(DOI): 10.22092/ISFJ.2026.135711 35(2) 13-23 Iranian Scientific Fisheries Journal

# Effects of replacing fishmeal with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal, with and without spirulina enrichment, on growth and biochemical plasma indices in Asian sea bass (*Lates calcarifer*) fry

Abgoun K.[1]; Rajabzadeh Ghatrami E.[1*]; Torfi Mozanzadeh M.[2]; Sourinezhad I.[3]

*kabgoon@yahoo.com

1-Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran
2-Aquaculture Research Center -South of Iran, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
3-Department of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technologies, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Received: September 2025 Accepted: December 2025 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

Fishmeal (FM) is a cornerstone of aquafeed, but its sustainability and cost challenges necessitate the search for alternative protein sources. Black soldier fly larvae (BSFL, *Hermetia illucens*) meal has emerged as a promising substitute due to its high protein content and efficiency in converting organic waste into valuable biomass. However, its high fat content, particularly saturated lauric acid, and the presence of chitin can negatively impact nutrient digestibility and growth performance in fish. Recent studies highlight that the nutritional quality of insect larvae, especially their fatty acid profile, can be improved by altering their diet during rearing. Spirulina, a microalga rich in protein, vitamins, minerals, and essential fatty acids, is known to enhance the nutritional value of insect meals for aquaculture. Given that BSFL can bioaccumulate fatty acids from their growth substrate, enriching their diet with spirulina can significantly improve their nutritional value for aquaculture. This study aimed to investigate the effects of replacing fishmeal with conventional BSFL meal and spirulina-enriched BSFL meal on the growth performance, whole-body proximate composition, and plasma biochemical parameters of juvenile Asian seabass (*Lates calcarifer*). While previous research on various fish species has shown mixed results regarding insect meal inclusion, our study represents the first comprehensive investigation into the combined effects of BSFL meal and spirulina enrichment on Asian seabass. The findings highlight that 25% replacement with spirulina-enriched BSFL (+BSFSP25%) provides optimal growth performance while higher inclusion levels (50%) may have negative effects on growth and biochemical indices.

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

**Methodology**

The 56-day feeding trial was conducted using 300 juvenile Asian seabass with an average initial weight of approximately 8.6–8.7 g. The fish were randomly distributed into five experimental groups with three replicates each, housed in 300-liter tanks. All tanks were supplied with filtered saltwater and continuous aeration. Water quality parameters, including temperature (28–30°C), dissolved oxygen (5–7 mg/L), pH (7.5–8), and salinity (45 g/L), were monitored daily. Fish were fed to apparent satiation twice per day with five experimental diets: a control diet (FM) containing 100% fishmeal, and four diets where fishmeal was replaced by black soldier fly larvae meal (BSF) at 25% (BSF25%) and 50% (BSF50%) levels, and by spirulina-enriched BSFL meal at 25% (+BSFSP25%) and 50% (+BSFSP50%) levels. All diets were formulated to be isoproteic (~40% crude protein) and isolipidic (~9% crude lipid). At the end of the trial, samples were collected to measure growth performance indices, whole-body proximate composition, and plasma biochemical parameters. Growth performance was assessed using Final Body Weight (FBW), Weight Gain (WG), Specific Growth Rate (SGR), Feed Conversion Ratio (FCR), and Survival Rate (SR). Whole-body proximate analysis determined the content of protein, lipid, moisture, and ash. Blood samples from two fish per tank were used for plasma analysis of total protein, glucose, cholesterol, and triglycerides. All data were analyzed using one-way ANOVA followed by Duncan's test at $p < 0.05$.

**Results**

Dietary treatments significantly influenced the growth performance and feed utilization efficiency of the fish ($p<0.05$). The most pronounced growth outcomes, including final body weight (FBW; 57.4 ± 0.1 g), weight gain (WG; 572.7 ± 0.1%), and specific growth rate (SGR; 3.4 ± 0.0% day$^{-1}$), were achieved in the +BSFSP25% group. Conversely, the lowest growth metrics were observed in the BSF50% and +BSFSP50% cohorts, both of which exhibited a significant decline compared to the other treatments. While the BSF50% group recorded the highest feed conversion ratio (FCR), this difference remained statistically non-significant. Notably, the survival rate was markedly compromised in the BSF50% treatment compared to all other experimental groups. Proximate composition analysis of the whole body revealed that crude protein levels peaked in the BSF25% and BSF50% treatment groups. In contrast, the highest crude lipid content was recorded in the +BSFSP50% group. A significant reduction in moisture content was observed in the BSF50% and +BSFSP50% cohorts ($p<0.05$). Furthermore, ash content reached its maximum level in the +BSFSP50% group, whereas the control (FM) group exhibited the lowest ash values. Dietary treatments exerted a statistically significant influence on the plasma biochemical profiles of the fish ($p<0.05$). Total protein concentrations were markedly elevated in the BSF25% and BSF50% cohorts compared to the other experimental groups. Regarding glucose metabolism, the highest values were recorded in the +BSFSP50% group, while the BSF25% treatment yielded the lowest levels. Furthermore, a clear trend was observed in the lipid profiles, with cholesterol and triglyceride concentrations peaking in the +BSFSP50% and +BSFSP25% groups, respectively. Conversely, the most reduced cholesterol levels were found in the BSF50% group, whereas the BSF25% group exhibited the lowest triglyceride concentrations.

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

**Discussion and Conclusion**

The outcomes of the present study are congruent with prior research, highlighting that the partial substitution of fishmeal with black soldier fly larvae (BSFL) meal, especially when enriched with Spirulina platensis, exerts a substantial influence on the growth performance, carcass composition, and physiological status of Asian seabass. The superior growth metrics observed in the +BSFSP25% cohort underscore the efficacy of this hybrid dietary strategy. This synergistic improvement may be attributed to the well-balanced amino acid and fatty acid profiles of BSFL meal, augmented by the diverse bioactive compounds and potent antioxidative properties of spirulina. Such a nutritional combination likely optimizes metabolic pathways and enhances nutrient assimilation, thereby promoting superior growth. In conclusion, these findings suggest that integrating spirulina-enriched insect meal at a 25% replacement level offers a sustainable and high-performance alternative to conventional fishmeal in Asian seabass aquaculture. Conversely, the growth retardation observed at the 50% substitution level highlights that high dietary inclusion of BSFL meal may exceed the physiological tolerance of Asian seabass. This decline is potentially attributable to the presence of anti-nutritional factors (ANFs), specifically chitin, alongside an imbalanced essential amino acid profile. These findings corroborate that the optimal replacement threshold for fishmeal in this species remains below the 50% mark. Furthermore, the concomitant increase in carcass adiposity and hyperlipidemia observed in the +BSFSP50% group suggests a significant metabolic perturbation, necessitating a more precise calibration of the dietary lipid matrix in high-inclusion formulations.

In summary, this research offers a viable and sustainable framework for modern aquaculture. The strategic substitution of 25% of fishmeal with spirulina-enriched BSFL meal not only bolsters growth performance and optimizes carcass quality but also enhances the overall physiological resilience of Asian seabass. This dietary intervention represents a significant advancement in the development of eco-friendly and cost-effective aquafeeds, effectively mitigating the industry's heavy reliance on finite marine-derived proteins. Ultimately, these findings facilitate the transition toward more circular and resource-efficient production systems, promoting the long-term sustainability of the global aquaculture sector.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment**

The authors would like to thank the South of Iran Aquaculture Research Centre for providing the experimental facilities and technical support throughout the study.

