Journal of Aquaculture Development
Vol. 20, No. 4, 2027, Pages: 13-33
DOI:10.71901/jad-2026-1-913

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Morphometric indices and color traits of Malawian cichlid zebra (*Pseudotropheus zebra*) fed conventional diets and (*Hermetia illucens*) substituted fish meal diets

Artemis Mohammad Ali-Khani[1], Rezvan Mousavi Nadushan[2*]

1-Department of Marine and Fisheries Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2-Department of Marine and Fisheries Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, North Tehran College, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 13 September 2025 **Accepted: 12 December 2025**

Extended Abstract:

Introduction: In recent years, there has been an observable rising trend in using insect protein as an alternative protein source in aquafeed formulations. Estimates indicate that the long-term use of fish meal for aquafeed is not sustainable, and global fish meal production continues to decline. On the other hand, researches show that insects can be farmed sustainably and economically in small spaces with minimal water consumption. It has also been shown that insect protein can be partially or fully replaced in diets for crustaceans and farmed fish without reducing growth performance, feed conversion efficiency, intestinal health, immunity, or muscle quality, and some formulations even improve these parameters (Wang *et al*., 2025). Among insect-derived proteins, black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval protein is particularly promising for aquafeed applications. Black soldier fly represent a developmental stage with strong potential to substitute fish meal as a cost-effective, nutrient-dense protein source for aquaculture feeds. Consequently, BSF-L may help displace the costly, limited fish meal supply, supporting higher production and a more sustainable industry to meet the rising global demand for fish products (Su *et al*., 2025).

Materials and Methods: In this study, conducted over 8 weeks, the effects of replacing fish meal with black soldier fly larva meal (*H. illucens*) on growth, weight-length relationship, and condition factor in Malawi cichlid fish *Pseudotropheus zebra* were examined. The initial average weight was 0.28 ± 0.02 g. The fish were randomly divided into five groups, each containing 30 fish, and five feeding treatments were established, each with three replicates. Fish were fed four times daily, and diets in the feeding treatments contained 0% (control), 10%, 30%, and 50% black soldier fly larva meal powder. At the start and at weekly intervals after the start and at the end of the trial, growth parameters including weight and total length were measured.

Results and Discussion: The highest weight (164.7 ± 2.1 g) was observed in the 50% larva meal group compared to the control group (101 ± 1.7 g). The welfare of the experimental fish was also evaluated through the condition factor, body condition factor did not differ significantly between the control group and those fed diets containing 10% and 75% larva meal powder; however, in fish fed the 25 and 50% larva meal diet, the condition factor showed the highest and statistically significant values (1.37 and 1.43), suggesting that

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

all the fish were in good health (Limbu et al., 2022). Additionally, a least-squares regression of the base-10 logarithm of weight against the base-10 logarithm of total length yielded an equation of $W = 2.9343 \times \log10(TL) - 1.2047$ ($R^2 = 0.9853$) for the 50% larva meal diet, versus $W = 1.8043 \times \log10(TL) + 0.1029$ ($R^2 = 0.9764$) for the control group. Growth of P. zebra across the five feeding treatments followed a negatively allometric pattern. From this research, the allometric coefficient b was found to range from 1.8043 to 2.9343, indicating a predominantly negative allometry with a tendency toward isometric growth in fish fed a diet containing 50% black soldier fly larva meal (Odhiambo *et al*., 2023). Colorimetric parameters (a*, b*, and L*) in the 50% and 75% larva meal groups differed from the control. The highest color scores were observed in fish fed the 50% and 75% diets. Although there are no studies specifically addressing the effects of animal-protein–based diets on fish skin coloration, diets containing black soldier fly larva meal appear to have a considerable coloring capacity, enhancing color attractiveness, particularly brightness, in P. zebra, similar to *Sparus aurata* (Pulcini *et al*., 2020).

Conclusion: The results of this study indicate that replacing fish meal with black soldier fly larva meal powder in the diet of *Pseudotropheus zebra* produced a significant difference in the condition index, especially in the 50% treatment. This finding suggests that the optimal proportion of this powder in the diet can have a substantial positive impact on the physiological status and growth of the fish. It was also found that in this treatment, growth was balanced and proportional, with simultaneous increases in length and weight, reflecting the positive effect of the protein components in the larva meal powder on the growth process. Once more, linear models adequately fit the experimental data, with R^2 values for all treatments exceeding 0.9 (ranging from 0.97 to 0.98), indicating a very good match between the mathematical models and the data. The study also showed that consuming 50% larva meal powder had a significant positive effect on color parameters, especially blue color, in the cichlid fish, with enhanced synthesis, absorption, and storage of all pigments following larva meal powder consumption, leading to increased brightness and color appeal.

Conflict of Interest: There is no conflict of interest between the authors of the article.

Acknowledgment: The authors would like to express their gratitude for the support and assistance of Mr. Hossein Alaei in carrying out this research.

Key words: black soldier fly larvae, growth, color, Malawian cichlid fish

* *Corresponding Author:r_mousavi.nadushan@iau-tnb.ac.ir*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

نشریه توسعه آبزی‌پروری، سال بیستم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۵، صفحه های ۳۳-۱۳
DOI:10.71901/jad-2026-1-913

"مقاله پژوهشی"

کارآیی جایگزینی پودر لارو مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) بر شاخص‌های مورفومتریک و ویژگیهای رنگ در ماهی سیچلاید راه راه مالاوی (*Pseudotropheus zebra*)

آرتمیس محمدعلیخانی[۱]، رضوان موسوی ندوشن[۲*]

۱- گروه علوم دریایی و شیلاتی، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲-گروه علوم دریایی و شیلاتی، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۲۱

چکیده

طی مطالعه‌ای به مدت ۸ هفته اثرات جایگزینی آردماهی با پودر لارو مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*)، بر رشد، رابطه وزن-طول و فاکتور وضعیت در ماهی سیچلاید راه راه مالاوی (*Pseudotropheus zebra*) بررسی شد. میانگین وزن آن‌ها در ابتدای دوره برابر با ۰.۲۸ ± ۰.۰۲ گرم بود. ماهیان به‌طور تصادفی به پنج گروه تقسیم شدند که هر گروه شامل ۳۰ ماهی بود. پنج تیمار تغذیه‌ای در نظر گرفته‌شد که هر کدام دارای سه تکرار بودند. ماهیان به‌طور روزانه چهار وعده غذایی دریافت کردند و رژیم‌ها در تیمارهای تغذیه‌ای حاوی صفر درصد (شاهد)، ۱۰ درصد، ۳۰ درصد و ۵۰ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه بود. در آغاز تحقیق، در فواصل هفتگی پس از آغاز و در پایان ، پارامترهای رشد از جمله وزن و طول کل اندازه‌گیری شدند. بالاترین وزن (۱۶۴.۷ ± ۲.۱ گرم) در تیمار تغذیه با رژیم ۵۰ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با گروه شاهد (۱۰۱ ± ۱.۷ گرم) مشاهده شد. فاکتور وضعیت بدنی در گروه‌های شاهد، و تغذیه شده با جیره های حاوی ۱۰ و ۷۵ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه تفاوت معنی‌داری نشان نداد، در حالی که در ماهیان تغذیه شده با رژیم حاوی ۵۰ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه فاکتور وضعیت بالاترین میزان را با اختلاف معنی‌داری را نشان داد (۱.۳۷ و ۱.۴۳). علاوه بر این، رگرسیون حداقل مربعات از لگاریتم پایه۱۰ وزن در برابر لگاریتم پایه۱۰ طول کل، معادله‌ای به‌صورت $W = 2.9343 \times \log10(TL) - 1.2047$ $(R^2 = 0.9853)$ برای رژیم ۵۰ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با $W = 1.8043 \times \log10(TL) + 0.1029$ $(R^2 = 0.9764)$ برای گروه کنترل حاصل شد. رشد ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در پنج تیمار تغذیه‌ای روندی با الگوی آلومتریک منفی را نشان داد. پارامترهای رنگی در دو گروه ۵۰ و ۷۵ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه نسبت به گروه کنترل براساس مقادیر a*، b* و L* تحت تأثیر قرارگرفتند. بالاترین امتیازهای رنگی در ماهیان تغذیه شده با رژیم‌های ۵۰ و ۷۵ درصد مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که پودر لارو مگس سرباز سیاه می‌تواند منبع پروتئینی مناسبی برای بهبود جذابیت رنگ، به‌ویژه روشنایی، در ماهی سیچلاید راه راه مالاوی باشد.

