



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 7, No. 2, 2021, pages: 57-71



Effects of diet containing different levels of yeast, *Saccharomyces cerevisiae* and plant proteins on growth indices, carcass biochemical composition and total intestinal bacteria count in a recirculating aquaculture system for rearing rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*

Gholamreza Rafiee*, Aida Vafadar

Department of Fisheries, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran

Received 28 February 2021

Revised: 10 June 2021

Accepted 12 June 2021

KEYWORDS

Fish meal
Plant proteins
Yeast
Rainbow trout
Carcass composition
Total bacterial count

ABSTRACT

In this study, several balanced protein diets using plant proteins and yeast, were employed with the aim of reducing the fish meal in the diet. The experimental treatments included: control (T₀) as commercial diet, (Faradaneh Co., Iran); treatment 1 (T₁) containing 25% fish meal (FM) and 58% plant protein (pp); treatment 2 (T₂) containing 23% FM, 4% yeast, 47% pp; treatment 3 (T₃: 20% FM, 9% yeast, 52% pp); treatment 4 (T₄: 18.5% FM, 14.5% yeast, 46% pp); treatment 5 (T₅: 17% FM, 21% yeast, 41% pp); treatment 6 (T₆: 10% FM, 25% yeast, 45% pp) and treatment 7 (T₇: 28.5% yeast, 45% pp). A total of 160 rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fingerlings with an average weight of 38 ± 2 were randomly introduced into the 16 experimental tanks and cultured for nine weeks. The results showed that the growth performance of fish such as final weight, specific growth rates and protein efficiency rates increased in T₃ in comparison with the other treatments ($p < 0.05$). The highest carcass protein was observed in T₃ and the highest fat was observed in the control group. The highest total count intestinal bacteria was observed in treatment 5 and the lowest in control and treatment 2 ($p < 0.05$). The best experimental diet was recorded in T₃. It was found that growing rainbow trout using diets containing vegetable proteins, yeast, without fish meal is possible.

*Corresponding author: ghrafiee@ut.ac.ir



"مقاله پژوهشی"

اثر جیره‌های غذایی حاوی سطوح مختلف پروتئین‌های گیاهی و مخمر *Saccharomyces cerevisiae* بر شاخص‌های رشد، ترکیب بیوشیمیایی عضله و شمارش کل باکتری‌های روده در یک سازگان پرورش مدار بسته قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

غلامرضا رفیعی*، آیدا وفادار

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، البرز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰

کلمات کلیدی

چکیده

در این پژوهش با به‌کارگیری پروتئین‌های گیاهی و مخمر چند جیره غذایی متعادل پروتئینی، با هدف کاهش مصرف پودر ماهی، ساخته و برای تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در یک سازگان مدار بسته به کار رفت. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (جیره تجاری، شرکت فرادانه)، تیمار ۱ (۲۵٪ پودر ماهی، صفر درصد مخمر و ۵۷٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۲ (۲۳٪ پودر ماهی، ۴٪ مخمر و ۴۷٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۳ (۲۰٪ پودر ماهی، ۹٪ مخمر و ۵۲٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۴ (۱۸/۵٪ پودر ماهی، ۱۴/۵٪ مخمر و ۴۶٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۵ (۱۷٪ پودر ماهی، ۲۱٪ مخمر و ۴۱٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۶ (۱۰٪ پودر ماهی، ۲۵٪ مخمر و ۴۵٪ پروتئین‌های گیاهی) و تیمار ۷ (صفر درصد پودر ماهی، ۲۸/۵٪ مخمر و ۴۵٪ پروتئین‌های گیاهی) بود. تعداد ۱۶۰ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن 2 ± 38 گرم به شکل کاملاً تصادفی در ۱۶ واحد آزمایشی به مدت نه هفته پرورش داده شدند. نتایج نشان داد شاخص‌های رشد ماهی مانند وزن نهائی، ضریب رشد ویژه، ضریب کارائی پروتئین در تیمار ۳ نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). بیشترین پروتئین خام عضله در تیمار ۳ و بیشترین چربی در گروه شاهد مشاهده شد. بیشترین تعداد کل باکتری روده در تیمار ۵ و کمترین در شاهد و ۲ مشاهده شد ($p < 0.05$). بهترین جیره آزمایشی در سامانه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مربوط به تیمار ۳ بود و امکان پرورش ماهی قزل‌آلا با بهره‌گیری از پروتئین‌های گیاهی، مخمر و بدون استفاده از پودر ماهی به‌دست آمد.