**Keywords**

*Lates calcarifer*, *Hermetia illucens*, Fishmeal replacement, Growth performance, Sustainable aquaculture

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

مجله علمی شیلات ایران ۲۳-۱۳ (۲) ۳۵ (DOI): 10.22092/ISFJ.2026.135711

**مقاله علمی – پژوهشی:**

# اثر جایگزینی آرد ماهی با پودر لارو حشره سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) بدون هیچ‌گونه افزودنی و با غنی‌سازی‌شده با اسپیرولینا بر رشد، شاخص‌های بیوشیمیایی خون در بچه‌ماهی سی‌بَس آسیایی (*Lates calcarifer*)

کیانوش آبگون[۱]، ابراهیم رجب‌زاده قطرمی*[۱]، منصور طرفی موزان‌زاده[۲]، ایمان سوری‌نژاد[۳]

*kabgoon@yahoo.com

۱-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
۲-پژوهشکده آبزی‌پروری جنوب کشور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۳-گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۴ تاریخ چاپ: تیر ۱۴۰۵

## چکیده

پژوهش حاضر، با هدف بررسی تأثیر جایگزینی آرد ماهی با پودر لارو مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) غنی‌شده با جلبک اسپیرولینا بر شاخص‌های عملکرد رشد، ترکیب شیمیایی لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسمای خون در بچه‌ماهیان سی‌بس آسیایی (*Lates calcarifer*) انجام شد. تعداد ۳۰۰ قطعه ماهی با وزن اولیه ۰/۰۰± ۸/۶۴ گرم به‌طور تصادفی در ۱۵ مخزن پلی‌اتیلنی با حجم ۳۰۰ لیتر (۲۰ ماهی در هر مخزن) توزیع شده و به مدت ۵۶ روز در شرایط آب دریا با شوری ۴۰/۲ گرم در لیتر پرورش یافتند. جیره‌های آزمایشی در ۵ تیمار شامل شاهد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد پودر حشره معمولی و ۲۵ درصد و ۵۰ درصد پودر حشره غنی‌شده با ۱۵ درصد اسپیرولینا (تیمارهای BSF25%، BSF50%، BSF+SP25% و BSF+SP50%) تنظیم گردیدند. نتایج نشان داد که بالاترین میزان وزن نهایی، درصد افزایش وزن و نرخ رشد ویژه در تیمار (BSF+SP25%) به‌دست آمد. در مقابل، کمترین میزان این شاخص‌های رشدی در سطوح ۵۰ درصد جایگزینی مشاهده گردید. در بررسی ترکیب لاشه، بالاترین درصد چربی در تیمار (BSF+SP50%) ثبت شد. همچنین بیشترین سطح کلسترول و تری‌گلیسرید پلاسما در تیمار (BSF+SP50%) و بالاترین میزان پروتئین کل در تیمارهای (BSF25%) و (BSF50%) مشاهده شد. نتایج تجزیه‌وتحلیل بیوشیمیایی شامل گلوکز، کلسترول و تری‌گلیسرید نشان داد که جایگزینی آرد ماهی تا سطح ۵۰ درصد، فاقد اثرات منفی بر سلامت ماهی بود. نتایج پژوهش حاضر، نشان داد که جایگزینی ۲۵ درصد آرد ماهی با پودر لارو غنی‌شده با اسپیرولینا، راهکاری مؤثر و پایدار برای بهبود عملکرد رشد و ارتقاء سلامت این گونه در صنعت آبزی‌پروری است.

**لغات کلیدی:** سی‌بس آسیایی، حشره سرباز سیاه، جایگزینی آرد ماهی ، عملکرد رشد، آبزی‌پروری پایدار

*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

ماهی سی‌بس آسیایی (*Lates calcarifer*) یکی از گونه‌های گوشت‌خوار و با ارزش اقتصادی بالاست که به دلیل رشد سریع، توانایی سازگاری با دامنه وسیعی از شوری آب و کیفیت مطلوب گوشت، به طور گسترده در مناطق مختلف حوضه اقیانوس هند و آرام پرورش داده می‌شود. در سال‌های اخیر، پرورش این گونه در ایران به‌ویژه در استان‌های جنوبی (هرمزگان و بوشهر)، مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. شرایط اقلیمی مناسب و دسترسی به منابع آب لب‌شور از مهم‌ترین عوامل توسعه این صنعت در کشور محسوب می‌شوند (Mozanzadeh *et al.*, 2021; FAO, 2022). با وجود ظرفیت بالای اقتصادی این گونه، مطالعات تغذیه‌ای بر آن در ایران هنوز محدود است به‌ویژه در زمینه بررسی منابع جایگزین پروتئینی برای فرمولاسیون جیره‌های پایدار، خلاءهای علمی قابل‌توجهی وجود دارد. وابستگی بالا به آرد ماهی وارداتی و افزایش مستمر هزینه‌های آن، ضرورت شناسایی منابع جایگزین محلی، ارزان و دوستدار محیط زیست را دوچندان کرده است. در میان گزینه‌های نوظهور برای جایگزینی منابع پروتئینی سنتی در خوراک آبزیان، لارو حشره سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) به دلیل محتوای پروتئینی بالا (۳۵-۴۵ درصد وزن خشک)، نرخ رشد سریع و توانایی بی‌نظیر در تبدیل ضایعات آلی به زیست‌توده باارزش، به عنوان یکی از امیدبخش‌ترین جایگزین‌ها برای آرد ماهی شناخته شده است (Van Huis, 2013). لاروهای این حشره قادرند که طیف وسیعی از مواد آلی (پس‌ماندهای کشاورزی و غذایی) را مصرف کرده و به پروتئین و چربی باکیفیت تبدیل کنند که این امر آنها را به گزینه‌ای پایدار و دوست‌دار محیط‌زیست تبدیل می‌کند.

با وجود این، کاربرد وسیع این لارو در خوراک آبزیان با چالش‌هایی همچون محتوای بالای چربی و وجود کیتین در دیواره بدن، محدود شده است. چربی بالای این حشره به‌ویژه اسید چرب اشباع لوریک اسید (C12:0) که به صورت عمده در ترکیب بدنش سنتز می‌شود، می‌تواند بر کیفیت جیره غذایی تأثیر منفی گذارد و در برخی گونه‌های ماهی منجر به کاهش رشد شود (Saputra and Lee, 2023). علاوه‌براین، وجود کیتین (۸-۱۲ درصد وزن خشک)، در دیواره اسکلت خارجی لاروها، باعث اختلال در عملکرد آنزیم‌های گوارشی، کاهش جذب پروتئین و در نتیجه، کاهش شاخص‌های رشد می‌گردد و محدودیت‌هایی را برای دوز مصرفی این منبع غذایی عالی ایجاد می‌کند (Eggink *et al.*, 2022). به‌علاوه، مطالعات نشان داده‌اند که جایگزینی آرد ماهی با پودر حشره می‌تواند تأثیرات منفی بر مورفولوژی روده و کاهش فعالیت آنزیم‌های گوارشی داشته باشد، هرچند این اثرات با توجه به سطح جایگزینی و ترکیب جیره، می‌تواند متفاوت باشد (Kuo *et al.*, 2022; Meesala *et al.*, 2025).