کلمات کلیدی: لارو مگس سرباز سیاه، رشد، رنگ، ماهی سیچلاید راه راه مالاوی

* عهده‌دار مکاتبات: r_mousavi.nadushan@iau-tnb.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

مقدمه

پرورش ماهیان زینتی یکی از شاخه‌های پررونق و سودآور صنعت آبزی‌پروی است که عنوان دومین بخش بزرگ این صنعت را به خود اختصاص داده است (Livengood *et al*., 2018; Sharma, 2020). این صنعت، به‌واسطه پتانسیل‌های اقتصادی، تجاری و فرهنگی، توانایی برآورده‌سازی نیازهای زیبایی‌شناختی، روانی و روانشناختی مصرف‌کنندگان را نیز داراست (Sharma, 2020). در بسیاری از کشورها، حجم تجارت بین‌المللی ماهیان زینتی به سرعت در حال افزایش است و برآوردهای اقتصادی نشان می‌دهد که ارزش بازار آن‌ها به حدود ۱۵ میلیارد دلار در سال می‌رسد (Rhyne *et al*., 2017; Kamalii *et al*., 2022). در این صنعت، کیفیت ظاهری، به‌ویژه رنگ پوست و کیفیت رنگ، نقش محوری در تعیین میزان ارزش بازار و ترجیحات مصرف‌کنندگان ایفا می‌کند (Gouveia and Rema, 2005). رنگ پوست حاصل فعالیت‌های بیوشیمیایی در سلول‌های کروماتوفور و توزیع رنگدانه‌ها در آن‌ها است، که رنگ آن‌ها به‌طور کلی به پنج گروه اصلی شامل اریتروفورها (رنگ قرمز و نارنجی)، زانتوفورها (رنگ زرد)، ملانوفورها (رنگ سیاه)، لکوفورها (رنگ سفید) و ایریدوفورها (رنگ ایریدسانس) تقسیم می‌شود (Wahyudi *et al*., 2024) این گروه‌ها، بر اساس نوع و میزان رنگدانه‌های موجود، نقش کلیدی در تعیین زیباشناسی و جذابیت ظاهری ماهی دارند.

حدود ۱۰۰ میلیون ماهی قطعه زینتی در سراسر جهان توزیع شده است (Parappurathu *et al*., 2021)، علاوه براین، صنعت تولید خوراک ماهیان زینتی تا سال ۲۰۲۶، به میزان ۱,۳۸۷,۲۸۱ هزار دلار تخمین زده شده است (www.marketresearchfuture.com). بنابراین، مقدار خالص پودر ماهی مصرف‌شده در این صنعت بسیار قابل توجه است و نمی‌توان از آن غافل شد. در نتیجه، گزینه‌های پروتئینی جایگزین برای غذای ماهیان زینتی مورد نیاز است. گزارش‌های مختلفی در حوزه تغذیه آبزیان وجود دارد که نشان می‌دهد منابع پروتئین گیاهی و مقرون‌به‌صرفه می‌توانند جایگزین پودر ماهی در جیره‌های غذایی شوند (Aas *et al*., 2019; Das, 2023). اما نتایج حاکی از آن است که جایگزینی کامل پودر ماهی رضایت‌بخش نبوده است. رژیم‌های غذایی فرموله‌شده حاوی مواد گیاهی، مشکلاتی مانند فاکتورهای ضدتغذیه‌ای مختلف (Thakur *et al*., 2019)، پروفایل اسیدهای آمینه نامناسب و طعم ناخوشایند دارند (Najafi *et al*., 2024). علاوه بر این، بیشتر منابع پروتئین گیاهی با رژیم غذایی دام و انسان رقابت می‌کنند. در میان منابع جانوری، استفاده از برخی بندپایان مانند میگو (Pattanaik *et al*., 2021)، آرتمیا (Seidgar *et al*., 2019)، کریل (Roncarati *et al*., 2011)، خرچنگ (Bell *et al*., 2019)، کوپه پود (Gümüş *et al*., 2022)، میلورم (Das, 2024)، ملخ، جیرجیرک و لارو مگس سرباز سیاه (Das, 2023) به عنوان منابع غنی از کاروتنوئید شناخته شده است که می‌توانند منجر به تولید و تجمع مقادیر زیادی کاروتنوئید در پوست و بافت عضلانی ماهی شوند (Bell *et al*., 2019; Seidgar *et al*., 2019). برآوردها نشان می‌دهند استفاده از پودر ماهی برای تغذیه آبزیان در بلندمدت پایدار نیست و همچنین روند کاهش تولید پودر ماهی در سطح جهان ادامه دارد (Turchini *et al*., 2019). از سوی دیگر، تحقیقات نشان می‌دهند که می‌توان حشرات را به‌طور پایدار و اقتصادی در فضاهای

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

کم و با مصرف مقدار اندک آب پرورش داد (Sánchez-Muros *et al*., 2014). امروزه، به دلیل کیفیت غذایی بالا، پایداری و اخذ مجوز استفاده از حشرات در جیره‌های غذایی توجه ویژه‌ای را جلب کرده است (Alfiko *et al*., 2022). علاوه بر این، حشرات به عنوان یک منبع پتانسیل پروتئین حیوانی برای جایگزینی با پودر ماهی در تغذیه دام و آبزیان مطرح شده‌اند (Das *et al*., 2024). حشرات سرشار از ویتامین‌ها، مواد معدنی، آهن، روی و چربی هستند (Akinawa and Ketiku, 2000; Lebria *et al*., 2025). هر چند، ارزش تغذیه‌ای چربی حشرات پایین‌تر است (Sánchez-Muros *et al*., 2014). برخلاف ضایعات و محصولات جانبی گیاهی، حشرات غنی از اسیدهای آمینه مهم مانند لیزین، متیونین و لوسین هستند و در عین حال، حاوی مقدار ناچیزی از عوامل ضد تغذیه‌ای می‌باشند (Spranghers *et al*., 2017). همچنین، ثابت شده است که پودر حشرات دارای خواص ضدباکتریایی است (Henry *et al*., 2022). علاوه بر این، مشخص شده است که لارو مگس سرباز سیاه یک غذای زنده است و می‌تواند به عنوان حامل رنگدانه‌های کاروتنوئیدی نقش‌آفرینی کند. این لارو می‌تواند جایگزین مناسبی برای پودر ماهی باشد که میزان نیازهای پروتئینی را تا ۵۰ درصد تامین کند، بدون اینکه اثر منفی بر روی سلامت ماهی داشته باشد (Wang *et al*., 2025). لارو مگس سرباز سیاه نوعی خوراک طبیعی است که حاوی ۳۷-۶۲ درصد پروتئین خام، ۲۱-۳۸ درصد لیپید، ۷-۳۹ درصد چربی، ۹-۲۸ درصد خاکستر و ۱.۵-۴.۸ درصد کلسیم است (Barragan-Fonseca *et al*., 2017). این لارو می‌تواند اثرات مفیدی در تقویت سیستم ایمنی ماهی‌ها داشته باشد (Wang and Shelomi, 2017). علاوه بر این، لارو مگس سرباز سیاه دارای اندامی به نام تروفوسیت است که مواد مغذی غذا را در سلول‌های خود ذخیره می‌کند (von Bredow *et al*., 2022). پودر حشرات مانند میلورم، جیرجیرک، ملخ و لارو مگس سرباز سیاه به طور موفقیت‌آمیزی جایگزین پودر ماهی در جیره‌های غذایی ماهیان مختلفی نظیر قزل‌آلای رنگین‌کمان، گربه‌ماهی آفریقایی، مارماهی آسیایی، کپور، ماهی قزل‌آلای اقیانوس اطلس و ماهیان زینتی مانند ماهی قرمز، دم شمشیری، پلاتی، گوپی (Belghit *et al*., 2018; Hu *et al*., 2020; Perera and Bhujel, 2022; Das, 2023) و همچنین آروانا و بتوتو (Maulu *et al*., 2025) به‌کار رفته‌است. از سوی دیگر، افزودن کاروتنوئیدها به رژیم‌های غذایی بر پایه حشرات، احتمالا عملکرد رشد و رنگ پوست ماهی دیسکس را بهبود بخشیده و هزینه تولید را کاهش می‌دهد (Maulu *et al*., 2025). اگرچه چندین گونه حشره برای جایگزینی پودر ماهی مورد بررسی قرارگرفته، اما نتایج تحقیقات اندک در رابطه با ماهیان زینتی مانند گوپی، نشان‌دهنده اولویت لارو مگس سرباز سیاه هستند (Kowalska *et al*., 2022; Kamali *et al*., 2022).

سیچلایدها بزرگ‌ترین خانواده مهره‌داران جهان و یکی از گروه‌های شناخته‌شده ماهیان زینتی آب‌شیرین هستند. گونه سیچلاید راه راه مالاوی (*Pseudotropheus zebra*) یکی از گونه‌های بومی آفریقا است که زیستگاه اصلی آن در دریاچه مالاوی قرار دارد. رنگ این ماهی‌ها، مانند بسیاری از سیچلایدهای دریاچه‌ای، بسیار متغیر است و رنگ غالب بدن آن‌ها اغلب متمایل به آبی است (Walisiewicz *et*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

al., 2005) .در این مطالعه، با توجه به اهمیت صنعت پرورش ماهیان زینتی و بررسی امکان جایگزینی یک منبع پروتئینی پایدار، تأثیر افزودن لارو مگس سرباز سیاه به جیره غذایی ماهی سیچلاید راه‌راه مالاوی (*Pseudotropheus zebra*) بر رشد، شاخص‌های مورفومتریک و رنگ پوست ماهی مورد ارزیابی قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

آماده سازی و شرایط پرورش

به این منظور تعداد ۱۵۰ قطعه ماهی سیچلاید راه راه مالاوی از مرکز تکثیر ماهیان زینتی شهرک صنعتی لیا واقع در استان قزوین خریداری و به کارگاه منتقل شدند. ماهیان با میانگین وزنی و طولی اولیه به ترتیب ۰/۰±۲۸/۰۲ گرم و ۲±۰/۲ سانتی‌متر پس از مراحل سازگاری، به صورت کاملا تصادفی در ۱۵ عدد آکواریوم ۲۴ لیتری توزیع شدند. به منظور تأمین اکسیژن، هوادهی آب توسط یک پمپ مرکزی و جهت ثابت نگه داشتن دما از بخاری مخصوص آکواریوم استفاده گردید. برای حفظ کیفیت آب فضولات ماهی روزانه از طریق سیفون کردن خارج و یک سوم آب هر سه روز یک بار تعویض گردید. خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. میانگین دما حدود ۱± ۲۶-۲۸ درجه سانتی‌گراد، سختی کل ۱±۳۵۰-۳۹۰ میلی‌گرم بر لیتر، اکسیژن محلول ۰/۱±۷-۸ میلی‌گرم بر لیتر، پی اچ حدود۰/۱ ±۸/۴-۸/۵ بود. غذا دهی ماهیان در ۴ نوبت در ساعات ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴ تا حد سیری انجام گرفت.

