-phe-nitroanilide(Ala) به‌روش Erlanger و همکاران (۱۹۶۱) و آنزیم لیپاز با استفاده از هیدرولیز P-nitrophenyl myristate به‌عنوان سوبسترا از روش Pavasovic (۲۰۰۶) و آمیلاز از روش Wang (۲۰۱۱) استفاده شد.

آزمون آماری

تمامی داده‌ها از نظر نرمال بودن و همگنی واریانس به‌ترتیب توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و آزمون لون (Levene test) بررسی شدند. برای بررسی تغییرات در مقادیر شاخص‌های رشد، تغذیه و فعالیت آنزیمی از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. معنی‌داری داده‌ها در سطح $P<0/05$ بررسی و از آزمون Tukey برای مقایسه تفاوت‌های معنی‌دار میانگین داده‌ها استفاده شد. بررسی‌های آماری این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ (SPSS, IBM, USA) انجام شد.

نتایج

عملکرد رشد و شاخص‌های تغذیه

مقایسه عملکرد رشد و شاخص‌های تغذیه‌ای تیمارهای مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. پس از پایان ۳۴ روز عادت‌دهی، زیست‌سنجی لاروها به‌منظور تعیین شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای انجام شد. وزن نهایی و زی‌توده نهایی لاروهای تغذیه شده با تیمار غذایی CHنسبت به ماهیان تغذیه شده با تیمارهای M و MF (ترکیبی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا و ترکیبی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا و غذای کنسانتره (۱:۱:۱)) به‌طور معنی‌دار بالاتر بود ($P<0/05$). بیش‌ترین مقادیر وزن نهایی، زی‌توده نهایی و میزان تولید در تیمار CH و به فاصله کمی از آن ماهیان تغذیه شده با تیمار ۵ (۱۰۰٪ غذای کنسانتره) به خود اختصاص دادند ($P<0/05$).

بیش‌ترین و کم‌ترین نرخ رشد ویژه به‌ترتیب در تیمارهای CH و MF به‌دست آمد که به رغم اختلاف معنی‌دار این دو گروه با یکدیگر ($P<0/05$)، تفاوتشان با دیگر تیمارهای آزمایشی معنی‌دار نبود ($P>0/05$). وزن در ماهیان تغذیه شده با تیمار CH به‌طور معنی‌دار بالاتر از دیگر تیمارها، به استثنای تیمار FD بود. هیچ اختلاف معنی‌داری در خصوص درازای نهایی، ضریب چاقی، ضریب تبدیل غذایی، کارایی غذا و نرخ بازدهی پروتئین بین تیمارهای مختلف آزمایشی مشاهده نشد ($P>0/05$).

درصد بازماندگی تیمارهای مختلف آزمایشی در شکل ۱ آمده است. بیش‌ترین درصد بقا نسبت به دیگر تیمارها در تیمار CH مشاهده شد ($P<0/05$). درصد بقا در تیمار AR نیز به‌طور معنی‌دار بیش از تیمارهای M و MF بود ($P<0/05$). کم‌ترین درصد بازماندگی نیز در گروه M مشاهده شد ($P<0/05$).

فعالیت آنزیم‌های گوارشی

از آنزیم‌های مختلف گوارشی شامل پپسین، تریپسین، لیپاز و آمیلاز در لارو تاسماهی سیبری، طی ۴ مرحله نمونه-برداری انجام شد، که نتایج این ارزیابی در جدول ۵ قابل مشاهده است. فعالیت پپسین در بین هیچ‌یک از تیمارها در مراحل اول، دوم و چهارم نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری نشان نداد (P>۰/۰۵). در سومین مرحله نمونه‌برداری، فعالیت آنزیم پپسین در تیمارهای CH، M و FD به‌طور معنی‌دار بالاتر از تیمارهای AR و MF بود (P<۰/۰۵). فعالیت تریپسین در دو مرحله اول نمونه‌برداری فاقد اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف بود (P>۰/۰۵). در سومین مرحله نمونه‌برداری بیش‌ترین میزان فعالیت تریپسین در تیمارهای CH و MF و کم‌ترین در تیمار AR مشاهده شد (P<۰/۰۵). بیش‌ترین و کم‌ترین سطوح فعالیت تریپسین در مرحله چهارم به‌ترتیب در تیمارهای FD و M مشاهده شد (P<۰/۰۵). بین تیمارهای مختلف تفاوتی از نظر سطوح فعالیت لیپاز در هیچ‌یک از مراحل مختلف نمونه‌برداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). فعالیت آمیلاز نیز در دو مرحله اول و دوم نمونه‌برداری فاقد اختلاف معنی‌دار در بین تیمارهای مختلف آزمایشی بود (P>۰/۰۵). در سومین مرحله نمونه‌برداری بیش‌ترین و کم ترین سطوح فعالیت آمیلاز به‌ترتیب در تیمارهای FD و AR مشاهده شد (P<۰/۰۵). در آخرین مرحله نمونه-برداری، سطح فعالیت آمیلاز تیمارهای CH، AR و FD به‌طور معنی‌دار بالاتر از تیمار M بود (P<۰/۰۵) و اختلاف هیچ‌کدام از این دو گروه با تیمار MF معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵).