در زمینه کارایی جایگزینی آرد ماهی (FM)[1] با پودر لارو حشره سرباز سیاه (BSFLM)[2]، یافته‌های علمی دارای تناقض‌های گسترده‌ای است که عمدتاً ناشی از تفاوت در گونه‌های مورد مطالعه و سطح جایگزینی است. همچنین پژوهش‌های متعددی، موفقیت جایگزینی کامل (۱۰۰ درصد) را گزارش کرده‌اند. برای مثال، در ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) (گونه گوشتخوار)، مطالعات نشان داده‌اند که BSFLM می‌تواند تا ۱۰۰ درصد جایگزین FM شود، بدون این‌که بر عملکرد رشد یا کیفیت محصول تأثیر منفی بگذارد (Lock *et al*., 2016; Belghit *et al.*, 2019) و این موفقیت در گونه‌های همه‌چیزخوار مانند تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) نیز تأیید شده است (Tippayadara *et al.*, 2021). با این‌حال، این موفقیت در گونه‌های گوشتخوار دریایی قطعی نیست. شواهد نشان می‌دهند که در بسیاری از گوشتخواران، سطوح بالای جایگزینی با اثرات نامطلوب و محدودیتی همراه است. برای مثال، در ماهی سیم دریایی سر طلایی (*Gilthead seabream*)، بالاترین نرخ رشد در محدوده ۲۵ درصد تا کمتر از ۵۰ درصد گزارش شده است و افزایش جایگزینی تا ۵۰ درصد و بالاتر، منجر به تغییرات نامطلوب (تجمع چربی در کبد)، می‌شود (Basili *et al.*, 2025). حتی در گونه گوشتخوار زینتی، ماهی جنگجوی سیامی (*Betta splendens*)، عملکرد مطلوب (بهبود رشد، بیوشیمی خون و مورفولوژی روده) تن‌ها در سطح پایین ۱۳ درصد جایگزینی

[1] Fish meal
[2] Black solder fly larval meal



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

FM با BSFLM مشاهده شده است (Kari *et al.*, 2023) . در مجموع، این مطالعات نتایج متفاوتی را در سایر گونه‌ها نیز نشان داد. برای مثال، در پژوهشی بر لای ماهی (*Tinca tinca*)، بهبود رشد در جایگزینی‌های جزئی پودر حشره گزارش شد (Carral and Sáez-Royuela, 2022) درحالی‌که در مطالعه‌ای دیگر بر ماهی کفشک دریایی (*Scophthalmus maximus*)، به نتایج قابل قبولی در جایگزینی کامل با پودر حشره چربی‌گرفته، دست یافتند (Zhao *et al.*, 2023). این ناسازگاری‌ها به‌ویژه در سطوح بالا، اهمیت یافتن راهکاری مؤثر برای غلبه بر محدودیت‌های تغذیه‌ای لارو حشره در تولید جیره پایدار را برای گونه سی‌بَس آسیایی مضاعف می‌کند.

تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که کیفیت تغذیه‌ای لارو حشرات به‌ویژه پروفایل اسیدهای چرب آن (افزایش EPA و DHA)، می‌تواند از طریق تغییر در رژیم غذایی در طول مرحله پرورش، بهبود یابد (Siddiqui *et al.*, 2022). در این زمینه، جلبک اسپیرولینا (*Arthrospira platensis*) به دلیل غنی بودن از پروتئین (تا ۷۰ درصد وزن خشک)، ویتامین‌ها، مواد معدنی به‌ویژه اسیدهای چرب ضروری(گاما-لینولنیک اسید)، به عنوان یک مکمل مؤثر برای اصلاح پروفایل اسیدهای چرب در جیره‌های غذایی شناخته شده است (Eggink *et al.*, 2022). تحقیقات انجام شده نشان داده است که لارو حشرات به‌ویژه لارو حشره سرباز سیاه (*H. illucens*)، دارای مکانیسم انباشتگی زیستی[1] هستند. این بدان معناست که آنها قادرند، اسیدهای چرب موجود در بستر پرورش خود را به طور مستقیم جذب کرده و در بافت‌های چربی بدن خود ذخیره کنند (Li *et al.*, 2011). به‌علاوه، مطالعات تأیید می‌کنند که افزودن پودر جلبک اسپیرولینا به بستر پرورش حشرات می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی کیفیت تغذیه‌ای لاروهای تولیدی را افزایش دهد و نسبت اسیدهای چرب اشباع به غیراشباع (SFA/PUFA) را بهبود بخشد که این امر به افزایش ارزش غذایی لاروها و در نهایت منجر به تولید یک منبع پروتئینی مناسب‌تر برای استفاده در جیره غذایی آبزیان می‌شود (Ratti *et al.*, 2023).

بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر جایگزینی آرد ماهی با لارو حشره سرباز سیاه و ارزیابی اثر غنی‌سازی این لارو با جلبک اسپیرولینا بر عملکرد رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی بدن بچه‌ماهیان سی‌بَس آسیایی (*L. calcarifer*) انجام شده است.

## مواد و روش کار

تحقیق حاضر در مدت ۵۶ روز، از شهریور لغایت پایان مهر ماه سال ۱۴۰۳ به انجام رسید. به منظور اجرای آزمایش، تعداد ۳۰۰ عدد بچه‌ماهی سی‌بس آسیایی با وزن اولیه ۸/۰±۶۴/۰ گرم از مرکز تکثیر راموز بوشهر تهیه و به سالن تکثیر شیلات خوزستان (واقع در سایت ایستگاه تحقیقات ماهیان دریایی بندر امام خمینی (ره))، منتقل شدند، پس از انتقال ماهیان به سالن، به منظور سازگاری با شرایط محیطی جدید، به مدت دو هفته با جیره تجاری غذایی آغازین شرکت فرادانه (SB-302؛ حاوی ۵۲–۵۰ درصد پروتئین خام، ۱۳-۱۱ درصد چربی خام، اندازه پلت ۰/۲±۲/۰ میلی‌متر) تاحد سیری تغذیه شدند تا استرس ناشی از جابه‌جایی کاهش یابد و برای شروع آزمایش آماده شوند. پس از دوره سازگاری با شرایط جدید، ماهیان به صورت تصادفی در تانک‌های ۳۰۰ لیتری بین تیمارهای آزمایشی توزیع شدند. تعداد ۲۰ عدد ماهی در هر تانک و در مجموع ۵ تیمار با ۳ تکرار نگهداری شدند. تمامی مخازن از آب شور دریا با شوری ۴۰/۲ گرم بر لیتر (دبی آب ورودی برای هر مخزن حدود ۱/۵ لیتر در دقیقه) به صورت فیلترشده و با هوادهی مداوم با استفاده از پمپ هوا بهره مند شدند، شاخص‌های کیفیت آب به صورت روزانه پایش شد. دمای آب در محدوده ۲۸-۳۰ درجه سانتی‌گراد، میزان اکسیژن محلول در سطح ۵-۷ میلی‌گرم بر لیتر، pH در بازه ۵-۷/۸ و شوری ۴۵ گرم بر لیتر و با سیفون روزانه حدود ۳۰ درصد آب حفظ شد در طول دوره آزمایش، ماهیان با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. غذادهی دو بار در روز (۰۹:۰۰ و ۱۷:۰۰) و تا حد سیری ماهیان انجام گرفت.

