Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics
Print ISSN: 2345-427X
Online ISSN: 2345-4288

انجمن علمی ماهیان زینتی ایران
Iranian Ornamental Fish Society (IOFS)

(OPEN ACCESS)

The effects of mealworms (*Tenebrio molitor*) replaced with fish meal on growth and biochemical parameters in Goldfish (*Carassius auratus*)

Fatemeh Moghadas[1], Mohammad Reza Imanpour[*2], Roghieh Safari[3]

1. Dept. of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: fateme.moghadas88@gmail.com
2. Corresponding Author, Dept. of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mrimanpoor53@yahoo.com
3. Dept. of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: fisheriessafari@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.30.2024
Revised: 09.06.2024
Accepted: 09.15.2024

Keywords:
Biochemical,
Fish meal,
Goldfish,
Growth,
Mealworms

ABSTRACT

This study aimed to investigate the replacement of fish meal powder with edible mealworms powder in the diets of goldfish (*Carassius auratus*). The experiment involved 5 different diets and was conducted with 3 repetitions, with initial weight of 29.84 ± 1.53 g. Over a period of 60 days, the fish were fed by control, D25, D50, D75, and D100 diets, which contained 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% replacement of the protein, respectively. The fish were fed approximately 5% of their body weight daily. At the end of the study, growth performance, blood parameters (RBC, WBC, hemoglobin, and hematocrit), liver enzyme activity (AST, ALT, and ALP), as well as plasma albumin and glucose levels were assessed. The results indicated that there were no significant differences in growth performance across the different treatments (P>0.05). However, the highest final weight average, weight gain, and specific growth rate were found in the D50 treatment, while the D75 treatment had the lowest feed conversion ratio. Hematological analysis revealed significant differences between the experimental treatments and the control group (P<0.05). Although there were no significant differences in plasma albumin levels among the experimental diets (P>0.05), treatments D25, D50, and D75 showed a significant reduction in plasma glucose levels compared to the control group (P<0.05). There were no significant differences in AST enzyme activity among the treatments (P>0.05), but ALP activity was significantly higher in the experimental groups compared to the control group (P<0.05), with the highest level recorded in treatment D50. Furthermore, ALT activity was significantly lower in the experimental groups than in the control group (P<0.05), with the lowest level observed in treatment D75. Overall, the findings suggest that incorporating at least 25% edible mealworm powder into the diet of goldfish does not negatively impact feed intake, blood parameters, liver enzyme activity, or levels of glucose and albumin in plasma. This means it could serve as a viable alternative to fish meal.

Cite this article: Moghadas, Fatemeh, Imanpour, Mohammad Reza, Safari, Roghieh. 2026. The effects of mealworms (*Tenebrio molitor*) replaced with fish meal on growth and biochemical parameters in Goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (1), 125-142.

© The Author(s).
Doi: 10.22069/japu.2024.22760.1900
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

اثرات جایگزینی کرم خوراکی (*Tenebrio molitor*) به جای پودر ماهی بر پارامترهای رشد و بیوشیمیایی سرم خون در ماهی گلدفیش (*Carassius auratus*)

فاطمه مقدس[۱]، محمدرضا ایمانپور*[۲]، رقیه صفری[۳]

۱. گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: fateme.moghadas88@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mrimanpoor53@yahoo.com

۳. گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: fisheriessafari@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰٦/۰۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰٦/۱٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰٦/۲٥

واژه‌های کلیدی:
بیوشیمیایی،
پودر ماهی،
رشد،
کرم خوراکی،
ماهی گلدفیش

چکیده

هدف از این مطالعه جایگزین کردن پودر ماهی با پودر کرم خوراکی در جیره‌های غذایی ماهی گلدفیش (*Carassius auratus*) می‌باشد. این کار در قالب ۵ تیمار و ۳ تکرار با وزن اولیه (۱/۵۳ ± ۲۹/۸٤ گرم) انجام شد. ماهیان با ۵ جیره غذایی شامل کنترل، D25، D50، D75 و D100 (به ترتیب حاوی ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی) به مدت ٦۰ روز به میزان تقریبی ۵ درصد وزن بدن تغذیه شدند. در پایان آزمایش عملکرد رشد، خون‌شناسی (RBC، WBC، هموگلوبین و هماتوکریت)، فعالیت آنزیم‌های کبدی (AST، ALT و ALP)، آلبومین و گلوکز سرم خون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاضر نشان داد در عملکرد رشد، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود ندارد (P>۰/۰۵) با این‌حال، بیش‌ترین میزان میانگین وزن نهایی، ضریب رشد ویژه در تیمار D50 و کم‌ترین میزان ضریب تبدیل غذایی در تیمار D75 ثبت گردید. نتایج خون‌شناسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی با گروه کنترل وجود دارد (P<۰/۰۵). اختلاف معنی‌داری در میزان آلبومین سرم خون بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت (P>۰/۰۵) اما میزان گلوکز سرم در تیمارهای D25، D50 و D75 کاهش معنی‌داری با گروه کنترل داشت (P<۰/۰۵). در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری برای فعالیت آنزیم AST مشاهده نشد (P>۰/۰۵). درمقایسه، فعالیت آنزیم ALP افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد (P<۰/۰۵) به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آن در تیمار D50 ثبت گردید. به‌علاوه، فعالیت آنزیم‌های ALT کاهش معنی‌داری با گروه شاهد

داشت (P<۰/۰۵) و کم‌ترین میزان آن در تیمار D75 مشاهده شد. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از حداقل ۲۵ درصد پودر کرم خوراکی (میل‌ورم) در جیره غذایی ماهی گلدفیش اثر منفی بر مصرف خوراک، شاخص‌های خون‌شناسی، فعالیت آنزیم‌های کبدی و گلوکز و آلبومین سرم نداشته و می‌تواند جایگزین پودر ماهی شود.

استناد: مقدس، فاطمه، ایمانپور، محمدرضا، صفری، رقیه (۱۴۰۵). اثرات جایگزینی کرم خوراکی (*Tenebrio molitor*) به جای پودر ماهی بر پارامترهای رشد و بیوشیمیایی سرم خون در ماهی گلدفیش (*Carassius auratus*). *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۵ (۱)، ۱۴۲-۱۲۵.

Doi: 10.22069/japu.2024.22760.1900

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

صنعت ماهیان زینتی یکی از بکرترین مجموعه‌های بخش کشاورزی است. این صنعت از نظر تجاری رو به شکوفایی و توسعه اقتصادی است (۱) و در بسیاری از کشورهای جهان یکی از مشاغل و تجارت‌های مردمی، محبوب و از نظر مالی رو به افزایش است (۲) و پیشرفت علمی در صنعت پرورش ماهی و فناوری آکواریوم درآمد ارضی مناسبی نصیب برخی کشورها به‌ویژه در جنوب شرق آسیا کرده است (۳).