جدول ۴ عملکرد رشد و شاخص‌های تغذیه‌ای لارو تاسماهی سیبری (*A. baerii*) طی عادت دهی به جیره فرموله (میانگین ± خطای استاندارد)

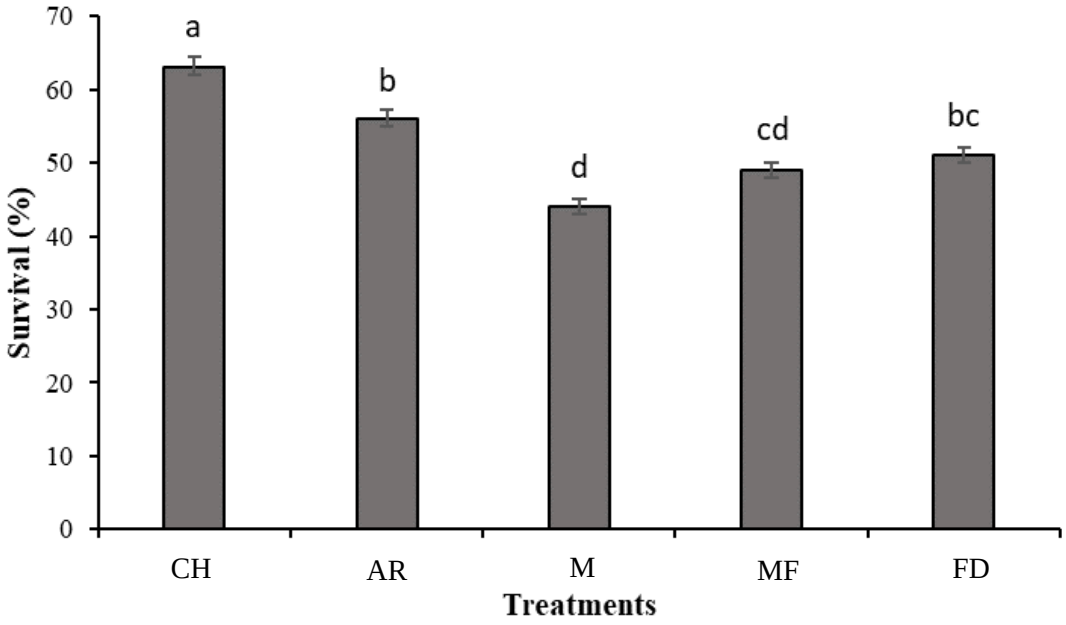
Table 4 Growth performance and nutritional indices of Siberian sturgeon (*A. baerii*) larvae during the transition to the formulated diet (mean ± SE)

Parameter	Treatments				
	CH	AR	M	MF	FD
Initial weight (g)	0.24 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.25 ± 0.00	0.25 ± 0.01
Final weight (g)	4.09 ± 0.06^{a}	3.10 ± 0.16^{ab}	2.87 ± 0.26^{b}	2.87 ± 0.04^{b}	3.76 ± 0.25^{ab}
Initial length (cm)	3.65 ± 0.05	3.65 ± 0.15	2.97 ± 0.47	3.60 ± 0.01	3.50 ± 0.04
Final length (cm)	10.95 ± 0.15	9.94 ± 0.56	9.65 ± 0.75	9.40 ± 0.20	11.80 ± 0.30
Initial biomass (g)	18.20 ± 0.21	19.46 ± 0.77	18.23 ± 0.10	19.07 ± 0.03	19.07 ± 0.03
Final biomass (g)	286.30 ± 4.20^{a}	217.00 ± 11.20^{ab}	201.25 ± 18.55^{b}	200.90 ± 2.80^{b}	263.20 ± 17.50^{ab}
Food intake (g)	561.43 ± 3.16^{a}	444.42 ± 3.04^{bc}	389.51 ± 32.81^{c}	436.16 ± 16.06^{bc}	494.91 ± 18.82^{ab}
Product (g)	268.10 ± 4.41^{a}	197.54 ± 11.97^{ab}	183.01 ± 18.65^{b}	181.82 ± 2.76^{b}	244.12 ± 17.46^{ab}
SGR (%/day)	8.10 ± 0.08^{a}	7.09 ± 0.27^{ab}	7.05 ± 0.29^{ab}	6.92 ± 0.04^{b}	7.71 ± 0.19^{ab}
WG	1473.55 ± 41.23^{a}	1019.14 ± 101.84^{b}	1004.27 ± 108.09^{b}	953.19 ± 12.75^{b}	1279.65 ± 89. 21^{ab}
CF	0.31 ± 0.02	0.32 ± 0.04	0.32 ± 0.05	0.35 ± 0.03	0.30 ± 0.01
FCR	2.09 ± 0.02	2.26 ± 0.15	2.13 ± 0.04	2.40 ± 0.12	2.03 ± 0.07
FE (%)	47.75 ± 0.52	44.47 ± 3.00	46.91 ± 0.84	41.77 ± 2.17	49.26 ± 1.65
PER	0.90 ± 0.01	0.84 ± 0.05	0.88 ± 0.01	0.79 ± 0.04	0.93 ± 0.03