[1] Bioaccumulation



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

**تهیه پودرلارو حشره سرباز سیاه (*H. illucens*)**

به منظور تهیه لارو حشره سرباز سیاه، لاروها در ۲ گروه پرورشی شامل: ۱) لارو حشره سرباز سیاه معمولی بدون هیچ‌گونه افزودنی (BSF) و ۲) لارو تغذیه‌شده با بستر حاوی پودر جلبک اسپیرولینا (BSF+Sp)، بستر پرورشی هر دو گروه شامل ۷۰ درصد محتویات شکمبه گوسفندی (جمع‌آوری‌شده از کشتارگاه‌های مجاز با رطوبت تقریبی ۶۰ درصد)، ۲۸ درصد ذرت خیسانده‌شده (پیش از استفاده به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور گردید تا رطوبت آن به حدود ۶۵ درصد برسد) و ۲ درصد کود مایع زیستی بود. برای غنی‌سازی گروه دوم (BSF+Sp)، مقدار ۱۵ درصد وزن خشک بستر (معادل ۱/۵کیلوگرم پودر اسپیرولینا در ۱۰ کیلوگرم ماده خشک بستر) به بستر افزوده و به طور یکنواخت مخلوط شد (Ratti *et al.*, 2023). مقادیر مواد مورد استفاده بر اساس آزمایش مقدماتی پژوهش حاضر تعیین شد تا شرایط بهینه برای رشد لاروها فراهم گردد. در عین حال، استفاده از ضایعات کشتارگاهی، محصولات کشاورزی به عنوان بستر یا افزودنی پروتئینی در پرورش لارو حشره سرباز سیاه در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Diener *et al.*, 2009; Meneguz *et al.*, 2018; Belghit *et al.*, 2019; Chia *et al.*, 2020)

پنج جیره غذایی آزمایشی به منظور بررسی اثر جایگزینی آرد ماهی با پودر لارو حشره سرباز سیاه و لارو غنی‌شده با اسپیرولینا، فرموله و تهیه شد. این جیره‌ها شامل یک گروه شاهد (FM) و چهار گروه آزمایشی بودند که به‌ترتیب در سطوح ۲۵ و ۵۰ درصد آرد ماهی را با پودر لارو حشره سرباز سیاه (BSF25% و BSF50%) و پودر لارو غنی‌شده با اسپیرولینا (BSF+SP25% و BSF+SP50%) جایگزین کردند (Basili *et al.*, 2025). جیره‌های آزمایشی به صورت هم‌نیتروژن و هم‌چربی فرموله شدند. به منظور ساخت جیره‌ها، ابتدا تمامی مواد خشک بر اساس فرمول‌های مندرج در جدول ۱، وزن‌کشی و به طور کامل با یکدیگر مخلوط شدند.

**جدول ۱: اقلام و تجزیه‌وتحلیل تقریبی جیره‌های آزمایشی**

**Table 1: Experimental diets formulation and proximate composition.**

| Ingredients(%) | Experimental diets | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | FM | BSF 25% | BSF 50% | $BSF^{+SP}$25% | $BSF^{+SP}$50% |
| Fishmeal | 48 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| BSF meal | - | 12 | 24 | - | - |
| $BSF^{+SP}$ meal | - | - | - | 12 | 24 |
| Corn gluten | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Wheat gluten | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Soybean meal | 8 | 10 | 8 | 10 | 8 |
| Soy protein concentrate | 8 | 10 | 16 | 10 | 16 |
| Beef gelatin | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Wheat middling | 7.4 | 5.8 | 3 | 5.8 | 3 |
| Mineral premix | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Vitamin premix | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Soy lecithin | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Fish oil | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Canola oil | 1.8 | 0.6 | 0 | 0.6 | 0 |
| Lamb tallow | 1.8 | 0.6 | 0 | 0.6 | 0 |
| **Proximate composition (%)** | | | | | |
| Moisture | 4.85 | 4.86 | 4.87 | 4.85 | 4.83 |
| Crude protein | 42.12 | 39.85 | 39.75 | 40.22 | 39.88 |
| Crude lipid | 8.93 | 9.10 | 9.25 | 9.13 | 9.27 |
| Crude ash | 11.60 | 10.75 | 11.44 | 10.66 | 11.39 |

[1]Composition of ingredients: fishmeal (620 g $kg^{-1}$ crude protein, 150 g $kg^{-1}$ crude lipid), soybean meal (410 g $kg^{-1}$ crude protein, 42 g $kg^{-1}$ crude lipid), wheat gluten meal (500 g $kg^{-1}$ crude protein, 40 g $kg^{-1}$ crude lipid), corn gluten meal (714 g $kg^{-1}$ crude protein, 41 g $kg^{-1}$ crude lipid), Soy lecithin (650 g $kg^{-1}$ crude protein, 21 g $kg^{-1}$ crude lipid), beef gelatin (850 g $kg^{-1}$ crude protein, 42 g $kg^{-1}$ crude lipid), wheat middling (120 g $kg^{-1}$ crude protein, 30 g $kg^{-1}$ crude lipid).

[2]The premix from Sigma Chemical Co., Steinheim, Germany included (as mg $kg^{-1}$ of premix): vitamin A, 50,000 (IU $kg^{-1}$); vitamin D3, 10,000 (IU $kg^{-1}$); vitamin B1, 20; vitamin B2, 10; vitamin B6, 3; vitamin K3, 15; nicotinamide, 150; calcium pantothenate, 40; Copper ($Cu^{++}$), 30; iron ($Fe^{++}$), 100; zinc ($Zn^{++}$), 150; manganese ($Mn^{++}$), 200



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

سپس روغن‌های مورد نیاز (روغن ماهی، روغن کانولا و پیه گوسفند)، به‌تدریج به مخلوط اضافه شد. در نهایت، با افزودن آب داغ و ژلاتین گاوی، خمیر حاصل به‌وسیله چرخ گوشت صنعتی به پلت‌های ۲ میلی‌متری در آمد و پس از خشک شدن، در بسته‌بندی‌های مناسب و در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد تا زمان استفاده نگهداری شدند.

**جمع‌آوری نمونه‌ها**

پیش از نمونه‌برداری، غذادهی ماهیان به مدت ۲۴ ساعت قطع گردید. سپس ماهیان به منظور بررسی شاخص‌های زیست‌سنجی، وزن تر (با دقت ۰۱ /۰ گرم) و طول کل (با دقت ۰/۱ سانتی‌متر)، اندازه‌گیری و اطلاعات مربوطه ثبت گردید. در مرحله بعد، عملیات خون‌گیری از ماهیان انجام شد.

