



# ارزیابی شاخص‌های رشد، ایمنی و هماتولوژی سرم خون در جیره بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) مبتنی بر پودر ملخ مهاجر (*Locusta migratoria*)

هادی اسدی<sup>۱\*</sup>، مجیدرضا خوش خلق<sup>۲</sup> حمید علاف نویریان<sup>۲</sup>، رقیه صفری<sup>۳</sup>، عباس قیطاسی<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران

۲. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران

۳. دانشیار گروه تکثیر و پرورش، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴. کارشناس محیط زیست، اداره محیط زیست تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

DOR: [20.1001.1.20085729.1401.75.4.4.9](https://doi.org/10.20085/729.1401.75.4.4.9)

## چکیده

در این مطالعه بررسی امکان استفاده از ملخ مهاجر به عنوان منبع تامین کننده پروتئین در جیره بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان و تاثیر آن بر عملکرد رشد، ایمنی و هماتولوژی سرم خون مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۳۰۰ قطعه ماهی قزل‌آلا با میانگین وزنی  $(6/09 \pm 0/22)$  گرم) با جیره‌های غذایی ۰ درصد (شاهد)، ۱۵ درصد (LM15)، ۳۰ درصد (LM30) و ۶۰ درصد (LM60) پودر ملخ فرموله شدند. هر جیره در قالب طرح کاملا تصادفی در ۳ تکرار و با ۳۰ قطعه ماهی با ایجاد شرایط یکسان، در هر مخزن فایبرگلاس توزیع شدند. در پایان آزمایش، شاخص‌های رشد، ایمنی و هماتولوژی سرم خون بر اساس فرمول‌های استاندارد محاسبه و آنالیز با استفاده از آزمون توکی انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین وزن نهایی در تیمار ۳۰ درصد مشاهده شد ( $34/89 \pm 16/20$  درصد) و تفاوت بین تیمارهای صفر، ۱۵ و ۶۰ درصد معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ ). در تیمار ۶۰ درصد افزایش معنی‌دار ضریب تبدیل غذایی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). در تغذیه ماهیان با جیره حاوی پودر ملخ، مقادیر گلوکز، آلبومین، گلوبین و IgM اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارهای مختلف آزمایشی نشان ندادند ( $p > 0/05$ ). اما میزان پروتئین کل، تری‌گلیسرید و کلسترول خون، اختلاف معنی‌دار در تیمارهای آزمایشی نسبت به تیمار شاهد نشان داد ( $p < 0/05$ ). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از ۳۰ درصد پودر ملخ در جیره تجاری بچه ماهیان قزل‌آلا می‌تواند باعث بهبود عملکرد رشد شده و فاقد تاثیر منفی بر سطح مطلوب شاخص‌های خونی و ایمنی گردد.

**کلمات کلیدی:** پودر حشره، جایگزینی، شاخص‌های خونی و تغذیه ای، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان.



## Evaluation of growth, immunity and blood serum hematology indicators in the diet of rainbow trout fingerling (*Oncorhynchus mykiss*) based on locust meal (*Locusta migratoria*)

Hadi Asadi<sup>1\*</sup>, Majidreza Khoshkholgh<sup>2</sup>, Hamid Allaf Noveirian<sup>2</sup>, Rogayyeh Safari<sup>3</sup>, Abbas Gheytsi<sup>4</sup>

1- Graduated student, Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran

2- Associate Professor, Fisheries Group, Department of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Associate Professor, Fisheries Group, Department of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- Environmental expert, Tehran Environment Department, Tehran, Iran

Received: 20-Aug-2022

Accepted: 24-Nov-2022

### Abstract

In this study, the possibility of using migratory locust as a source of protein in the diet of rainbow trout fry and its effect on growth performance, immunity and hematology of blood serum was investigated. 300 number of rainbow trout fingerling with an average weight ( $6.09 \pm 0.22$  gr) with diets of 0% (control), 15% (LM15), 30% (LM30) and 60% (LM60) of formulated locust meal. became Each diet was distributed in a completely random design in 3 replicates with 30 number of fish in each fiberglass tank with the same conditions. At the end of the experiment, the indicators of growth, immunity and blood serum hematology were calculated based on standard formulas and analyzed using Tukey's test. The results showed that the highest final weight was observed in the 30% treatment ( $616.20\% \pm 34.89\%$ ) and the difference between zero, 15% and 60% treatments was significant ( $p < 0.05$ ). In the 60% treatment, a significant increase in feed conversion ratio was observed compared to the control treatment ( $p < 0.05$ ). In feeding fish with a diet containing locust meal, the values of glucose, albumin, globin and IgM did not show significant differences among different experimental treatments ( $p < 0.05$ ). However, the amount of total protein, triglyceride and blood cholesterol showed a significant difference in the experimental treatments compared to the control treatment ( $p < 0.05$ ). Therefore, it can be concluded that the use of 30% of locust meal in the commercial diet of rainbow trout fingerling can improve the growth performance and have no negative effect on the desired level of blood and immune parameters.

**Key words:** insect protein, replacement, blood and nutritional indicators, rainbow trout

## ۱. مقدمه

آبزیان نیاز به مقادیر مختلفی پروتئین در جیره غذایی خود دارند (حدود ۳۰ تا ۵۵ درصد). وجود پروتئین‌های نزدیک به نیازمندی زیستی ماهی در جیره ماهیان پرورشی امری ضروری است. در پرورش آبزیان، هزینه‌های خوراک تقریباً ۷۰ درصد هزینه‌های تولید را شامل می‌شود. امروزه پودر ماهی گران‌ترین ماده اولیه موجود در جیره‌های غذایی آبزیان محسوب می‌شود (Thoman et al., 1999). درصد پروتئین بالا، هضم پذیری مطلوب و اشتها آور بودن آن موجب شده تا بهترین منبع انرژی آبزیان بخصوص ماهیان قزل‌آلا محسوب گردد. امروزه با توجه محدودیت‌های میزان تولید پودر ماهی، افزایش قیمت و کاهش ذخایر ماهیان دریایی، کارخانجات تولیدکننده خوراک ماهی، به سمت منابع پروتئین جایگزین گیاهی و جانوری رغبت پیدا کرده‌اند (FAO, 2019). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای پیدا کردن جایگزین آرد ماهی با استفاده از منابع جانوری صورت گرفته است. بررسی‌های متعددی در زمینه استفاده از پودر حشرات به‌عنوان مواد تشکیل دهنده خوراک آبزیان انجام شده است (Van Huis et al., 2013; Riddick et al., 2013). در طبیعت بسیاری از گونه‌های ماهیان از حشرات تغذیه می‌کنند (Riddick et al., 2013). حدود ۵ درصد از یک میلیون گونه حشره شناخته شده آبی بوده و یا در تعاملی نزدیک با سایر آبزیان از جمله ماهیان‌اند (Arbab, 2017). در زیست‌بوم‌های آب شیرین حدود ۱۲۶۰۰۰ گونه جانوری شناسایی شده است که بیش از ۶۰ درصد از آن‌ها را حشرات تشکیل می‌دهند (۷۶ هزار گونه). هر چند گونه‌های حشرات آبی در ۱۲ راسته از حشرات پراکنده هستند ولی بیشترین فراوانی مربوط به راسته دوبالان با بیش از ۳۲۰۰ گونه است (Balian, 2008).