CH: تغذیه با لارو منجمد شیرونومید، Ar: تغذیه با زی‌توده منجمد آرتمیا، M: ترکیبی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا (۱:۱)، MF: ترکیبی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا و غذای کنسانتره (۱:۱:۱)، FD: تغذیه با جیره فرموله در سراسر دوره آزمایش.

حروف مختلف در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست (P<۰/۰۵).

Different letters in each row indicate significant differences between treatments (P<0.05).



شکل ۱ نرخ بقای لارو تاسماهی سیبری (*A. baerii*) طی عادت‌دهی به جیره فرموله (میانگین ± خطای استاندارد). حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست (P<۰/۰۵).

Figure 1 Survival rate of Siberian sturgeon (*A. baerii*) larvae during the transition to the formulated diet (mean ± SE). Different letters in each column indicate significant differences between treatments (P<0.05)

جدول ۵ فعالیت آنزیم‌های گوارشی لارو تاسماهی سیبری (*A. baerii*) طی عادت دهی به جیره فرموله (میانگین ± خطای استاندارد)

Table 5 Digestive enzymes activity of Siberian sturgeon (*A. baerii*) larvae during the transition to the formulated diet (mean ± SE)

Enzyme	Sampling days	Treatments				
		CH	AR	M	MF	FD
Pepsin (U/mg Protein)	0	1.40 ± 0.23	1.63 ± 0.02	1.65 ± 0.01	1.63 ± 0.02	1.64 ± 0.01
	11	1.56 ± 0.16	1.93 ± 0.64	1.70 ± 0.14	1.60 ± 0.56	1.75 ± 0.06
	22	1.91 ± 0.06^{a}	0.90 ± 0.01^{b}	1.69 ± 0.01^{a}	1.06 ± 0.00^{b}	1.58 ± 0.14^{a}
	34	2.46 ± 0.43	1.99 ± 0.27	1.18 ± 0.14	1.70 ± 0.00	2.27 ± 0.21
Trypsin (U/mg Protein)	0	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
	11	0.04 ± 0.01	0.09 ± 0.04	0.17 ± 0.14	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.00
	22	0.04 ± 0.00^{a}	0.03 ± 0.00^{c}	0.04 ± 0.00^{b}	0.05 ± 0.00^{a}	0.04 ± 0.00^{ab}
	34	0.06 ± 0.00^{ab}	0.05 ± 0.01^{ab}	0.04 ± 0.00^{b}	0.05 ± 0.01^{ab}	0.07 ± 0.00^{a}
Lipase (U/mg Protein)	0	4.34 ± 0.11	4.25 ± 0.11	4.41 ± 0.00	4.30 ± 0.06	4.28 ± 0.02
	11	5.57 ± 2.05	7.77 ± 2.63	2.82 ± 2.51	1.59 ± 0.15	2.23 ± 0.49
	22	2.20 ± 0.17	2.68 ± 0.03	2.67 ± 0.02	2.50 ± 0.02	2.29 ± 0.23
	34	2.89 ± 0.01	2.79 ± 2.07	2.07 ± 0.52	2.33 ± 0.43	2.97 ± 0.07
Amylase (U/mg Protein)	0	1.49 ± 0.24	1.72 ± 0.03	1.62 ± 0.06	1.74 ± 0.02	1.69 ± 0.04
	11	2.17 ± 0.55	1.92 ± 0.06	2.40 ± 0.05	1.11 ± 0.53	1.43 ± 0.33
	22	1.64 ± 0.02^{ab}	0.91 ± 0.02^{d}	1.11 ± 0.01^{cd}	1.29 ± 0.01^{bc}	1.74 ± 0.14^{a}
	34	2.16 ± 0.15^{a}	2.01 ± 0.31^{a}	1.05 ± 0.09^{b}	1.94 ± 0.03^{ab}	2.51 ± 0.02^{a}

حروف مختلف در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست (P<۰/۰۵).