**اندازه‌گیری شاخص‌های رشد**

شاخص‌های رشد تیمارهای آزمایشی در انتهای دوره، بر اساس روابط ذیل اندازه‌گیری شدند:

افزایش وزن(%) WG: (وزن نهایی بدن - وزن اولیه بدن) / وزن اولیه بدن × ۱۰۰

نرخ رشد ویژه (SGR): [(ln وزن نهایی بدن) - (ln وزن اولیه بدن)] تقسیم بر تعداد روزهای دوره × ۱۰۰

ضریب تبدیل غذایی (FCR): میزان غذای داده شده / افزایش وزن بدن

نرخ بقاء (SR) :(تعداد نهایی ماهی / تعداد اولیه ماهی) × ۱۰۰

**تجزیه‌وتحلیل تقریبی لاشه**

در پایان دوره آزمایشی، برای تجزیه‌وتحلیل ترکیب شیمیایی لاشه، از هر تیمار سه عدد ماهی به صورت تصادفی انتخاب شدند. نمونه‌ها ابتدا در دمای ۸۰− درجه سانتی‌گراد منجمد و سپس با آسیاب به پودر یکنواخت تبدیل شدند تا تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی با دقت بالا انجام شود. میزان رطوبت با قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. پروتئین خام با استفاده از روش کلدال و چربی خام با استخراج سوکسله اندازه‌گیری گردید. همچنین خاکستر نمونه‌ها با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌ها مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد AOACانجام شد تا صحت و قابلیت تکرار نتایج تضمین گردد (Hassan *et al.*, 2025).

**بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما**

به منظور سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی، در پایان دوره آزمایشی از هر تکرار دو عدد ماهی به صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌های خونی با استفاده از سرنگ‌های حاوی هپارین از سیاهرگ ساقه دمی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها بلافاصله سانتریفیوژ شدند تا پلاسما جدا شود. پلاسماهای حاصل برای اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی (پروتئین کل، گلوکز، کلسترول و تری گلیسرید)، مورد استفاده قرار گرفتند. به‌کارگیری هپارین به عنوان ضد انعقاد موجب جلوگیری از همولیز و حفظ شاخص‌های انعقادی شد که دقت تجزیه‌وتحلیل‌های بیوشیمیایی را افزایش داد ( Fazio *et al.*, 2018; Hsu *et al.*, 2023).

**تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها**

داده‌های جمع‌آوری‌شده طی آزمایش ابتدا در نرم‌افزار اکسل ثبت گردید. سپس به منظور اطمینان از صحت تحلیل، توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk از نظر نرمال بودن و با آزمون Levene از نظر همگنی واریانس‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این آزمون‌ها نشان داد که تمامی داده‌ها دارای توزیع نرمال و واریانس‌های همگن بودند. پس از تأیید پیش‌فرض‌های آماری، برای مقایسه میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در تیمارهای مختلف، از تجزیه‌وتحلیل One-way ANOVA استفاده شد. در ادامه، برای تعیین تفاوت‌های معنادار بین میانگین‌های گروه‌ها، از آزمون دانکن Duncan استفاده گردید. سطح معناداری در تمامی تحلیل‌ها ۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در نظر گرفته شد. نتایج نهایی به صورت میانگین ± خطای استاندارد ارائه شده است.



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

## نتایج

نتایج این پژوهش به بررسی تأثیر جیره‌های غذایی آزمایشی بر شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه و شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما خون در ماهیان سی‌بس آسیایی می‌پردازد.

### شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه نشان داد که در پایان دوره آزمایشی، میزان بازماندگی ماهیان در تیمار BSF 50% به صورت معناداری کمتر از سایر تیمارها بود. همچنین بالاترین وزن نهایی (FBW) و درصد افزایش وزن (WG) در ماهیانی که با جیره BSFSP+ 25% تغذیه شده بودند، ثبت شد. در مقابل، کمترین مقادیر این شاخص‌ها در تیمارهای BSF 50% و BSFSP+ 50% مشاهده شد که به صورت آماری با سایر تیمارها تفاوت معناداری داشتند. بیشترین نرخ رشد ویژه (SGR) در تیمار BSFSP+ 25% به‌دست آمد که به طور معناداری بالاتر از سایر تیمارها بود. اگرچه بالاترین ضریب تبدیل غذایی (FCR) در جیره BSF 50% مشاهده شد، اما این تفاوت از نظر آماری با سایر تیمارها معنادار نبود (جدول ۲).

**جدول ۲: عملکرد رشد بچه‌ماهیان سی‌بَس آسیایی (*Lates calcarifer*) تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی طی ۵۶ روز**

**Table 2: Growth performance and feed utilization of *Lates calcarifer* fed with experimental diets for 56-day**

| Parameters | FM | BSF25% | BSF50% | BSF+SP25% | BSF+SP50% |
|---|---|---|---|---|---|
| IBW (g) | 8.7 ± 0.0 | 8.7 ± 0.0 | 8.7 ± 0.0 | 8.5 ± 0.0 | 8.6 ± 0.0 |
| FBW (g) | 50.1 ± 0.9$^{bc}$ | 53.1 ± 1.5$^{b}$ | 47.4 ± 1.6$^{c}$ | 57.4 ± 0.1$^{a}$ | 47.2 ± 1.1$^{c}$ |
| WG (%) | 478.6 ± 10.5$^{bc}$ | 513.2 ± 17.1$^{b}$ | 447.3 ± 18.2$^{c}$ | 572.7 ± 0.1$^{a}$ | 448.8 ± 15.1$^{c}$ |
| SGR (%/day) | 3.13 ± 0.0$^{b}$ | 3.24 ± 0.1$^{b}$ | 3.03 ± 0.1$^{c}$ | 3.4 ± 0.0$^{a}$ | 3.04 ± 0.0$^{c}$ |
| SR (%) | 93.3 ± 0.0$^{a}$ | 93.3 ± 0.0$^{a}$ | 86.7 ± 0.0$^{b}$ | 90.0 ± 1.9$^{a}$ | 93.3 ± 1.5$^{a}$ |
| FCR | 0.93 ± 0.0 | 0.87 ± 0.0 | 0.96 ± 0.0 | 0.90 ± 0.0 | 0.93 ± 0.0 |

.ضریب تبدیل غذایی :FCR ،درصد بازماندگی :SR ،افزایش وزن :WG ،وزن نهایی بدن :FBW ،وزن اولیه بدن :IBW

وجود حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است ($p$ <۰/۰۵). داده‌هایی که دارای دو حرف مشترک هستند، با گروه‌هایی که هر یک از آن حروف را دارند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

IBW: initial body weight; FBW: Final body weight; WG: weight gain; SR: Percentage of survey rate; FCR: Feed conversion ratio

A different superscript in the same row denotes statistically significant differences ($p$<0.05). The data with two superscripts is not significantly differ from the data with each of the superscript

### تجزیه‌وتحلیل تقریبی ترکیبات لاشه

بررسی بیوشیمیایی لاشه ماهیان نشان داد که میزان رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر تحت تأثیر جیره‌های غذایی قرار گرفت. بالاترین میزان پروتئین خام لاشه در تیمار BSF 25% و BSF 50% مشاهده شد که به‌ترتیب بیشترین میزان را نسبت به سایر تیمارها داشت. بیشترین مقدار چربی خام در لاشه به تیمار BSFSP+ 50% تعلق داشت درحالی‌که کمترین میزان آن در تیمار FM ثبت شد. همچنین میزان رطوبت لاشه در تیمارهای BSF 50% و BSFSP+ 50% به صورت معناداری کمتر از سایر تیمارها بود. در مقابل، میزان خاکستر در لاشه ماهیان تیمار BSFSP+ 50% از سایر تیمارها بیشتر بود و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (FM) مشاهده شد (جدول ۳).

### شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما خون

بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما خون نشان داد که میزان پروتئین کل و گلوبولین تحت تأثیر جیره‌های غذایی قرار گرفته است. بیشترین میزان پروتئین کل به‌ترتیب در تیمار BSF 25% و BSF 50% مشاهده شد که به صورت معناداری از سایر تیمارها بالاتر بود. همچنین بیشترین سطح گلوکز در تیمار BSFSP+ 50% و کمترین آن در تیمار BSF 25% به‌دست آمد. بالاترین سطح کلسترول و تری‌گلیسرید نیز به‌ترتیب در تیمارهای BSFSP+ 50% و BSFSP+ 25% مشاهده شد درحالی‌که کمترین مقادیر کلسترول در تیمار BSF 50% و کمترین تری‌گلیسرید در تیمار BSF 25% ثبت گردید (جدول ۴).



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

**جدول ۳: ترکیب تقریبی کل بدن بچه‌ماهیان سی‌بَس آسیایی (*Lates calcarifer*) تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی طی ۵۶ روز**

**Table 3: Whole body proximate composition of *Lates calcarifer* fed with experimental diets for 56-day**

| | FM | BSF25% | BSF50% | $BSF^{+SP}25\%$ | $BSF^{+SP}50\%$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Moisture(%) | 70.8 ± 0.2 | 70.6 ± 1.1 | 72.3 ± 1.2 | 71.5 ± 0.0 | 69.6 ± 0.2 |
| Protein(%) | $19.2 \pm 0.5^{ab}$ | $19.3 \pm 0.3^{ab}$ | $18.6 \pm 0.0^{b}$ | $19.1 \pm 0.2^{ab}$ | $19.8 \pm 0.1^{a}$ |
| Lipid(%) | 0.77 ± 0.0 | 0.85 ± 0.0 | 0.87 ± 0.0 | 0.78 ± 0.0 | 0.84 ± 0.0 |
| Ash(%) | $4.4 \pm 0.0^{a}$ | $4.2 \pm 0.0^{a}$ | $4.1 \pm 0.1^{a}$ | $4.3 \pm 0.0^{a}$ | $3.7 \pm 0.0^{b}$ |

WBM: رطوبت کل بدن؛ WBCP: پروتئین خام کل بدن؛ WBCF: چربی خام کل بدن؛ WBA: خاکستر کل بدن؛ FM: رطوبت فیله؛ FCP: پروتئین خام فیله؛ FCF: چربی خام فیله؛ FA: خاکستر فیله.

وجود حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است ($p$ <۰/۰۵). داده‌هایی که دارای دو حرف مشترک هستند، با گروه‌هایی که هر یک از آن حروف را دارند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

WBM: whole body moisture; WBCP: whole body crude protein; WBCF: whole body crude fat; WBA: Whole body ash; FM: fillet moisture; FCP: Fillet crude protein; FCF: Fillet crude fat; FA: Fillet ash. Diet abbreviations:

A different superscript in the same row denotes statistically significant differences ($p$<0.05). The data with two superscripts is not significantly differ from the data with each of the superscript.

**جدول ۴: شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما خون بچه‌ماهیان سی‌بس آسیایی (*Lates calcarifer*) تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی طی ۵۶ روز**

**Table 4: Plasma biochemical parameters *Lates calcarifer* fed with experimental diets for 56-day**

| Indices | FM | BSF25% | BSF50% | $BSF^{+SP}25\%$ | $BSF^{+SP}50\%$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Total protein (g $dL^{-1}$) | $6.1 \pm 0.3^{c}$ | $14.8 \pm 0.4^{a}$ | $13.3 \pm 0.6^{a}$ | $10.9 \pm 2.2^{b}$ | $9.3 \pm 2.3^{b}$ |
| Glucose (mg $dL^{-1}$) | $60.2 \pm 12.0^{ab}$ | $46.5 \pm 8.1^{c}$ | $65.3 \pm 16.1^{a}$ | $55.7 \pm 12.5^{b}$ | $68.2 \pm 8.8^{a}$ |
| Cholesterol (mg $dL^{-1}$) | $177.6 \pm 14.9^{c}$ | $223.7 \pm 53.6^{b}$ | $167.9 \pm 13.1^{c}$ | $201.9 \pm 16.0^{b}$ | $282.4 \pm 14.0^{a}$ |
| Triglyceride (mg $dL^{-1}$) | $441.8 \pm 51.2^{b}$ | $268.9 \pm 10.3^{d}$ | $339.5 \pm 31.3^{c}$ | $521.0 \pm 60.8^{a}$ | $409.0 \pm 10.7^{b}$ |

TP: پروتئین تام؛ GLU: گلوکز؛ CHO: کلسترول؛ TG: تری‌گلیسرید.

وجود حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است ($p$ <۰/۰۵). داده‌هایی که دارای دو حرف مشترک هستند، با گروه‌هایی که هر یک از آن حروف را دارند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

Abbreviations: TP: Total protein; GLU: Glucose; CHO: Cholesterol; TG: Triglyceride

A different superscript in the same row denotes statistically significant differences (one-way ANOVA analysis, Duncan's multiple range test, test, $P$<0.05). The data with two superscripts is not significantly differ from the data with each of the superscript.

## بحث

با توجه به اهمیت تأمین منابع پروتئینی جایگزین در صنعت آبزی‌پروری و چالش‌های ناشی از وابستگی به آرد ماهی، مطالعه حاضر به بررسی تأثیر جایگزینی آرد ماهی با پودر لارو حشره سرباز سیاه و غنی‌سازی آن با اسپیرولینا بر شاخص‌های رشد، کیفیت لاشه و پارامترهای بیوشیمیایی سرم خون ماهی سی‌بَس آسیایی پرداخته است. این پژوهش در راستای توسعه جیره‌های پایدار و بهینه‌سازی سلامت و رشد آبزیان طراحی شده و یافته‌های آن می‌تواند دیدگاه تازه‌ای نسبت به استفاده توأمان از منابع پروتئینی نوین در تغذیه گونه‌های اقتصادی ماهیان فراهم کند.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که جایگزینی آرد ماهی با پودر لارو حشره سرباز سیاه (BSF) و مکمل اسپیرولینا، تأثیرات معناداری بر شاخص‌های رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما ماهیان سی‌بَس آسیایی (*L. calcarifer*) داشته است. این یافته‌ها با مطالعات مشابه بر گونه‌های مختلف آبزیان همسو است و تأثیرات مثبت و منفی جایگزینی منابع پروتئینی سنتی با منابع جدید را برجسته می‌کند. بررسی‌ها نشان داد که بالاترین وزن نهایی (FBW) و افزایش وزن (WG) در ماهیانی که با جیره حاوی ۲۵ درصد پودر حشره غنی‌شده با اسپیرولینا (BSFSP25%+)تغذیه شدند، مشاهده گردید. این نتایج نشان‌دهنده پتانسیل بالای این جیره نوآورانه در بهبود عملکرد رشد ماهیان است و با یافته‌های مطالعاتی که مزایای جایگزینی آرد ماهی با پودر حشره در سطوح پایین تا متوسط را نشان می‌دهند، همخوانی دارد. برای مثال، در لای