کاهش مداوم صید ماهی‌های وحشی و افزایش تقاضا برای دام و خوراک آبزیان منجر به کاهش سریع در دسترس پودر ماهی و روغن ماهی و افزایش قیمت هم‌زمان آن‌ها شده است. هزینه خوراک آبزی‌پروری ۷۰-۴۰ درصد از هزینه ماهی‌های تولید شده را نشان می‌دهد (٤، ٥). به‌ویژه در آبزیان، ماهی‌های گوشتخواری که به مقادیر زیادی پودر ماهی احتیاج دارند. بسیار زیاد است (٦). سویا و سایر گیاهان که سرشار از پروتئین و لیپید هستند را به جیره غذایی آبزیان معرفی کرده‌اند که جایگزین پودر ماهی و روغن ماهی شوند (۷، ۸، ۹). با این‌حال وجود عوامل ضد تغذیه‌ای در وعده‌های غذایی گیاهان (۱۰، ۱۱، ۱۲)، مشکلات بالقوه التهاب دستگاه گوارش (۱۳) و کاهش طعم غذا (١٤) علاوه بر این رشد سریع جمعیت بشر بر استفاده از اراضی زراعی تحت فشار قرار گرفته است (١٥) و اثرات زیست‌محیطی این گیاهان سرشار از پروتئین مربوط به میزان انرژی و آب لازم برای تولید آن‌ها، ممکن است پایداری چنین گزینه‌هایی برای پودر ماهی را تغییر دهد (١٦).

توسعه آبزی‌پروری و افزایش تقاضای منابع در دسترس پودر ماهی، فشار در خور ملاحظه‌ای بر بازار جهانی و پیرو آن بر قیمت غذا خواهد داشت (۱۷). از طرف دیگر در سال‌های اخیر، جایگزینی پودر ماهی و روغن ماهی با منابع گیاهی از جنبه‌های اقتصادی و بوم‌شناختی، ضرورتی انکارناپذیر برای توسعه پایدار صنعت آبزی‌پروری محسوب می‌شود (١٦) به‌طوری‌که هر گونه تغییر و تنش در بازار جهانی سبب به وجود آمدن بحران و اثر سوء در قیمت پودر ماهی و برنامه‌های تولید ماهی در کشور می‌شود (۱۸). تلاش‌های بسیاری در خصوص جایگزینی سایر فرآورده‌های پروتئینی به جای پودر ماهی در جیره غذایی آبزیان در حال انجام است (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲).

حشرات منبع غنی از مواد مغذی با کیفیت بالا و سطح قابل‌ملاحظه‌ای از ترکیبات فعال زیستی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و سیستم ایمنی بدن هستند که می‌توانند بر سلامتی و بهزیستی حیوانات مزرعه تأثیر مثبت بگذارد (۲۳). بین گونه‌های مختلف حشرات، لارو سوسک تیره و *Tenebrio molitor* به عنوان کرم‌های خوراکی، یکی از امیدوارکننده‌ترین کاندیداها برای جایگزینی پودر ماهی در خوراک حیوانات شناخته می‌شوند (٢٤). کرم‌های خوراکی (میل‌ورم) سرشار از پروتئین بوده و ۵۰ درصد از وزن خشک آن را پروتئین خام در بر می‌گیرد و بدن این موجود هم‌چنین دارای مقادیر مناسبی از چربی، فسفر، کلسیم و ... مورد نیاز برای رشد آبزیان می‌باشد (۲۳). کرم خوراکی هم به‌صورت تازه و هم به‌صورت خشک شده قابل مصرف بوده و می‌توان آن را به صورت تازه، به عنوان غذای زنده در تغذیه ماهیان به کار برد و نیز پودر کرم خوراکی ارزان‌قیمت می‌توان جایگزین مناسبی برای پودر ماهی گران‌قیمت باشد (۱۹، ۲۵، ٢٦). به علاوه، حشره‌های خوراکی منبع غنی از پروتئین، روی، آهن و ویتامین‌ها و املاح محسوب می‌شوند (۲۳). استفاده از کرم‌ها به‌عنوان یک منبع تغذیه‌ای برای حیوانات دریایی پرورش یافته هنوز در مرحله پژوهش است اما

پتانسیل آن را به عنوان یک محصول ارزش غذایی بالا نمی‌توان انکار کرد (۲۷). اخیراً مطالعات جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی ماهیان *Salmo salar* (۲۵)، *Larimichthys crocea* (۲۶)، *Micropterus salmoides* (۲۷)، *Cyprinus carpio* (۱۹) و *Paralichthys olivaceus* (۲۸) صورت گرفته است.

هدف از انجام این مطالعه تعیین اثر جایگزینی پودر ماهی با پودر کرم خوراکی بر شاخص‌های رشد، ویژگی‌های خونشناسی و پارامترهای بیوشیمیایی سرم در ماهی گلدفیش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش: در این پژوهش، ۱۵۰ قطعه ماهی گلدفیش (با وزن اولیه ۱/۵۳ ± ۲۹/۸٤ گرم) از یکی از مراکز تکثیر و پرورش ماهی گلدفیش تهیّه و به سالن آبزی‌پروری شهید فضلی‌برآبادی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران انتقال یافت. پس از دو هفته آداپتاسیون، این مطالعه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در ۵ تیمار و ۳ تکرار انجام شد که شامل سطوح جیره پایه (۰ درصد)، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی پودر ماهی با پودر میل‌ورم است. تعداد دفعات غذادهی ۳ بار در طول شبانه‌روز و مدت زمان آزمایش دو ماه (٦۰ روز) بود.

تهیه آکواریوم: برای انجام این آزمایش آکواریوم‌هایی به ابعاد ٦۰×۳۵×۳۰ سانتی‌مترمکعب خریداری شد و هر یک با حجم آبی حدود ۵۰ لیتر آبگیری شد. به‌علاوه هر آکواریوم با گرفتن انشعابی از سیستم هواده مرکزی هوادهی می‌شدند.

تهیه کرم خوراکی: کرم‌های خوراکی از فروشگاه غذای حیوانات واقع در تهران خریداری شد و برای انجام دادن آزمایش و آنالیز ترکیبات موجود در بدن به آزمایشگاه برده شد و بعد از اطمینان از درصد پروتئین خالص توسط مخلوط‌کن خرد شده و در جیره با درصد مشخص ریخته شد.

ساخت جیره‌های آزمایشی: در این آزمایش جیره‌های غذایی برای ۵ گروه آزمایشی مطابق جدول ۱ ساخته شدند. پنج جیره آزمایشی ایزونیتروژن (۳۲ درصد پروتئین خام، ٦ درصد چربی خام، ۵ درصد فیبر خام، ۳ درصد خاکستر، ۸ درصد رطوبت، ۱ درصد فسفر) و ایزوکالری (میانگین ٤۷۰ کیلوکالری) است. پروتئین پودر کرم خوراکی برای جایگزینی پروتئین پودر ماهی در سطوح مختلف صفر (کنترل)، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد گنجانده شده است (جدول ۱). برای ساخت جیره‌های غذایی ابتدا تمامی اقلام غذایی را تهیه کرده و با ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱گرم توزین شد. همه مواد در آسیاب کاملاً مخلوط شده‌اند تا همگن بودن مواد اطمینان حاصل شود. ۱۰ درصد آب به مواد اضافه کرده، خمیر حاصله را از الک با چشمه ۰/۸ میلی‌متری عبور داده، پلت‌های حاصل در سایه و در دمای اتاق خشک شدند، سپس جیره ساخته شده را در ظروف در بسته و غیرقابل نفوذ به هوا قرار گرفت و پس از شماره‌گذاری در داخل یخچال نگه‌داری شد. برای در دست داشتن غذای تازه ساخت جیره هر دو هفته یکبار تکرار شد.

جدول ۱- ترکیب جیره‌های غذایی (ماهیان تغذیه شده با پودر میل‌ورم) در ۱۰۰ گرم جیره.

Table 1. Composition of fish diets (fish fed mealworm powder) in 100 grams.