Different letters in each row indicate significant differences between treatments (P<0.05)

بحث

استفـاده از غذای زنـده در مرحـله تغـذیه مخـتلط به منظور افزایش روند رشد، کارایی غذا و دستگاه ایمنی در لارو ماهیان خاویاری، به‌دلیل عدم توسعه کامل دستگاه گوارش در ترشح بسیاری از آنزیم‌ها و به تبع، کاهش توان بالقوه هضم و جذب غذای خشک به دفعات گزارش شده است. با وجود این، پاسخ لارو ماهیان به مصرف هر یک از این موجودات غذایی زنده متفاوت بوده و تشخیص زمان آغاز تغذیه خارجی در لارو ماهیان نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. زمانی که تغذیه آغازین به تعویق افتد، توانایی ماهیان برای یافتن غذا و هضم آن کاهش یافته و به تبع، رشد و بقا با اختلال مواجه می‌شود (Kolman and Kapusta, 2018). مصرف ناپلیوس آرتمیا، دافنی، لارو شیرونومید و غیره، به‌دلیل اندازه متناسب با دهان لارو، وجود ترکیبات مغذی مفید مانند اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب، قابلیت هضم بالا، جزء موجودات غذایی رایج در شروع دوره گذار، تغذیه آغازین و تغذیه خارجی لارو تاسماهیان محسوب می‌شوند (محسنی و همکاران، ۱۴۰۲). در مطالعه حاضر، اولین گام برای سازگاری به جیره فرموله، تغذیه با ناپلیوس آرتمیا بود که طی روزهای ۲۰-۶ پس از تخم‌گشایی انجام شد. مطالعه Efatpanah و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که عملکرد رشد در لارو تاسماهی ایرانی (۱۱ روز پس از تفریخ)، تغذیه شده با ترکیبی از آرتمیا و دافنی نسبت به دیگر گروه‌های تغذیه به‌دلیل تحرک غذای زنده مصرفی و تناسب اندازه آنها با دهان لارو بالاتر بود. بهبود روند رشد، افزایش درصد بازماندگی لارو پس از تغذیه با ناپلیوس آرتمیا در لارو تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) توسط (Pourali Fahtomi and Mohseni, 2006; Noori et al. 2011)، فیل‌ماهی (Agh et al. 2013; Pajand et al. 2023) و لارو تاسماهی روسی (Jafarian et al. 2013) گزارش شده است.

در مطالعه کنونی مشاهده شد که عملکرد رشد گروه تغذیه شده با جیره فرموله و لارو منجمد شیرونومید در طی دوره پرورش نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی به‌خصوص لاروهای تغذیه شده با زی‌توده منجمد آرتمیا به‌طور معنی‌دار بالاتر بود. کاهش روند رشد و کارایی غذا در لاروهای تغذیه شده با زی‌توده آرتمیا، احتمالاً به‌دلیل وجود ترکیبات کیتینی در پوسته بوده است که سبب کاهش هضم‌پذیری و مصرف غذا می‌شود (Karlsen et al. 2017). مطالعات Taati و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تغذیه لارو تاسماهی ایرانی با شیرونومید به‌دلیل وجود ترکیبات جاذب غنی از اسیدهای آمینه مانند متیونین، ضمن تحریک اشتها، درصد بازماندگی در لارو را نیز افزایش می‌دهد. همچنین، Shakourian و همکاران (۲۰۱۱)، مصرف مخلوطی از جیره خمیری و لارو شیرونومید را برای تغذیه لارو تاسماهی ایرانی پیشنهاد دادند. در مطالعه Hamidoghli و همکاران (۲۰۱۴) که غذای زنده و خشک را در لارو تاسماهی ایرانی بررسی کردند، بالاترین روند رشد و بازماندگی را در تیمار تغذیه شده با شیرونومید گزارش کردند، که با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد. می‌توان اذعان کرد که یکی از موجودات زنده عمده مورد مصرف تاسماهیان در محیط‌های طبیعی، لارو شیرونومید است. از آنجا که جیره‌های مورد استفاده در ماهیان در شرایط اسارت باید تا حد زیادی مشابه رژیم غذایی موجود در محیط طبیعی آنها باشد، بنابراین، شیرونومید به‌واسطه رنگ و رایحه، جاذب غذایی مناسب‌تری نسبت به آرتمیاست که خود دلیلی برای افزایش رشد در تیمار مربوطه است (Anderson et al. 2012; Policar et al. 2013).

در مطالعه حاضر، برای تعیین یک راهبرد غذایی مناسب در مرحله گذار لارو تاسماهی سیبری، جیره‌های آزمایشی مختلفی بررسی شدند. درصد بازماندگی و به وجود آمدن طبقات مختلف وزنی ماهیان در زمان شروع تغذیه فعال ارتباط مستقیمی به میزان سازگاری با جیره‌های فرموله دارد. لذا توجه به این مرحله نیازمند دانش کافی و بهره‌گیری از روش تغذیه‌ای مناسب است. پس از ۳۴ روز غذادهی، شاخص‌های رشد و بقا در تیمارهای تغذیه شده با شیرونومید + جیره فرموله و همچنین، لاروهای تغذیه شده با ۱۰۰٪ غذای فرموله شده به‌طور معنی‌دار نسبت به لاروهای تغذیه شده با تیمار M بالاتر بود. در مطالعه حاضر، بیش از ۳۷٪ تلفات در لاروهای تغذیه شده با ۱۰۰٪ جیره فرموله، در