حشرات در مقایسه با پروتئین حیوانی رایج، دارای مزایای متعددی از جمله امکان پرورش با اتکا به محصولات جانبی ارگانیک، ضریب تبدیل غذایی مناسب،

انتشار سطوح پایین گازهای گلخانه‌ای و آمونیاک، مسائل ساده حقوق حیوانات و خطر کم انتقال عفونت‌ها پند (Van Huis et al., 2013; Makker et al., 2014). پتانسیل حشرات برای استفاده در خوراک حیوانات می‌تواند اثرات زیست محیطی مثبتی نیز داشته باشد. در واقع تولید حشرات موجب کاهش مصرف انرژی و اثرات مخرب زیست محیطی می‌شود (Makker et al., 2014). امروزه پودر ملخ به‌عنوان یک جایگزین سرشار از پروتئین، به شمار می‌رود که می‌تواند به‌عنوان یکی از جانشین‌های پودر ماهی در جیره آبزیان مطرح گردد. پودر ملخ یک منبع پروتئینی عالی برای جایگزینی پودر ماهی تلقی می‌گردد و دارای ۵۷ تا ۶۵ درصد پروتئین، ۹۲ درصد ماده خشک، ۸ درصد فیبر است و در پروفیل اسید آمینه پودر ملخ، عنی از اسیدهای آمینه لوسین، سرین، گلوتامیک اسید، گلايسين و آرژنین است (Harinder et al., 2014). ملخ صحرایی (*Locust meal*)، ملخ‌ها از شاخه بندپایان، رده حشرات و راسته راست بالان هستند. گونه *Locusta migratoria* یا ملخ مهاجر پراکندگی زیادی در جنوب و مناطق شرقی کشورمان دارد. ملخ‌ها گروهی از حشرات هستند که در زمان زاد و ولد جمعیت آن‌ها بسیار متراکم می‌شود، در طی مرحله بلوغ، ملخ‌ها محصولات کشاورزی را از بین می‌برند یا به شدت آسیب می‌رسانند. آن‌ها به‌عنوان یک آفت بزرگ از اهمیت تاریخی، به ویژه در آفریقا (شمال، غرب، ساحل، ماداگاسکار)، استرالیا و آسیا محسوب می‌شوند (Magalhaes et al., 2017). و در کشورهای زیادی به‌عنوان غذای انسانی و دام و طیور و آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرند. ملخ‌ها، معمولاً در طبیعت، ترجیحاً در شب (با استفاده از نور مصنوعی) یا در صبح هنگامی که دمای هوا پایین است و حشرات کمتر فعال‌اند راحت‌تر جمع‌آوری می‌شوند (Van Huis et al., 2013). در سال‌های اخیر گزارش‌های زیادی در مورد استفاده از منابع مختلف پروتئین ارزان قیمت از جمله استفاده از منابع پروتئین حشرات ارائه شده است که می‌توان به مطالعه Valipour و همکاران (۱۳۹۷)، جایگزینی پودر ماهی با سطوح مختلف پودر سوسک زرد

قزل‌آلا موجود در مزرعه، با میانگین وزنی  $۶/۰۹ \pm ۰/۲۲$  گرم در ۱۲ مخزن فایبرگلاس دایره‌ای با حجم ۲۰۰ لیتر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و هرکدام ۳ تکرار، توزیع شدند. سپس به مدت یک هفته جهت سازگاری با محیط آزمایش با غذای شاهد تغذیه شدند (جدول ۱). آب هر مخزن بوسیله آب چاه و بطور مساوی به مخازن تزریق شد و هوادهی از طریق سنگ هوا، صورت گرفت. روشنایی محیط آزمایش بر اساس دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم گردید. در طول دوره آزمایش، شاخص‌های کیفی آب شامل دما، اکسیژن و pH به صورت روزانه اندازه‌گیری شد به طوری که میانگین دما،  $۱۶/۸$  درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول  $۶/۴۹$  میلی‌گرم در لیتر و pH  $۷/۵۵$  ثبت شد.

## ۲.۲. ساخت جیره و طراحی آزمایش

جهت انجام آزمایش به مقدار لازم ملخ صحرایی در منطقه قزوین در زمین‌های زراعی و کشاورزی به روش ساچوک دستی جمع‌آوری شد. جیره‌های غذایی شامل ۴ تیمار با جایگزینی صفر (شاهد)، ۱۵ (LM<sub>15</sub>)، ۳۰ (LM<sub>30</sub>) و ۶۰ (LM<sub>60</sub>) درصد پروتئین پودر ملخ صحرایی بود. نمونه‌های ملخ بعد از جمع‌آوری جهت خشک کردن داخل آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت قرار داده شدند تا بخوبی خشک (رطوبت زیر ۱۲ درصد) شوند. سپس به وسیله دستگاه همزن (پارس خزر ساخت ایران) کاملاً به صورت پودر درآورده شد و سه نمونه ۵۰ گرمی تهیه و جهت اندازه‌گیری ترکیبات بیوشیمیایی جیره‌های آزمایشی گرفته شد. بطوریکه که شامل ۵۷/۶ درصد پروتئین، ۸/۵ درصد چربی، ۶/۶ درصد خاکستر و ۹/۶ درصد رطوبت بود. سپس سایر ترکیبات مورد نیاز (جدول ۱)، بصورت جداگانه آسیاب شد و تا به ذرات کاملاً ریز تبدیل شوند سپس با توجه به فرمولاسیون جیره با یکدیگر مخلوط شدند. بعد از به دست آمدن مخلوط همگن و اضافه کردن آب به مقدار مورد نیاز، ترکیب مذکور از چرخ گوشت با چشمه ۲ میلی‌متر عبور داده شد. بعد از آن غذای ساخته شده در دستگاه خشک‌کن قرار داده شد تا

(*Tenebrio molitor*) در بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، Hilaire و همکاران (۲۰۰۷)، پیرامون جایگزینی پودر لارو مگس سرباز در جیره تجاری ماهی قزل‌آلا و Alegbeleye و همکاران (۲۰۱۲)، استفاده از پودر ملخ *Zonocerus variegatus* در جیره بچه ماهیان گر به ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) و همچنین تحقیق Taufek و همکاران (۲۰۱۶) بر اثرات جیره غذایی مبتنی بر پودر ملخ (*Gryllus bimaculatus*) بر گربه ماهی آفریقایی (*C. gariepinus*) اشاره کرد.