شرایط و نحوه پرورش لارو مگس سرباز سیاه

به منظور پرورش مگس سرباز سیاه در ابتدا مولد نرو ماده در یک محفظه جداگانه نگهداری و پس از جفتگیری، ماده‌ها تخم‌ریزی کرده و سپس تخم‌ها تا خروج لارو در مکانی با یک رطوبت مناسب قرار داده شد و لارو این حشره پس از بیرون آمدن از تخم در بستر مواد آلی شامل ضایعات میوه و سبزجات تا پایان مرحله لاروی قرار داده شدند. لاروها پس از طی مراحل پیش شفیره و شفیره آمادگی تولیدمثل دارند و چرخه مجدداً قابل تکرار خواهد بود. پس از جداسازی لاروها از بستر و شستشو در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت خشک شدند تا رطوبت آنها به زیر ۸ درصد کاهش یابد و سپس توسط دستگاه آسیاب پودر گردیدند.

ساخت جیره‌های آزمایشی

جیره‌های آزمایشی با جایگزینی مقادیر ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد پودر لارو مگس سرباز (Black Solder Fly Meal, BSFM) یا پودر ماهی تهیه گردید. مواد اولیه به وسیله آسیاب برقی پودرو پس از الک کردن، پودرهای پروتئینی و نشاسته‌ای وروغن برای به دست آمدن یک خمیر همگن و ایزوپروتئوس مخلوط شدتد (جدول ۱). سپس خمیر بدست آمده توسط اکسترودر با قطر منافذ ۱ میلی‌متر به صورت رشته در آمده و در سینی‌های مناسی قرار داده شدند. رشنه های حاصل بعد از خشک شدن در معرض جریان هوا، بر اساس اندازه دهان ماهی برش داده شد. پس از درج مشخصات جیره ها بر روی بسته‌های پلاستیکی تا زمان مصرف، در فریزر به صورت منجمد نگهداری شدند.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

جدول ۱: اجزای جیره‌های آزمایشی مورد استفاده برای تغذیه ماهیان سیچلاید راه راه مالاوی طی دوره تحقیق

Table 1: Components of experimental diets used to feed Malawi striped cichlids during the research period

Food ingredients	Control	T1(10%)	T2(25%)	T3(50%)	T4(75%)
Corn flour + wheat bran + soy flour + wheat flour	48	47	47	44	37
Gilka fish flour	43	38	31	20	11
Black soldier fly larva powder	0	8	17	34	50
oil	7	5	3	0	0
Other additives	2	2	2	2	2

زیست سنجی ماهیان سیچلاید راه‌راه مالاوی

زیست سنجی نهایی در پایان دوره پرورش ۶۰ روزه انجام گرفت. به منظور کاهش استرس ماهیان، ۲۴ ساعت قبل از زیست سنجی غذادهی قطع گردید. در هنگام زیست سنجی، ماهیان با پودر گل میخک بیهوش شدند. برای اندازه گیری وزن ماهیان از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وبرای اندازه‌گیری طول از خط کش با دقت ۰/۱ سانتی‌متر استفاده شد.

جهت تعیین و محاسبه رابطه طول– وزن برای جمعیت تیمارهای آزمایشی ، ابتدا طول و وزن کل به صورت لگاریتمی (log10) تبدیل شدند و رگرسیون حداقل مربعات بین log10W و log10TL اجرا شد. سپس معادله رگرسیونی رابطه طول – وزن، برای هریک از گروه های ماهیان تیمارهای آزمایشی براساس معادله زیر مشخص گردید:

$$W = aL^b$$

که در این معادله W وزن زنده (گرم)، L طول کل (میلی‌متر)، و a و b به‌ترتیب فرم نمایی عرض از مبدا و شیب معادله لگاریتمی طول–وزن هستند.

در نهایت مقادیر شاخص وضعیت بدنی فولتون با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$CF = W/L^3 \times 100$$

که در این معادله W وزن زنده (گرم) و L طول کل (سانتی‌متر) می باشد (Le Cren, 1951).

اندازه گیری فاکتورهای رنگ سنجی

در پایان دوره آزمایش به منظوربر رسی تغییرات در رنگدانه‌های پوست ماهی سیچلاید راه‌راه مالاوی ۳ ماهی از هر تکرار انتخاب و بعد از بیهوش کردن ماهیان با پودر گل میخک با استفاده از دستگاه رنگ سنج هانترلب، Hunter Lab Scan XE ساخت امریکا، رنگ سنجی صورت پذیرفت و دستگاه پیش از اندازه‌گیری بر اساس استانداردهای رنگ‌های سفید و سیاه مربوط به نمونه‌ها کالیبره شد. اطلاعات داده شده توسط دستگاه در قالب ۳ فاکتور L، a ، b مشخص گردید. فاکتور L بیانگر میزان تیرگی و روشنی ماهی است که محدوده‌ای بین صفر (کاملا تیره) تا ۱۰۰ (کاملا روشن) را در بر می‌گیرد. a قرمزی است که a+ (قرمز) تا a- (سبز) را شامل می‌شود و b زردی را نشان می دهد که b+ (آبی) تا b- (زرد) را می‌دهد (Van der Salm *et al.*, 2004).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها:

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) و جهت

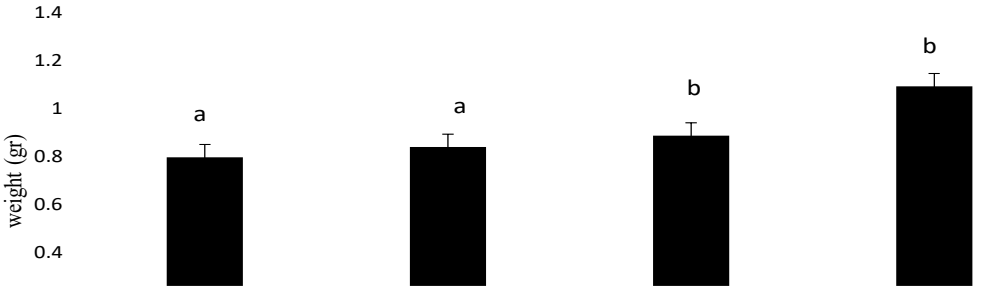
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

مقایسه میانگین فاکتورها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها با برنامه Microsoft Excel 2010 انجام پذیرفت.

نتایج

در پاسخ به جایگزینی پودر لارو خشک‌شده مگس سرباز سیاه با پودر ماهی بیشترین وزن ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در تیمار ۵۰ درصد (۰/۰۹±۱/۰۹ گرم) اندازه‌گیری شد، که نسبت به تیمارهای ۱۰ و ۲۵ درصد و تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد ($p<0.05$). اما افزایش در سطح ۱۰ و ۷۵ درصد تاثیر معنی‌داری بر وزن ماهیان نداشت ($p>0.05$) (شکل ۱).



شکل ۱: میانگین وزن در ماهیان تیمارشاهد و تیمارهای تغذیه شده با جیره حاوی پودر لارو خشک شده مگس سرباز سیاه

*حروف متفاوت نشان دهنده معنی داربودن اختلاف میان تیمارهای آزمایشی است

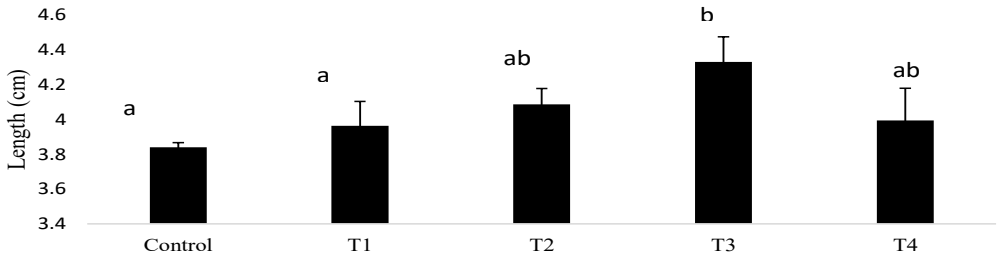
Figure 1: Average weight of fish in the control treatment and treatments fed with a diet containing dried black soldier fly larva powder

Different letters indicate significant differences between experimental treatments

بیشترین مقدار طول ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در گروه آزمایشی تغذیه شده با جیره غذایی حاوی ۵۰ درصد پودر لارو خشک شده مگس سرباز سیاه با (۴/۳۳±۰/۱۴ ساتی متر) و کمترین مقدار طول در گروه آزمایشی شاهد با (۳/۸۴±۰/۰۲ سانتی متر) مشخص شد. با افزایش جایگزینی لارو مگس سرباز سیاه، طول ماهیان ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در تیمار تغذیه‌ای ۵۰ درصد نسبت به کلیه تیمارها افزایش معنی‌داری نشان دادند ($p<0.05$). تاثیر جایگزینی پودر لارو مگس در مقادیر ۲۵ و ۷۵ درصد نیز افزایش کمتر ولی معنی‌داری با تیمار۱۰ درصد و شاهد نشان داد ($p>0.05$) (شکل ۲).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]