هفته اول تغذیه مشاهده شد. این امر شاید به‌دلیل عدم توانایی هضم و جذب مواد مغذی و کاهش فعالیت آنزیمی در لاروهای ضعیف‌تر باشد. از هفته دوم پرورش، درصد تلفات به‌طور معنی‌داری از روند کاهشی برخوردار بود. روند کاهشی تلفات در مراحل نهایی گذار با غذای فرموله شده نشان می‌دهد که لارو تاسماهی سیبری برای سازگاری به جیره فرموله، نیازمند زمان بیش‌تری است. با توجه به نتایج یافته‌های حاضر می‌توان اذعان کرد که تغییرات فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی در لارو تاسماهی سیبری به‌خصوص در مراحل ابتدایی چرخه زندگی به‌سرعت انجام می‌شود، در صورتی‌که نیازمندی‌های تغذیه‌ای در مرحله گذار به غذای فرموله شده با قابلیت هضم بالا برطرف شود، می‌تواند با درصد بازماندگی لارو همراه باشد (Miandare et al. 2013). نتایج مطالعات Dediu و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که کارایی رشد لارو تاسماهی روسی پس از تغذیه مستقیم با جیره فرموله شده به‌دلیل استفاده از ترکیبات تازه با درصد و کارایی پروتئینی بالا نسبت به لاروهای تغذیه شده با غذای زنده، افزایش داشت. همچنین Bardi و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که از جیره فرموله شده با توجه به عملکرد مناسب رشد و کارایی غذا، می‌توان به‌طور مستقیم از شروع تغذیه خارجی در تاسماهی خلیج مکزیک (*A. oxyrinchus desotoi*) استفاده کرد. افزایش بقا در گروی کم‌ترین میزان همنوع‌خواری در این گروه نسبت به لاروهای تغذیه شده با گاماروس، گاماروس + جیره فرموله و جیره فرموله به‌تنهایی تحقق یافت (Mohseni et al. 2012).

در زمان جذب کیسه زرده و شروع تغذیه خارجی، دستگاه گوارش ماهیان خاویاری شروع به توسعه و تکامل کرده و عمده آنزیم‌های گوارشی در این مرحله مربوط به پروتئازهای قلیایی هستند (Babaei et al. 2011; Gisbert et al. 2018). مطالعات نشان داده‌اند که همواره فرآیند هضم از تولید پروتئازهایی مانند تریپسین و کیموتریپسین شروع شده و به افزایش فعالیت پپسین در دوران جوانی ماهیان ختم می‌شود (Asgari et al. 2013).

اطلاع از الگوی تغییرات فعالیت آنزیم گوارشی نشان‌دهنده روند تکامل دستگاه گوارش است که نقش اساسی در روند تغذیه ایفا می‌کند (Mozanzadeh et al., 2021). روند تغییرات آنزیم‌ها در زمان اولین تغذیه لارو ماهی کاملاً مخصوص به گونه است (Lahnsteiner, 2017). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بالاترین میزان پپسین در تیمارهای CH و FD و کم‌ترین میزان فعالیت اختصاصی پپسین در تیمار M مشاهده شد. بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر، بالاترین و پایین‌ترین سطح فعالیت تریپسین به‌ترتیب در گروه‌های FD و M مشاهده شد. نتایج مطالعات Zeytin و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که تغذیه لارو ماهیان با مواد غذایی قابل هضم، ظرفیت تولید آنزیم‌های گوارشی را کاهش می‌دهد که به شکل بالقوه‌ای منجر به افزایش کارایی فرآیند گوارش می‌شود. میزان پروتئین جیره بر فعالیت پروتئاز اثر گذار است، اما فعالیت پروتئازها در بین گونه‌ها متفاوت است (Qian et al., 2022). در مطالعه حاضر، افزایش فعالیت پپسین و تریپسین پس از تکمیل مرحله گذار، نیاز بیش‌تر لاروها برای هضم جیره فرموله را به ترشح آنزیم‌های گوارشی نشان می‌دهد. نوسانات مقادیر فعالیت پپسین و تریپسین خصوصاً بعد از روزهای ۲۲ آزمایش (۴۰ روز پس از تخم‌گشایی) نیز مشاهده شد که بیان‌گر سازگاری لارو تاسماهی سیبری به هضم و جذب جیره فرموله است. علاوه بر این، ترکیب جیره غذایی و هضم‌پذیری آن نیز بر میزان ترشح آنزیم‌های گوارشی تأثیرگذار هستند (Buddington et al. 1984). معمولاً در بین آنزیم‌های مختلف، فعالیت آنزیم‌های لوزالمعده مانند آمیلاز به‌عنوان شاخصی از فعالیت و آمادگی دستگاه گوارش استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر، فعالیت آلفا-آمیلاز تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های مختلف نداشت، به استثنای تیمار M که به‌طور معنی‌داری از تیمارهای CH، AR و FD پایین‌تر بود که احتمالاً نشان‌دهنده حساسیت کمتر این آنزیم نسبت به دیگر آنزیم‌های تجزیه‌کننده در برابر جیره‌های غذایی است. در مرحله گذار، مقادیر پروتئین و چربی برای تکامل رشد لارو ماهیان به‌عنوان منابع عمده انرژی محسوب می‌شوند. در این راستا، فعالیت آنزیم آمیلاز به

این جهت مهم بوده که سبب می‌شود تا اسیدهای آمینه مورد نیاز برای تولید پروتئین ابقا شده و منابع جایگزین دیگر برای حفظ سوخت و ساز و انرژی مصرف شوند (Darias et al. 2006).