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با نام علمی *Oncorhynchus mykiss* از خانواده آزادماهیان (Salmonidae) است و از ماهیان پرورشی با ارزش در بسیاری از نقاط جهان به ویژه ایران محسوب می‌شود. سرعت رشد بالا، مقاومت بسیار خوب آن با شرایط محیط و تقاضای روز افزون آن از سوی بازار به دلیل توزیع در اکثر نقاط این کشور موجب افزایش تولید آن شده است. هزینه بالای غذا در صنعت پرورش ماهی قزل‌آلا باعث شده است تا محققین در زمینه استفاده از غذاهای جایگزین (گیاهی و جانوری) تحقیق و پژوهش کنند. لذا اهمیت دادن به مواد اولیه جیره غذایی این ماهی در کشورمان بسیار ضروری است. با توجه به اطلاعات و گزارش‌های موجود، تاکنون پژوهشی در زمینه استفاده از ملخ مهاجر در غذای بچه ماهیان قزل‌آلا صورت نگرفته است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان استفاده از ملخ صحرایی به عنوان منبع تامین کننده پروتئین در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و تاثیر آن بر عملکرد رشد، بهره‌وری تغذیه‌ای، سیستم ایمنی و شاخص‌های هماتولوژی سرم خون انجام می‌گردد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. شرایط پرورش

پژوهش حاضر به مدت ۸ هفته در مزرعه تحقیقاتی شرکت نوین رشد نادین (تهران، فیروزکوه، زمین دشت) انجام شد. به این منظور تعداد ۳۰۰ قطعه بچه ماهی

ساعات ۷، ۱۲ و ۱۷، بر اساس اشتها و تا حد سیری انجام شد. یک ساعت بعد از غذادهی، مخازن سیفون شد و تا ۵۰ درصد آب هر مخزن روزانه تعویض شد.

بخوبی خشک گردند پس از اتمام مرحله خشک کردن، جیره‌ها بسته‌بندی و در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. غذادهی بصورت روزانه و در سه نوبت و در

جدول ۱- ترکیبات مواد مورد استفاده و تجزیه تقریبی جیره‌های آزمایشی مورد استفاده در تغذیه بچه ماهیان انگشت قد قزل‌آلا

سطوح جایگزینی پودر ملخ با پودر ماهی (درصد)				ترکیبات جیره (درصد)
۶۰	۳۰	۱۵	صفر	
۳۲	۳۸	۴۴	۵۰	پودر ماهی هوور <sup>۱*</sup>
۱۸	۱۲	۶	۰	پودر ملخ صحرایی
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	کنجاله سویا <sup>۱*</sup>
۹٫۷	۹٫۸	۹٫۹	۱۰	آرد گندم
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	گلوتن ذرت <sup>*</sup>
۵/۳	۵/۲	۵/۱	۵	روغن ماهی
۱	۱	۱	۱	مکمل ویتامینی <sup>۲</sup>
۱	۱	۱	۱	مکمل معدنی <sup>۳</sup>
۱	۱	۱	۱	لسیتین <sup>۴</sup>
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	لازین <sup>۵</sup>
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	متیونین <sup>۵</sup>
۱	۱	۱	۱	دی کلسیم فسفات <sup>۴</sup>
ترکیب شیمیایی (درصد ماده خشک)				
۹/۶	۹/۵	۹/۶	۹/۸	رطوبت
۴۶/۴	۴۶/۶	۴۶/۶	۴۶/۵	پروتئین خام
۱۵/۱	۱۵/۳	۱۵/۴	۱۵	چربی خام
۹	۹/۱	۸/۹	۸/۸	خاکستر
۳۲/۰٫۸	۳۳/۲۱	۳۳/۷۵	۳۴/۲۱	عصاره عاری از ذرت
۴۵۶۳	۴۵۴۸	۴۶۰۱	۴۶۵۲	انرژی ناخالص (کیلوکالری/کیلوگرم) <sup>۶</sup>

\* پودر ماهی (پروتئین ۵۸ درصد و چربی ۱۵)، کنجاله سویا (پروتئین ۴۳ درصد و چربی ۴ درصد)، گلوتن ذرت (پروتئین ۶۰ درصد و چربی ۳ درصد)

<sup>۱</sup> شرکت خوراک ماهی پرشین فید (چهارمحل و بختیاری، لردگان)

<sup>۲</sup> هر کیلوگرم مکمل ویتامینه (شرکت لابراتورهای سیانس، قزوین، ایران) حاوی: ۱۶۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۴۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D<sub>3</sub>، ۴۰ گرم ویتامین E، ۲ گرم ویتامین K<sub>3</sub>، ۶ گرم ویتامین B<sub>1</sub>، ۸ گرم ویتامین B<sub>2</sub>، ۱۲ گرم ویتامین B<sub>3</sub>، ۴۰ گرم ویتامین B<sub>5</sub>، ۴ گرم ویتامین B<sub>6</sub>، ۲ گرم ویتامین B<sub>9</sub>، ۰٫۰۰۸ گرم ویتامین B<sub>12</sub>، ۰٫۲۴ گرم ویتامین C، ۲۰ گرم ویتامین اینوزیتول و ۰٫۲ گرم ویتامین بیوتین.

<sup>۳</sup> هر کیلوگرم مکمل معدنی (شرکت لابراتورهای سیانس، قزوین، ایران) حاوی: ۶ گرم آهن، ۱۰ گرم روی، ۰٫۰۲ گرم سلنیوم، ۰٫۱ گرم کبالت، ۶ گرم مس، ۵ گرم منگنز، ۰٫۶ گرم ید، ۶ گرم کولین کلراید.

<sup>۴</sup> شرکت ارس تابان (آمل، مازندران، ایران)

<sup>۵</sup> شرکت تولیدات غذایی Evonik (دگوسا، فرانسه)

<sup>۶</sup> محاسبه بر اساس هر کیلوگرم پروتئین خام حاوی ۵۵ کیلو کالری، هر کیلوگرم چربی خام حاوی ۹۱ کیلوکالری و هر کیلوگرم کربوهیدرات (عصاره عاری از ذرت) حاوی ۴۱ کیلوکالری انرژی ناخالص (New, 1987).

### ۲.۳. شاخص‌های رشد و تغذیه

پس از اینکه زیست‌سنجی اولیه انجام شد و توزیع بچه‌ماهیان بعد از یک هفته سازگاری با محیط، در مخازن

صورت گرفت، هر دو هفته یکبار روند تغییرات وزنی ماهیان صورت پذیرفت. در پایان آزمایش شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه برای تیمارهای مختلف محاسبه شد.