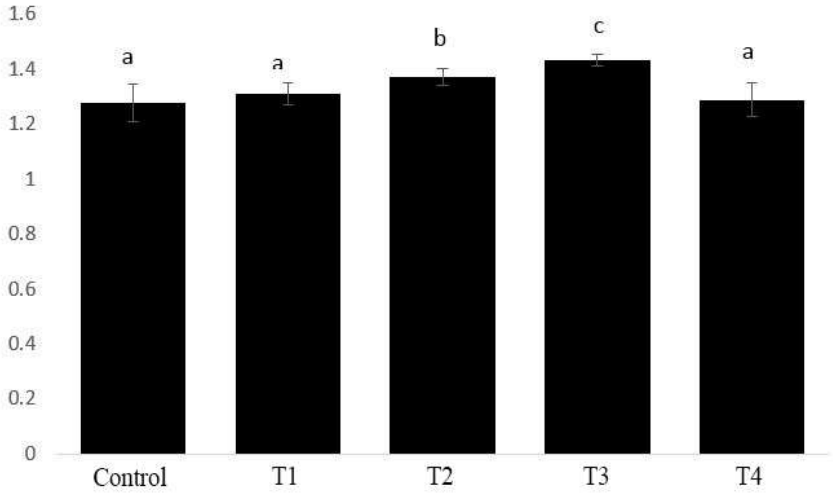
شکل ۲: میانگین طول ماهیان تیمارهای شاهد و تیمارهای تغذیه شده با جیره غذایی حاوی پودر لارو مگس سرباز سیاه

*حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میان تیمارهای آزمایشی است

Figure 2: Average length of fish in control treatments and treatments fed with diet containing black soldier fly larva powder

*Different letters indicate significant differences between experimental treatments

با جایگزینی پودر لارو مگس سرباز سیاه در جیره غذایی ماهی سیچلاید راه راه مالاوی، افزایش معنی‌داری در شاخص وضعیت تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد ایجاد شد ($p<0.05$). در سایر تیمارها (۲ و ۴) و تیمار شاهد تفاوتها معنی‌دار نبودند ($p>0.05$) (شکل ۳).



شکل ۳: میانگین شاخص وضعیت در ماهیان تیمارشاهد و تیمارهای تغذیه شده با جیره های حاوی پودر لارو مگس سرباز سیاه

*حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌داربودن اختلاف میان تیمارهای آزمایشی است.

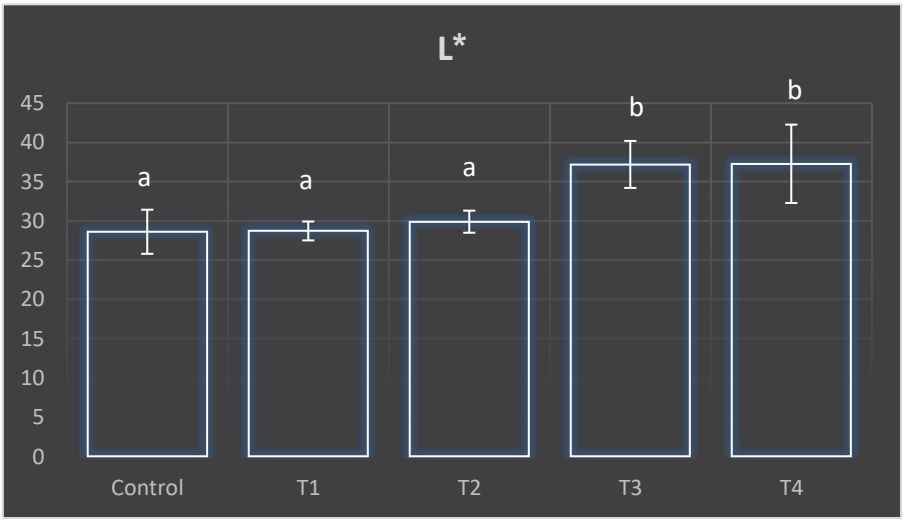
Figure 3: Average condition index in fish from the control treatment and treatments fed diets containing black soldier fly larva powder

*Different letters indicate significant differences between experimental treatments.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

در پاسخ به جایگزینی پودر ماهی با پودر لارو مگس سرباز سیاه، بیشترین میزان فاکتور L ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد و کمترین مقدار در تیمارهای ۱۰ و ۲۵ درصد مشاهده شد ($p<0.05$)، که دو تیمار اخیر (۱ و ۲) با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند ($p>0.05$) (شکل ۴).



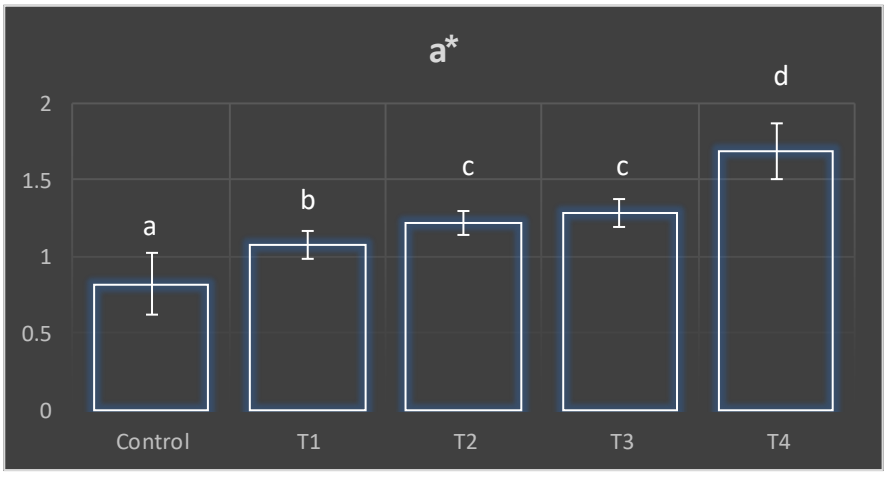
شکل ۴: مقایسه میانگین مقادیر فاکتور L در ماهیان تغذیه شده با جیره های حاوی پودر لارو مگس سرباز سیاه

*حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌داربودن اختلاف میان تیمارهای آزمایشی است.

Figure 4: Comparison of mean L-factor values in fish fed diets containing black soldier fly larva powder

*Different letters indicate significant differences between experimental treatments.

بیشترین مقدار فاکتور a ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در تیمار ۷۵ درصد و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد. بطوریکه یک روند افزایش معنی‌دار در تمام تیمارهای تغذیه‌ای حاوی پودر لارو مگس سرباز سیاه نسبت به تیمار شاهد در مقدار فاکتور a مشاهده شد ($p<0.05$) (شکل ۵).



شکل ۵: نمودار مقایسه میانگین فاکتور a در ماهیان تیمارشاهد و تیمارهای پودر لارو مگس سرباز سیاه

*حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌داربودن اختلاف میان تیمارهای آزمایشی است.

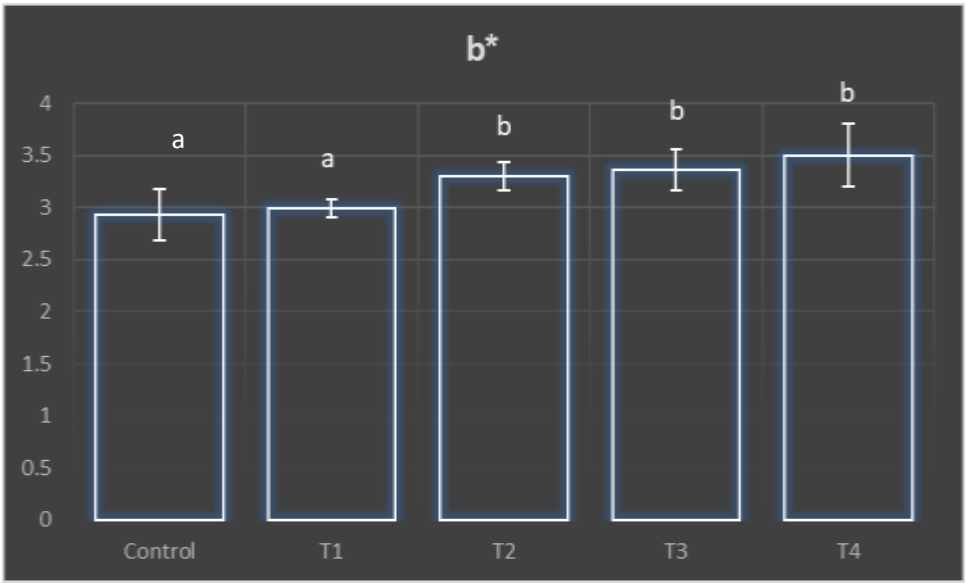
Figure 5: Comparison chart of the average a factor in control and black soldier fly larva powder treatments

*Different letters indicate significant differences between experimental treatments.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

بیشترین مقدار فاکتور b ماهی سیچلاید راه راه مالاوی، در تیمار ۷۵ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه و کمترین مقدار در تیمار ۱ و شاهد مشاهده گردید ($p<0.05$) (شکل ۶).



شکل ۶: میانگین مقادیر فاکتور b در تیمار شاهد و تیمارهای پودر لارو مگس سرباز سیاه

*حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌داربودن اختلاف میان تیمارهای آزمایشی است.