در مجموع در پژوهش حاضر، شاخص‌های رشد، درصد زنده‌مانی، فعالیت آنزیم‌های گوارشی در لارو تاسماهی سیبری در تیمارهای تغذیه شده با لارو شیرونومید و یا غذای فرموله شده به‌تنهایی، نسبت به دیگر تیمارها افزایش معنی‌دار داشت. بر اساس یافته‌های مطالعاتی، به‌نظر می‌رسد که ترکیبی از غذای زنده و جیره فرموله می‌تواند گزینه مناسبی برای بهبود و حفظ کارایی تغذیه‌ای لارو باشد و به لارو برای پذیرش و هضم جیره فرموله و کوتاه شدن دوره گذار کمک کند (Falahatkar, 2018). تغییرات فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی در لارو تاسماهی سیبری به‌خصوص در مراحل ابتدایی چرخه زندگی به‌سرعت انجام می‌شود. بنابراین، می‌توان از جیره فرموله شده متناسب با نیازمندی غذایی با قابلیت هضم و جذب گوارشی بالا، به‌طور مستقیم از شروع تغذیه خارجی استفاده کرد. استفاده از لارو منجمد شیرونومید به‌عنوان جیره مکمل مرحله گذار (خصوصاً در ۱۰ روز اول تغذیه خارجی) به سبب ارتقای هضم‌پذیری، تولید آنزیم‌های گوارشی، تضمین زنده‌مانی و کاهش هزینه‌های تولید توصیه می‌شود. با توجه به اینکه هزینه غذای زنده از غذای خشک بیش‌تر است، عادت‌پذیری لاروها در مدت زمان کوتاه می‌تواند در کاهش هزینه غذا نیز مؤثر باشد.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر در قالب یک پروژه مصوب با حمایت مالی شرکت گوار کویر آریا، رفسنجان، ایران در انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری طراحی و اجرا شد. نگارنده از کلیه مسئولین و همکارانی که در اجـرای این پروژه حمایت و پشتیبانی کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

Agh, N., Noori, F., Irani, A., Van Stappen, G., Sorgeloos, P. 2013. Fine tuning of feeding practices for hatchery produced Persian sturgeon, *Acipenser persicus* and Beluga sturgeon, *Huso huso*. Aquaculture Research 44: 335-344. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03031.x.

Anderson, T.J., Stelzer, R.S., Drecktrah, H.G., Eggert, S.L. 2012. Secondary production of Chironomidae in a large eutrophic lake: implications for lake sturgeon production. Freshwater Science 31: 365-378. DOI: 10.1899/11-042.1.

Asgari, R., Rafiee, G., Eagderi, S., Noori, F., Agh, N., Poorbagher, H., Gisbert, E. 2013. Ontogeny of the digestive enzyme activities in hatchery produced Beluga (*Huso huso*). Aquaculture 416: 33-40. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.08.014.

Babaei, S.S., Kenari, A.A., Nazari, R., Gisbert, E. 2011. Developmental changes of digestive enzymes in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) during larval ontogeny. Aquaculture 318: 138-144. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.04.032.

Bardi Jr, R.W., Chapman, F.A., Barrows, F.T. 1998. Feeding trials with hatchery-produced Gulf of Mexico sturgeon larvae. The Progressive Fish-Culturist 60: 25-31. DOI: 10.1577/1548-8640(1998)060<0025:FTWHPG>2.0.CO;2.

Bronzi, P., Chebanov, M., Michaels, J.T., Wei, Q., Rosenthal, H., Gessner, J. 2019. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. Journal of Applied Ichthyology 35: 257-266. DOI: 10.1111/jai.13870.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and

sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.

Conceição, L.E., Yúfera, M., Makridis, P., Morais, S., Dinis, M.T. 2010. Live feeds for early stages of fish rearing. Aquaculture Research 41: 613-640. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02242.x.

Conte, F.S., Doroshov, S.I., Lutes, P.B., Strange, E.M. 1988. Hatchery Manual for The White Sturgeon, *Acipenser transmontanus* Richardson. Cooperative Extension University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publishing, California, USA, 104 p.