دقیقه سانتریفیوژ شدند سپس بخش سرمی شاخص‌های مورد نظر، با استفاده از کیت‌های آزمایشگاهی ساخت شرکت پارس آزمون مورد سنجش قرار گرفت.

### ۲.۵. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) انجام شد، برای تحلیل همگنی واریانس با استفاده از آزمون لون (Levene) و به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی (Tukey) استفاده گردید. برای تشخیص اختلاف میانگین بین تیمارهای مختلف از آزمون واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. سطح معنی‌دار بودن در این مطالعه، ۵ درصد ( $P \leq 0/05$ ) در نظر گرفته شد.

## ۳. نتایج

### ۳.۱. شاخص‌های رشد و تغذیه

شاخص‌های رشد بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح مختلف در صد جایگزینی پودر ملخ، در جدول ۳، آمده است. بر این اساس نتایج نشان داد، شاخص‌های افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی به طور معنی‌داری تحت تاثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر ملخ قرار گرفتند ( $p < 0/05$ ). میزان درصد افزایش وزن و نرخ رشد ویژه در بچه ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۶۰ درصد پودر ملخ نسبت به جیره صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد، بطور معنی‌داری کمتر بود ( $p < 0/05$ ). مقدار میانگین وزن نهایی در تیمار تغذیه شده با جیره حاوی ۳۰ درصد پودر ملخ، نسبت به تیمار ۶۰ درصد بطور معنی‌داری بالاتر بود ( $p < 0/05$ )، اما نسبت به تیمارهای حاوی جیره صفر و ۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت ( $p > 0/05$ ). تیمار تغذیه شده با جیره حاوی ۶۰ درصد پودر ملخ، بالاترین مقدار ضریب تبدیل غذایی را نشان داد که این اختلاف نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ ).

همچنین ۳ قطعه ماهی از هر مخزن برداشت و جهت تعیین شاخص‌های کبدی و احشایی نمونه برداری و با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم، ابتدا بوسیله پودر گل میخک بیهوش و سپس اندازه‌گیری شد. محاسبات آماری شاخص‌های رشد و غذا بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شد (Torstensen *et al.*, 2008; (Nogales Merida *et al* 2011):

$$\times 100 = \frac{\text{میانگین وزن نهایی} - \text{میانگین وزن اولیه}}{\text{میانگین وزن اولیه}} = \text{درصد افزایش وزن بدن (WG)}$$

$$\times 100 = \frac{\text{لگاریتم وزن اولیه} - \text{لگاریتم وزن نهایی}}{\text{مدت زمان آزمایش}} = \text{ضریب رشد ویژه (SGR)}$$

$$\text{افزایش وزن کسب شده (گرم)} = \frac{\text{کل غذای خورده شده (گرم)}}{\text{ضریب تبدیل غذایی (FCR)}}$$

$$\text{پروتئین خورده شده (گرم)} = \frac{\text{افزایش وزن کسب شده (گرم)}}{\text{نسبت بازده پروتئین (PER)}}$$

$$\text{چربی خورده شده (گرم)} = \frac{\text{افزایش وزن کسب شده (گرم)}}{\text{نسبت بازده چربی (LER)}}$$

$$\times 100 = \frac{\text{وزن هیپاتوپانکراس}}{\text{وزن بدن}} = \text{شاخص کبدی (HSI)}$$

$$\times 100 = \frac{\text{وزن امعاء و احشاء}}{\text{وزن بدن}} = \text{(درصد) شاخص احشایی (VSI)}$$

### ۲.۴. اندازه‌گیری شاخص‌های هماتولوژی و ایمنی

در پایان دوره آزمایش، تعداد ۹ قطعه ماهی از هر تیمار بصورت تصادفی انتخاب و پس از بیهوشی با پودر گل میخک (۲۰۰ میلی گرم در لیتر)، نمونه‌های خون با استفاده از سرنگ ۲/۵ سی سی و سرسوزن استریل از ورید ساقه دمی ماهیان گرفته شد. سپس جهت اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی نمونه‌های خونی به تیوب‌های ۱/۵ سی سی فاقد هیپارینه جهت جداسازی سرم خون انتقال یافت. نمونه‌های حاصل در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه با ۵۰۰۰ دور در

جدول ۲-مقایسه میانگین (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) عملکرد رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر ملخ مهاجر

سطوح جایگزینی پودر ملخ (%)				شاخص‌های رشد
LM60	LM30	LM15	شاهد	
۵/۰۸ $\pm$ ۰/۱۱	۴/۹۵ $\pm$ ۰/۰۹	۵/۲۲ $\pm$ ۰/۵۳	۵/۹ $\pm$ ۰/۵۳	وزن اولیه (گرم)
۲۶/۱۷ $\pm$ ۱/۷۸ <sup>a</sup>	۳۵/۱۴ $\pm$ ۱/۰۷ <sup>c</sup>	۳۳/۱۹ $\pm$ ۵/۲۲ <sup>c</sup>	۳۰/۶۰ $\pm$ ۰/۷۰ <sup>b</sup>	وزن نهایی (گرم)
۴۱۵/۳۳ $\pm$ ۳۰/۶۱ <sup>a</sup>	۶۱۶/۲۰ $\pm$ ۳۴/۸۹ <sup>c</sup>	۵۵۴/۵۷ $\pm$ ۶۰/۵۱ <sup>bc</sup>	۵۰۶/۱۷ $\pm$ ۷۲/۷۰ <sup>ab</sup>	افزایش وزن (درصد)
۵/۰۸ $\pm$ ۰/۱۳ <sup>a</sup>	۵/۶۹ $\pm$ ۰/۰۶ <sup>c</sup>	۵/۶۰ $\pm$ ۰/۰۷ <sup>c</sup>	۵/۴۰ $\pm$ ۰/۸۰ <sup>b</sup>	نرخ رشد ویژه (درصد/روز)
۰/۶۷ $\pm$ ۰/۰۴ <sup>a</sup>	۰/۷۰ $\pm$ ۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۷۳ $\pm$ ۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۷۳ $\pm$ ۰/۰۳ <sup>a</sup>	ضریب چاقی
۰/۹۸ $\pm$ ۰/۰۸ <sup>a</sup>	۰/۷۲ $\pm$ ۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۷۶ $\pm$ ۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۷۹ $\pm$ ۰/۰۳ <sup>a</sup>	ضریب تبدیل غذایی
۰/۹۷ $\pm$ ۰/۰۷ <sup>a</sup>	۰/۹۹ $\pm$ ۰/۰۴ <sup>a</sup>	۱/۰۴ $\pm$ ۰/۰۱ <sup>a</sup>	۱/۰۵ $\pm$ ۰/۰۲ <sup>a</sup>	شاخص هیپاتوسوماتیک (درصد)
۵/۲۳ $\pm$ ۰/۲۳ <sup>a</sup>	۵/۱۳ $\pm$ ۰/۱۳ <sup>a</sup>	۵/۴۰ $\pm$ ۰/۲۴ <sup>a</sup>	۵/۳۷ $\pm$ ۰/۱۳ <sup>a</sup>	شاخص احشایی (درصد)
۲/۲۹ $\pm$ ۰/۱۶ <sup>a</sup>	۲/۷۶ $\pm$ ۰/۱۸ <sup>b</sup>	۲/۸۳ $\pm$ ۰/۱۱ <sup>b</sup>	۲/۷۴ $\pm$ ۰/۱۰ <sup>b</sup>	نرخ کارایی پروتئین
۳/۰۸ $\pm$ ۰/۰۹ <sup>a</sup>	۳/۶۵ $\pm$ ۰/۱۳	۳/۳۹ $\pm$ ۰/۱۸	۳/۱۸۰ $\pm$ ۰/۰۹ <sup>b</sup>	نرخ کارایی چربی

