(DOI): 10.22092/ISFJ.2026.135807 35(2) 61-73 Iranian Scientific Fisheries Journal

Effects of dietary partial substitute of insect meal (meal worm larvae and silk worm pupa) for fish meal on growth and related-gene expression of Siberian sturgeon

Bagheri T.*[1,2]; Hafezieh M.[3]; Sharifpour I.[3]; Hosseinzadeh Sahafi H.[3]; Mohseni M.[4]; Sharifian M.[3]; Masaeli Sh.[3]; Abdoli R.[5]; Pagheh E.[1]

*Bagheri1360@gmail.com

1-Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
2-Off- shore Fisheries Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Chabahar, Iran
3-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4-International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
5-Iran Silk Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Received: December 2025 Accepted: April 2026 Published: July 2026

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Sustainable aquaculture requires reliable, high-quality protein sources. Fishmeal, widely used in sturgeon diets, faces challenges such as limited supply, high cost, and environmental impact (Alfiko *et al*., 2022; Majluf *et al*., 2024). Insects, including yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and silkworm pupae (*Bombyx mori*), are rich in protein (42–63%), essential amino acids, lipids, and micronutrients, and can be reared on organic waste (Alfiko *et al.,* 2022; p). In Iran, sturgeon aquaculture has developed significantly, and finding suitable alternatives to fishmeal is of particular importance (Hosseinzadeh Sahafi, 2024, In Persian). This study aimed to evaluate the effects of partial replacement (15%) of fishmeal with insect meals, alone or in combination, on growth performance and the expression of genes related to growth, metabolism, and immunity in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

Methodology

Preparation of experimental diets and rearing conditions: Yellow mealworm larvae and silkworm pupae were ground and used to prepare three isonitrogenous and isolipidic experimental diets. Diet formulation was based on the nutritional requirements of Siberian sturgeon (Caimi *et al*., 2020). Treatments included control (fishmeal only), Treatment 1 (15% mealworm larvae), Treatment 2 (15% silkworm pupae), and Treatment 3 (7.5% mealworm larvae + 7.5% silkworm pupae). Five-month-old Siberian sturgeon (initial weight: 250.46 ± 76.59 g) were acclimated for two weeks and randomly distributed into 400 L fiberglass tanks. The feeding trial lasted 90 days at 24 ± 2.1°C with a natural photoperiod. Fish were fed by hand to apparent satiation three times daily (08:00, 14:00, 20:00), six days per week. Uneaten feed was collected daily, dried, and weighed (Caimi *et al.*, 2020; Sheikh Veisi *et al*., 2022). Fish were fasted for 24 hours and weighed every two weeks (Bagheri *et al*., 2025). Growth performance: Growth indices including weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), condition factor (CF), and protein efficiency ratio (PER) were calculated using standard formulas (Caimi *et al*., 2020). Gene expression: Tissue samples from brain, liver, and intestine were collected and stored at -80°C. Gene expression was evaluated for GH, IGF1, ghrelin (growth and appetite), TOR (protein metabolism), and ApoE (lipid metabolism) using RT-qPCR. NCBI accession numbers for all primers are presented in Table 2. Statistical analysis: Data were analyzed using SPSS software (version 9.5.1.733). One-way ANOVA followed by Tukey's test was used for group comparisons. Results are presented as mean ± SD (n=4).

Results

Growth performance: Treatment 1 (15% mealworm larvae) achieved significantly higher final weight (967.25 g) and weight gain (636.25 g) compared to other treatments, while the control group showed the lowest values (828 g and 498 g, respectively) ($p\leq0.05$). PER in Treatment 1 (1.6) was significantly higher than other treatments. FCR in Treatments 1, 2, and 3 was similar (1.1), while the control group showed a higher FCR (1.21). Experimental diets had no significant effect on condition factor ($p>0.05$). Gene expression: GH expression in brain increased in Treatments 1 and 2, while Treatment 3 showed the most significant increase ($p\leq0.05$). IGF1 expression in liver significantly increased in Treatment 2, followed by Treatment 3 ($p\leq0.05$). Intestinal ghrelin expression significantly increased in Treatment 3 ($p\leq0.05$). ApoE expression in liver increased in Treatment 1, followed by Treatment 3 ($p\leq0.05$). TOR expression significantly increased in all insect-based treatments, with the highest level in Treatment 3 ($p\leq0.05$). The lowest expression levels for all genes belonged to the control group.

Discussion and conclusion

The results demonstrated that partial replacement of fishmeal with insect meals improves growth performance and activates molecular pathways related to growth, metabolism, and immunity in Siberian sturgeon. The significant increase in growth indices and FCR improvement in insect-based diets indicated that insect proteins enhance feed efficiency and nutrient conversion. These findings are consistent with previous studies showing that 15–30% replacement of fishmeal with insect meal improves growth without negative effects on sturgeon health (Zhu *et al*., 2011; Caimi *et al*., 2020; Rawski *et al*., 2020). The lack of

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

significant differences in CF among treatments suggests that insect proteins do not alter body morphology (Jackson *et al.*, 2002). The marked increase in ghrelin expression in Treatment 3 indicates a strong effect of the combined insect diet on appetite regulation and energy balance. Ghrelin plays a key role in stimulating feed intake and improving metabolic efficiency (Zarantoniello *et al*., 2021). The significant increase in TOR expression in all insect-based treatments indicates activation of anabolic pathways and increased protein synthesis capacity, consistent with reports that insect meal can stimulate the TOR pathway in fish (Lanes *et al.,* 2021). Increased IGF1 expression in Treatments 2 and 3 indicates stimulation of the GH-IGF growth axis. Increased ApoE expression in Treatments 1 and 3 indicates improved lipid transport and energy metabolism, consistent with the presence of bioactive fatty acids in insect meals (Weththasinghe *et al*., 2022). The combination of mealworm larvae and silkworm pupae created a synergistic effect by providing complementary nutritional profiles. The results demonstrate that 15% replacement of fishmeal with insect protein sources, particularly the combination of yellow mealworm larvae and silkworm pupae, enhances growth, lipid metabolism, and protein metabolism pathways in Siberian sturgeon. Activation of the ghrelin-TOR-IGF1 pathway and increased ApoE expression provide clear evidence of improved anabolism and nutritional efficiency. Insect protein can serve as a sustainable alternative to fishmeal while improving growth performance and molecular health in sturgeon. Therefore, insect meal is a suitable option for optimizing commercial feed formulation in sturgeon aquaculture.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

This study was supported by the Iran National Science Foundation (INSF) under Grant No. 4027280. The authors thank the Iranian Fisheries Science Research Institute and the Inland Water Aquatic Resources Research Center (Gorgan) for their support.