Darias, M.J., Murray, H.M., Gallant, J.W., Astola, A., Douglas, S.E., Yúfera, M., Martínez-Rodríguez, G. 2006. Characterization of a partial α-amylase clone from red porgy (*Pagrus pagrus*): Expression during larval development. Comparative Biochemistry and Physiology 143B: 209-218. DOI: 10.1016/j.cbpb.2005.11.010.

Dediu, L., Maereanu, M., Cristea, V., Maereanu, D. 2011. Effect of formulated diet versus live food on growth and survival of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) larvae starting exogenous feeding. Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies 68: 130-136. DOI: 10.15835/buasvmcn-asb:68:1-2:6683.

Efatpanah, I., Falahatkar, B., Sajjadi, M.M., Monsef Shokri, M. 2024. The effect of feeding with chironomid and artemia on fatty acids and amino acids profiles in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. Aquaculture Nutrition 2024: 6975546. DOI: 10.1155/2024/6975546.

Erlanger, B.F., Kokowsky, N., Cohen, W. 1961. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. Archives of Biochemistry and Biophysics 95: 271-278. DOI: 10.1016/0003-9861(61)90145-X.

FAO. 2023. GLOBEFISH Highlights-International Markets for Fisheries and Aquaculture Products-Second Issue 2023, with January–December 2022 Statistics. GLOBEFISH Highlights, No. 2-2023. Rome, Italy, 75 p.

FAO. 2023. Fishery and Aquaculture Statistics-Yearbook 2021. Rome, Italy, 232 p.

Falahatkar, B., Poursaeid, S., Efatpanah, I., Meknatkhah, B. 2017. Growth, development and behaviour of Persian sturgeon *Acipenser persicus* larvae in different light regimes. Aquaculture Research 48: 5812-5820. DOI: 10.1111/are.13404.

Falahatkar, B. 2018. Nutritional Requirements of the Siberian Sturgeon: An Updated Synthesis. In: Williot, P., Nonnotte, G., Vizziano-Cantonnet, D., Chebanov, M. (Eds). The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Volume 1-Biology. Springer, Cham. Switzerland, 207-228.

Gisbert, E., Giménez, G., Fernández, I., Kotzamanis, Y., Estévez, A. 2009. Development of digestive enzymes in common dentex *Dentex dentex* during early ontogeny. Aquaculture 287: 381-387. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.10.039.

Gisbert, E., Solovyev, M., Bonpunt, E., Mauduit, C. 2018. Weaning in Siberian sturgeon larvae. In: Williot, P., Nonnotte, G., Chebanov, M.S. (Eds.). The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Volume 2-Farming. Springer, Cham, Switzerland. 59-72.

Hamidoghli, A., Falahatkar, B.,

Khoshkholgh, M., Sahragard, A. 2014. Production and enrichment of chironomid larva with different levels of vitamin C and effects on performance of Persian sturgeon larvae. North American Journal of Aquaculture 76: 289-295. DOI: 10.1080/15222055.2014.911224.

Jafarian, H.O., Jafarian, S., Makhtomi, N. 2013. The use of *Daphnia magna* and Artemia nauplii in the early feeding of *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt and Ratzeburg, 1833 larvae. Journal of Applied Ichthyological Research 1: 69-82.

Karlsen, Ø., Amlund, H., Berg, A., Olsen, R.E. 2017. The effect of dietary chitin on growth and nutrient digestibility in farmed Atlantic cod, Atlantic salmon and Atlantic halibut. Aquaculture Research 48: 123-133. DOI: 10.1111/are.12867.

Kolman, R., Khudyi, O., Kushniryk, O., Khuda, L., Prusinska, M., Wiszniewski, G. 2018. Influence of temperature and Artemia enriched with ω-3 PUFA s on the early ontogenesis of Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus* Mitchill, 1815. Aquaculture Research 49: 1740-1751. DOI: 10.1111/are.13629.

Lahnsteiner, F. 2017. Digestive enzyme system of larvae of different freshwater teleost and its differentiation during the initial phase of exogenous feeding. Czech Journal of Animal Science 62: 403-416. DOI: 10.17221/25/2016-CJAS.

Miandare, H.K., Farahmand, H., Akbarzadeh, A., Ramezanpour, S., Kaiya, H., Miyazato, M., Rytkönen, K.T., Nikinmaa, M. 2013. Developmental transcription of genes putatively associated with growth in two sturgeon species of different growth rate. General and Comparative Endocrinology 182: 41-47. DOI: 10.1016/j.ygcen.2012.11.013.

Mozanzadeh, M.T., Bahabadi, M.N., Morshedi, V., Azodi, M., Agh, N., Gisbert, E. 2021. Weaning strategies affect larval performance in yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*). Aquaculture 539: 736673. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.736673.

Mohseni, M., Pourkazemi, M., Bahmani, M., Falahatkar, B., Pourali, H.R., Salehpour, M. 2006. Effects of feeding rate and frequency on growth performance of yearling great sturgeon, *Huso huso*. Journal of Applied Ichthyology 22: 278-282. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2007.00968.x.