مواد غذایی Nutrients	جیره‌های غذایی Diets				
	کنترل Control	D25	D50	D75	D100
پودر ماهی Fish meal	30	22.5	15	7.5	0
پودر سویا Soybean meal	22.06	24.35	26.65	28.94	31.23
سبوس برنج Rice bran	31.44	29.15	26.85	24.56	22.27
سوپر میل‌ورم Super Mealworm	0	7.5	15	22.5	30
نشاسته ذرت corn starch	15	15	15	15	15
ویتامین vitamin	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
مواد معدنی Minerals	1	1	1	1	1

قبل از تغذیه ماهیان با جیره‌های آزمایشی، ابتدا طول و وزن اولیه ماهی‌ها اندازه‌گیری شد و سعی شد تا از نظر سن، طول و وزن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته باشند. پس از ماهی‌دار کردن آکواریوم‌ها، ماهی‌ها به صورت دستی و روزانه در دو نوبت صبح (ساعت ۱۰) و بعد از ظهر (ساعت ۱۷) و به میزان تقریبی ۵ درصد وزن بدن غذادهی می‌شدند. هر روز قبل از غذادهی مدفوع و غذاهای خورده نشده از کف آکواریوم جمع‌آوری می‌شد و بعد غذادهی صورت می‌گرفت.

ماهیان به ۵ گروه ۱۰ تایی با سه تکرار تقسیم شده بودند و با جیره‌های حاوی ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد کرم خوراکی تغذیه می‌شدند و هر ۲ هفته یکبار زیست‌سنجی می‌شدند.

در این پژوهش، اندازه‌گیری‌های مربوط به وزن، ضریب رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی انجام شد.

شاخص‌های رشدی: برای محاسبه شاخص‌های رشدی از رابطه‌های زیر استفاده شد (۲۹).

$$WG = W_1 - W_0$$

$$SGR\ (\%\ day^{-1}) = ((Lnw_f - Lnw_i) / t) \times 100$$

$$FCR = K / WG$$

که در آن، WG افزایش وزن بدن (گرم)، SGR نرخ رشد ویژه (%/d)، FCR ضریب تبدیل غذایی، W_0 میانگین وزن اولیه (گرم)، W_1 میانگین وزن نهایی (گرم)، t طول دوره آزمایش (تعداد روز) و K میزان غذای مصرفی (گرم) می‌باشد.

خون‌گیری و خون‌شناسی: بعد از ۶۰ روز دوره پرورش و گذشت ۲۴ ساعت از زمان قطع غذا، از هر تکرار به‌طور تصادفی ۳ قطعه ماهی صید گردید (در کل ۱۲ قطعه ماهی از هر تیمار) و در عصاره گل میخک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، بیهوش شدند.

سپس عملیات خون‌گیری با استفاده از سرنگ ۲ میلی‌لیتری از سیاهرگ دمی واقع در پشت باله مخرجی مولدین صورت گرفت. برای جلوگیری از لخته شدن در تیوب‌های آغشته به هپارین ریخته و به‌مدت ۵ دقیقه تکان داده شدند و به مدت ٤ ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده، به آزمایشگاه شیلات دانشگاه شهرکرد منتقل گردید و بلافاصله فاکتورهای خونی شامل مقادیر WBC، RBC، هموگلوبین و درصد هماتوکریت اندازه‌گیری و محاسبه شد. سپس به‌منظور تهیه سرم، نمونه‌های خون با دور g ۱۵۰۰ و به مدت ۱۰ دقیقه به‌وسیله دستگاه سانتریفیوژ (Combi, Hamburg, Germany) انجام شد. نمونه‌ها در دمای ۲۰ سانتی‌گراد تا زمان بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی خون، نگهداری شدند (۳۰، ۳۱، ۳۲).

فراسنجه‌های بیوشیمیایی سرم

سنجش آلبومین: مقدار آلبومین سرم نیز با استفاده از کیت تجاری پارس آزمون براساس روش برموکروزوگرین اندازه‌گیری گردید. در این روش آلبومین موجود در سرم در محیط اسیدی ایجاد کمپلکس سبز- آبی می‌کند که در طول موج ٦۳۰ -۵۸۰ نانومتر قابل‌اندازه‌گیری است و شدت رنگ حاصل متناسب با مقدار آلبومین موجود در نمونه می‌باشد.

$$\text{Albumin+BCG} \rightarrow \text{Albumin_BCG (complx)}$$

به این منظور ۱۰۰۰ میکرولیتر از معرف (آلبومین) با ۱۰ میکرولیتر نمونه سرم مخلوط کرده و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۳۵-۲۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید. سپس جذب نمونه را در مقابل بلانک در طول موج ٦۳۰-۵۸۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. سپس میزان آلبومین به‌صورت گرم بر دسی‌لیتر از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{Albumin (g/dl)} = \frac{A\,sample}{A\,calibrator} \times cal.conc$$

در این رابطه، A sample عدد جذب نمونه سرم، Acalibrator عدد جذب کالیبراتور و cal.conc غلظت کالیبراتور که روی کیت نوشته شده می‌باشد.

سنجش گلوکز: اندازه‌گیری گلوکز سرم با استفاده از روش فتومتریک و با به کارگیری کیت تجاری گلوکز شرکت پارس آزمون (کرج، ایران) و به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. در ابتدا به میزان ۱ میلی‌لیتر از کیت گلوکز را درون کووت‌ها ریخته و بلافاصله به مقدار ۱۰ میکرولیتر از نمونه با کیت گلوکز به خوبی ترکیب شد. البته در نمونه بلانک به جای ترکیب سرم با کیت گلوکز از مخلوط آب مقطر به‌میزان ۱۰ میکرولیتر با این کیت استفاده شد. در مدت ۲۰ دقیقه از ترکیب کردن اولیه، آب اکسیژنه آزاد شده از گلوکز در مجاورت آنزیم گلوکز اکسیداز، با فنول و ٤- آمینو آنتی‌پیرین، در مجاورت آنزیم پراکسیداز تشکیل کینونیمین می‌دهد. میزان کینونیمین تشکیل شده که به‌صورت فتومتریک قابل اندازه‌گیری است با مقدار گلوکز رابطه مستقیم دارد. بعد از مدت ۲۰ دقیقه رنگ ترکیب موجود در کووت‌ها تغییر می‌کند. در ابتدا کووت حاوی آب مقطر و کیت گلوکز را درون دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده و در ادامه آن کووت‌های حاوی نمونه سرم و کیت گلوکز قرار گرفت. با قرارگیری کووت‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر و طول موج ٥٤٦ نانومتر، مقدار گلوکز سرم خون با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد (۳۳):

گلوکز ($mg\ dL^{-1}$) = غلظت استاندارد × مقدار جذب استاندارد / مقدار جذب نمونه ($mg\ dL^{-1}$)

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP): اندازه‌گیری آلکالین فسفاتاز سرم با استفاده از روش فتومتریک و با به‌کارگیری کیت تجاری آلکالین