Keywords

Siberian sturgeon, Fishmeal, Insect meal, Replacement, Gene expression, Growth performance

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

مجله علمی شیلات ایران ۷۳-۶۱ (۲) ۳۵ (DOI): 10.22092/ISFJ.2026.135807

مقاله علمی – پژوهشی:

تأثیر جایگزینی بخشی از آرد ماهی با آرد حشرات (کرم سوسک زرد و شفیره کرم ابریشم) در جیره غذایی بر شاخص‌های رشد و بیان ژن‌های مرتبط با رشد تاس‌ماهی سیبری‌جوان

طاهره باقری[۱و۲*]، محمود حافظیه[۳]، عیسی شریف‌پور[۳]، همایون حسین‌زاده صحافی[۳]، محمود محسنی[٤]، منصور شریفیان[۳]، شهره مسائلی[۳]، رامین عبدلی[٥]، اسمعیل پقه[۱]

*Bagheri1360@gmail.com

۱-مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آبهای داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، گرگان، ایران
۲-مرکز تحقیقات آبهای دور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران
۳- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
٤-انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
٥-مرکز تحقیقات ابریشم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: دی ۱٤۰٤ تاریخ پذیرش: فروردین ۱٤۰٥ تاریخ چاپ: تیر ۱٤۰٥

چکیده

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیر جایگزینی بخشی از آرد ماهی با آرد کرم سوسک زرد (*Tenebrio moliter*)، آرد شفیره کرم ابریشم (*Bombyx mori*) و ترکیب آرد این دو حشره در جیره غذایی تاس‌ماهیان سیبری (*Acipenser baerii*) بر عملکرد رشد و بیان ژن‌های مرتبط با رشد و متابولیسم انجام شد. آزمایش تغذیه‌ای با تهیه ۱ جیره شاهد و ۳ تیمار با جیره آزمایشی شامل آرد ماهی بدون افزودن پودر حشره (جیره غذایی شاهد) و سه جیره غذایی با جایگزینی ۱۵ درصد آرد ماهی با آرد کرم سوسک زرد (تیمار ۱)، ۱۵ درصد آرد شفیره کرم ابریشم (تیمار ۲) یا ترکیبی از ۷/۵ درصد کرم سوسک زرد و ۷/۵ درصد شفیره کرم ابریشم (تیمار ۳)، انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که جیره‌های دارای منبع پروتئین آرد حشرات به‌ویژه جیره غذایی ترکیبی (تیمار ۳)، سبب افزایش معنی‌دار در وزن نهایی، میزان افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و بهره‌وری پروتئین شدند و ضریب تبدیل غذایی را نسبت به جیره غذایی مبتنی بر آرد ماهی بهبود دادند. تحلیل بیان ژن نشان داد که تیمارهای حاوی حشرات موجب افزایش قابل‌توجه بیان Ghrelin (تنظیم اشتها و تعادل انرژی)، TOR (تنظیم سنتز پروتئین و رشد سلولی) و IGF1 (رشد سیستمیک) شدند. همچنین افزایش بیان ژن ApoE در تیمارهای ۲ و ۴ بیانگر بهبود در انتقال و متابولیسم لیپیدها بود. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که آرد حشرات می‌تواند همزمان رشد و متابولیسم را بهبود دهد و جایگزینی مؤثر و پایدار برای آرد ماهی در تغذیه تاس‌ماهی سیبری باشد. بنابراین، استفاده از منابع پروتئینی حشرات می‌تواند راهکاری کاربردی برای توسعه پایدار صنعت پرورش تاس‌ماهی سیبری باشد.

لغات کلیدی: تاس ماهی سیبری، آرد ماهی، آرد حشرات، جایگزینی، بیان ژن، رشد

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

مقدمه

از سال ۲۰۱۵، سازمان ملل متحد پس از تعیین اهداف توسعه پایدار، دستیابی به امنیت غذایی و کاهش فشار بر سیستم‌های تولید غذا را به‌ویژه بدون آسیب به اقلیم و تنوع زیستی، به عنوان یک ضرورت جهانی مطرح نموده است (Auzins *et al.,* 2024). افزایش جمعیت، محدودیت منابع طبیعی و تغییرات اقلیمی فشار زیادی بر تامین غذای جهانی وارد کرده و آبزی‌پروری به عنوان منبع تامین پروتئین با بهره‌وری بالا و نیاز آبی کمتر، اهمیت ویژه‌ای یافته است (Oluwole *et al.,* 2023; Hosseinzadeh Sahafi, 2024). علاوه‌براین، وابستگی صنعت آبزی‌پروری به آرد ماهی به عنوان منبع اصلی پروتئین و چربی، با چالش‌های جدی از جمله محدودیت عرضه، هزینه بالا و آثار زیست‌محیطی قابل‌توجه مواجه شده است (Alfiko *et al.,* 2022; Majluf *et al.,* 2024).

برای کاهش وابستگی به آرد ماهی، منابع پروتئینی جایگزین متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که شامل محصولات جانبی صید و آبزی‌پروری، ضایعات غذایی، پروتئین تک‌سلولی، جلبک‌ها، منابع گیاهی و حشرات هستند (Hua *et al.,* 2019; Aragao *et al.,* 2022). محصولات جانبی صید و آبزی‌پروری می‌توانند جایگزین بخش قابل‌توجهی از آردماهی، بدون کاهش رشد شوند و دارای مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی نیز هستند (Rustad *et al.,* 2011). ضایعات غذایی و پروتئین تک‌سلولی نیز به عنوان گزینه‌هایی اقتصادی و دارای ارزش تغذیه‌ای قابل‌توجه مطرح هستند. با این‌حال، چالش‌هایی مانند عدم تعادل در ترکیب مواد مغذی و هزینه بالای فرایند تولید، استفاده گسترده از آنها را با محدودیت مواجه می‌کند (Hua *et al.,* 2019; Wooley *et al.,* 2023). جلبک‌ها با جذب نیتروژن و فسفر و تقویت سیستم ایمنی ماهیان، منبعی پایدار و دوستدار محیط‌زیست محسوب می‌شوند، اما میزان بالای فیبر در برخی گونه‌ها می‌تواند هضم آنها را محدود کند (Rotter *et al.,* 2023; Hughes *et al.,* 2025). منابع گیاهی نیز می‌توانند به طور جزئی یا کامل جایگزین آرد ماهی شوند، هرچند جایگزینی کامل نیازمند فرمولاسیون دقیق و جبران کمبودهای آمینواسیدی است (Hussain *et al.,* 2024; Kim and Cho, 2024) در این میان، حشرات به عنوان متنوع‌ترین گروه جانوری و منبع پروتئینی طبیعی ماهیان گوشت‌خوار، گزینه‌ای نوآورانه و پایدار برای خوراک آبزیان محسوب می‌شوند. آرد حشرات دارای پروتئین بالا (۶۳–۴۲٪)، پروفایل کامل اسیدهای آمینه، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند (Alfiko *et al.,* 2022; Zhuo *et al.,* 2022). حشرات را می‌توان با استفاده از ضایعات غذایی پرورش داد و محصولات جانبی آنها مانند Frass [1] و روغن، ارزش افزوده ایجاد می‌کنند (Rossi *et al.,* 2023; Beesigamukama *et al.,* 2022). پس از تصویب مقررات اتحادیه اروپا (EU 2017/893 و EU 2021/1925)، کرم سوسک زرد[2] (*Tenebrio molitor*) و شفیره کرم ابریشم (*Bombyx mori*) مجوز استفاده در خوراک آبزیان را یافتند و تحقیقات نشان می‌دهد که انتخاب گونه‌های مناسب، و در نظر گرفتن اثرات تغذیه‌ای و زیست‌محیطی، کلید موفقیت کاربرد آرد حشرات است (Auzins *et al.,* 2024; Fantatto *et al.,* 2024). کرم سوسک زرد به دلیل رشد سریع، قابلیت پرورش با استفاده از ضایعات مواد آلی و دارا بودن پروتئین بالا و شفیره کرم ابریشم به عنوان محصول جانبی صنعت تولید ابریشم با ارزش تغذیه‌ای بالا، از گزینه‌های امیدبخشی برای جایگزینی جزئی آرد ماهی در جیره آبزیان هستند (Yadav *et al.,* 2025; Ragozzino-Paulino *et al.,* 2025). به‌علاوه، تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) با نیاز تغذیه‌ای بالا، رشد سریع و ارزش اقتصادی قابل‌توجه، نیازمند جیره غذایی تنظیم شده و پروتئین با کیفیت است. از این‌رو، در مطالعه حاضر، با بررسی اثر جایگزینی جزئی آرد ماهی با آرد کرم سوسک زرد و شفیره کرم ابریشم (به صورت جدا و ترکیبی) بر رشد و بیان ژن‌های مرتبط با رشد ماهی سیبری پرداخته شد تا امکان استفاده از آرد حشره در جیره غذایی این گونه برای ارائه راهکاری عملی و پایدار برای کاهش وابستگی به منابع محدود و ارتقاء پایداری زیست‌محیطی در صنعت آبزی‌پروری فراهم گردد.