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و متعاقباً افزایش نیاز به غذای دریایی و از طرفی، محدودیت صید ماهیان به علت آسیب به ذخایر بوم شناختی، پرورش آبزیان برای تولید غذا رونق بیشتری گرفته است (FAO, 2016). بیش از نیمی از هزینه‌های آبزی‌پروری به علت وجود پودر ماهی در جیره غذایی آبزیان است (Yigit et al. 2006). لذا، افزایش قیمت غذا ناشی از به‌کارگیری پودر ماهی یکی از مهم‌ترین تنگناها در توسعه صنعت آبزی‌پروری است. بنابراین، ساخت جیره‌ای با قیمت پایین که بتواند در سلامت و رشد ماهی تأثیر داشته باشد، از نظر اقتصادی دارای اهمیت زیاد است (Hardy et al. 2000).

پودر ماهی به‌علت داشتن نسبت مناسب آمینواسید، قابلیت هضم بالا، وجود مواد معدنی و ویتامین‌ها و دیگر مواد مغذی مورد نیاز آبزی، برای رشد و سلامت ماهی مؤثر است (Gatlin et al. 2007). با توجه به شرایط موجود و افزایش تقاضا و کاهش تولید سرانه و همچنین، تولید و عرضه پودر ماهی، باید به‌کارگیری آن در جیره غذایی آبزیان کاهش یابد. بنابراین، جایگزین کردن پودر ماهی با دیگر منابع که بیشتر در دسترس هستند و قیمت کمتری دارند، ضروری است. در میان منابع جایگزین، اقلام گیاهی، مانند کنسانتره پروتئین کانولا و سویا، گلوتن ذرت، آرد گلوتن گندم و مخمر به دلیل خصوصیتی مانند هزینه پایین و امکان تأمین پایدار آن‌ها گزینه مناسبی است (Hardy et al. 2000; Gatlin et al. 2007; Lech and Reigh, 2012). با تبدیل آرد سویا و کانولا به کنسانتره پروتئین سویا و کانولا، میزان پروتئین و قابلیت هضم مواد مغذی افزایش و عوامل ضد مغذی کاهش می‌یابند (Drew, 2004; Hardy, 2010). آرد گلوتن ذرت به عنوان محصول جانبی در فرآیند تولید نشاسته ذرت با میزان پروتئین ۶۲-۶۰٪ تولید می‌شود (Drew, 2004; Hardy, 2010) و دارای درصد فیبر پایین است و پروفایل آمینواسید مناسبی دارد ولی میزان آمینواسیدهای لایزین، آرژنین و متیونین آن کم است (Pereira and Oliva-Teles, 2003). گلوتن گندم دارای ۹۵-۹۰٪ پروتئین است. قابلیت هضم بالایی را در جیره غذایی ماهی آزاد اطلس نشان داده است (Storebakken et al. 2000)، ولی آمینواسید لایزین آن کم است. برای رفع این مسئله

استفاده از آمینواسید لایزین به‌عنوان مکمل در جیره غذایی آبزی مفید است.

مخمر ساکارومایسیس سرویزیه عملکرد رشد، سلامتی و ایمنی گونه‌های مختلف ماهی را افزایش داده است (Shurson, 2018). علاوه بر این، دارای میزان پروتئین، انرژی قابل هضم بالا و ریزمغذی‌ها (مانند ویتامین‌ها و عناصر کمیاب) است (Huyben et al. 2017; Xue et al. 2017; Shurson, 2018). مطالعات متعدد نشان داده که جایگزینی محدود یا کامل پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی، بر رشد و فراسنجه‌های تغذیه آبزیان اثر مثبت دارد (Kaushik et al. 2004; Dias et al. 2009; Pratoomyot et al. 2010; Desai et al. 2012). در مقابل، کاهش رشد در ماهیان تغذیه شده با جیره عاری از پودر ماهی در مطالعات (Soltan et al. 2008; Cheng et al. 2010; Wang et al. 2017; Liang et al. 2017) مشاهده شده است.

اگرچه پژوهش‌های متعددی درباره جایگزینی پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی و مخمر به صورت جداگانه در جیره غذایی آبزیان مختلف انجام شده، اما تاکنون جایگزینی پودر ماهی با ترکیبی از پروتئین‌های گیاهی و مخمر در جیره غذایی ماهی قزل‌آلالی رنگین‌کمان در سازگان مدار بسته ارزیابی نشده است. لذا، در این پژوهش امکان ساخت جیره-ای مناسب برای پرورش ماهی قزل‌آلالی رنگین‌کمان، در یک سامانه مدار بسته بررسی شد.