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

ماهی نیز گزارش شده است که جایگزینی جزئی آرد ماهی با پودر حشره منجر به بهبود شاخص‌های رشد می‌شود (Carral and Sáez-Royuela, 2022). این اثر مثبت می‌تواند ناشی از ترکیب بهینه اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب موجود در پودر حشره، به همراه مواد مغذی و آنتی‌اکسیدان‌های اسپیرولینا باشد که متابولیسم و رشد ماهی را تقویت می‌کنند. در مقابل، کمترین مقادیر برای این شاخص‌ها در تیمارهای حاوی ۵۰ درصد پودر حشره (BSF50%) و BSFSP50%+ ثبت شد. این یافته‌ها با مطالعات قبلی بر ماهی سی‌بَس آسیایی و سی‌بَس ژاپنی (*Lateolabrax japonicus*) همسو است و نشان می‌دهد، سطوح بالای جایگزینی آرد ماهی با پودر حشره می‌تواند به دلیل محتوای کیتین بالا، ترکیبات غیرمغذی یا عدم تعادل اسیدهای آمینه، منجر به کاهش رشد شود (Wang *et al.*, 2019; Wan Md Zain *et al.*, 2024). این نتایج نشان می‌دهد که سطح بهینه جایگزینی در این گونه پایین‌تر از ۵۰ درصد است و سطوح بالاتر اثرات منفی بر عملکرد رشد دارد. این تفاوت‌ها حساسیت گونه‌های گوشتخوار دریایی به سطوح بالای BSFLM را برجسته کرده و نیاز به بهینه‌سازی دقیق جیره را تأکید می‌کند. این نتیجه، بر خلاف موفقیت جایگزینی (۱۰۰ درصد) BSFLM در گونه‌هایی چون ماهی آزاد اقیانوس اطلس (Belghit *et al.*, 2019; Lock, Arsiwalla and Waagbø, 2016)، با محدودیت‌های گزارش‌شده در سایر گوشتخواران دریایی (ماهی سیم دریایی سر طلایی) و حتی گونه گوشتخوار زینتی، ماهی جنگجوی سیامی (Kari *et al.*, 2023) که عملکرد مطلوب را در سطوح بسیار پایین‌تر نشان دادند، همسو است. این ناسازگاری‌ها بر حساسیت گونه‌های گوشتخوار دریایی به سطوح بالای BSFLM تأکید می‌کند و لزوم غلبه بر چالش‌های تغذیه‌ای را برجسته می‌سازد. تحلیل کیفیت لاشه نشان داد که جایگزینی آرد ماهی با پودر حشره و غنی‌سازی آن با اسپیرولینا، بر ترکیب بدنی ماهی تأثیر می‌گذارد. بالاترین درصد چربی لاشه در تیمار BSFSP50%+ به‌دست آمد که احتمالاً ناشی از پروفایل متفاوت اسیدهای چرب جیره‌های حاوی پودر حشره است. این یافته با مطالعات انجام‌شده بر سی‌بَس ژاپنی همخوانی دارد جایی‌که افزایش سطح پودر حشره باعث کاهش میزان خاکستر بدن و تغییر در ترکیب لاشه شد (Wang *et al.*, 2019). در مقابل، سایر پژوهش‌ها بر سی‌بَس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) تأثیر معناداری بر اجزاء بدن ماهی گزارش نکردند (Abdel-Tawwab *et al.*, 2020) که تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از گونه‌های مختلف و تفاوت در محتوای چربی پودر حشره مورداستفاده باشد. افزایش معنی‌دار چربی لاشه در سطوح بالای جایگزینی به‌ویژه در تیمار غنی‌شده، ممکن است منجر به تجمع چربی کبد شود همان‌طوری‌که در ماهی سیم دریایی سر طلایی نیز گزارش شد و این امر ضرورت مدیریت دقیق محتوای لیپید در جیره‌های حاوی BSFLM را تأیید می‌کند. افزایش معنی‌دار چربی لاشه در سطح ۵۰ درصد به‌ویژه در تیمار غنی‌شده، می‌تواند خطر افزایش تجمع چربی را در کبد به‌همراه داشته باشد، وضعیتی که در دوز ۵۰ درصد در ماهی سیم دریایی سر طلایی (Basili *et al.*, 2025) نیز به عنوان یک اثر نامطلوب مشاهده شد. این امر، نیاز به مدیریت دقیق محتوای لیپید را در جیره‌های حاوی BSFLM تأیید می‌کند.

علاوه‌براین، بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما خون، ارتباط مستقیمی را با نوع جیره مصرفی نشان داد. بالاترین سطح پروتئین کل در تیمارهایی که با پودر حشره تغذیه شده بودند (BSF25% و BSF50%)، مشاهده شد. این افزایش می‌تواند نشان‌دهنده بهبود جذب پروتئین و وضعیت سلامت عمومی ماهیان باشد. این یافته با پژوهش‌های قبلی در ماهی سی‌بَس اروپایی همخوانی دارد (Abdel-Tawwab *et al.*, 2020). همچنین افزایش سطح گلوکز، کلسترول و تری‌گلیسرید در تیمارهای BSFSP50%+ نشان می‌دهد که پروفایل لیپیدی جیره نقش مهمی در متابولیسم ماهی دارد و غنی‌سازی با اسپیرولینا می‌تواند این پروفایل را تغییر دهد. مطالعه‌ای مشابه بر ماهی کفشک دریایی نشان داده است که جایگزینی کامل آرد ماهی با پودر حشره چربی‌گرفته، نتایج قابل قبولی در عملکرد رشد ارائه می‌دهد (Zhao *et al.*, 2023).

پژوهش حاضر، به بررسی اثرات همزمان جایگزینی پودر لارو مگس سرباز سیاه با وعده‌های غذایی ماهی و غنی‌سازی آن



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

با اسپیرولینا بر عملکرد رشد، شاخص‌های خونی و کیفیت گوشت ماهی سی‌بس آسیایی پرداخته است. تا کنون، مطالعات محدودی به صورت جداگانه جایگزینی پودر حشره یا غنی‌سازی با اسپیرولینا را بررسی کرده‌اند، اما ترکیب همزمان این دو رویکرد در رژیم غذایی سی‌بس آسیایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تیمار BSFSP25%+، بهینه‌ترین عملکرد رشد را ارائه می‌دهد و می‌تواند به عنوان راهکاری عملی و پایدار برای کاهش وابستگی به منابع سنتی پروتئینی و بهبود عملکرد رشد و سلامت ماهی مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد نشان‌دهنده گامی مهم در توسعه جیره‌های غذایی پایدار و بهینه‌سازی ترکیب پروتئین جایگزین با غنی‌سازی جلبک است که می‌تواند به پایداری بیشتر صنعت آبزی‌پروری کمک نماید.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان بدین‌وسیله از ایستگاه تحقیقات ماهیان دریایی بندر امام خمینی (ره)، بندر امام خمینی، ایران به‌دلیل فراهم‌سازی امکانات آزمایشی و ارائه حمایت‌های فنی در طول اجرای این پژوهش، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

## منابع

**Abdel-Tawwab, M., Khalil, R.H., Metwally, A.A., Shakweer, M.S., Khallaf, M.A. and Abdel-Latif, H.M., 2020**. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens L.*) larvae meal on growth performance, organs-somatic indices, body composition, and hemato-biochemical variables of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 522: 735136**.** DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.735136