[1] فضولات حشرات به همراه پوست‌اندازی‌های آنها و گه‌گاه بقایای غذاهای هضم‌نشده

[2] Mealworm

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

مواد و روش کار

آماده‌سازی جیره‌های غذایی و شرایط پرورش

، به‌کار رفتند. فرمولاسیون جیره‌های غذایی بر اساس نیازهای تغذیه‌ای تاس ماهی سیبری تنظیم و برای حفظ تعادل تغذیه‌ای و یکسان‌سازی پروتئین و چربی جیره‌های غذایی از ژلاتین، نشاسته و روغن ماهی استفاده شد (Caimi *et al.*, 2020). مواد خشک آسیاب و وزن‌کشی شده، با روغن ماهی مخلوط و با افزودن تدریجی ۵۰۰-۲۵۰ میلی‌لیتر آب به ازاء هر کیلوگرم خوراک، پلت شدند سپس پلت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و در کیسه‌های تیره در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند (Sheikh Veisi *et al.*, 2022). تیمارهای مورد استفاده در تحقیق شامل جیره شاهد (فقط آرد ماهی بدون افزودن آرد حشرات) و ۳ جیره آزمایشی شامل جایگزینی ۱۵ درصد آرد ماهی با کرم سوسک زرد (تیمار ۱)، جایگزینی ۱۵ درصد آرد ماهی با شفیره کرم ابریشم (تیمار ۲) و جایگزینی ۱۵ درصد آرد ماهی با ترکیبی از ۷/۵درصد کرم سوسک زرد و ۷/۵ درصد شفیره کرم ابریشم (تیمار ۳) بود. جزئیات جیره های آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است. تاس‌ماهی سیبری پنج ماهه از مرکز تکثیر و پرورش ماهی خاویاری تهیه و پس از ورود به سالن آزمایش، به مدت دو هفته با شرایط پرورشی جدید سازگار شدند. پس از سازگاری، ماهی‌ها به آرامی بیهوش، وزن کشی (وزن اولیه بدن: ۷۶/۵۹± ۲۵۰/۴۶ گرم) و به طور تصادفی در مخازن توزیع شدند. آزمایش تغذیه ای به مدت ۹۰ روز در مخازن فایبرگلاس دایره‌ای (هر کدام با ظرفیت ۴۰۰ لیتر) که با آب چاه آرتزین در دمای ثابت ۲/۱±۲۴ درجه سانتی‌گراد تأمین می‌شد، اجرا گردید. در اندازه‌گیری‌های هفتگی، سطح اکسیژن محلول در دامنه ۸/۹-۵/۳ میلی‌گرم در لیتر و pH پایدار ۷/۶ را تأیید کرد. آزمایش تغذیه‌ای از مرداد لغایت آبان ۱۴۰۳ در شرایط نوری طبیعی انجام شد. ماهی‌ها سه بار در روز (۸:۰۰، ۱۴:۰۰ و ۲۰:۰۰)، شش روز در هفته، با دست تا حد سیری ظاهری تغذیه شدند (Caimi *et al.*, 2020). برای تعیین میزان واقعی مصرف غذا در هر مخزن، غذای خورده نشده روزانه کرم سوسک زرد و شفیره کرم ابریشم تهیه و با آسیاب مکانیکی آرد شدند و در تهیه سه جیره غذایی آزمایشی که از لحاظ مواد مغذی یکسان طراحی شدند

جمع‌آوری، خشک و وزن شد. برای تعیین مقدار دقیق غذا و ارزیابی عملکرد رشد، ماهی‌های هر تیمار به مدت ۲۴ ساعت ناشتا نگه داشته شده، بیهوش شده و هر دو هفته یکبار وزن شدند (Bagheri *et al.*, 2025). به محض اتمام آزمایش تغذیه، اندازه‌گیری‌های رشد ماهی و نمونه‌گیری به صورت جداگانه انجام شد.

عملکرد رشد

پس از اتمام دوره تغذیه با جیره‌های آزمایشی، زیست‌سنجی نهایی برای ارزیابی رشد و محاسبه شاخص‌های رشد (افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، شاخص وضعیت و نرخ بازده پروتئین)، با استفاده از معادلات ذیل انجام شد (Caimi *et al.*, 2020):

$$WG = W_f - W_i$$

$$SGR(\%) = \frac{\ln W_f - \ln W_i}{t} \times 100$$

$$FCR = \frac{F}{WG}$$

$$PER = \frac{WG_{tank}}{P_{fed}}$$

$$CF = \frac{W}{L^3} \times 100$$

(WG): افزایش وزن بدن (گرم)، W_f: وزن نهایی (گرم)، W_i : وزن اولیه (گرم)، t: دوره پرورش (روز)، F :کل خوراک عرضه‌شده (گرم ماده خشک)، WG_{tank} : افزایش وزن هر مخزن، P_{fed} پروتئین تغذیه شده،W: وزن بدن (گرم)، L: طول چنگالی (سانتی‌متر)

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

جدول ۱: اجزای غذایی تیمارهای آزمایشی و تجزیه‌وتحلیل شیمیایی جیره‌ها برای تاس ماهی سیبری (*A. baeri*)

Table1: Ingredients of trial diets and proximal analysis of diets for Siberian sturgeon (*A. baeri*)

Ingredients (g kg^{-1}) **اجزای غذایی (گرم در هرکیلو غذا)**	**1**	**2**	**3**	**4**
Fishmeal [1]	60	45	45	45
ارد ماهی Mealworm[2]	0	15	0	7.5
کرم سوسک زرد silkworm pupa[3]	0	0	15	7.5
شفیره کرم ابریشم Gelatine	8	9.5	8	9
ژلاتین starch	17	16.5	17	17
نشاسته fish oil	12	11	12	11
روغن ماهی Premix[4]	2.5	2.5	2.5	2.5
مکمل VitC ویتامین سی	0.5	0.5	0.5	0.5
Proximate composition (g kg^{-1} as fed) ترکیب (گرم در هر کیلوگرم غذا)				
Dry Matter	93.94	92.25	93.52	93.6
مواد خشک Crude Protein	42	42	43	42.5
پروتئین خام Crude Fat	18	18	18.8	17.9
چربی خام Fiber	0.17	0.48	0.6	0.87
فیبر Ash	12.6	8.20	7.84	8.15
Proximate composition (g kg^{-1} as fed) ترکیب (گرم در هر کیلوگرم غذا)				
خاکستر Gross Energy (Kcal) انرژی خام (کیلوکالری)	2971	2959	3092	2990

[1] آرد ماهی از شرکت تهران کیلکا، ساری، ایران خریداری شد. ترکیب تقریبی در هر ۱۰۰ گرم (۸۸/۷ وزن خشک، ۵۸/۸ پروتئین خام، ۱۰/۴ چربی، ۱۱/۴ خاکستر)

[2] کرم سوسک زرد از شرکت زیست فن آوری هیرکان ورجاوند، گرگان، ایران خریداری شد. ترکیب تقریبی در هر ۱۰۰ گرم (۸۵/۶ وزن خشک، ۴۸/۵ پروتئین خام، ۱۵/۸ چربی، ۷/۴ خاکستر)

[3] شفیره کرم ابریشم از شرکت تعاونی ابریشم پریرو، بندر امیراباد گیلان، ایران خریداری شد. ترکیب تقریبی در هر ۱۰۰ گرم (۸۷/۵ وزن خشک، ۶۲/۶ پروتئین خام، ۱۴/۱ چربی، ۸/۱ خاکستر)

[4] مکمل معدنی و ویتامینه

[1]Purchased from Tehran Kilka Powder, Sari, Iran Proximate composition (g 100 g^{-1}, as fed basis): 88.7 DM; 58.8 CP; 10.4 EE; 11.4 ash.