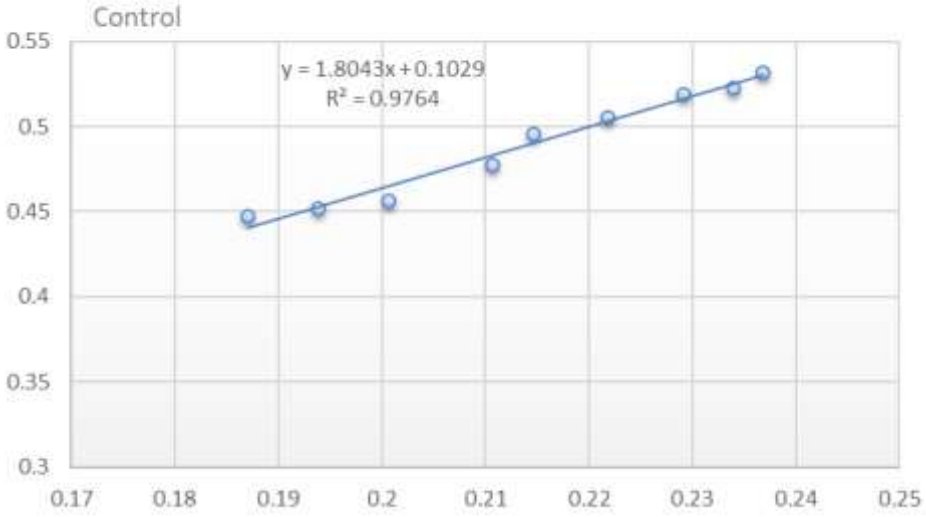
Figure 6: Average b-factor values in the control treatment and black soldier fly larva powder treatments

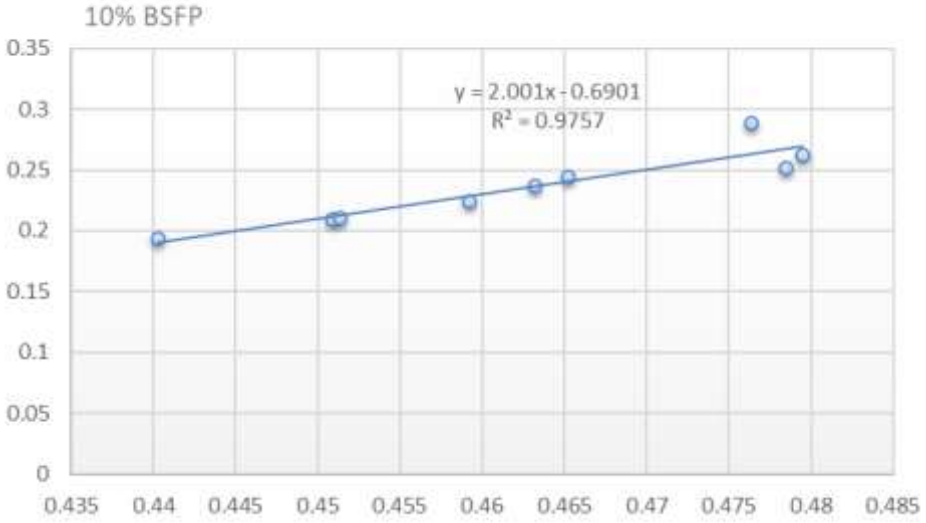
*Different letters indicate significant differences between experimental treatments.

در این تحقیق به منظور بررسی تفاوت‌های تاثیر جایگزینی پودرلارو مگس سرباز سیاه بر شاخص مورفومتریک طول- وزن ماهی سیچلاید راه راه مالاوی، معادلات لگاریتمی مربوط به جوامع هر تیمار، برازش داده شد، و مشخص گردید تفاوت‌های معنی‌دار در رابطه رگرسیونی طول– وزن و مقادیر ضریب وضعیت بین تیمارهای تغذیه‌ای وجود دارد (شکل ۷).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

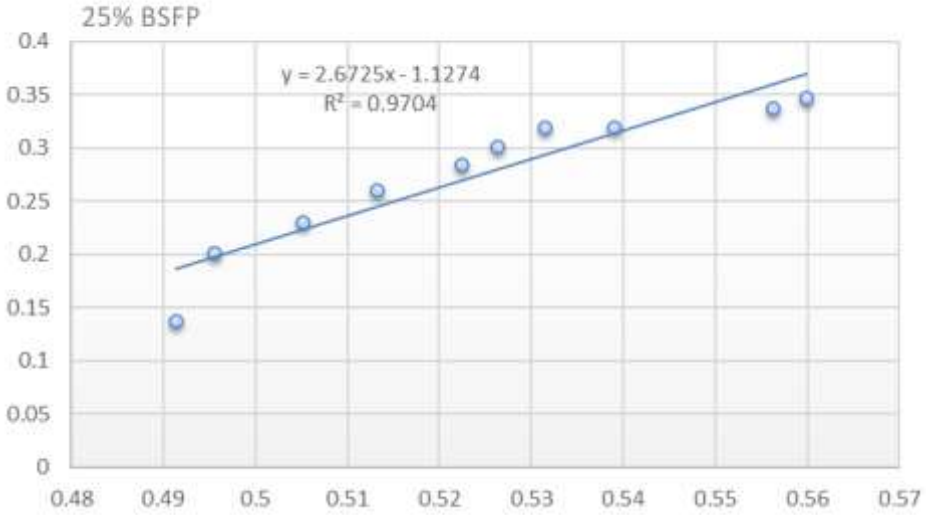
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

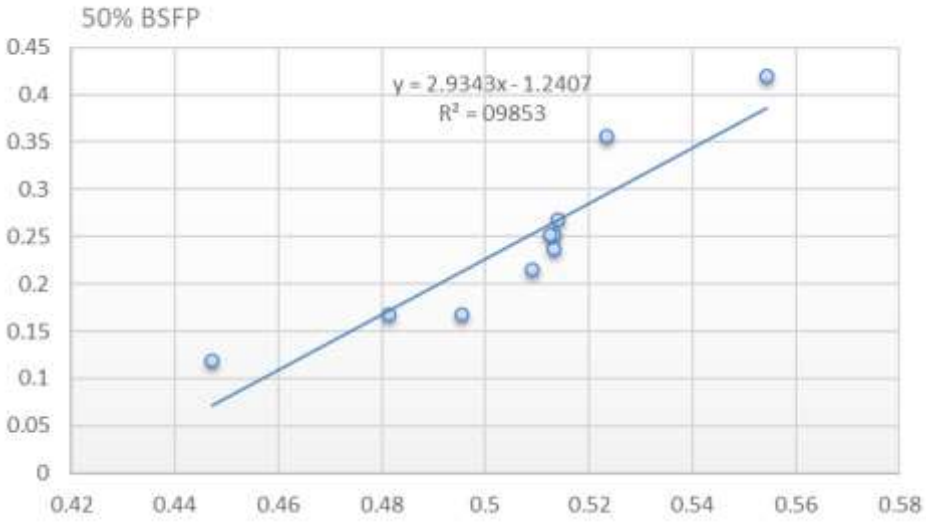




[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

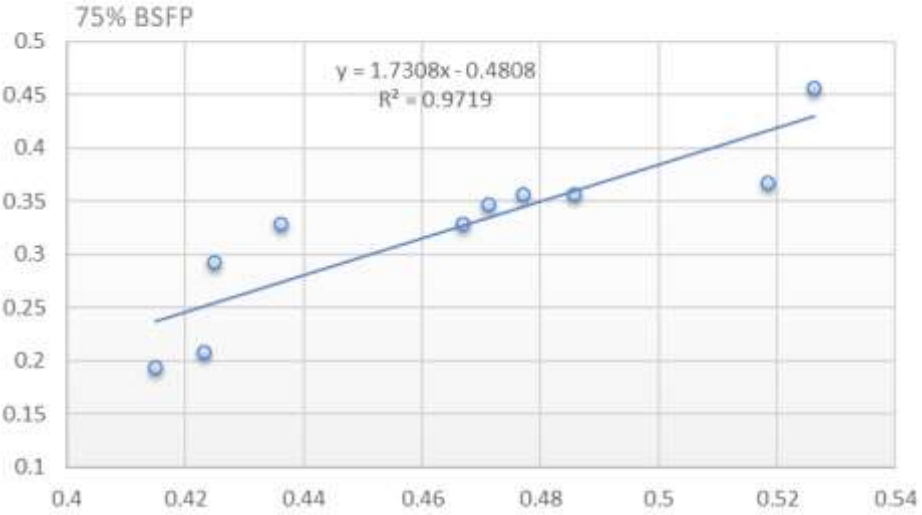
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]





[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]



شکل ۷: رگرسیون حداقل مربعات برازش داده شده بر اساس لگاریتم پایه ۱۰ وزن و طول کل برای جوامع ماهیان سیچلاید راه راه مالاوی تغذیه شده با جیره شاهد (a)، و جیره های حاوی ۱۰٪ (b)، ۲۵٪ (c)، ۵۰٪ (d)، ۷۵٪ (e) پودرلارو مگس سرباز سیاه

بحث

تغییرات مشاهده‌شده در رابطه طول-وزن و شاخص وضعیت نشان داد که رژیم غذایی، نقش مهمی در فرآیندهای رشد و وضعیت فیزیولوژیک ماهی دارد. رابطه طول-وزن یکی از شاخص‌های پایه در ارزیابی رشد طبیعی و سالم ماهی است که نشان می‌دهد چه میزان وزن متناسب با طول دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که جایگزینی پودر لارو مگس سرباز سیاه در جیره غذایی ماهی سیچلاید راه راه مالاوی، تفاوت معنی‌داری در شاخص وضعیت در تیمارهای ۲۵٪ و ۵۰ درصد نسبت به تیمارهای دیگر ایجاد کرد. این یافته نشان داد که نسبت بهینه این پودر در جیره غذایی، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود وضعیت فیزیولوژیک و رشد ماهی داشته باشد.