مواد و روش‌ها

طرح و شرح آزمایش

این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. به این منظور، تعداد ۱۶۰ عدد ماهی قزل‌آلالی رنگین‌کمان با میانگین وزن 2 ± 38 گرم از مرکز پرورش ماهی قزل‌آلالی واقع در روستای برغان محدوده کرج تهیه شد و به کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال یافت. جیره‌هایی با درصدهای مختلف و با به‌کارگیری پروتئین‌های گیاهی و مخمر به جای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلالی رنگین‌کمان ساخته شد. تیمارهای آزمایشی به ترتیب شامل گروه شاهد (جیره تجاری، شرکت فرادانه)، تیمار ۱ (۲۵٪ پودر ماهی، صفر درصد مخمر و ۵۷٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۲ (۲۳٪ پودر ماهی، ۴٪ مخمر و ۴۷٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۳

دمای مخزن پرورش ماهی روی ۱۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های کیفی آب، نمونه‌برداری از آب مخزن پرورش ماهی به‌صورت هفتگی انجام شد.

جیره نویسی و ساخت غذا

جیره غذایی با مصرف پروتئین‌های گیاهی حاوی کانولا، آرد سویا، گلوتن ذرت، آرد گلوتن گندم و مخمر همراه با مقادیر مختلف پودر ماهی تنظیم شد. جیره‌ها از نظر سطح انرژی و پروتئین یکسان در نظر گرفته شدند. اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب بیوشیمیایی جیره‌های غذایی مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. در آزمایشگاه تکثیر و پرورش آبزیان با توجه به جیره‌های تنظیمی، مواد تشکیل‌دهنده آن با هم مخلوط شدند و با عبور از چرخ گوشت، بعد از دانه‌بندی کردن رشته‌ها و خشک شدن، در یخچال قرار گرفت و برای تغذیه ماهیان آماده شد.

(۲۰٪ پودر ماهی، ۹٪ مخمر و ۵۲٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۴ (۱۸/۵٪ پودر ماهی، ۱۴/۵٪ مخمر و ۴۶٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۵ (۱۷٪ پودر ماهی، ۲۱٪ مخمر و ۴۱٪ پروتئین‌های گیاهی)، تیمار ۶ (۱۰٪ پودر ماهی، ۲۵٪ مخمر و ۴۵٪ پروتئین‌های گیاهی) و تیمار ۷ (صفر درصد پودر ماهی، ۲۸/۵٪ مخمر و ۴۵٪ پروتئین‌های گیاهی) بود. ماهی‌ها به شکل کاملاً تصادفی در ۱۶ مخزن آزمایشی (هر مخزن ۱۰ قطعه ماهی) قرار داده شدند. واحد آزمایش، شامل یک مخزن نگهداری ماهی به حجم ۲۰۰ لیتر و یک مخزن به حجم ۲۰ لیتر بود که در بالای مخزن پرورشی قرار داده شد و از طریق پمپ مکش، آب از مخزن پرورش ماهی وارد مخزن در بالای مخزن پرورشی می‌شد و از آنجا مجدداً وارد مخزن پرورش ماهی می‌شد. در طی دوره ۶۳ روزه آزمایش، حدود ۵٪ تعویض آب برای جبران میزان آب تبخیری و به صورت روزانه انجام شد. آزمایش براساس دوره نوری ۱۸ ساعت روشنایی و ۶ ساعت تاریکی انجام شد که در دوره‌های روشنایی، با استفاده از لامپ‌های LED سفید و زرد، شدت روشنایی به میزان ۲۰۰۰ لوکس تأمین شد.

جدول ۱ اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب بیوشیمیایی جیره‌های غذایی مورد آزمایش (%)