اعداد با حروف لاتین مختلف در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی با یکدیگر است ( $P < 0/05$ ).

### ۳.۲. شاخص‌های بیوشیمیایی خون

نتایج حاصل از عملکرد رشد و تغذیه‌های بیوشیمیایی خون در جدول ۳ آمده است، شاخص‌های گلوکز، آلبومین، گلوبین و IgM اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارهای مختلف آزمایشی نشان ندادند ( $p > 0/05$ ). به طوریکه بیشترین مقدار گلوکز خون مربوط به تیمار حاوی جیره ۱۵ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار حاوی ۶۰ درصد بود. بیشترین مقدار آلبومین ( $2/45 \pm 0/40$ ) در تیمار شاهد مشاهده شد. میزان گلوبولین نیز در تیمار شاهد کمترین ( $1/31 \pm 0/80$ ) و در تیمار حاوی جیره ۳۰ درصد بیشترین ( $1/69 \pm 0/06$ ) بود. مقادیر IgM نیز دارای روند افزایشی از تیمار شاهد ( $0/21 \pm 0/03$ ) تا تیمار حاوی جیره ۶۰ درصد ( $0/26 \pm 0/02$ ) بود. مقدار پروتئین کل در بین تیمارهای آزمایشی نسبت به تیمار

شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد ( $p < 0/05$ ). در تیمار حاوی جیره ۳۰ درصد بیشترین مقدار و در تیمار ۶۰ درصد کمترین مقدار مشاهده شد. در مقدار تری‌گلیسرید و کلسترول خون، اختلاف معنی‌دار در تیمارهای آزمایشی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. بالاترین مقدار تری‌گلیسرید در تیمار حاوی ۶۰ درصد ( $750/12 \pm 60$ ) و کمترین کلسترول در تیمار ۳۰ درصد، مشاهده شد و کمترین مقدار تری‌گلیسرید و کلسترول در تیمار شاهد مشاهده شد.

نمودار شکل ۱، میزان هورمون کورتیزول پلاسمای بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر ملخ صحرایی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که میزان این هورمون در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری نداشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) شاخص‌های بیوشیمیایی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر ملخ مهاجر

سطوح جایگزینی پودر ملخ (%)				پارامتر
SG60	SG30	SG15	SG0 شاهد	
۲۵/۶۷ $\pm$ ۳/۵۱	$\pm$ ۲۸ ۱/۲۹	۳۰/۳۳ $\pm$ ۳/۲۱	۲۹ $\pm$ ۰/۳	گلوکز (mg/dL)
۴/۲۷ $\pm$ ۰/۳۷ <sup>a</sup>	۵/۰۷ $\pm$ ۰/۲۰ <sup>b</sup>	۴/۷۳ $\pm$ ۰/۲۵ <sup>ab</sup>	۴/۹۷ $\pm$ ۰/۳۱ <sup>b</sup>	پروتئین کل (g/L)
۱/۹۰ $\pm$ ۰/۲۶	۱/۹۳ $\pm$ ۰/۵۱	۱/۹۲ $\pm$ ۰/۲۲	۲/۴۵ $\pm$ ۰/۴۰	آلبومین (g/L)
۱/۴۵ $\pm$ ۰/۱۳	۱/۶۹ $\pm$ ۰/۰۶	۱/۶۰ $\pm$ ۰/۰۷	۱/۳۱ $\pm$ ۰/۸۰	گلوبولین (g/L)
۷۵۰/۱۲۶۰ $\pm$ ۶۰ <sup>c</sup>	۶۲۶/۶۷۳۲ $\pm$ ۱۴ <sup>b</sup>	۵۸۶/۶۷۳۵ $\pm$ ۱۱ <sup>b</sup>	۴۱۵ $\pm$ ۲۲/۹۱ <sup>a</sup>	تری‌گلیسرید (mg/dL)
۴۱۶/۶۷ $\pm$ ۲۵/۱۶ <sup>b</sup>	۴۴۳/۳۳ $\pm$ ۳۰/۵۰ <sup>b</sup>	۳۳۳/۳۳ $\pm$ ۳۲/۱۴ <sup>a</sup>	۳۰۸ $\pm$ ۱۱/۷۸ <sup>a</sup>	کلسترول (mg/dL)
۰/۲۶ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۲۵ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۲۴ $\pm$ ۰/۰۱۵	۰/۲۱ $\pm$ ۰/۰۳	IgM (mg/dL)

اعداد با حروف لاتین مختلف در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی با یکدیگر است ( $P < 0/05$ ).



شکل ۱- میزان هورمون کورتیزول (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) پلاسمای بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر ملخ صحرایی

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

در این مطالعه مصرف پودر حشره تا سطح ۳۰ درصد باعث افزایش معنی‌دار وزن و نرخ رشد ویژه و همچنین کاهش ضریب تبدیل غذایی در این سطح شد. ضریب تبدیل غذایی یکی از مهمترین شاخص‌های تغذیه‌ای است که نشان‌دهنده مقدار مصرف غذا در برابر افزایش وزن بدن در طول دوره آزمایش است. در این مطالعه استفاده از

پودر ملخ از سطح صفر درصد تا ۳۰ درصد منجر به روند کاهشی ضریب تبدیل غذایی شد. اما در سطوح بالاتر به دلیل عدم هضم‌پذیری پروتئین موجود در پودر حشره توسط بچه ماهیان قزل‌آلا مقدار فضولات خروجی مخازن نیز افزایش یافت، به همین دلیل در سطوح بالاتر، افزایش ضریب تبدیل، کاهش نرخ رشد ویژه و حداقل وزن‌گیری مشاهده شد. مشابه نتایج مطالعه حاضر در مطالعات Balogun (۲۰۱۱) و Alegbeleye و همکاران (۲۰۱۲) در