در مطالعه بر روی ماهی سیچلاید راه راه مالاوی و در تحلیل رابطه بین طول و وزن، بیش‌ترین مقدار ضریب b در تیمار ۵۰ درصد پودر لارو مگس محاسبه شد. این نتیجه نشان داد که در این تیمار، رشد ماهی به شکل متعادل و متناسب است، به گونه‌ای که افزایش طول و وزن هم‌زمان صورت می‌گیرد، و این تأثیر مثبت ترکیبات پروتئینی موجود در پودر لارو مگس را بر فرآیند رشد نشان می‌دهد. همچنین، براساس داده‌های تبدیل‌شده به لگاریتم پایه ۱۰، مدل‌های به نحو مطلوبی بر داده‌ها برازش یافتند، به‌طوری که مقادیر ضریب تعیین R^2 برای تمام گروه‌ها بیش‌تر از ۰.۹ (بین ۰.۹۷ تا ۰.۹۸) بود. این شاخص نشان‌دهنده تطابق بسیار خوب مدل‌های ریاضی با داده‌های تجزیه‌شده و صحت تحلیل‌های انجام‌شده است. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که مقدار میانگین ضریب b در رابطه طول-وزن برای ماهی سیچلاید راه راه مالاوی در بازه ۱.۷۳ تا ۲.۹۳ قرار داشت. بررسی مقادیر، نشان داد که تیمارهای

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

تغذیه‌ای حاوی ۲۵ و ۵۰ درصد پودر لارو مگس، به‌ترتیب، دارای ضریب رگرسیون (b) برابر با ۲.۶۳ و ۲.۹۳ بودند، که این ارقام نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای با ۱۰ و ۷۵ درصد پودر لارو مگس (۰.۸۱ و ۲.۰۰) بالاتر بودند. این نتایج نشان داد که در تمامی رژیم‌های غذایی، الگوی رشد به سمت آلومتریک منفی تمایل دارد، یعنی هر چه طول بدن ماهی افزایش یابد، وزن آن نسبت کمتری نسبت به این افزایش رشد می‌کند، که معمولاً نشان‌دهنده کاهش نرخ افزایشی وزن نسبت به طول است. نکته مهم این است که افزایش درصد پودر لارو مگس تا ۵۰ درصد، باعث شد تا ضریب b نیز افزایش یابد، که این روند افزایشی نشان داد نسبت وزن به طول در ماهی‌های تغذیه شده با این رژیم، بیشتر می‌شود، به عبارت دیگر، در حین رشد طول، وزن آن‌ها به طور مؤثرتری افزایش می‌یابد. در مقابل، ماهی‌هایی که با رژیم شاهد و رژیم‌هایی که شامل ۷۵ درصد پودر لارو مگس بودند، همچنان الگوی رشد آلومتریک منفی نشان دادند، یعنی نرخ رشد وزن نسبت به طول کاهش یافته است، و به‌عبارت دیگر، رشد وزنی کندتر نسبت به افزایش طول آن‌ها اتفاق می‌افتد. علاوه بر آن، ماهیان مصرف کننده رژیم غذایی حاوی ۵۰ درصد پودر لارو مگس بیش‌ترین شاخص وضعیت را در بین تمامی تیمارها نشان دادند، که نشان‌دهنده سلامت و وضعیت فیزیولوژیکی ایده‌آل ماهی‌ها در طول دوره آزمایش بود. اگر چه این گروه هنوز الگوی رشد آلومتریک منفی را نشان دادند، اما ضریب b در آن‌ها به ۲.۹۳ رسید، که بسیار نزدیک به رشد ایزومتریک (با ضریب ۳) است، و این نتیجه نشانگر بهبود قابل‌توجه در وضعیت رشد و سلامت کلی ماهی‌ها در مصرف این رژیم غذایی است.

Odhiambo و همکاران در سال ۲۰۲۳ به مطالعه اثرات استفاده از پودرلارو مگس سرباز سیاه در سطوح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بر رابطه طول–وزن ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ترکیب پودر لارو مگس سرباز سیاه به عنوان یک مکمل غذایی می‌تواند بر پویایی رشد و سلامت ماهی تیلاپیا تأثیرگذار باشد. در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، ضریب تبیین (R^2) بالاتر از ۰.۹ بود، و شاخص‌های رشد ایزومتریک ($b\geq3$) و شاخص وضعیت در دامنه ۰.۹ تا ۱ قرار داشتند. آنها نشان دادند بیش‌ترین شاخص وضعیت مربوط به تیمار ۲۵ درصد پودر لارو مگس بوده است، در حالی که کم‌ترین مقدار در تیمار ۷۵ درصد بود. این یافته‌ها نشان دادند که جایگزینی ۲۵ درصد پودر لارو مگس در رژیم غذایی می‌تواند ماهیان تیلاپیا را در شرایط سالم و با رشد ایده‌آل نگه دارد. اما، در تیمار ۷۵ درصد، وزن‌گیری ماهی کاهش یافت، که ممکن است ناشی از سوءتغذیه، کاهش دریافت مواد مغذی و یا کاهش جذب مواد مغذی مورد نیاز باشد (Agboola *et al*., 2020). بنابراین، تاثیر منفی جایگزینی مقادیر بالای پودر لارو مگس در تیلاپیا، با نتایج این مطالعه در ماهیان سیچلاید راه راه مالاوی مطابقت دارد.

رنگ ماهی یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین ارزش اقتصادی در صنعت ماهیان زینتی است. عوامل اصلی مؤثر بر ارزش اقتصادی ماهیان زینتی شامل رنگدانه، شکل باله‌ها و دم، و تناسب مورفومتریک هستند (Haridas *et al*., 2019). در حالت اسارت و در زمان نگهداری، عواملی مانند کیفیت تغذیه، به‌ویژه کیفیت پروتئین در غذا، شرایط فیزیولوژیک، استرس و کیفیت آب می‌توانند منجر به کاهش شاخص وضعیت

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

و در نتیجه بر هم خوردن تناسب رابطه طول-وزن و کاهش رنگ ماهی شوند. به همین دلیل، جیره‌های خشک و فرموله با کیفیت و کمیت متنوع پروتئینی می‌توانند باعث اختلال در رنگ‌پذیری و کاهش کلی رنگ پوست ماهی شوند (Wahyudi *et al*., 2024). هر دو گروه عوامل داخلی و خارجی بر کیفیت رنگ ماهی تأثیرگذارند. عوامل داخلی کنترل‌شده، شامل عوامل ژنتیکی و فیزیولوژیکی هستند که از شرایط داخلی بدن ماهی ناشی می‌شوند. عوامل خارجی، که از خارج بدن ماهی منشأ می‌گیرند، شامل شرایط نگهداری و تغذیه هستند (Pulcini *et al*., 2020). ماهیان زینتی قادر به سنتز رنگدانه‌های زرد، سبز و آبی در پوست و کاروتنوئیدها در پوست و ماهیچه نیستند (Jorjani *et al*., 2019). این ماهیان، رنگدانه‌های مختلف قرمز، نارنجی و زرد را از پیش‌سازهایی مانند کاروتنوئیدهای متنوع و آستاگزانتین جذب و در پوست و بافت‌های عضلانی ذخیره می‌کنند (Urban *et al*., 2013). تحقیقات کمی در رابطه با تغذیه ماهیان زینتی با مکمل‌های حامل طبیعی با منشا حیوانی، مانند پودر جیرجیرک، ملخ، میلورم و لارو مگس سرباز سیاه، و تأثیر آنها بر رنگ ماهیچه و پوست و فلس ماهی وجود دارد. مصرف پودر حشرات در جیره غذایی نشان داده است تاثیر مثبت بر رنگ پوست ماهیان زینتی مانند *Xiphophorus helleri* و *Xiphophorus maculatus* دارد (Das, 2023a; Das, 2023b). در این تحقیق نیز مشخص شد که افزودن پودر لارو مگس حتی بیش از ۵۰ درصد، تأثیر قابل توجهی بر فاکتورهای رنگ L ، a و b دارد و افزایش قابل ملاحظه رنگ، بخصوص رنگ آبی، با افزایش غلظت پودر لارو مگس در سطح ۷۵ درصد مشاهده شد. این روند نشان داد که در ماهی سیچلاید راه راه مالاوی، توانایی سنتز، جذب و ذخیره‌سازی کلیه رنگدانه‌ها پس از مصرف پودر لارو مگس تقویت شده است، و منجر به افزایش درخشندگی و جذابیت رنگ‌ها می‌شود. در واقع، پروتئین‌های موجود در پودر لارو مگس پس از هضم در روده، وارد کانال لنفاوی می‌شوند. سپس، ذرات پروتیینی و پپتیدی ریز تشکیل‌شده، از طریق سیستم گردش خون به سمت کبد منتقل می‌گردند و پس از رسیدن به کبد، به صورت پروتئین‌های حامل عمل می کنند. این پروتئین‌های کوچک، مولکول‌های رنگدانه را جذب و به بافت‌های هدف انتقال می‌دهند. در نهایت، انواع رنگدانه‌ها، بخصوص رنگدانه‌های سبز و آبی که توسط این حامل‌های پروتئینی منتقل می‌شوند، در سلول‌های پوست جذب شده و موجب افزایش تعداد کروماتوفرها می‌شوند.