**Basili, M., Randazzo, B., Caccamo, L., Guicciardi o Guizzardi, S., Meola, M., Perdichizzi, A., Quero, G.M. and Maricchiolo, G., 2025**. Effect of graded inclusion of black soldier fly (*Hermetia illucens*, Linnaeus, 1758) pre-pupae meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*, Linnaeus, 1758) on gut microbiome and liver morphology. *Fish Physiology and Biochemistry*, *51*(3): 1-22.DOI:10.1007/s10695-025-01485-z

**Belghit, I., Liland, N.S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, Å. and Lock, E.J., 2019.** Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503: 609-619. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.12.032

**Carral, J.M. and Sáez-Royuela, M., 2022.** Replacement of dietary fishmeal by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal in Prpactical diets for juvenile tench (*Tinca tinca*). *Fishes*, 7(6): 390. DOI:10.3390/fishes7060390

**Chia, S.Y., Tanga, C.M., Osuga, I.M., Cheseto, X., Ekesi, S., Dicke, M. and van Loon, J.J., 2020.** Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(6-7): 472-481. DOI:10.1111/eea.12940

**Diener, S., Zurbrügg, C. and Tockner, K., 2009.** Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*, 27(6): 603-610. DOI:10.1177/0734242X09103838

**Eggink, K.M., Pedersen, P.B., Lund, I. and Dalsgaard, J., 2022**. Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and rainbow trout fed different black soldier fly larvae meal size fractions. *Aquaculture Research*, 53(16): 5536-5546..DOI:10.1111/are.16035



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

**FAO, 2022**. The State of world fisheries and aquaculture 2020. FAO, Italy. 236 P.

**Fazio, F., Ferrantelli, V., Piccione, G., Saoca, C., Levanti, M. and Mucciardi, M., 2018.** Biochemical and hematological parameters in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758) and Gilthead sea bream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758) in relation to temperature. *Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb*, 88(3): 397-411. DOI:10.24099/vet.arhiv.170406c

**Hassan, A., Shabbir, G., Menghwar, M.K., Saleem, T., Naheed, N., Hameed, M.S., Fatima, S.A., Iram, A. and Munir, A., 2025**. Comparative study on growth performance and proximate composition of meat and internal organs of farmed and wild *Cirrhinus mrigala*. *Indus Journal of Bioscience Research*, 3(7): 16-24. DOI:10.70749/ijbr.v3i7.1740

**Hsu, J.C.N., Rairat, T., Lu, Y.P. and Chou, C.C., 2023**. The use of Tricaine methanesulfonate (MS-222) in Asian seabass (*Lates calcarifer*) at different temperatures: Study of optimal doses, minimum effective concentration, blood biochemistry, immersion pharmacokinetics, and tissue distributions. *Veterinary Sciences*, 10(9): 539. DOI:10.3390/vetsci10090539

**Kari, Z.A., Téllez-Isaías, G., Hamid, N.K.A., Rusli, N.D., Mat, K., Sukri, S.A.M., Kabir, M.A., Ishak, A.R., Dom, N.C., Abdel-Warith, A.W.A. and Younis, E.M., 2023.** Effect of fish meal substitution with black soldier fly (*Hermetia illucens*) on growth performance, feed stability, blood biochemistry, and liver and gut morphology of siamese fighting fish (*Betta splendens*). *Aquaculture Nutrition*, 1: 6676953. DOI:10.1155/2023/6676953

**Kuo, I.P., Liu, C.S., Yang, S.D., Liang, S.H., Hu, Y.F. and Nan, F.H., 2022.** Effects of replacing fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens Linnaeus*) larvae meal in Japanese eel (*Anguilla japonica*) diet on growth performance, fillet texture, serum biochemical parameters, and intestinal histomorphology. *Aquaculture nutrition*, 1: 1866142 .DOI:10.1155/2022/1866142

**Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z. and Zhou, S., 2011.** From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel*, 90(4): 1545-1548. DOI:10.1016/j.fuel.2010.11.016

**Lock, E.R., Arsiwalla, T. and Waagbø, R., 2016**. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of A tlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture nutrition*, 22(6): 1202-1213.. DOI:10.1111/anu.12343

**Meesala, K.M., Hong, J., Sealey, W.M., Popa, R., Bouchard, D.A. and Habte-Tsion, M., 2025.** Effects of fishmeal substitution with defatted black soldier fly larvae and soy protein meals on the growth, physio-biochemical responses, and immune-related gene expression of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 602: 742335. DOI:10.2139/ssrn.5044841

**Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M. and Gasco, L., 2018.** Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and*



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

*Agriculture*, 98(15): 5776-5784. DOI:10.1002/jsfa.9127

**Mozanzadeh, M.T., Safari, O., Oosooli, R., Mehrjooyan, S., Najafabadi, M.Z., Hoseini, S.J., Saghavi, H. and Monem, J., 2021.** The effect of salinity on growth performance, digestive and antioxidant enzymes, humoral immunity and stress indices in two euryhaline fish species: Yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*) and Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture*, 534: 736329. DOI:10.22113/JMST.2023.379919.2510

**Ratti, S., Zarantoniello, M., Chemello, G., Giammarino, M., Palermo, F.A., Cocci, P., Mosconi, G., Tignani, M.V., Pascon, G., Cardinaletti, G. and Pacetti, D., 2023.** Spirulina-enriched substrate to rear black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae as alternative aquafeed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Possible effects on zootechnical performances, gut and liver health status, and fillet quality. *Animals*, 13(1): 173. DOI:10.3390/ani13010173

**Saputra, I. and Lee, Y.N., 2023.** Nutrition composition of commercial full-fat and defatted black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a potential protein resource for aquafeeds. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(9): 4877-4884. DOI:10.13057/biodiv/d240930

**Siddiqui, S.A., Snoeck, E.R., Tello, A., Alles, M.C., Fernando, I., Saraswati, Y.R., Rahayu, T., Grover, R., Ullah, M.I., Ristow, B. and Nagdalian, A.A., 2022.** Manipulation of the black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) fatty acid profile through the substrate. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(8): 837-856. DOI:10.1007/s10661-023-11186-w

**Tippayadara, N., Dawood, M.A., Krutmuang, P., Hoseinifar, S.H., Doan, H.V. and Paolucci, M., 2021.** Replacement of fish meal by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal: effects on growth, haematology, and skin mucus immunity of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11(1): 193. DOI:10.3390/ani11010193

**Van Huis, A., 2013.** Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1): 563-583. DOI:10.1146/annurev-ento-120811-153704

**Wan Md Zain, W. S. W., Kuppusamy, G., Samat, N., Su Ting, Y., Jamaludin, F. I., & Azam-Ali, S., 2024.** Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as a protein source in Asian seabass diet [Preprint]. *SSRN*. DOI:10.2139/ssrn.4967186. DOI:10.2139/ssrn.4967186

**Wang, G., Peng, K., Hu, J., Yi, C., Chen, X., Wu, H. and Huang, Y., 2019.** Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets. *Aquaculture*, 507: 144-154. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.04.023

**Zhao, J., Pan, J., Zhang, Z., Chen, Z., Mai, K. and Zhang, Y., 2023**. Fishmeal protein replacement by defatted and full-fat black soldier fly larvae meal in juvenile turbot diet: Effects on the growth performance and intestinal microbiota. *Aquaculture Nutrition*, 1: 8128141 . DOI:10.1155/2023/812814



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