[2] Purchased from Varjavand Hirkan Biotechnology Company,Gorgan, Iran. Proximate composition (g 100 g^{-1}, as fed basis): 85.6 DM; 48.5 CP; 15.8 EE; 7.4 ash.

[3] Purchased from Parirou Abrisham Corporation, Amirabad Port Guilan, Iran. Proximate composition (g 100 g^{-1}, as fed basis): 87.5 DM; 62.6 CP; 14.4 EE; 8.1 ash.

[4]Vitamin mixture (IU, µg or mg kg^{-1} diet): DL-α tocopherol acetate, 45mg; retinyl acetate, 125000 IU; DL-cholecalciferol, 5000 IU; thiamin, 4 mg; riboflavin, 9 mg; pyridoxine, 4.2 mg; B12, 25 mg; folic acid, 2.6 mg; inositol, 1000 mg; biotin,150µg; magnesium carbonate, 120 mg; iron sulphate, 20 mg; zinc sulphate,110 mg; copper sulphate, 16 mg; cobalt sulphate, 16 mg; Selenium,0.3mg

بیان ژن

نمونه‌های بافتی برای تجزیه‌وتحلیل مولکولی از اندام‌های هدف ماهی (مغز، کبد و روده)، جمع‌آوری شدند. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، پس از بی‌هوش کردن ماهی‌ها، سطح بدن آنها با الکل ضدعفونی و بافت‌های هدف جدا شدند. نمونه‌های بافتی بلافاصله در نیتروژن مایع قرار داده شده و تا زمان تجزیه‌وتحلیل ژنتیکی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. پرایمرها با استفاده از سه نرم‌افزار طراحی

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

شدند. ارزیابی بیان ژن‌ها (Ghrelin ،GH, IGF1) برای رشد و اشتها، (TOR) برای متابولیسم پروتئین و (ApoE) برای متابولیسم لیپید بود. شماره دسترسی مرکز ملی اطلاعات بیوتکنولوژی (NCBI) آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

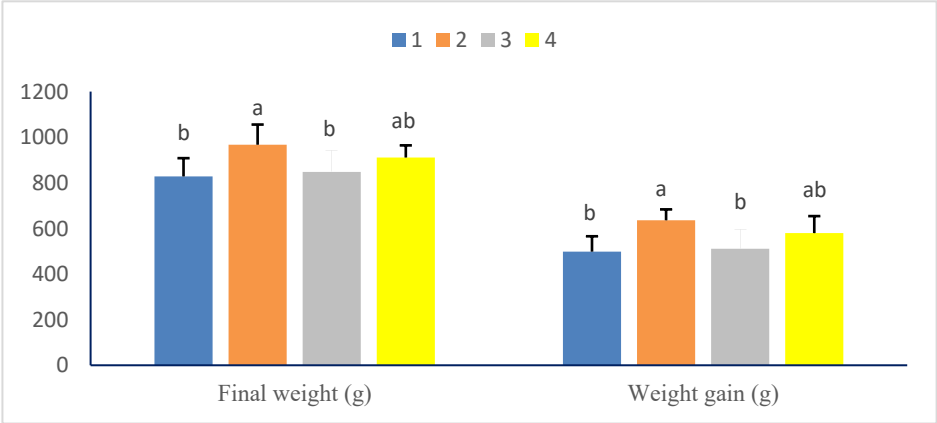
روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۹.۵.۱.۷۳۳) استفاده شد و برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و برای ارزیابی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده گردید. سپس از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون توکی برای مقایسه گروه‌ها استفاده شد. نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار (SD) ارائه شده‌اند.

جدول ۲: فهرست پرایمرهای مورد استفاده در آزمایش بیان ژن ماهی *Acipenser baeri* تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی (ژن‌های مرتبط با رشد و متابولیسم پروتئین و لیپید)

Table 2: The list of primers used in the experiment of gene expression of *Acipenser baeri* fed trial diets (genes related to growth and protein and lipid metabolism)

	Primer name	Primer sequence	Accession number	Product size (bp)	Tm (°C)	Efficiency (%)	Application
1	IGF1-F IGF1-R	ATCCTCACGCTCTGTACGTG GTTCCTGTTGCCTGTGTTCC	FJ428828.1	139	60	98	Growth
2	GH-F GH-R	CTGGTCTCCCCTGAAGAGTC AGAATGCTGACGGGGAGTTT	JX947839.1	181	60	98	Growth
3	Ghrelin -F Ghrelin -R	TGTGAAAAAGCCGGCTGAAC ATCCCGATTTCAAAAGGCGC	MG792144.1	129	60	95	Appetite
4	TOR -F TOR -R	GCCCAGCTTTCGCATATTGG CGCTCGATCTCACCAGAGAC	XM_034034751.3	95	60	98	Protein Metabolism
5	ApoE -F ApoE -R	CAGCAAGGCAGAGGAGTTCA GGCGTTGAACTGATCCCTCA	GQ851930.1	136	60	96	Lipid Metabolism
6	β -actin-F	CCTGCGGTATCCATGAGACC	XM_034052523	94	60	94	Housekeeping gene

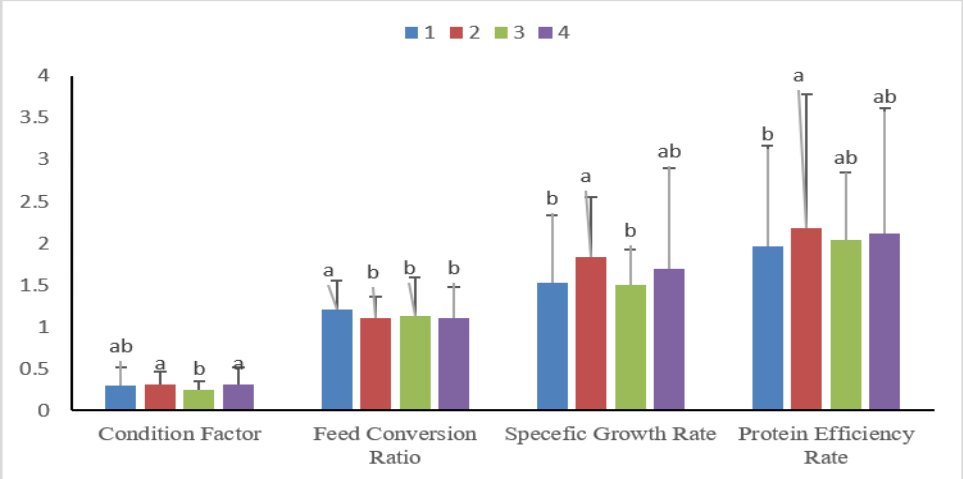


شکل ۱: وزن نهایی و میزان افزایش وزن در تاس ماهی سیبری (*A. baeri*) تغذیه شده با جیره شاهد و تیمارهای آزمایشی (تیمار ۱: شاهد: آرد ماهی، تیمار ۲: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد کرم سوسک زرد؛ تیمار ۳: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد شفیره کرم ابریشم؛ تیمار ۴: جایگزینی آرد ماهی با ۷/۵ درصد کرم سوسک زرد و ۷/۵ درصد شفیره کرم ابریشم) ، طی یک دوره مطالعه ۱۲ هفته‌ای در دمای ۲/۱± ۲۴ درجه سانتی‌گراد. داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار بیان شده‌اند (n = 4). ستون های با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار هستند ($p \leq 0.05$).