ترکیبات	شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
آرد ماهی	۲۵/۴۶	۲۳/۰۵	۲۰/۴۸	۱۸/۵	۱۷/۳۶	۱۰/۱۶	۰	۰
مخمر	۰	۴	۹	۱۴/۵	۲۱	۲۵	۲۸/۵	۲۸/۵
آرد گلوتن ذرت	۴/۵	۳	۳	۳	۳	۳	۵	۵
آرد گلوتن گندم	۲۵	۴/۵	۴/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۷/۵	۷/۵
آرد سویا	۴/۵	۲۵	۲۵	۲۳/۶	۱۶/۷	۱۷/۵	۱۸	۱۸
آرد کانولا	۲	۴/۵	۳/۸۶	۱	۲	۲	۱/۵	۱/۵
آرد ذرت	۱۲/۳۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
آرد گندم	۶/۱۶	۱۳/۱۳	۱۴/۴۴	۱۳/۸۹	۱۴/۴۷	۱۷	۱۱/۷۰	۱۱/۷۰
سبوس گندم	۳/۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
روغن سویا	۱۰/۰۴	۱۰/۳۳	۱۰/۶۸	۱۰/۸۵	۱۰/۹۳	۱۱/۰۶	۱۱/۰۳	۱۱/۰۳
روغن ماهی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
متیونین	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۱
لایزین	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۱	۱/۳۴	۱/۳۴
ترئونین	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۵۲	۰/۵۲
ولین	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۷۵	۰/۳۷۵
مونوکلسیم فسفات	۰/۸۳۳	۰/۹۴	۱/۰۴	۰/۹۵	۰/۷۷	۰/۶۰	۲/۳۷	۲/۳۷
کلسیم کربنات	۳/۰۳	۳/۱۲	۳/۲۲	۳/۳۴	۳/۴۳	۳/۳۰	۳/۹۱	۳/۹۱
نمک	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۷۵	۰/۷۵
پرمیکس	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
فیلر	۰/۵۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۶۹	۰/۶۹
آرد سر میگو	۰	۰	۰	۱	۲	۲	۲	۲

سنجش تقریبی							
۳۷۳۱/۸۷	۳۷۶۱/۲	۳۷۶۱/۵۴	۳۷۲۶/۴	۳۶۷۸/۸	۳۶۰۶	۳۵۴۶/۳	انرژی (کیلوکالری/کیلوگرم)
۹۳/۳۷	۹۲/۳۰	۹۲/۴۰	۹۲/۲۱	۹۲/۰۷	۹۱/۹۵	۹۱/۸۸	ماده خشک
۳۶/۱۴	۳۸/۲۶	۳۸/۲۵	۳۸/۲۴	۳۸/۲۰	۳۸/۲۱	۳۸/۲۳	پروتئین خام
۱۴	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	چربی خام
۱/۱۳	۱/۴۹	۱/۵۴	۱/۸۹	۲/۳۶	۲/۷۲	۳	فیبر خام
۱۰/۴۴	۱۰	۱۰/۱۰	۱۰/۱۳	۱۰/۱۱	۹/۹۶	۹/۸	خاکستر

شاخص‌های رشد ماهی

لیتر پودر گل میخک قرار گرفتند و پس از بیهوشی، درازا و وزن ماهیان اندازه‌گیری، و عملکرد رشد و بقا توسط روابط زیر محاسبه شد (Hung et al. 1997):

در پایان دوره پرورش ابتدا تمام ماهیان هر مخزن برداشت شدند و به مدت چند دقیقه در محلول ۲۰۰ میلی‌گرم بر

$100 \times \left\{ \frac{\text{میانگین وزن نهایی}}{\text{میانگین وزن اولیه}} - 1 \right\} \times \text{درصد افزایش وزن (گرم)}$
 $100 \times \left\{ \frac{\text{لگاریتم طبیعی وزن نهایی} - \text{لگاریتم طبیعی وزن اولیه}}{\text{تعداد روز}} \right\} = \text{ضریب رشد ویژه (\% در روز)}$
 میانگین غذای خورده شده (گرم) / میانگین افزایش وزن (گرم) = ضریب تبدیل غذایی
 میانگین افزایش وزن (گرم) / میانگین دریافت پروتئین (گرم) = ضریب کارایی پروتئین

ترکیب بیوشیمیایی عضله

پروتئین موجود در نمونه‌های ماهی از روش کدال استفاده شد. در این روش در حضور اسید سولفوریک و کاتالیزور، نمونه ماهی هضم، سپس اتم نیتروژن به سولفات آمونیم تبدیل و با تقطیر آن به آمونیاک تبدیل و توسط تیتراسیون مقدار آن تعیین شد. میزان پروتئین با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (AOAC, 2005):

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، عضله پستی و دیگر موارد، سه نمونه ماهی توسط تیغه استیل استریل جدا شد (ولایت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). اندازه‌گیری چربی با روش سوکسله و استفاده از حلال انجام شد. برای اندازه‌گیری