فسفاتاز شرکت پارس آزمون (کرج، ایران) و به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤٠٥ نانومتر انجام شد. این آزمایش فاقد نمونه‌های بلانک بود. محلول اصلی آلکالین فسفاتاز شامل دو محلول ابتدایی ۱ و ۲ بود. پس از ترکیب کردن محلول شماره ۱ و ۲ به نسبت ٤ به ۱، میزان ۱ میلی‌لیتر از محلول نهایی آلکالین فسفاتاز را درون کووت‌ها ریخته و با مقدار ۱۰ میکرولیتر نمونه سرم به خوبی ترکیب شد. بلافاصله کووت‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و با گذشت زمان ۱ دقیقه از ترکیب اولیه مقدار عدد ابتدایی خوانده شد. هم‌چنین اعداد مربوط به هر کووت بعد از گذشت زمان ۱، ۲ و ۳ دقیقه از عدد اول، قرائت شد. در انتها ٤ عدد خوانده شده مربوط به هر عدد کووت از هم کم گردیده و با تفاضل آن‌ها مقدار آلکالین فسفاتاز هر نمونه مشخص شد (۳۳).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسپارتات آمینوترانسفراز (AST): اندازه‌گیری آسپارتات آمینوترانسفراز سرم با استفاده از روش فتومتریک و با به‌کارگیری کیت تجاری آسپارتات آمینوترانسفراز شرکت پارس آزمون (کرج، ایران) و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳٤۰ نانومتر انجام شد. این آزمایش فاقد نمونه‌های بلانک بود. محلول اصلی آسپارتات آمینوترانسفراز شامل دو محلول ابتدایی ۱ و ۲ بود. پس از ترکیب کردن محلول شماره ۱ و ۲ به نسبت ٤ به ۱، میزان ۱ میلی لیتر از محلول نهایی آسپارتات آمینوترانسفراز را درون کووت‌ها ریخته و با مقدار ۱۰ میکرولیتر نمونه سرم به خوبی ترکیب شد. بلافاصله کووت‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و با گذشت زمان ۱ دقیقه از ترکیب اولیه مقدار عدد ابتدایی خوانده شد. هم‌چنین اعداد مربوط به هر کووت بعد از گذشت زمان ۱، ۲ و ۳ دقیقه از عدد اول، قرائت شد. در انتها ٤ عدد خوانده شده مربوط به هر عدد کووت از هم کم گردیده و با تفاضل آن‌ها مقدار آسپارتات آمینوترانسفراز هر نمونه مشخص شد (۳۳).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلانین آمینوترانسفراز (ALT): اندازه‌گیری آلانین آمینوترانسفراز سرم با استفاده از روش فتومتریک و با به‌کارگیری کیت تجاری آلانین آمینوترانسفراز شرکت پارس آزمون (کرج، ایران) و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳٤۰ نانومتر انجام شد. این آزمایش فاقد نمونه‌های بلانک بود. محلول اصلی آلانین آمینوترانسفراز شامل دو محلول ابتدایی ۱ و ۲ بود. پس از ترکیب کردن محلول شماره ۱ و ۲ به نسبت ٤ به ۱، میزان ۱ میلی‌لیتر از محلول نهایی آلانین آمینوترانسفراز را درون کووت‌ها ریخته و با مقدار ۱۰ میکرولیتر نمونه سرم به خوبی ترکیب شد. بلافاصله کووت‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و با گذشت زمان ۱ دقیقه از ترکیب اولیه مقدار عدد ابتدایی خوانده شد. هم‌چنین اعداد مربوط به هر کووت بعد از گذشت زمان ۱، ۲ و ۳ دقیقه از عدد اول، قرائت شد. در انتها ٤ عدد خوانده شده مربوط به هر عدد کووت از هم کم گردیده و با تفاضل آن‌ها مقدار آلانین آمینوترانسفراز هر نمونه مشخص شد (۳۳).

تجزیه و تحلیل آماری: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۳ تکرار انجام شد، داده‌های به‌دست آمده به کمک آنالیز واریانس یک‌طرفه (One way ANOVA) و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. هم‌چنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. نتایج به‌صورت میانگین ± انحراف معیار ارائه شد.

نتایج

شاخص‌های رشد: در جدول ۲ نتایج به‌دست آمده برای شاخص‌های رشدی ارائه شده است. بیش‌ترین میزان وزن نهایی، افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه در تیمار D50 به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر گروه‌های آزمایشی ایجاد نکرد (P>۰/۰۵). هم‌چنین کم‌ترین میزان FCR در ماهیان گروه D75 به‌دست آمد که با سایر گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵).

جدول ۲- نتایج شاخص‌های رشد در ماهیان گلدفیش تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی.

Table 2. The results of growth indices in goldfish fed experimental diets.

D100	D75	D50	D25	کنترل Control	
30.24±1.00	30.03±1.62	29.44±1.25	29.97±1.40	29.52±2.94	وزن اولیه (گرم) Initial weight (g)
45.67±5.80	44.34±3.10	51.37±2.94	45.47±5.80	44.16±5.42	وزن نهایی (گرم) Final weight (g)
15.43±5.22	14.31±4.41	21.93±1.72	15.49±5.39	14.63±2.78	افزایش وزن بدن Weight gain (g)
0.96±0.25	0.92±0.27	1.32±0.04	0.98±0.26	0.95±0.10	نرخ رشد ویژه ($\%\ day^{-1}$) Specific growth rate ($\%\ day^{-1}$)
3.92±0.08	3.74±0.14	3.86±0.11	3.75±0.05	3.78±0.07	ضریب تبدیل غذایی Food conversion ratio
99.66±0.57	99.66±0.57	100±0.00	99.33±1.15	99.66±0.57	بقا (درصد) Survival (%)

ویژگی‌های خون‌شناسی: نتایج پارامترهای خون‌شناسی در جدول ۳ نشان داده شده است. کم‌ترین تعداد RBC در گروه کنترل مشاهده شد که با سایر گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری ایجاد کرد (P<۰/۰۵). کم‌ترین تعداد WBC در ماهیان گروه D25 مشاهده شد که با گروه‌های کنترل و D100 اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). هم‌چنین، گروه D75 بیش‌ترین تعداد WBC را داشت و با گروه D50 اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان Hb در گروه‌های کنترل و D50 به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (P>۰/۰۵) هم‌چنین، بیش‌ترین میزان Hb در گروه D75 به‌دست آمد که با گروه‌های D25 و D100 اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد (P>۰/۰۵). کم‌ترین و بیش‌ترین میزان Ht به ترتیب در گروه‌های D50 و D25 به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و سایر گروه‌های آزمایشی ایجاد نکردند (P>۰/۰۵).

جدول ۳- نتایج پارامترهای خون‌شناسی در ماهیان گلدفیش تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی.

Table 3. The results of hematological parameters in goldfish fed experimental diets.

D100	D75	D50	D25	کنترل Control	
87.75±8.25 b	86.50±18.50 b	96.00±15.00 b	83.00±6.50 b	51.50±5.50 a	RBC (10^6)
40.00±5.00 a	50.00±4.50 b	48.50±2.25 b	32.75±0.50 a	33.58±6.12 a	WBC (10^6)
10.37±1.03 b	10.92±0.51 b	8.00±0.57 a	10.74±0.16 b	8.86±0.99 a	Hb (g dl^{-1})
36.00±1.00	35.33±5.50	34.00±3.00	41.00±1.00	38.33±3.51	Ht (%)

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در بین تیمارهای مختلف می‌باشد (P<۰/۰۵)

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

شاخص‌های بیوشیمیایی: نتایج شاخص‌های بیوشیمیایی (جدول ٤) نشان داد که در میزان آلبومین سرم اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی وجود ندارد (P>۰/۰۵)، با این‌حال کم‌ترین بیش‌ترین آن به‌ترتیب در گروه‌های D25 و D50 به‌دست آمد. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان گلوکز به ترتیب در گروه‌های D25 و کنترل مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ٤؛ P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان آنزیم ALP در گروه کنترل و D100 به‌دست آمد که با سایر گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول ٤؛ P<۰/۰۵). بیش‌ترین میزان آنزیم ALT در گروه کنترل مشاهده شد که با سایر گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری داشت. هم‌چنین، کم‌ترین میزان AST در گروه D25 ثبت شد که اختلاف معنی‌داری با سایر گروه‌ها آزمایشی داشت.