Figure 1: Final weight and weight gain of Siberian sturgeon (*A. baeri*) fed Control and experimental diets (Treatment 1; Control: fish meal, Treatment 2: diet with 15% yellow mealworm larvae replacement; Treatment 3: diet with 15% silkworm pupae replacement; Treatment 4: diet with 7.5% yellow mealworm larvae and 7.5% silkworm pupae) during a 12-week study period at 24±2.1°C. Data are expressed as mean±S.D. (n=). Bars with different letters denote significant differences ($p \leq 0.05$).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

همچنین بازدهی پروتئین جیره آزمایشی تیمار ۱، به طور معنی‌داری میزان بالاتری (۱/۶) نسبت به سایر تیمارها نشان داد. ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ مشابه و معادل ۱/۱ بود درحالی‌که گروه (۱) میزان ضریب تبدیل غذایی بالاتری (۱/۲۱) نشان داد. جیره‌های آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر شاخص وضعیت نداشتند (شکل ۲). این نتایج نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در عملکرد رشد و بازده خوراک بین گروه‌های مورد مطالعه بود.



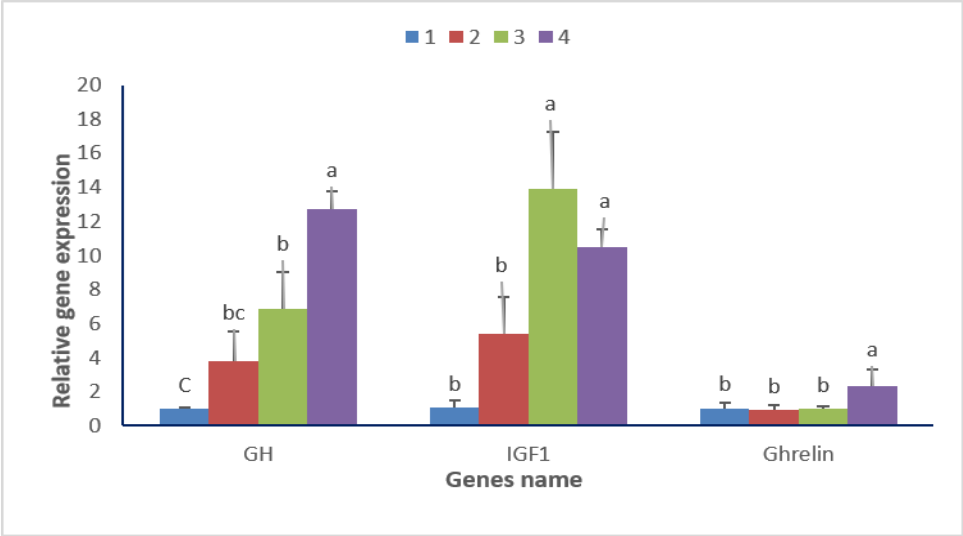
شکل ۲: شاخص وضعیت، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی و نسبت بازده پروتئین در تاس ماهی سیبری (*A. baeri*) تغذیه شده با جیره شاهد و تیمارهای آزمایشی (تیمار ۱؛ شاهد: آرد ماهی، تیمار ۲: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد کرم سوسک زرد؛ تیمار ۳: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد شفیره کرم ابریشم؛ تیمار ۴: جایگزینی آرد ماهی با ۷/۵ درصد کرم سوسک زرد و ۷/۵ درصد شفیره کرم ابریشم)، طی یک دوره مطالعه ۱۲ هفته‌ای در دمای ۲/۱ ± ۲۴ درجه سانتی‌گراد. داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار بیان شده‌اند (n = 4). ستون‌های با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار هستند ($p\leq0.05$).

Figure 2: Condition factor, specific growth rate, feed conversion ratio and protein efficiency ratio of Siberian sturgeon (*A. baeri*) fed Control and experimental diets ((Treatment 1; Control: fish meal, Treatment 2: diet with 15% yellow mealworm larvae replacement; Treatment 3: diet with 15% silkworm pupae replacement; Treatment 4: diet with 7.5% yellow mealworm larvae and 7.5% silkworm pupae) during a 12-week study period at 24±2.1°C. Data are expressed as mean±S.D. (n=4). Bars with different letters denote significant differences ($p\leq0.05$).

ارزیابی بیان ژن‌های مربوط به رشد، متابولیسم و ایمنی

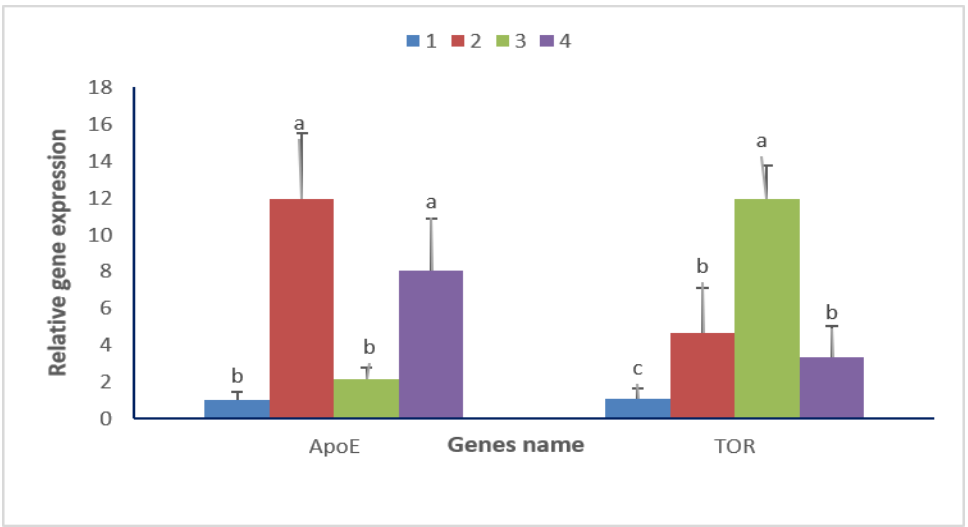
بیان ژن هورمون رشد (GH) در بافت مغز در جیره آزمایشی تیمار ۱ و ۲ افزایش یافت به‌طوری‌که تیمار جیره غذایی با حشرات ترکیبی (تیمار ۳) بیان قابل‌توجهی در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد ($p\leq0.05$). همچنین بیان ژن فاکتور شبه انسولین (IGF1) در کبد تیمار ۲ به طور قابل‌توجهی افزایش یافت و پس از آن تیمار ترکیبی حشرات (تیمار ۳) قرار داشت ($p\leq0.05$). علاوه‌براین، بیان ژن Ghrelin روده‌ای در جیره آزمایشی تیمار ۳، ترکیب آرد دو نوع حشره به طور قابل‌توجهی افزایش یافت (شکل ۳، $p\leq0.05$). به طور مشابه، افزایش بیان ژن آپولیپوپروتئین (APoE) در کبد تیمار ۱ و پس از آن گروه ترکیبی آرد حشرات، تیمار ۳ مشاهده شد ($p\leq0.05$). علاوه‌براین، ژن‌های دخیل در هموستاز پروتئین، هدف راپامایسین (TOR)، در پاسخ به دو تیمار غذایی حاوی آرد حشرات، به صورت جداگانه تیمار ۱ و ۲ و ترکیبی (تیمار ۳)، به طور قابل‌توجهی افزایش یافتند و بالاترین سطح بیان در تیمار ۳ مشاهده شد (شکل ۴، $p\leq0.05$). کمترین بیان ژن برای همه ژن‌های مورد مطالعه متعلق به گروه شاهد بود.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]