تحقیقات نشان داده است که گنجاندن پودر لارو مگس در رژیم غذایی باعث افزایش رنگدانه‌های پوست و ماهیچه در چندین گونه ماهی شده است. به عنوان نمونه، Morais در سال ۲۰۱۹ نشان داد استفاده از جیره‌های غذایی حاوی پودر حشرات همراه با ریزجلبک یا آستاگزانتین، تأثیر مثبت بیشتری بر رنگ پوست نوزاد دلقک ماهی (*Amphiprion ocellaris*) نسبت به جیره‌های سنتی حاوی آرد ماهی دارد. همچنین، افزایش فاکتور (b) در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌هایی حاوی سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد پودر لارو مگس توسط Bolton و همکاران در سال ۲۰۲۱ گزارش شده است. پژوهشگران معتقدند که جایگزینی پودر لارو مگس می‌تواند منجر به کاهش مصرف پرهزینه آستاگزانتین و هزینه‌های تولید خوراک شود. مطالعات نشان داده‌اند که جیره غذایی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

جایگزین‌شده با ۵۰ درصد پودر ماهی، همراه با مکمل ۶ گرم اسپیرولینا و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آستاگزانتین، مؤثرترین روش برای بهبود رنگدانه‌ها، افزایش میزان بقا و شدت رنگ بدن ماهی زینتی دیسکس است، هرچند تأثیری بر عملکرد رشد ماهی ندارد (Tu *et al*., 2019). در تحقیقی بر روی ماهیان زینتی دم‌شمشیری (*Xiphophorus helleri*)، که از پنج جیره غذایی شامل ملخ، جیرجیرک، میلورم، لارو مگس سرباز سیاه و جیره شاهد تغذیه شدند، غلظت کاروتنوئید در ماهی‌ها افزایش یافته است، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار رسوب کاروتنوئید در ماهیان تغذیه‌شده با پودر لارو مگس، و کم‌ترین در ماهیان شاهد مشاهده شد (Das, 2023). تحقیقات روی ماهی گوپی نشان داد که حداکثر تجمع کاروتنوئید در ماهیانی است که با جیرجیرک، میلورم، لارو مگس سرباز سیاه و ملخ تغذیه شده‌اند (Perera and Bhujel, 2022). در مطالعه بر روی ماهی کوی (*Cyprinus carpio*)، که با ترکیبات پودر لارو مگس و سبزیجاتی مانند کدو تنبل، هویج و گوجه‌فرنگی تغذیه شده بود، بیش‌ترین تغییر رنگ در جیره حاوی پودر لارو مگس و هویج مشاهده شد، در حالی‌که کم‌ترین تغییر مربوط به ماهیان تغذیه‌شده با غذای تجاری بود. این نتایج نشان می‌دهد که ماهی کوی قادر است در حضور پودر لارو مگس، کاروتنوئیدهای موجود در خوراک را با کارآیی بالا جذب کند (Wahyudi *et al*., 2024). مطالعات، تفاوت در سطح روشنایی رنگ ماهی را به میزان جذب رنگدانه‌های موجود در خوراک نسبت داده‌اند (Hadijah *et al*., 2020). Wahyudi و همکاران در سال ۲۰۲۴ نشان دادند که در ماهی کوی تغذیه‌شده با جیره شاهد (بدون پودر لارو مگس)، توزیع گرانول‌های رنگدانه در سلول‌های کروماتوفور متمرکزتر بود، که منجر به جذب نامتناسب نور می‌شد. در حالی‌که، در تیمارهای تغذیه‌ای با پودر لارو مگس، گرانول‌های رنگدانه در سلول‌ها توزیع پراکنده داشتند و به جذب بهتر نور کمک می‌کردند. در این رابطه، Subamia و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که توزیع و پراکنش گرانول‌های رنگدانه در کروماتوفورها به دو دسته تقسیم می‌شود: گرانول‌هایی که در نزدیکی هسته تجمع می‌یابند و گرانول‌هایی که در سراسر سلول پخش می‌شوند. گرانول‌های پراکنده در سطح سلول، امکان جذب کامل نور را برای سلول فراهم می‌کنند و در نتیجه، فلس‌های ماهی روشن‌تر و با وضوح بهتر دیده می‌شوند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت جیره‌های حاوی پودر لارو مگس سرباز سیاه با مقادیر مختلف باعث بهبود عملکرد رشد، رابطه طول - وزن، شاخص وضعیت، و شاخص های رنگ در سیچلاید راه راه مالاوی می‌شود و سطح جایگزینی ۵۰ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه جایگزین مناسبی برای آردماهی، در امر پرورش ماهی زینتی سیچلاید راه راه مالاوی می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همراهی و مساعدت‌های جناب آقای مهندس حسین علائی در اجرای این تحقیق قدردانی نمایند.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

منابع

1. Aas, T.S., Ytrestøyl, T. and Åsgård, T., 2019. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports*, *15*, 100216. DOI:10.1016/j.aqrep.2019.100216
2. 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), pp.166-178. DOI:10.1016/j.aaf.2021.10.004
3. Akinawa, O. and Ketiku, A.O., 2000. Chemical composition and fatty acid profile of edible larva of Cirinal forda (westwoo). *African Journal of Biomedical Research*, *3*(2), pp.93-96. DOI:10.4314
4. Agboola, J.O., Akinyemi, A.A. and Ayoola. S.O., 2020. Length-weight relationship and condition factor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) rom a tropical impoundment in Nigeria. *Journal of Applied Ichthyology*, *36*(4), pp.536-40. DOI:10.12688/f1000research.145369.2
5. Bano, F., Kashyap, A. and Serajuddin, M., 2020. Effects of different dietary supplementation of plant carotenoids on growth, coloration and behaviour of giant gourami, Trichogaster fasciata (Bloch and Schneider, 1801). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, *19*(6), pp.2770-2789. DOI:10.22092/ijfs.2020.122739
6. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M. and van Loon, J.J., 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens L.*) and its suitability as animal feed–a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, *3*(2), pp.105-120. DOI: 10.3920/JIFF2016.0055
7. Bell, N.A., Jeffrey, S., MacIsaac, J.L. and Colombo, S.M., 2019. The effect of lobster meal on the growth performance and pigmentation of the common goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture Reports*, *13*, 100187. DOI:10.1016/j.aqrep.2019.100187
8. Bolton, C.M., Muller, N., Hyland, J., Johnson, M.P., Valente, C.S., Davies, S.J. and Wan, A.H.L., 2021. Black soldier fly larval meal with exogenous protease in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production meeting consumer quality. *Journal of Agriculture and Food Research*, *6*, 100232. DOI:10.1016/j.jafr.2021.100232
9. Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, A. and Lock, E.J., 2018. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, *491*, pp.72-81. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.03.016
10. Das, M., 2023a. Effect of four insect meals on the growth performance, survival, total carotenoid content and body composition of an ornamental fish *Xiphophorus helleri* (Poeciliidae). *International Journal of Entomology Research, 8*(6), pp.23-29. DOI:10.9734/ajfar/2023/v22i3570
11. Das, M., 2023b. Effect of Insect Meals on the Growth Efficiency, SurvivalandTotalCarotenoid Content of an Ornamental Fish *Xiphophorus maculatus* (Gunther, 1866). *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, *22*(3), pp.1-9. DOI:10.9734/AJFAR/2023/v22i3570
12. Das, M., 2024. Effect of Fishmeal Replacement with Mealworm (*Tenebrio molitor*) Meal on Growth Performance and Survival of the Black Molly (*Poecilia sphenops*). *Environment and Ecology*, *42*(2B), pp.902-909. DOI:10.60151/envec/TAIA5302
13. Gouveia, L. and Rema, P., 2005. Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquaculture Nutrition*, *11*(1), pp.19-23. DOI:10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x
14. Gümüş, E.R.K.A.N., Gurler, C. and Gulle, I., 2022. Effect of dietary

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

supplementation of copepod meal in goldfish *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) on growth performance, fatty acid profile and colouration. *Indian Journal of Fisheries*, *69*(1), pp.121-129. DOI: 10.21077/ijf.2022.69.1.108988-13