جدول ٤- نتایج شاخص‌های بیوشیمیایی در ماهیان گلدفیش تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی.

Table 4. The results of biochemical indices in goldfish fed with experimental diets.

D100	D75	D50	D25	کنترل Control	
1.51±0.05	1.62±0.04	2.07±0.19	1.26±0.22	1.47±0.76	آلبومین (g dl^{-1}) Albumin (g dl^{-1})
38.16±8.01 d	17.61±1.42 bc	10.62±0.77 ab	6.78±1.14 a	24.23±2.86 c	گلوکز (mg dl^{-1}) Glucose (mg dl^{-1})
65.41±8.29 a	80.61±8.75 b	93.08±5.52 b	88.97±5.73 b	53.05±4.85 a	ALP (IU L^{-1})
4.12±0.95 b	2.21±0.31 a	4.65 ±0.58 b	4.26±0.90 b	15.40±1.77 c	ALT (IU L^{-1})
30.26±4.62 b	61.50±3.44 b	75.31±9.55 b	34.21±7.32 a	74.53±11.51 b	AST (IU L^{-1})

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در بین تیمارهای مختلف می‌باشد (P<۰/۰۵)

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

بحث و نتیجه‌گیری

در شرایط فعلی که فشار محیطی بالاست و منابع دریایی محدود هستند، تقاضا و قیمت پودر ماهی در حال افزایش است. تمرکز تحقیقات با هدف جایگزینی پودر ماهی با یک منابع پایدارتر، مانند پروتئین‌های حشرات بوده است (۱۶، ۳٤، ۳۵) که به‌تدریج امکان‌پذیر می‌شود (۳٦). حشرات منبع غنی از مواد مغذی با کیفیت بالا و سطح قابل‌ملاحظه‌ای از ترکیبات فعال زیستی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی و تقویت سیستم ایمنی هستند که می‌توانند بر سلامتی و بهزیستی حیوانات تأثیر مثبت بگذارند (۳٦، ۳۷، ۳۸، ۳۹).

بر اساس نتایج این پژوهش تغذیه ماهیان *Carassius auratus* با جیره‌های آزمایشی حاوی سطوح مختلف پودر میل‌ورم تأثیری بر شاخص‌های رشدی آن‌ها ندارد. با این‌حال بیش‌ترین میزان وزن نهایی، افزایش وزن و بیش‌ترین نرخ رشد ویژه در تیمار D50 و کم‌ترین میزان FCR در تیمار D75 مشاهده شد. انجی و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که جایگزینی بیش‌تر از ٤۰ درصد پودر ماهی با پودر میل‌ورم در جیره می‌تواند عملکرد رشد در گربه‌ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) را کاهش دهد (٤۰). هنری و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که جایگزینی ۲۵ درصد پودر ماهی با پودر میل‌ورم در خوراک ماهی‌های جوان سی‌باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) عملکرد رشد را تحت‌تأثیر قرار نمی‌دهد، در حالی‌که سطوح بالاتر از ۵۰ درصد باعث افزایش وزن می‌شود (٤۱). در مطالعه پیکولو و همکاران(۲۰۱٤) نشان داده شد که جایگزینی ۲۵ درصد پودر ماهی با پودر میل‌ورم در جیره بچه‌ماهیان *Sparus aurata* هیچ‌گونه عوارض جانبی بر عملکرد رشد آن‌ها ندارد (٤۲). چانگ و همکاران (۲۰۱۵) یافتند که جایگزینی ۵۰ و ۱۰۰ درصد پودر میل‌ورم در جیره غذایی میگوی پا سفید می‌تواند وزن زنده، نرخ رشد و ضریب تبدیل غذایی را نسبت به شاهد بهبود بخشد (٤۳). بگ و همکاران (۲۰۱٦) با بررسی جایگزینی پودر میل‌ورم در ماهیان *Catla catla*، *Labeo rohita* و *Cirrhinus mrigala* یافتند که جایگزین کردن ۵۰ درصد پودرماهی با پودر میل‌ورم می‌تواند به صورت معنی‌داری شاخص‌های رشدی را بهبود بخشد (٤٤). ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند میانگین وزن نهایی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) تغذیه شده با جیره حاوی ۲۵ درصد پودر میل‌ورم به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود. هم‌چنین، پایین‌ترین میزان ضریب تبدیل غذایی در تیمار شاهد مشاهده شد که نسبت به تیمار ۷۰ درصد اختلاف معنی‌داری داشت. درصد افزایش وزن ماهیان با افزایش میزان پودر میل‌ورم در جیره، رابطه کاهشی را نشان داد (٤۵). یافته‌های سانکیان و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که نرخ رشد ماهی و کارایی استفاده از مواد مغذی با افزایش سطوح پودر میل‌ورم جیره از ۰ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و سپس با افزایش بیش‌تر سطح آن در جیره از ۲۰ به ۳۰ درصد کاهش می‌یابد که بارزترین اثر در ۲۰ درصد پودر میل‌ورم مشاهده شد (٤٦). خسروی و همکاران (۲۰۱۸) یافتند که جایگزینی ۳۲ درصد پودر میل‌ورم به جای پودر ماهی در جیره تأثیری در عملکرد رشد، ترکیب مواد مغذی و وضعیت سلامت صخره‌ماهی (*Sebastes schlegeli*) ندارد (٤۷). در مطالعه ایدو و همکاران (۲۰۱۹)، جیره‌های غذایی شامل ٦۵ درصد میل‌ورم بدون چربی (جایگزین کامل پودر ماهی) رشد قابل‌توجهی را نشان دادند (٤۸). جیونگ و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که عملکرد رشد بچه‌ماهیان ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از نظر افزایش وزن و نرخ رشد ویژه به‌طور قابل‌توجهی با افزایش جایگزینی میل‌ورم جیره

تا ١٤ درصد افزایش یافت و سپس با افزایش سطح میل‌ورم جیره تا ۲۸ درصد کاهش یافت. نسبت بازده پروتئین به‌طور قابل‌توجهی بالاتر و ضریب تبدیل خوراک کم‌تر در ماهی‌های تغذیه شده با جیره‌های حاوی میل‌ورم در مقایسه با ماهیان تغذیه شده با تیمار کنترل مشاهده شد (۲۲). هم‌چنین، جیونگ و همکاران (۲۰۲۱) یافتند که نرخ رشد ویژه با افزایش سطوح جایگزینی میل‌ورم در بچه‌ماهیان کفشک ماهی (*Paralichthys olivaceus*) روند کاهشی را نشان می‌دهند. هم‌چنین، بازده مصرف خوراک با افزایش سطوح جایگزینی تا ٤٠ درصد بهبود می‌یابد، اما به‌تدریج در سطوح جایگزینی بالاتر کاهش می‌یابد (۲۸). یوآن و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که جایگزینی بیش از ۳۰ درصد میل‌ورم در ماهی کراکر زرد بزرگ (*Larimichthys crocea*) می‌تواند وزن نهایی، نرخ افزایش وزن و نسبت کارایی پروتئین را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد، در حالی‌که ضریب تبدیل غذایی به‌طور معنی‌داری با سطوح جایگزینی بیش از ٤٥ درصد افزایش می‌یابد (٢٦). در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) اگرچه استفاده از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد میل‌ورم بدون چربی به جای پودر ماهی، اثر بهبود بخشی بر راندمان رشد نداشت، اما ارزش غذایی معادل پودر ماهی را نشان داد (۱۹). پژوهش‌های انجام شده روی *Pterophyllum lictenstine* (٤٩)، *Heterobranchus longifilis* × *Clarias gariepinus* (۵۰، ۵۱)، *Acipenser baerii* (۵۲) نشان از بهبود معنی‌دار شاخص‌های رشدی در اثر سطوح مختلف جایگزینی پودر میل‌ورم دارد. اختلافات موجود در پژوهش‌های صورت گرفته با نتایج این پژوهش را می‌تواند به نوع گونه پرورشی، تفاوت تیمارهای آزمایشی، طول دوره پرورش، رفتارهای تغذیه‌ای گونه، مدیریت تغذیه و شرایط پرورشی نسبت داد (۲۷).