شکل ۳: بیان نسبی ژن هورمون رشد مغز (GH)، ژن فاکتور شبه انسولین کبد (IGF1) و ژن Ghrelin روده‌ای در تاس‌ماهی سیبری (*A. baerii*) پس از ۱۲ هفته تغذیه با جیره شاهد و تیمارهای آزمایشی (تیمار ۱؛ شاهد: آرد ماهی، تیمار ۲: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد کرم سوسک زرد؛ تیمار ۳: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد شفیره کرم ابریشم؛ تیمار ۴: جایگزینی آرد ماهی با ۷/۵ درصد کرم سوسک زرد و ۷/۵ درصد شفیره کرم ابریشم)، در دمای ۲۴ ± ۲/۱ درجه سانتی‌گراد. داده‌ها به صورت میانگین±انحراف معیار بیان شده‌اند (n = 4). ستون‌های با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار هستند ($p \leq 0.05$).

Figure 3: Relative expression of the brain growth hormone (GH), liver insulin like factor (IGF1) and intestinal ghrelin gene in Siberian sturgeon (*A. baerii*) after 12 weeks of feeding with Control and experimental diets (Treatment 1; Control: fish meal, Treatment 2: diet with 15% yellow mealworm larvae replacement; Treatment 3: diet with 15% silkworm pupae replacement; Treatment 4: diet with 7.5% yellow mealworm larvae and 7.5% silkworm pupae) at 24±2.1°C. Data are expressed as mean±S.D. (n=4). Bars with different letters denote significant differences ($p \leq 0.05$).



شکل ۴: بیان نسبی ژن متابولیسم پروتئین (TOR) و لیپید (ApoE) کبد در تاس‌ماهی سیبری (*A. baerii*) پس از ۱۲ هفته تغذیه با جیره شاهد و تیمارهای آزمایشی (تیمار ۱؛ شاهد: آرد ماهی، تیمار ۲: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد کرم سوسک زرد؛ تیمار ۳: جایگزینی آرد ماهی با ۱۵ درصد شفیره کرم ابریشم؛ تیمار ۴: جایگزینی آرد ماهی با ۷/۵ درصد کرم سوسک زرد و ۷/۵ درصد شفیره کرم ابریشم)، در دمای ۲۴ ± ۲/۱ درجه سانتی‌گراد. داده‌ها به صورت میانگین±انحراف معیار بیان شده‌اند (n=4). ستون های با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار هستند ($p \leq 0.05$).

Figure 4: Relative expression of the liver ApoE and TOR gene in Siberian sturgeon (*A. baerii*) after 12 weeks of feeding with Control and experimental diets (Treatment 1; Control: fish meal, Treatment 2: diet with 15% yellow mealworm larvae replacement; Treatment 3: diet with 15% silkworm pupae replacement; Treatment 4: diet with 7.5% yellow mealworm larvae and 7.5% silkworm pupae) at 24±2.1°C. Data are expressed as mean±S.D. (n=4). Bars with different letters denote significant differences ($p \leq 0.05$).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جایگزینی بخشی از آرد ماهی با آرد کرم سوسک زرد، آرد شفیره کرم ابریشم و ترکیب این دو منبع پروتئینی می‌تواند به طور مؤثری عملکرد رشد و مسیرهای مولکولی مرتبط با رشد، متابولیسم و ایمنی را در تاس‌ماهیان سیبری (*A. baerii*) بهبود دهد. افزایش معنی‌دار در شاخص های رشد (وزن نهایی، میزان افزایش وزن، میزان رشد ویژه و بازدهی پروتئین) در تیمار ۱ و بهبود قابل‌توجه ضریب تبدیل غذایی در تمامی تیمارهای حاوی آرد حشرات نشان داد که پروتئین حشرات قادرند کارایی استفاده از خوراک و تبدیل مواد مغذی به بافت را بهبود دهند. همسو با نتایج تحقیق حاضر، نتایج حاصله از سایر محققین نشان داد که جایگزینی ۳۰-۱۵ درصدی آرد ماهی با آرد حشرات سبب بهبود افزایش وزن، میزان رشد ویژه و کارایی پروتئین بدون اثرات منفی بر هضم و سلامت تاس‌ماهیان گردید (Caimi *et al.,* 2020; Rawski *et al.,* 2020; Li *et al.,* 2024). همچنین فقدان تفاوت معنی‌دار در شاخص وضعیت بدنی (CF) در میان تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که استفاده از منابع پروتئین حشرات موجب تغییر وضعیت بدنی نمی‌شود، موضوعی که با در نظر گرفتن مورفولوژی کشیده تاس‌ماهیان و گزارش‌های پیشین درباره مقادیر پایین شاخص وضعیت بدنی در این گونه‌ها قابل تفسیر است (Caimi *et al.,* 2020; Jackson *et al.,* 2002; Zhu *et al.,* 2011).

از نظر تنظیم‌های مولکولی، افزودن آرد حشرات اثرات قابل‌توجهی بر مسیرهای دخیل در رشد، تنظیم اشتها و متابولیسم داشت. افزایش چشمگیر بیان ژن Ghrelin در روده ماهی‌های تغذیه‌شده با تیمار ۳ نشان‌دهنده تأثیر قوی جیره غذایی ترکیبی از آرد کرم سوسک زرد و آرد شفیره کرم ابریشم بر تنظیم اشتها و تعادل انرژی است. این هورمون نقش کلیدی در تحریک مصرف خوراک، افزایش جذب مواد مغذی و تقویت کارایی متابولیک دارد و مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که اجزاء غذایی جیره به‌ویژه آرد حشرات قادر به تنظیم بیان ژن Ghrelin در ماهیان هستند (Zarantoniello *et al.,* 2021; Zhang *et al.,* 2023). بنابراین، افزایش Ghrelin در تیمار ۳ احتمالاً نشان‌دهندهٔ آمادگی متابولیک بیشتر و کارایی بالاتر استفاده از مواد مغذی است.