15. Henry, M. A., Golomazou, E., Asimaki, A., Psofakis, P., Fountoulaki, E., Mente, E., ... & Karapanagiotidis, I.T., 2022. Partial dietary fishmeal replacement with full-fat or defatted superworm (*Zophobas morio*) larvae meals modulates the innate immune system of gilthead seabream, Sparus aurata. *Aquaculture Reports*, *27*, 101347. DOI:10.1016/j.aqrep.2022.101347
16. https://www.marketresearchfuture.com/reports/ornamental-fish-market-10366 as visited on 30.50.2022
17. Hu, Y., Huang, Y., Tang, T., Zhong, L., Chu, W., Dai, Z., Chen, K. and Hu, Y., 2020. Effect of partial black soldier fly (*Hermetia illucens L.*) larvae meal replacement of fish meal in practical diets on the growth, digestive enzyme and related gene expression for rice field eel (*Monopterus albus*). *Aquaculture Reports*, *17*, 100345. DOI:10.1016/j.aqrep.2020.100345
18. Haridas, H., Sindhu, K. and Preetha, T.G., 2019. The influence of carotenoid pigment sources on color enhancement of ornamental fishes. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, *7*(3), pp.328-332. DOI: 10.33472/AFJBS.6.13.2024.2442-2451
19. Jorjani, M., Sharifrohani, M., Mirhashemi Rostami, A. and Tan, S.H., 2019. Effects of Hibiscus rosasiensis as a natural carotenoid on growth performance, body composition, pigmentation and carotenoid in blood plasma of blue gourami, Trichogaster trichopterus at different stocking densities. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, *18*(4), pp.619-634. DOI:10.22092/ijfs.2018.119315
20. Kamalii, A., Antony, C., Ahilan, B., Uma, A. and Prabu, E., 2022. Dietary protein replacement of fish meal with black soldier fly larvae meal: effects on growth, whole-body composition, digestive enzyme activity, muscle-growth-related gene expression and haemato-biochemical responses of juvenile goldfish, *Carassius auratus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *23*(2), TRJFAS21837. DOI:10.21203/rs.3.rs-1538270/v1
21. Kowalska, J., Rawski, M., Homska, N., Mikołajczak, Z., Kierończyk, B., Świątkiewicz, S., Wachowiak, R. and Hetmańczyk Mazurkiewicz, J., 2022. The first insight into full-fat superworm (*Zophobas morio*) meal in guppy (Poecilia reticulata) diets: A study on multiple-choice feeding preferences and growth performance. *Annals of Animal Science*, *22*(1), pp.371-384. DOI:10.2478/aoas-2021-0072
22. Lebria, A., Ershad Langroudi, H., Sajjadi, M. and Pajand, Z.O., 2025. Effect of different levels of superworm larvae meal (*Zophobas morio*) in diet on growth performance and carcass chemical composition of juvenile Stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). *Journal of Aquaculture Development*, *19*(3), pp.49-65. DOI: 10.71901/jad-2025-3-873 [In Persian]
23. Livengood, E.J., Ohs, C.L. and Chapman, F.A., 2009. Candidate species for Florida Aquaculture: Discus Symphysodon spp., a profitable but challenging species for Florida aquaculture. Fisheries and Aquatic Sciences Department. The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS) US, pp.1-8. DOI:10.32473/edis-fa166-2009
24. Le Cren, E.D., 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). Journal of Animal Ecology, *20*(2), pp.201-219.
25. Morais, M.A., 2019. Feeding strategies to improve growth in clownfish juveniles (*Amphiprion*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

26. Maulu, S., Eynon, B., Abarra, S., Rawling, M. and Merrifield, D.L., 2025. Black soldier fly, Hermetia illucens, larvae meal improves intestinal health and growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society*, *56*(3), e70035. DOI: 10.1111/jwas.70035
27. Najafi, Z., Ouraji, H., Yegane, S., Farhady, A., 2024. Effects of alternative changes of dietary protein source on growth, protein efficiency, digestibility and amino acid profile in Beluga (*Huso huso*). *Journal of Aquaculture Development*, *18*(3), pp.96-108. DOI: 10.71901/jad-2024-1-819 [In Persian]
28. Odhiambo, F., Manyala, J., Millicent, N.A., Museve, E. and Otieno, H.M., 2023. Effect of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae Feed Supplement on Length-Weight Relationship of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Innovations in Agriculture*, *6*, e32860. DOI:10.25081/ia.2023-026
29. Perera, G.C. and Bhujel, R.C., 2022. Replacement of fishmeal by house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket *(Gryllus bimaculatus)* meals: Effect for growth, pigmentation, and breeding performances of guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture Reports*, *25*, 101260. DOI:10.1016/j.aqrep.2022.101260
30. Pattanaik, S.S., Sawant, P.B., Xavier, KA, M., Srivastava, P.P., Dube, K., Sawant, B.T. and Chadha, N.K., 2021. Dietary carotenoprotien extracted from shrimp shell waste augments growth, feed utilization, physio-metabolic responses and colouration in Oscar, *Astronotus ocellatus* (Agassiz, 1831). *Aquaculture*, *534*, 736303. DOI:10.1016/j.aquaculture.2020.736303
31. Parappurathu, S., Baiju, K.K. and Vijayagopal, P., 2021. Status and prospectus of ornamental fish and feed industry in Southern India. Marine Fisheries Information Service Technical & Extension Series No. 248, pp.7-11.
32. Pulcini, D., Capoccioni, F., Franceschini, S., Martinoli, M. and Tibaldi, E., 2020. Skin pigmentation in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) fed conventional and novel protein sources in diets deprived of fish meal. *Animals*, *10*(11), 2138. DOI;10.3390/ani10112138
33. Rhyne, A.L., Tlusty, M.F., Szczebak, J.T. and Holmberg, R.J., 2017. Expanding our and understanding of the trade in marine aquarium animals. *PeerJ*, *5*, e2949. DOI: 10.7717/peerj.2949
34. Roncarati, A., Sirri, F., Felici, A., Stocchi, L., Melotti, P. and Meluzzi, A., 2011. Effects of dietary supplementation with krill meal on pigmentation and quality of flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Italian Journal of Animal Science*, *10*(2), e27. DOI:10.4081/ijas.2011.e27
35. Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G. and Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of cleaner production*, *65*(3), pp.16-27. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.11.068
36. Sharma, M., 2020. Ornamental fish rearing and breeding-a new dimension to aquaculture entrepreneurship in Himachal Pradesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, *8*(2), pp.157-162.
37. Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P. and De Smet, S., 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*(8), pp.2594-2600. DOI:10.1002/jsfa.8081

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]

38. Seidgar, M., Mohebbi, F., Nekuiefard, A., Hafezieh, M., Dadgar, S., Abbaspour Anbi, A. and Shiri, S., 2019. The effect of Artemia urmiana, Earthworm, Cow heart and concentrate as supplementary diets on skin color and pigmentation of Oscar fish (*Astronotus ocellatus*). *International Journal of Aquatic Science,*, *10*(2), pp.88-93.
39. Su, H., Zhang, B., Shi, J., He, S., Dai, S., Zhao, Z., Wu, D. and Li, J., 2025. Black soldier fly larvae as a novel protein feed resource promoting circular economy in agriculture. Insects, 16(8), p.830. DOI:10.3390/insects16080830
40. Subamia, I.W., Meilisza, N. and Permana, A., 2013. Color quality enhanced on goldfish juveniles through shrimp head meal enriched in feed. *Indonesian Aquaculture Journal*, *8*(1), pp.83-91. DOI: 10.15578/iaj.8.1.2013.83-91
41. Thakur, A., Sharma, V. and Thakur, A., 2019. An overview of anti-nutritional factors in food. *International Journal of Chemical Studies*, *7*(1), pp.2472-2479.
42. Turchini, G.M., Trushenski, J.T. and Glencross, B.D., 2019. Thoughts for the future of aquaculture nutrition: realigning perspectives to reflect contemporary issues related to judicious use of marine resources in aquafeeds. *North American Journal of Aquaculture*, *81*(1), pp.13-39. DOI:10.1002/fsh.10196
43. Tu, N.P.C., Tri, N.N., Ha, N.N., Linh, N.T.T., 2019. Effects of replacement of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in the diets on growth performance and pigmentation of discus fish (*Symphysodon sp.*). The Journal of Agriculture and Development. Nong Lam University. Ho Chi Minh City, pp.33-42. DOI:10.52997/jad.5.05.2019
44. Urban, J., Štys, D., Sergejevová, M. and Masojídek, J., 2013. Expertomica Fishgui: comparison of fish skin colour. *Journal of Applied Ichthyology*, *29*(1), pp.172-180. DOI:10.1111/jai.12011
45. Van der Salm, A.L., Martinez, M., Flik, G., Wendelaar Bonga, S.E., 2004. Effect of husbandry conditions on the skin colour and stress response of red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture*, *241*, pp.371-386. DOI:10.1016/j.aquaculture.2004.08.038
46. von Bredow, Y.M., Müller, A., Popp, P.F., Iliasov, D. and von Bredow, C.R., 2022. Characterization and mode of action analysis of black soldier fly (Hermetia illucens) larva-derived hemocytes. Insect Science, *29*(4), pp.1071-1095. DOI:10.1111/1744-7917.12977
47. Wang, Y.S. and Shelomi, M., 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, *6*(10), 91. DOI:10.3390/foods6100091
48. Wang, H., Gao, G., Chen, J., Jia, D., Hu, Q., Duan, H., Zhang, B., Bi, R., Hu, Q. and Bi, B., 2025. Effects of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal Replacement for Fish Meal on Growth Performance, Muscle Quality, Antioxidant Status, Immune Function, and Gut Microbiota in Juvenile Southern Catfish (*Silurus meridionalis*). *Antioxidants*, *14*(11), 1309. DOI: 10.3390/antiox14111309
49. Wahyudi, M. and Haryati, Zainuddin., 2024. The effect of feeding black soldier fly larvae with different types of feed on the chromatophore cell response in koi fish (*Cyprinus carpio*). *African Journal of Biological Sciences*, *6*(13), pp.2442-2451.
50. Walisiewicz, M.K., Dye, M. and King, S., 2005. Sedford. Aquarium Fish Encyclopedia.London, 400 p.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-1-913]