در این مطالعه، عدم اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های آزمایشی ممکن است به دلیل ارزش غذایی بالای میل‌ورم از نظر اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، اسیدهای چرب و ریز مغذی‌ها باشد (٢٤، ۵۳). علاوه‌بر این، مشخص شده است که ترکیب میل‌ورم شامل حدود ٤/٩ درصد کیتین است (٥٤)، که به‌عنوان یک فیبر ممکن است هضم و جذب خوراک را در ماهی بهبود بخشد (٤٠، ۵۵). با این‌حال، تأثیر کیتین میل‌ورم بر رشد بسته به میزان کیتین و گونه ماهی متفاوت است. مشخص شده است که کیتین در سطوح بهینه نشده در جیره‌ها، به عنوان یک عامل ضد تغذیه، رشد را کاهش داده است (٤٠، ٤٧). در این مطالعه، به‌نظر می‌رسد که ماهی به‌طور مؤثر سطوح بالای کیتین را در جیره غذایی تحمل می‌کند، زیرا حداکثر سطح ۱۰۰ درصد میل‌ورم در عملکرد رشد اختلاف معنی‌داری ایجاد نمی‌کند، که ممکن است نشان‌دهنده تحمل بالای ماهی *Carassius auratus* به کیتین باشد.

یکی از روش‌های بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک ماهیان تعیین شاخص‌های خون‌شناسی است که نسبت به روش‌های دیگر ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است، هم‌چنین بررسی شاخص‌های خون‌شناسی ابزاری را جهت مدیریت آسان‌تر سلامت ماهی فراهم می‌کند (٤٥). در میان سلول‌های خونی، WBC نقش ایمنی را بر عهده دارند و از آن‌ها به عنوان شاخص وضعیت سلامت ماهیان استفاده می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش استفاده از پودر میل‌ورم به عنوان جایگزین پودر ماهی در ماهی *Carassius auratus* موجب افزایش معنی‌دار RBC، WBC و Hb شد. اطلاعات محدودی در زمینه اثرات تغذیه با پودر میل‌ورم (جایگزینی با پودرماهی در جیره) در ماهیان و اثر آن بر سلول‌های خونی وجود دارد از این‌رو نمی‌توان به اثرات احتمالی جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی

پرداخت. رولینگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی کپور معمولی می‌تواند موجب افزایش معنی‌دار RBC، WBC، Hb و Hc شود (٥٦). در مطالعه ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) تعداد RBC خون تحت‌تأثیر جایگزینی میل‌ورم در جیره قرار نگرفت، اما میزان Hb و Hc با افزایش سطح جایگزینی میل‌ورم در جیره، کاهش یافتند (٤٥).

پارامترهای خونی سرم به‌طورکلی به‌عنوان شاخص‌های قابل اعتمادی در نظر گرفته می‌شوند که وضعیت فیزیولوژیکی و سلامت ماهی را در شرایط مختلف تغذیه‌ای منعکس می‌کنند (۲۷). در پژوهش حاضر، افزایش جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی اثر معنی‌داری بر میزان آلبومین نداشت. اما افزایش جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی تا ۵۰ درصد موجب کاهش معنی‌دار و در ۱۰۰ درصد موجب افزایش معنی‌دار گلوکز خون شد. در مطالعه ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین سرم به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر سطوح مختلف جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی قرار گرفتند (٤٥). در مطالعه جو و همکاران (۲۰۲۲) افزایش جایگزینی میل‌ورم تا ٤٤ درصد تأثیری بر آلبومین سرم در ماهی *Micropterus salmoides* نداشت، اما درصدهای بالاتر (۵۵ و ٦٦ درصد) موجب کاهش معنی‌دار آلبومین سرم شدند (۲۷).

اندازه‌گیری فعالیت‌های ALT و AST سرم برای آزمایش طبیعی بودن عملکرد کبد ماهی ضروری است. سطوح بالای ALT و AST معمولاً نشان‌دهنده کاهش یا اختلال در عملکرد کبد در ماهیان است (۵۷). سطوح ALP سرم می‌تواند نشان‌دهنده هضم و جذب مواد مغذی مانند لیپیدها و گلوکز باشد (۵۸). افزایش فعالیت ALP، نشان از بهبود قابلیت هضم و ظرفیت جذب مواد مغذی مصرف شده توسط ماهی است (۲۷). در مطالعه حاضر، افزایش سطوح جایگزینی میل‌ورم موجب افزایش سطوح ALP سرم گردید. به‌علاوه، افزایش سطوح جایگزینی میل‌ورم در سطوح AST تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (به‌جز کاهش معنی‌دار در تیمار D25) اما توانست سطوح ALT را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. این نتایج نشان داد که سطوح مشخصی از جایگزینی میل‌ورم در جیره غذایی می‌تواند عملکرد مناسب کبد را حفظ کند. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، در مطالعه جو و همکاران (۲۰۲۲) افزایش سطوح جایگزینی میل‌ورم توانست میزان ALP، AST و ALT سرم را به‌ترتیب افزایش، کاهش و کاهش دهد (۲۷). هم‌چنین سانکیان و همکاران (۲۰۱۸) نتایج مشابهی را تحت سطوح پایین میل‌ورم در بچه‌ماهیان ماهی ماندارین (*Siniperca scherzeri*) نشان دادند (٤٦).

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر به منظور کاهش سهم پودر ماهی در جیره غذایی ماهیان گلدفیش و جایگزینی آن با میل‌ورم انجام شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که میل‌ورم می‌تواند حداقل تا ۲۵ درصد جایگزین پودر ماهی شود به‌طوری‌که اختلالی در رشد و سلامت عمومی را در ماهی ایجاد نکند. علل این نتایج مطلوب با مرور متون بررسی شد و با توجه به این مطالعات، اثرات مثبت میل‌ورم ممکن است به دلیل ترکیب تغذیه‌ای میل‌ورم و وجود کیتین در ترکیب آن باشد.

منابع

1.Tortajada, C., & Hongzhou, Z. (2016). Food Policy in Singapore. In *Reference Module in Food Science*: Elsevier. **doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21083-4.**

2.Gray, S. A., Park, T., Town, S., St Catherine, J., & Jenson, P. (2011). An economic & production assessment model for ornamental fish production in jamaica. *Training programme. Aquaculture Branch, Jamaica: Report to the Ministry of Agriculture & Fisheries*. **URL: https:// www.grocentre.is/ ftp/ moya/ gro/index/ publication/an-economic-and-production-assessment- for- ornamental- fish-production-in-jamaica.**

3.Salim, S. (2014). Problems and Prospects of Marine Ornamental Fish Trade in Kerala, India. *Journalof Fisheries Economics and Development*.