جیره‌های غذایی مبتنی بر حشرات بر مسیرهای رشد و سنتز پروتئین نیز اثرگذار بودند. افزایش معنی‌دار بیان ژن TOR در تمام تیمارهای حاوی آرد حشرات به‌ویژه تیمار ۳ بیانگر فعال شدن مسیرهای آنابولیک و افزایش ظرفیت سنتز پروتئین است. این یافته مطابق گزارش‌هایی است که نشان می‌دهند، آرد حشرات می‌تواند مسیر TOR را تحریک کند و متابولیسم پروتئین را در ماهیان ارتقاء دهد (Lanes *et al.,* 2021). علاوه‌براین، افزایش بیان ژن IGF1 در تیمارهای ۲ و ۳ نشان‌دهنده تحریک مسیرهای رشد سیستمیک است. مشاهداتی که با گزارش‌های قبلی درخصوص اثر مثبت مواد مغذی غنی موجود در آرد حشرات بر مسیر GH–IGF همخوانی دارد (Zarantoniello *et al.,* 2019). مجموعه این نتایج نشان می‌دهد که پروتئین‌های حاصل از حشرات نه‌تنها از نظر کیفیت تغذیه‌ای مناسب هستند بلکه قادرند مسیرهای کلیدی مولکولی مرتبط با رشد را نیز فعال نمایند. از نظر متابولیسم چربی نیز نتایج حاکی از تأثیر مثبت جیره‌های محتوی آرد حشرات بود. افزایش بیان ApoE در تیمارهای ۱ و ۳ بیانگر بهبود انتقال لیپید، هموستاز چربی و متابولیسم انرژی است. این موضوع با حضور اسیدهای چرب زیست‌فعال و ترکیبات خاص موجود در آرد حشرات که تنظیم متابولیسم لیپید را تسهیل می‌کنند نیز سازگار است (Weththasinghe *et al.,* 2022). ترکیب آرد کرم سوسک زرد و شفیره کرم ابریشم به‌ویژه در جیره احتمالاً از طریق فراهم‌سازی پروفایل‌های مکمل اسیدهای چرب، یک اثر هم‌افزایی ایجاد نمود. علاوه بر رشد و متابولیسم، نتایج نشان داد که جیره‌های غذایی حشرات می‌توانند مسیرهای ایمنی را نیز تعدیل کنند. افزایش بیان اینترلوکین در روده به‌ویژه در تیمار ۳، بیانگر فعال شدن کنترل‌شده پاسخ‌های ایمنی است. وجود ترکیبات زیست‌فعال مانند کیتین، پپتیدهای ضد میکروبی و مشتقات چربی در منابع پروتئین حشرات قادر است، فعالیت گلبول‌های سفید و پاسخ‌های ایمنی را تقویت کند (Battampara *et al.,* 2020; Liu *et al.,* 2022; Mohan *et al.,* 2023). افزایش اینترلوکین در تیمار ۳ نشان می‌دهد که ترکیب دو نوع حشره می‌تواند

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

پاسخ‌های ایمنی موضعی را بدون منجر شدن به التهاب آسیب زا، به طور موثری تقویت نماید.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش بیانگر مزایای چندجانبه استفاده از آرد حشرات به‌ویژه جیره ترکیبی، در تغذیه تاس‌ماهی سیبری است. این منابع پروتئینی نه‌تنها رشد و کارایی تغذیه‌ای را بهبود می‌دهند بلکه مسیرهای مولکولی کلیدی در رشد، متابولیسم پروتئین و چربی و تنظیم ایمنی را نیز به طور معنی‌دار فعال می‌کنند. جیره غذایی حاوی تن‌ها آرد ماهی در تمامی شاخص‌های مولکولی مربوط به رشد و ایمنی، پایین‌ترین مقادیر را نشان داد، موضوعی که برتری بالقوه پروتئین‌های مشتق از حشرات را نسبت به منابع مرسوم، در صورت رعایت اصول توازن مواد مغذی، برجسته می‌کند (Zhang *et al.*, 2021). با توجه به نیاز بالای تاس‌ماهیان به پروتئین (Falahatkar *et al.*, 2017) و چالش‌های مربوط به تامین پایدار و مستمر منبع پروتئینی به‌جز آرد ماهی، آرد حشرات می‌تواند یک گزینه نویدبخش برای استفاده در صنعت پرورش تاس‌ماهی باشد. پیشنهاد می گردد که تحقیقات آتی بر تعیین سطوح بهینه، تنظیم دقیق اسیدآمینه‌ها و ارزیابی اثرات بلندمدت این منابع بر سلامت و عملکرد تاس‌ماهی متمرکز شود.

به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که جایگزینی ۱۵ درصدی آرد ماهی با منابع پروتئینی حشرات به‌ویژه ترکیب آرد کرم سوسک زرد و آرد شفیره کرم ابریشم، قادر است مسیرهای رشد، متابولیسم چربی و پروتئین را به طور همزمان تقویت کند. فعال شدن مسیرهای Ghrelin–TOR–IGF1 و افزایش ApoE شواهد روشنی از بهبود آنابولیسم و کارایی تغذیه‌ای ارائه می‌دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پروتئین حشرات نه‌تنها به عنوان جایگزین پایدار برای آرد ماهی قابل استفاده است بلکه می‌تواند عملکرد رشد و سلامت مولکولی تاس‌ماهی سیبری را نیز ارتقاء دهد. بنابراین، آرد حشرات می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای بهینه‌سازی فرمولاسیون خوراک‌های تجاری در آبزی‌پروری تاس‌ماهیان باشد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر، تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) و برگرفته شده از طرح پژوهشی به شماره ۴۰۲۷۲۸۰ انجام شده است. نویسندگان از مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی ایران و مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آبهای داخلی گرگان برای حمایت‌های ساختاری و علمی در اجرای این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R.T., Wong, J. and Wang, L., 2022. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2):166-178. DOI:10.1016/j.aaf.2021.10.004

Aragão, C., Gonçalves, A.T., Costas, B., Azeredo, R., Xavier, M.J. and Engrola, S., 2022. Alternative proteins for fish diets: Implications beyond growth. *Animals*, 12(9):1211. DOI:10.3390/ani12091211

Auzins, A., Leimane, I., Reissaar, R., Brobakk, J., Sakelaite, I., Grivins, M. and Zihare, L., 2024. Assessing the socio-economic benefits and costs of insect meal as a fishmeal substitute in livestock and aquaculture. *Animals*, 14(10):1461. DOI:10.3390/ani14101461

Bagheri, T., Safari, R., Bahmani, M., Hafezieh, M., Sharifpour, I., Aghaeimoghadam, A., Paghe, E., Rostami, S.M., Poursoufi, T., Pajand, Z. and Shakoori, M., 2025. Silkworm pupae (*Bombyx mori*) substitution with fish meal in fingerling Beluga sturgeon (*Huso huso*) diets improves growth. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(aop):1-12. DOI:10.1163/23524588-00001438

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

Battampara, P., Sathish, T.N., Reddy, R., Guna, V., Nagananda, G.S., Reddy, N., Ramesha, B.S., Maharaddi, V.H., Rao, A.P., Ravikumar, H.N. and Biradar, A., 2020. Properties of chitin and chitosan extracted from silkworm pupae and egg shells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 161:1296-1304. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.07.161

Beesigamukama, D., Subramanian, S. and Tanga, C.M., 2022. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*, 12(1):7182. DOI:10.1038/s41598-022-11336-z

Caimi, C., Renna, M., Lussiana, C., Bonaldo, A., Gariglio, M., Meneguz, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Gai, F., Elia, A.C. and Prearo, M., 2020. First insights on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal dietary administration in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) juveniles. *Aquaculture*, 515:734539. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.734539

Falahatkar, B., Poursaeid, S., Efatpanah, I. and Meknatkhah, B., 2017. Growth, development and behaviour of Persian sturgeon *Acipenser persicus* larvae in different light regimes. *Aquaculture Research*, 48(12):5812-5820. DOI:10.1111/are.13398

Fantatto, R.R., Mota, J., Ligeiro, C., Vieira, I., Guilgur, L.G., Santos, M. and Murta, D., 2024. Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: the role of insects. *Aquaculture Reports*, 37:102228. DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102228

Hosseinzadeh Sahafi, H., 2024. Marine and coastal aquaculture potentials of Iran, considering the limitations of fresh water and sea oriented economic approach. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9(2):177-190. (In Persian)

Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K. and Strugnell, J.M., 2019. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3):316-329. DOI: 10.1016/j.oneear.2019.10.018

Hughes, A.D., Twigg, G.C., Msuya, F.E., Padmakumar, K.P. and Tocher, D.R., 2025. The use of macroalgae in feeds for finfish aquaculture. *Frontiers in Aquaculture*, 4:1570842. DOI:10.3389/faquc.2025.1570842