Vallipour و همکاران (۲۰۱۸) نیز مشاهده شد که با افزایش سطح جایگزینی پودر لارو سوسک زرد تعداد گلبول‌های سفید خون نیز افزایش یافت. در تعداد گلبول‌های قرمز، غلظت هموگلوبین، درصد هماتوکریت و میزان غلظت متوسط هموگلوبین (MCHC)، ماهیان تغذیه شده با سطوح مختلف پودر ملخ، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. یکی از مهم‌ترین ابزارها در ارزیابی کیفیت گلبول‌های قرمز، تعیین مقدار هماتوکریت است که به صورت درصد و با غلظت گلبول‌های قرمز در واحد حجم خون، مشخص می‌شود. شاخص‌های دیگری که بر میزان هماتوکریت و در نتیجه بر سلامتی ماهی اثر می‌گذارند عبارتند از: دمای محیط، سن و گونه ماهی، استرس‌های داخلی و بیرونی، دوره نوری، شرایط کمی و کیفی آب، میزان تغییرات اکسیژن، حمل و نقل و جابجایی و ویژگی‌های تغذیه‌ای و همچنین وجود عوامل بیماری‌زا (Lamas et al., 1994). در مطالعه حاضر جایگزینی سطوح مختلف پودر ماهی از ۱۵ تا ۶۰ درصد، اگرچه تغییرات صعودی را نشان داد، اما موجب تغییر معنی‌دار هموگلوبین خون ماهیان نشد. که این تغییرات محسوس می‌تواند به دلیل خطای بوجود آمده از نتیجه آزمایش باشد و جنبه مطلوب آزمایش می‌تواند به دلیل مشابهت ساختاری پروفایل اسیدهای آمینه در پودر ملخ صحرایی نسبت به پودر ماهی باشد. برخلاف مطالعه حاضر، در مطالعه Vallipour و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده شد که با افزایش سطح جایگزینی پودر لارو سوسک زرد میزان هموگلوبین و هماتوکریت خون کاهش معنی‌داری به همراه دارد.

از دیگر شاخص‌های ارزیابی کیفیت گلبول‌های قرمز، میزان متوسط گلبول قرمز (MCV)، وزن متوسط هموگلوبین موجود در یک گلبول قرمز (MCH)، غلظت متوسط هموگلوبین‌های قرمز (MCHC) و میزان رسوب آن است. برخلاف شاخص‌های گلبول قرمز، هماتوکریت و هموگلوبین اختلاف معنی‌دار آماری را نشان دادند. بیشترین مقدار حجم متوسط گلبول‌های قرمز (MCV) به میزان  $2/3 \pm 282/65$  و وزن متوسط هموگلوبین

جایگزینی پودر ملخ در جیره گربه ماهی آفریقایی *Clarias anguillaris* مشاهده شد.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از سطوح بالاتر جایگزینی پودر ملخ موجب کاهش عملکرد رشد و افزایش ضریب تبدیل خواهد شد که در تحقیق Wilfred و همکاران (۲۰۱۲) نیز، عملکرد رشد بچه ماهیان گربه ماهی آفریقایی (*C. gariepinus*) با جایگزینی ۲۵ درصدی پودر ملخ صحرایی رنگارنگ (*Zonocerus variegatus*) بجای پودر ماهی، بالاترین میزان رشد و کمترین ضریب تبدیل را داشت. طوریکه در سطوح بالاتر، ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد، کاهش نرخ رشد مشاهده شد. در مطالعه Vallipour و همکاران (۲۰۱۸) نیز بهبود عملکرد رشد در جایگزینی تا سطح ۲۵ درصد پودر حشره (*Tenebrio molitor*) بر بچه ماهیان قزل‌آلا مشاهده شد. برخلاف نتایج این مطالعه، جایگزینی ۱۰۰ درصدی پودر ماهی با پودر ملخ (*Gryllus bimaculatus*) در گربه ماهی آفریقایی (*C. gariepinus*) بالاترین میزان شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای را نشان داد (Taufek et al., 2016)، همچنین در مطالعه Lock و همکاران (۲۰۱۶)، جایگزینی ۱۰۰ درصدی پودر مگس سرباز هیچ گونه تاثیر منفی بر عملکرد رشد اسمولت‌های ماهی آزاد اقیانوس اطلس نداشته است. به نظر می‌رسد تفاوت نتایج تحقیقات می‌تواند به دلیل متفاوت بودن گونه ماهی، گونه حشره مورد استفاده، نحوه تغذیه و روش فراوری به خصوص در حذف اسکلت خارجی کیتینی حشره باشد (Tschirner and Simon, 2015).

تعیین شاخص‌های خونی در ماهیان روشی مطلوب جهت تشخیص اختلال‌های متابولیسمی است. در مطالعه حاضر تعداد گلبول‌های سفید دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد بود، به طوریکه با افزایش سطح جایگزینی در تیمار LM<sub>30</sub> مقدار گلبول‌های سفید نیز به بیشترین مقدار رسید. این امر نشان دهنده تاثیر بسزای شرایط ایمنی اختصاصی در سطوح مختلف جایگزینی است که با افزایش مقدار پودر ملخ صحرایی در تیمارهای LM<sub>15</sub>، LM<sub>30</sub> و LM<sub>60</sub> مشاهده شد. مشابه این شرایط در مطالعه

هستند. در مطالعه Vallipour و همکاران (۲۰۱۸) با افزایش جایگزین کردن پودر لارو سوسک زرد به جای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با افزایش گلبول‌های سفید روبرو شدند و آن را به فرآیندهای التهابی در ماهی و افزایش گلبول‌های سفید و نوتروفیل‌ها نسبت دادند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. اما Lock و همکاران (۲۰۱۵) روند افزایش گلبول‌های سفید و نوتروفیل و لنفوسیت در افزایش سطوح جایگزینی پودر حشرات در جیره ماهی قزل‌آلای آتلانتیک، را به توانایی ماهی در عملکرد مطلوب در شرایط استرس‌زا و مبارزه بهتر با بیماری و حساسیت کم به عفونت قلمداد کردند.

شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسمای خون به عنوان شاخص‌های حساس و با اهمیت سلامت در ماهی تلقی می‌شوند. نتایج حاصل از آزمایش‌های بیوشیمیایی خون نشان داد، تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری در مقادیر گلوکز، کورتیزول، آلبومین، گلوبولین و IgM نشان ندادند. مقدار گلوکز خون ماهیان در طول فرآیند استرس افزایش خواهد یافت و تحت تاثیر استرس‌های داخلی یا خارجی، هورمون‌های کاتکول آمین، آدرنالین و نورآدرنالین توسط سلول‌های کرومافین به خون ترشح می‌شوند، این هورمون‌ها به همراه کورتیزول موجب انجام واکنش‌های بیوشیمیایی گلیکوژنولیز، گلیکوژن را به گلوکز تبدیل کرده و وارد خون می‌کنند تا انرژی مورد نیاز سلول در شرایط استرس، فراهم گردد (Sivil *et al.*, 2008). بنابراین، با توجه به نتایج گلوکز و کورتیزول، می‌توان گفت ماهیان مورد آزمایش در این مطالعه، تحت تاثیر هیچگونه تنش و استرسی در ارتباط با جیره‌های مختلف آزمایش قرار نگرفته‌اند. پروتئین کل در سرم خونی شامل آلبومین و گلوبین است که عملکردهای فیزیولوژی گسترده‌ای در ماهیان استخوانی بر عهده دارد. میزان پروتئین کل معمولاً در زمان مواجه شدن با بیماری عفونی افزایش پیدا می‌کند. در این زمینه مطالعه Liu و همکاران (۲۰۱۲) اشاره نمود که افزایش میزان پروتئین خون را در زمان موجه شدن ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با باکتری

موجود در یک گلبول (MCH) به مقدار  $0.55 \text{ pg/cell}$  در ماهیان تغذیه‌شده با جیره  $LM_{30}$  و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد که نشان دهنده کم‌خونی به دلیل وجود عوامل نامناسب تغذیه‌ای در پروتئین پودر حشرات و یا همولیز گلبول‌های قرمز، کمبود آهن و در نهایت کم‌خونی در ماهیان می‌تواند باشد (Lim *et al.*, 2011)، و با نتایج مطالعه Vallipour و همکاران ۱۳۹۷ در تناقض بود. به طور کل، افزایش MCV و MCH و همچنین تغییر در MCHC می‌تواند به اختلال عملکرد طحال، سمیت کبدی و کم‌خونی مرتبط باشد (Munker *et al.*, 2007).

میزان لنفوسیت و نوتروفیل ماهیان تغذیه‌شده با سطوح مختلف جایگزینی پودر ملخ دارای اختلاف معنی‌دار آماری بودند ( $P < 0.05$ )، اما مقدار مونوسیت و ائوزینوفیل پلاسمای خون ماهیان تغذیه‌شده با سطوح مختلف تیمارهای آزمایش فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بود. گرانولوسیت‌ها به همراه مونوسیت‌ها در بیگانه‌خواری و ایمنی اختصاصی ماهیان نقش مهمی دارند (این سلول‌ها نه تنها در طحال و کلیه تولید می‌شوند، بلکه سلول‌های گرانولار ائوزینیفیلیک (گرانولوسیت‌های) موجود در لایه مخاطی روده و آبشش‌ها قادر به مقابله با انگل‌ها و باکتری‌ها هستند (Roberts, 2001). در این مطالعه ماهیان تغذیه‌شده با تیمار شاهد دارای کمترین مقدار نوتروفیل بودند ( $1 \pm 13/66$  درصد) که با میزان نوتروفیل ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های  $LM_{15}$ ،  $LM_{30}$  و  $LM_{60}$  دارای اختلاف معنی‌دار بودند. به عبارت دیگر میزان نوتروفیل‌ها در این تیمارها به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت، در صورتی که در میزان ائوزینوفیل‌ها و مونوسیت‌های تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. افزایش قابل‌ملاحظه در گلبول‌های سفید خون در هر جاننداری تابعی از ایمنی و مقاومت حیوان در برابر بیماری و یا استرس‌های محیطی است. این افزایش ممکن است به دلیل پاسخ‌های ذاتی ناشی از هجوم عامل بیماری‌زا باشد و یا اینکه ماهیان تحت مطالعه از ایمنی و مقاومت بالا در برابر بیماری برخوردار

مشاهده شد. برخلاف نتایج مطالعه حاضر تغذیه ماهی سی‌سی اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با جیره غذایی حاوی مگس سر باز سیاه (*Hermetia illucens*) موجب کاهش کلسترول پلاسما خون شد. در حالیکه میزان تری‌گلیسرید برای هر دو گونه ماهی بدون تغییر ماند (Henry et al., 2018). Sotoudeh و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش دادند افزایش مقدار اسیدهای چرب EPA و DHA در جیره ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo trutta caspius*) موجب کاهش سنتز تری‌گلیسرید در این ماهی گردید. برخلاف نتایج حاضر تغذیه ماهی سی‌سی اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) و کپور معمولی از مگس سر باز سیاه (*Hermetia illucens*) با روند کاهش کلسترول پلاسما خون همراه شد. در حالی که مقدار تری‌گلیسرید در هر دو گونه ماهی بدون تغییر باقی ماند (Li et al., 2017).

### نتیجه‌گیری نهایی

به طور کلی از مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت جایگزینی پودر ملخ با پودر ماهی تا سطح ۳۰ درصد جیره، بهترین عملکرد رشد، بهره‌وری تغذیه‌ای و کارایی را داشت و همچنین هیچگونه تاثیر منفی بر عملکرد شاخص‌های خون‌شناسی و ایمنی در بچه ماهیان قزل‌آلا ندارد.

*Aeromonas hydrophila* مشاهده کردند. مقدار پروتئین کل در مطالعه حاضر اختلاف معنی‌داری بین جیره‌های آزمایشی با تیمار شاهد نشان داد. گلوبین تقریباً منبع همه پروتئین‌های فعال ایمنی در خون است و گلوبین‌ها برای سلامت سیستم ایمنی ضروری هستند. مطالعات مختلف تاکید بر این موضوع دارد که مقادیر آلبومین و گلوبین موجود در سرم خون ماهیانی که با محرک‌های ایمنی مختلف تغذیه می‌شوند، بالاتر از تیمار شاهد است، در نتیجه تصور می‌شود افزایش مقدار آلبومین و گلوبین خون با قدرت سیستم ایمنی همراه است (Wiegertjes et al., 1996). در بررسی حاضر فعالیت گلوبین و آلبومین در جیره‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. مطالعه Vallipour و همکاران (۲۰۱۸) نیز در جایگزینی سطوح مختلف پودر لارو سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) نتایج مشابهی را نشان داد.

تری‌گلیسرید و کلسترول نیز در این مطالعه اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان دادند. به طوریکه با افزایش میزان پودر ملخ در جیره، میزان کلسترول و تری‌گلیسرید نیز افزایش یافت. بررسی ترکیبات اسیدهای چرب در پودر ملخ نشان داد که اسیدهای چرب اولئیک در آن‌ها ترکیب غالب است در حالیکه اسیدهای چرب بلند زنجیر غیراشباع مانند ایکوزانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) بسیار ناچیز است (Fink, 2002). همانند این نتایج در گزارش Vallipour و همکاران (2018)، با اثر جایگزینی پودر لارو سوسک زرد

### ۵. منابع

### References

- Arbab, A., 2018. The Role of Insects in Aquatic Diet: Case Study of Yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). *Journal of Ornamental Aquaculture* 5, 41-52.
- Alegbeleye, W.O., Obasa S.O., Olude O., Otubu K., Jimoh W., 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture* 43, 412-420.
- Balogun, B.I., 2011. Growth performance and feed utilization of *Clarias gariepinus* (Teugels) fed different dietary levels of soaked *Bauhinia monandra* (Linn.) seed meal and sun-dried locust meal (*Schistocerca gregaria*). Unpublished Ph.D Thesis, Ahmadu Bello University, Zaria.