Mohseni, M., Pourkazemi, M., Hassani, S.H., Okorie, O.E., Min, T.S., Bai, S.C. 2012. Effects of different three live foods on growth performance and survival rates in Beluga (*Huso huso*) larvae. Iranian Journal of Fisheries Sciences 11: 118-131.

Mohseni, M., Ghelichpour, M., Sayed Hassani, M.H., Pajand, Z.O., Ghorbani Vaghei, R. 2023a. Efficacy of dietary thiamine supplementation on growth performance, digestive enzymes, immunological responses, and antioxidant capacity of juvenile beluga (*Huso huso*). Aquaculture Reports 31: 101664. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101664.

Mohseni, M., Ghelichpour, M., Sayed Hassani, M.H., Pajand, Z.O., Ghorbani Vaghei, R. 2023b. Effects of dietary thiamine supplementation on growth performance, digestive enzymes' activity, and biochemical parameters of Beluga, *Huso huso*, larvae. Journal of Applied Ichthyology 2023: 6982536. DOI: 10.1155/2023/6982536.

Noori, F., Azari Takami, G., Van Speybroeck, M., Van Stappen, G., Shiri-Harzevili, A.R., Sorgeloos, P. 2011. Feeding *Acipenser persicus* and *Huso huso* larvae with *Artemia*

urmiana nauplii enriched with highly unsaturated fatty acids and vitamin C: Effect on growth, survival and fatty acid profile. Journal of Applied Ichthyology 27: 781-786. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2010.01647.x.

Pajand, Z.O., Taati, R., Mohseni, M., Abdolhay, H.A., Ghorbani Vaghei, R., Khodkhah, Z. 2023. Effects of short-term adaptation of weaning strategies on growth performance, survival rate, carcass composition, and fatty acids profile of great sturgeon (*Huso huso*) larvae. Iranian Scientific Fisheries Journal 32: 25-38. DOI: 1022092/ISFJ1.2024.131012.

Pavasovic, A., Richardson, N.A., Mather, P.B., Anderson, A.J. 2006. Influence of insoluble dietary cellulose on digestive enzyme activity, feed digestibility and survival in the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). Aquaculture Research 37: 25-32. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2005.01389.x.

Policar, T., Stejskal, V., Kristan, J., Podhorec, P., Svinger, V., Blaha, M. 2013. The effect of fish size and stocking density on the weaning success of pond-cultured pikeperch *Sander lucioperca* L. juveniles. Aquaculture International 21: 869-882. DOI: 10.1007/s10499-012-9563-z

Pourali Fashtomi, H.R., Mohseni, M. 2006. Survival and growth of larval and juvenile Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) using formulated diets and live food. Journal of Applied Ichthyology 22: 303-306. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2007.00974.x.

Qian, J., Xiao, L., Feng, K., Li, W., Liao, C., Zhang, T., Liu, J. 2022. Effect of dietary protein levels on the growth, enzyme activity, and immunological status of *Culter mongolicus* fingerlings. PLoS ONE, 17: e0263507. DOI: 10.1371/journal.pone.0263507.

Ruban, G., Mugue, N. 2022. *Acipenser baerii*, The IUCN Red List of Threatened Species.

Shakourian, M., Pourkazemi, M., Yazdani Sadati, M.A., Hassani, M.H.S., Pourali, H.R., Arshad, U. 2011. Effects of replacing live food with formulated diets on growth and survival rates in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. Journal of Applied Ichthyology 27: 771-774. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2010.01632.x.

Sorgeloos, P., Dhert, P., Candreva, P. 2001. Use of the brine shrimp, Artemia spp., in marine fish larviculture. Aquaculture 200: 147-159. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00698-6.

Teletchea, F. 2019. Fish domestication in aquaculture: reassessment and emerging questions. Cybium 43: 7-15.

Taati, R., Pourali Fashtami, H.R., Sharifi Ardehjani, H. 2018. Comparison of the effects of nutrient sorbents of farmed Chironomidea extract and the amino acid methionine on growth, survival and carcass composition of Persian sturgeon. Marine Biology, 10: 21-28.

Volkman, E.T., Pangel, K.L., Rajchel, D.A., Sutton, T.M. 2004. Hatchery performance attributes of juvenile lake sturgeon fed two natural food types. North American Journal of Aquaculture 66: 105-112. DOI: 10.1577/A03-047.1.

Wang, Y. 2011. Use of probiotics Bacillus coagulans, *Rhodopseudomonas palustris* and *Lactobacillus acidophilus* as growth promoters in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fingerlings. Aquaculture Nutrition 17: 372-378. DOI: 10.1111/j.1365-

2095.2010.00771.x.
Worthington, C.C. 1991. Worthigton Enzyme Manual Related Biochemical. 3rd edn. Freehold, New Jersey, 250-253.
Zeytin, S., Schulz, C., Ueberschär, B. 2016. Diurnal patterns of tryptic enzyme activity under different feeding regimes in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae. Aquaculture 457: 85-90. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.02.017.