4.Wilson, R. P. (2003). 3 - Amino Acids and Proteins. In J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish Nutrition (Third Edition)* (pp. 143-179). San Diego: Academic Press.

5.Rana, K., Siriwardena, S., & Hasan, M. (2009). *Impact of Rising Feed Ingredient Prices on Aquafeeds and Aquaculture Production*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

6.Manzano-Agugliaro, F., Sanchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., & Pérez-Bañón, C .(2012) . Insects for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3744-3753. **doi: https:// doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.017.**

7.Hardy, R. W., & Tacon, A. G. J. (2002). Fish meal: historical uses, production trends and future outlook for sustainable supplies. In R. R. Stickney & J. P. MacVey (Eds.), *Responsible marine aquaculture* (pp. 311-325). New York, USA: CABI Publishing.

8.Espe, M., Lemme, A., Petri, A., & El-Mowafi, A. (2006). Can Atlantic salmon (*Salmo salar*) grow on diets devoid of fish meal? *Aquaculture*, 255(1), 255-262. **doi: https://doi.org/10.1016/j. aquaculture. 2005.12.030.**

9.Gatlin Iii, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., ... Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38(6), 551-579. **doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-2109. 2007.01704.x.**

10.Tacon, A. G. J. (1993). *Feed ingredients for warmwater fish: fish meal and other processed feedstuffs* (Vol. 856). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO).

11.Ogunji, J. (2004). Alternative protein sources in diets for farmed tilapia. *Nutrition Abstracts and Reviews. Series B. Livestock Feeds and Feeding,*, 74(9), 23-32. **URL: https://www.cabi. org/cabreviews/abstract/20053092365.**

12.Collins, S. A. (2014). *Antinutritional factors in modeling plant-based rainbow trout.* (Doctor of Philosophy (Ph.D.)), University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada. **URL: http://hdl.handle.net/ 10388/ETD-2014-02-1426.**

13.Merrifield, D. L., Olsen, R. E., Myklebust, R., Ringø, E., & El-Shemy, H. (2011). Dietary effect of soybean (*Glycine max*) products on gut histology and microbiota of fish. In H. El-Shemy (Ed.), *Soybean and nutrition* (Vol. 231, pp. 50): InTech Rijeka, Croatia.

14.Papatryphon, E., & Soares, J. H. (2001). Optimizing the levels of feeding stimulants for use in high-fish meal and plant feedstuff-based diets for striped bass, *Morone saxatilis*. *Aquaculture*, 202(3), 279-288. **doi: https://doi.org/ 10.1016/S0044-8486(01)00778-5.**

15.Döös, B. R. (2002). Population growth and loss of arable land. *Global Environmental Change*, 12(4), 303-311. **doi: https://doi.org/10.1016/S0959-3780 (02)00043-2.**

16. Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., ... Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563. **doi: https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6.**
17. Panserat, S. (2009). Molecular Regulation of Intermediary Metabolism Focusing on Utilization of Dietary Carbohydrates. In K. Overturf (Ed.), *Molecular Research in Aquaculture* (pp. 261-278): Blackwell Publishing.
18. Sayed Hassani, M. H., Peikaran Mana, N., Pourali, H., & Yazdani, M. A. (2002). The possibility of replacing blood powder instead of fish powder in the diet of *Acipenser stellatus* fingerling. *JAD*, 6(1), 67-78. **URL: http://aqudev. liau.ac.ir/article-1-112-fa.html.** (Translated in Persian)
19. Gebremichael, A ,.Sándor, Z. J., & Kucska, B. (2022). Does dietary inclusion of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) affect growth and body composition of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*)? *South African Journal of Animal Science*, 52(4), 444-451. **doi: https://doi.org/10.4314/sajas.v52i4.04.**
20. Davis, D. A. (2022). *Feed and feeding practices in aquaculture*: Woodhead publishing.
21. Randazzo, B., Zarantoniello, M., Gioacchini, G., Giorgini, E., Truzzi, C., Notarstefano, V., & Olivotto, I. (2020). Can Insect-Based Diets Affect Zebrafish (*Danio rerio*) Reproduction? A Multidisciplinary Study. *Zebrafish*, 17(5), 287-304. **doi: https://doi.org/10.1089/zeb.2020.1891.**
22. Jeong, S. M., Khosravi, S., Mauliasari, I. R., & Lee, S. M. (2020). Dietary inclusion of mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1), 12. **doi: https://doi.org/10.1186/s41240-020-00158-7.**
23. Finke, M. D., & Oonincx, D. (2023). Chapter 18 - Insects as food for insectivores. In J. A. Morales-Ramos, M. G. Rojas, & D. I. Shapiro-Ilan (Eds.), *Mass Production of Beneficial Organisms (Second Edition)* (pp. 511-540): Academic Press.
24. Shafique, L., Abdel-Latif, H. M. R., Hassan, F. U., Alagawany, M., Naiel, M. A. E., Dawood, M. A. O., & Liu, Q. (2021). The Feasibility of Using Yellow Mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a Sustainable Aquafeed Industry. *Animals*, 11(3). **doi: https://doi.org/10.3390/ani11030811.** (Translated in Persian)
25. Habte-Tsion, H. M., Hawkyard, M., Sealey, W. M., Bradshaw, D., Meesala, K. M., & Bouchard, D. A. (2024). Effects of Fishmeal Substitution with Mealworm Meals (*Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus*) on the Growth, Physiobiochemical Response, Digesta Microbiome, and Immune Genes Expression of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Nutrition*, 2024(1), 6618117. **doi: https://doi.org/10.1155/2024/6618117.**
26. Yuan, J., Wu ,Y., Zhang, Z. Y., Tian, S. J., Zhou, H. H., Zhang, W. B., & Mai, K. S. (2022). Replacement of fishmeal by yellow mealworm meal on the growth performance, feed utilisation and quality of large yellow croaker. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(11), 131-332. **doi: https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0144.**
27. Gu, J., Liang, H., Ge, X., Xia, D., Pan, L., Mi, H., & Ren, M. (2022). A study of the potential effect of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) substitution for fish meal on growth, immune and antioxidant capacity in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish & Shellfish Immunology*, 120, 214-221. **doi: https://doi.org/ 10.1016/j.fsi.2021.11.024.**
28. Jeong, S. M., Khosravi, S., Yoon, K. Y., Kim, K. W., Lee, B. J., Hur, S. W., & Lee, S. M. (2021). Mealworm, *Tenebrio molitor*, as a feed ingredient for juvenile

olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Reports*, 20, 100747. **doi: https:// doi.org/10.1016/j.aqrep.2021. 100747.**