- Balian, E., Segers H., Leveque C., Martens K., 2008. The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. In: Balian, E. et al. (eds), Freshwater Animal Diversity Assessment. *Hydrobiologia* 595, 627-637.
- Brusle, J., Anadon G.G., 1996. The structure and function of fish liver. In: Fish Morphology, pp. 77–93.
- Cohen A., 2009. The worlds water book 402p.
- Collavo A., Glew R.H., Huang Y.S., Chuang L.T., Bosse R., Paoletti M.G., 2005. House cricket small-scale farming. In: Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails. Ed. Paoletti, M.G. New Hampshire Science Publishers 12,519-544.
- FAO., 2019. The State of World Fisheries and Aquaculture, 2016. Contributing to Food Security and Nutrition for All. FAO, Rome, 200p.
- Finke M.D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* 21, 269–285.
- Harinder, P.S., Makkar B., Gilles T., Valerie H., Philippe A., 2014. State of the art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology* 197,1-33.
- Harsij, H., Adineh H., Maleknejad R., Jafaryan H., Asadi M., 2019. The use of live mealworm (*Tenebrio molitor*) in diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effect on growth performance and survival, nutritional efficiency, carcass compositions and intestinal digestive enzymes. *Journal of Fisheries science and technology* 8(3),137-143.
- Henry, M. A., Gasco L., Chatzifotis S., Piccolo G., 2018. Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental and Comparative Immunology* 81,204-209.
- Lamas, J., Santos Y., Bruno D.W., Toranzo A.E., Anadon R., 1994. Non-specific cellular responses of rainbow trout to (*Vibrio anguillarum*) and its extracellular products (ECPs). *Journal of Fish Biology* 45,839-854.
- Li, S., Ji H., Zhang B., Zhou J., Yu H., 2017. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture* 477, 62–70.
- Lim, S.J., Kim S.S., Ko G.Y., Song J.W., Kim J.D., Kim J.U., Lee K.J., 2011. Fish meal replacement by soybean meal in diets for Tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture* 313,165-170.
- Lock, E.R., Arsiwalla T., Waagbo A., 2015. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition* 130,122-134.
- Liu, B., Ge X.P., Xie J., Xu P., Cui Y.T., Ming J.H., Zhou Q.L., Pan L.K., 2012. Effects of anthraquinone extract from *Rheum officinale* Bail on the physiological responses and HSP70 gene expression of *Megalobrama amblycephala* under *Aeromonas hydrophila* infection. *Journal of Fish and Shellfish Immunology* 32, 1-7.
- 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.
- Magalhães, R., Lopes T., Martins N., DíazRosales P., Couto A., Pousão-Ferreira P., Oliva-Teles A. Peres H., 2016. Carbohydrases supplementation increased nutrient utilization in white seabream (*Diplodus sargus*) juveniles fed high soybean meal diets. *Aquaculture* 463, 43-50.
- Mohieldein A., Hyder M.A., Hasan, M., 2013. Comparative levels of ALT, AST, ALP and GGT in liver associated diseases. *European Journal of Experimental Biology* 3, 280-284.
- Munker R., Hiller E., Glass J., Paquette, R., 2007. Modern Hematology: Biology and Clinical Management. Humana Press Inc. New Jersey, 332 p.

- Nogales, S., Jover cerda M., liorens S., Vidal A., 2011. Study of partial replacement of fish meal with sunflower meal on growth, amino acid retention, and body composition of sharp snout sea bream. *Diplodus puntazzo*. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 41,47-54.
- Nose, T., 1979. Summary report on the requirements of essential amino acids for carp. In: Halver, J.E., Ews, K., Heenemann, H (Eds). *Finfish Nutrition and Fish Feed Technology*. GmbH & Co., Berlin, Germany, 145-156.
- Oonincx D., van Ifterbeeck J., Heetkamp M., van den Brand H., van Loon JJA., Van Huis A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption 5, 14-45.
- Riddick, E.W., 2014. Insect protein as partial replacement for fishmeal in the diets of juvenile fish and crustaceans. *Invertebrates and Entomopathogens*. Academic Press, San Diego, USA, 565-582.
- Roberts, R.J., 2001. *Fish Pathology*. Saunders, London. 472p.
- Sivil, S., Nardi M., Sulpizio R., Orpainesi C., Caggiano M., Carnevali O., Cresci A., 2008. Effect of the addition of *Lactobacillus delbrueckii*. being of European sea bass (*Dicentra chus labrax*, L.). *Microbial Ecology in Health and Disease* 20, 53-59.
- Sotoudeh, E., Abedian kenari A. and Khodabande S., 2013. Apparent lipid and fatty acid digestion, retention of lipid and growth performance in Caspian salmon (*Salmo trutta caspius*) fry fed dietary n-3 highly unsaturated fatty acids and vitamin E. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 22 (3), 74-90.
- Taufek, N.M., Aspani F., Muin H., Raji A., Razak Sh., Alias, Z., 2016. The effect of dietary cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on growth performance, antioxidant enzyme activities, and haematological response of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Fish Physiology and Biochemistry* 18,51-94.
- Thoman, E.S., Davids A., Arnold C.R. 1999. Evaluation of growth out diets with varying protein and energy levels for red drum. *Aquaculture* 176, 343-353.
- Torestensen, B.E., Esp M., Sanden M., Stubhaug I., Waagba R., Hemre G.I., Berntssen M.H.G., 2008. Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture* 285,193-200.
- Tschirner, M., Simon A., 2015. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food* 1(3), 1-12.
- Van Huis, A., Ifterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G., Vantomme P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security 171. 187.
- Valipour M., Oujifard A., Hosseini A., Sotoudeh E., Bagheri D., 2018. Effect of dietary replacement of fish meal 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*). *Iranian Scientific Journal* 28, 4.13-25.
- Wilfred, O. A., Obasa S., Otuba K., Jimoh., 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus*) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research* 43, 412-420.
- Wiegertjes, G.F., Stet R.M., Parmentier H.K., Van Muiswinkel W.B., 1996. Immunogenetics of disease resistance in fish: a comparative approach. *Developmental and Comparative Immunology* 20(6), 365-381.