Hussain, S.M., Bano, A.A., Ali, S., Rizwan, M., Adrees, M., Zahoor, A.F., Sarker, P.K., Hussain, M., Arsalan, M.Z.U.H., Yong, J.W.H. and Naeem, A., 2024. Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*, 10(4):e26573. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26573

Jackson, J.R., VanDeValk, A.J., Brooking, T.E., VanKeeken, O.A. and Rudstam, L.G., 2002. Growth and feeding dynamics of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, in Oneida Lake, New York: Results from the first five years of a restoration

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

program. *Journal of Applied Ichthyology*, 18(4-6):439-443.
DOI: 10.1046/j.1439-0426.2002.00378.x

Kim, J. and Cho, S.H., 2024. Substitution effect of fish meal with various plant protein sources on growth performance and feed utilization in rockfish (*Sebastes schlegeli*) diets including jack mackerel meal used as feed stimulants. *Frontiers in Marine Science*, 11:1339471.
DOI:10.3389/fmars.2024.1339471

Lanes, C.F., Pedron, F.A., Bergamin, G.T., Bitencourt, A.L., Dorneles, B.E., Villanova, J.C., Dias, K.C., Riolo, K., Oliva, S., Savastano, D. and Giannetto, A., 2021. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and prepupae defatted meals in diets for zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*, 11(3):720. DOI:10.3390/ani11030720

Li, Q., Fu, B., Huang, L., Wang, F., Zhou, D., Yang, Q., Zou, Y., Xiao, Y., Liao, S. and Xing, D., 2024. Effects of silkworm pupae powder on growth performance, muscle fatty acid composition, and intestinal function in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*). *Aquaculture Reports*, 39:102435. DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102435

Liu, S., Wang, S., Liu, X., Wen, L. and Zou, J., 2022. Effects of dietary antimicrobial peptides on intestinal morphology, antioxidant status, immune responses, microbiota and pathogen disease resistance in grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. *Microbial Pathogenesis*, 165:105386.

Majluf, P., Matthews, K., Pauly, D., Skerritt, D.J. and Palomares, M.L.D., 2024. A review of the global use of fishmeal and fish oil and the fish in: Fish out metric. *Science Advances*, 10(42):eadn5650. DOI:10.1126/sciadv.adn5650

Mohan, K., Rajan, D.K., Ganesan, A.R., Divya, D., Johansen, J. and Zhang, S., 2023. Chitin, chitosan and chitooligosaccharides as potential growth promoters and immunostimulants in aquaculture: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251:126285. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2023.126285

Oluwole, O., Ibidapo, O., Arowosola, T., Raji, F., Zandonadi, R.P., Alasqah, I., Lho, L.H., Han, H. and Raposo, A., 2023. Sustainable transformation agenda for enhanced global food and nutrition security: a narrative review. *Frontiers in Nutrition*, 10:1226538.
DOI: 10.3389/fnut.2023.1226538

Ragozzino-Paulino, P., Cocato, M.L. and de Souza Sarkis, J.E., 2025. Nutritional potential of edible insects as alternative ingredients in fish feed: A path to modern aquaculture. *Aquaculture Nutrition*, 2025(1): 7009004. DOI:10.1155/anu/7009004

Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Kierończyk, B. and Józefiak, D., 2020. Black soldier fly full-fat larvae meal as an alternative to fish meal and fish oil in Siberian sturgeon nutrition: The effects on physical properties of the feed, animal growth performance, and feed acceptance and utilization. *Animals*, 10(11):2119. DOI:10.3390/ani10112119

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

Rossi, G., Ojha, S., Müller-Belecke, A. and Schlüter, O.K., 2023. Fresh aquaculture sludge management with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: Investigation on bioconversion performances. *Scientific Reports*, 13(1):20982. DOI: 10.1038/s41598-023-48237-8

Rotter, A., Giannakourou, A., Argente García, J.E., Quero, G.M., Auregan, C., Triantaphyllidis, G., Venetsanopoulou, A., De Carolis, R., Efstratiou, C., Aboal, M. and Abad, M.Á.E., 2023. Identification of marine biotechnology value chains with high potential in the Northern Mediterranean Region. *Marine Drugs*, 21(7):416. DOI:10.3390/md21070416

Rustad, T., Storrø, I. and Slizyte, R., 2011. Possibilities for the utilisation of marine by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(10):2001-2014. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02712.x

Sheikh Veisi, R., Hedayati, A., Mazandarani, M., Jafar Nodeh, A. and Bagheri, T., 2022. Dietary beet molasses improved the immune system of common carp (*Cyprinus carpio*) after exposure to titanium oxide nanoparticles, TiO_2-NPs. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108:969-975. DOI:10.1007/s00128-022-03507-5

Weththasinghe, P., Rocha, S.D., Øyås, O., Lagos, L., Hansen, J.Ø., Mydland, L.T. and Øverland, M., 2022. Modulation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) gut microbiota composition and predicted metabolic capacity by feeding diets with processed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meals and fractions. *Animal Microbiome*, 4(1), 9. https://doi.org/10.1186/s42523-021-00160-x

Woolley, L., Chaklader, M.R., Pilmer, L., Stephens, F., Wingate, C., Salini, M. and Partridge, G., 2023. Gas to protein: Microbial single cell protein is an alternative to fishmeal in aquaculture. *Science of The Total Environment*, 859, 160141. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160141

Yadav, N.K., Deepti, M., Patel, A.B., Kumar, P., Angom, J., Debbarma, S., Singh, S.K., Deb, S., Lal, J., Vaishnav, A. and Das, R., 2025. Dissecting insects as sustainable protein bioresource in fish feed for aquaculture sustainability. *Discover Food*, 5(1), 47. https://doi.org/10.1007/s44187-024-00239-3

Zarantoniello, M., Randazzo, B., Nozzi, V., Truzzi, C., Giorgini, E., Cardinaletti, G., Freddi, L., Ratti, S., Girolametti, F., Osimani, A. and Notarstefano, V., 2021. Physiological responses of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles fed on full-fat insect-based diet in an aquaponic system. *Scientific Reports*, 11(1), 1057. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79932-z

Zarantoniello, M., Randazzo, B., Truzzi, C., Giorgini, E., Marcellucci, C., Vargas-Abúndez, J.A., Zimbelli, A., Annibaldi, A., Parisi, G., Tulli, F. and Riolo, P., 2019. A six-months study on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) based diets in zebrafish. *Scientific Rports*, 9(1):8598. DOI:10.1038/s41598-019-45172-5

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]

Zhang, Y., Wang, J., Zhu, Z., Li, X., Sun, S., Wang, W. and Sadiq, F.A., 2021. Identification and characterization of two novel antioxidant peptides from silkworm pupae protein hydrolysates. *European Food Research and Technology*, 247(2):343-352. DOI:10.1007/s00217-020-03625-2

Zhang, L., Wu, H.X., Li, W.J., Qiao, F., Zhang, W.B., Du, Z.Y. and Zhang, M.L., 2023. Partial replacement of soybean meal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal influences the flesh quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Nutrition*, 12:108-115. DOI:10.1016/j.aninu.2022.09.009

Zhou, Y., Wang, D., Zhou, S., Duan, H., Guo, J. and Yan, W., 2022. Nutritional composition, health benefits, and application value of edible insects: A review. *Foods*, 11(24):3961. DOI:10.3390/foods11243961

Zhu, H., Gong, G., Wang, J., Wu, X., Xue, M., Niu, C., Guo, L. and Yu, Y., 2011. Replacement of fish meal with blend of rendered animal protein in diets for Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt), results in performance equal to fish meal fed fish. *Aquaculture Nutrition*, 17(2):e389-e395. DOI:10.1111/j.1365-2095.2010.00769.x

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-10]