29. Taheri Kondor, O., Sajjadi, M. M., Sourinejad, I., Daryaei, A. A., Mirzadeh, G., & Khademi, F. (2014). The effect of dietary supplementation of L-carnitine on growth indices and survival rate in Sobaity seabream *Sparidentex hasta*. *hormoz-jae*, 3(3), 45-35. **URL: http:// jae.hormozgan.ac.ir/ article-1-67-en. html.** (Translated in Persian)
30. Martins, M. L., Tavares-Dias, M., Fujimoto, R. Y., Onaka, E. M., & Nomura, D. T. (2004). Haematological alterations of *Leporinus macrocephalus* (Osteichtyes: Anostomidae) naturally infected by *Goezia leporini* (Nematoda: Anisakidae) in fish pond. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 56. **doi: https://doi.org/10. 1590/S0102-09352004000500011.**
31. Collier, H. B. (1944). Standardization of Blood Haemoglobin Determinations. *Can Med Assoc J*, 50(6), 550-552. **URL: https:// www.ncbi.nlm.nih.gov/ pmc/ articles/PMC1581573.**
32. Koury, M., Mahmud, N., Rhodes, M., Greer, J., Foerster, J., & Rodgers, G. (1998). Origin and Development of Blood Cells. In *Wintrobe's clinical hematology, tenth ed* (pp. 79-105). New York: Lippincott Williams & Wilkins.
33. Roosta, Z., Ghiasi, S., & Falahatkar, B. (2019). Comparative study on hormones and biochemistry indices in plasma, ovarian fluid and oocytes of LHRHa2-induced female Stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). *Aquaculture Research*, 50(1), 139-145. **doi: https:// doi.org/10.1111/are.13876.**
34. Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1), 146-158. **doi: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture. 2008.08.015.**
35. van Huis, A., & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 43. **doi: https://doi.org/10. 1007/s13593-017-0452-8.**
36. Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. **doi: https://doi.org/10. 1016/j.anifeedsci.2014.07.008.**
37. Ravi, C., Jeyashree, A., & Devi, K. R. (2011). Antimicrobial peptides from insects: an overview. *Research in biotechnology*, 2(5). **URL:https://core. ac.uk/download/pdf/236012330.pdf.**
38. Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802-823. **doi: https://doi.org/10. 1002/mnfr.201200735.**
39. Zhao, W., Lu, L., & Tang, Y. (2010). Research and Application Progress of Insect Antimicrobial Peptides on Food Industry. *International Journal of Food Engineering*, 6(6). **doi: https://doi.org/ 10.2202/1556-3758.1943.**
40. Ng, W. K., Liew, F. L., Ang, L. P., & Wong, K. W. (2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32(s1), 273-280. **Doi:https://doi.org/ 10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x.**
41. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1-22. **doi: https:// doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001.**
42. Piccolo, G., Marono, S., Gasco, L., Iannaccone, F., Bovera, F., & Nizza, A. (2014). Use of Tenebrio molitor larvae meal in diets for Gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles. In P. Vantomme, C. Munke, & A. vanHuis (Eds.), *1st International conference "Insects to*

Feed the World" (pp. 68). Ede-Wageningen, The Nether lands: Wgeningen University.

43. Chung, T. H., Park, C., Shin, G. W., Kim, J. M., Kim, S. H., & Kim, N. J. (2015). *Nutritive Advantage of Mealworm (Tenebrio molitor) in the Diet of White Shrimp (Litopenaeus vannamei)*. Paper presented at the 2015 Korean Society of Fisheries Science KOFFST International Conference.
44. Beg, M. M., Mandal, B., & Moulick, S. (2016). Potential of earthworm meal as a replacement of fish meal for Indian major carps. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4, 357-361. **URL: https://www.fisheriesjournal.com/archives/2016/vol4issue3/PartE/4-3-2.pdf.**
45. Valipour, M., Oujifard, A., Hosseini, A., Sotoudeh, E., & Bagheri, D. (2019). Effects of dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on growth performance, hematological indices and some of non-specific immune responses of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *ISFJ*, 28(2), 13-26. **doi: https://doi.org/10.22092/ISFJ.2019.118906.** (Translated in Persian)
46. Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y. O., & Lee, S. M. (2018). Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) juveniles. *Aquaculture*, 496, 79-87. **doi:https//:doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.012.**
47. Khosravi, S., Kim, E., Lee, Y. S., & Lee, S. M. (2018). Dietary inclusion of mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source in practical diets for juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Entomological Research*, 48(3), 214-221. **doi: https://doi.org/10.1111/1748-5967.12306.**
48. Ido, A., Hashizume, A., Ohta, T., Takahashi, T., Miura, C., & Miura, T. (2019). Replacement of Fish Meal by Defatted Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Larvae in Diet Improves Growth Performance and Disease Resistance in Red Seabream (*Pargus major*). *Animals*, 9(3). **doi: https://doi.org/10.3390/ani9030100.**
49. Farahi, A., Kasiri, M., Talebi, A., & Sudagar, M. (2010). Effect of different feed types on growth, spawning, hatching and larval survival in angel fish (*Pterophyllum scalare* Lictenstein, 1823). *Aacl Bioflux*, 3(4), 299-303. **URL:http://www.bioflux.com.ro/docs/2010.3.299-303.pdf? AdobeSystems PDFv17= 1ca27449b77682fec534dd19426a3ef6b41acdd9%7C1318798852** (Translated in Persian)
50. Monebi, C. O., & Ugwumba, A. A. A. (2013). Utilization of the earthworm, Eudrilus eugeniae in the diet of Heteroclarias fingerlings. *International Journal of Fisheries Aquaculture*, 5, 19-25. **URL: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=5ec9٧f19541dbf1495ee86a635d0c76af9457959.** (Translated in Persian)
51. Olele, F. (2011). Growth Response of Heteroclarias Fingerlings Fed on Earthworm Meal in Hatchery Tanks. *Journal of Life Sciences*, 3(2), 131-136. **Doi: http://dx.doi.org/10.1080/09751270.2011.11885181.**
52. Soleimani, S. M., Sajjadi, M. M., Falahatkar, B., & Yazdani, M. A. (2016). Replacement of fish meal by earthworm meal (*Eisenia foetida*) in Siberian Sturgeon (*Acipenser bearii*) diet and its effect on growth performance, feed efficiency and carcass composition. *hormoz-jae*, 5(3), 21-30. **URL: http://jae.hormozgan.ac.ir/article-1-195-en.html** (Translated in Persian)
53. Selaledi, L., Mbajiorgu, C. A., & Mabelebele, M. (2020). The use of yellow mealworm (*T. molitor*) as alternative source of protein in poultry diets: a review. *Tropical Animal Health*

and Production, 52(1), 7-16. **doi: http:// dx.doi.org/10.1007/s11250-019-02033-7.**

54. Song, Y. S., Kim, M. W., Moon, C., Seo, D. J., Han, Y. S., Jo, Y. H., & Jung, W. J. (2018). Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm. *Entomological Research*, 48(3), 227-233. **doi: https://doi.org/10.1111/1748-5967. 12304.**
55. Redman, D. H., Nelson, D. A., Roy, J., Goldberg, R., Scott, T. M., Rust, M. B., & Mercaldo-Allen, R. (2019). A Pilot Study Using Graded Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Meal in Formulated Diets for Growth Performance of Black Sea Bass (*Centropristis striata*). **doi: https//:doi.org/10.25923/4rsf-8q04.**
56. Rawling, M. D., Merrifield, D. L., Snellgrove, D. L., Kühlwein, H., Adams, A., & Davies, S. J. (2012). Haemato-immunological and growth response of mirror carp (*Cyprinus carpio*) fed a tropical earthworm meal in experimental diets. *Fish & Shellfish Immunology*, 32(6), 1002-1007. **doi: https://doi.org/ 10.1016/j.fsi.2012.02.020.**
57. Kim, S. S., & Lee, K. J. (2009). Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture*, 287(1), 219-222. **doi: https://doi.org/ 10.1016/j.aquaculture.2008.10.021.**
58. Tengjaroenkul, B., Smith, B. J., Caceci, T., & Smith, S. A. (2000). Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture*, 182(3), 317-327. **doi: https://doi.org/ 10.1016/S0044-8486(99)00270-7.**