درصد ازت (نیتروژن) = $\left\{ \frac{0.14}{100} \times \text{میزان اسید مصرفی برای تیتراسیون} \times \text{نرمالیتت اسید} \right\} / \text{وزن نمونه (گرم)} \times 100$
 درصد پروتئین = درصد ازت $\times 6.25$

برای تعیین میزان خاکستر، روش کار بر مبنای از بین بردن مواد آلی و باقیمانده مواد معدنی در دمای ۵۵۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد:

درصد خاکستر = $\left\{ \frac{\text{وزن بوته و خاکستر} - \text{وزن بوته}}{\text{وزن نمونه تر}} \right\} \times 100$

شمارش باکتری‌ها

است که باکتری‌های روده ماهی و آب مخزن پرورشی نیز به همین روش محاسبه شد (Da Silva et al. 2013).

برای شمارش باکتری‌های کل از محیط کشت TSA استفاده شد. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه‌های رقیق شده توسط میکروسپلر به محیط کشت منعقد شده اضافه و به صورت سطحی کشت داده شد. برای شمارش باکتری‌های کل، پلیت‌های کشت داده شده ۲۴-۴۸ ساعت در دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. لازم به ذکر

اندازه‌گیری فراسنجه‌های کیفی آب
 غلظت اکسیژن محلول و دمای آب مخازن پرورش هر سه روز یک بار به ترتیب با دستگاه اکسیژن‌متر و دماسنج مدل DO-5510 اندازه‌گیری شد که به ترتیب ۸/۵-۶/۵ میلی-

بودن داده‌ها، از تجزیه واریانس یک طرفه برای مقایسه میانگین بین تیمارها استفاده شد. برای تعیین تفاوت سطح معنی‌دار بودن بین میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد.

نتایج

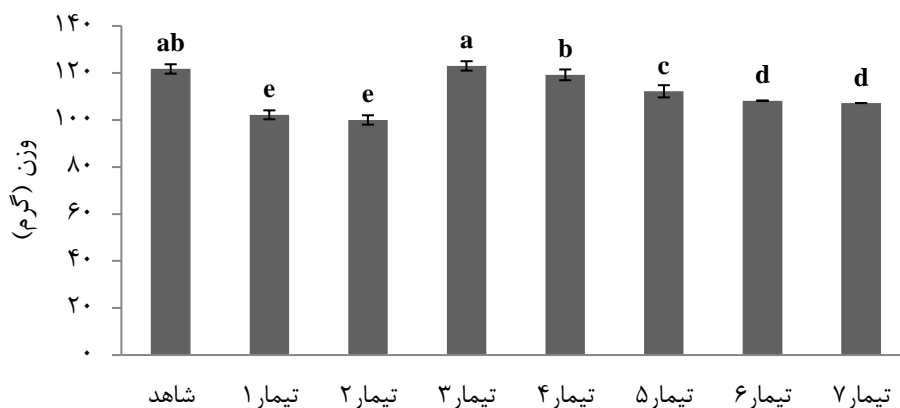
شاخص‌های رشد

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در شکل‌های ۱ تا ۶ آورده شده است. کمترین میزان وزن نهایی در ماهیان تغذیه شده با جیره‌های ۱ و ۲ که دارای بیشترین میزان پودر ماهی بود، مشاهده شد و بیشترین میزان وزن نهایی مربوط به تیمار ۳ بود که دارای میزان کمتری پودر ماهی نسبت به تیمار ۱ و ۲ بود و در مرتبه بعد، بیشترین وزن نهایی مربوط به گروه شاهد یا جیره تجاری بود.

گرم در لیتر و ۱۷-۱۴ درجه سانتی‌گراد بود. برای اندازه‌گیری میزان اکسیداسیون و احیا نیز از دستگاه ORP متر پرتابل AZ Instrument مدل 8651 استفاده شد. میزان تغییرات ORP بین تیمارها در محدوده ۱۳۰/۵ تا ۲۸۰ میلی‌ولت بود. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب (EC) و pH به ترتیب از دستگاه‌های (HANA, HI) و (8033) pH سنج Orion مدل (410A) استفاده شد. میزان EC در کلیه تیمارها به مرور زمان افزایش پیدا کرد که میانگین مقدار آن ۳۳۰ mmho/cm در هفته اول و ۶۸۵ mmho/cm در هفته نهم بود. میزان pH در تمام دوره بین ۶/۸-۷/۵ متغیر بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS25 استفاده شد. ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها آزمایش شد و پس از اطمینان از نرمال

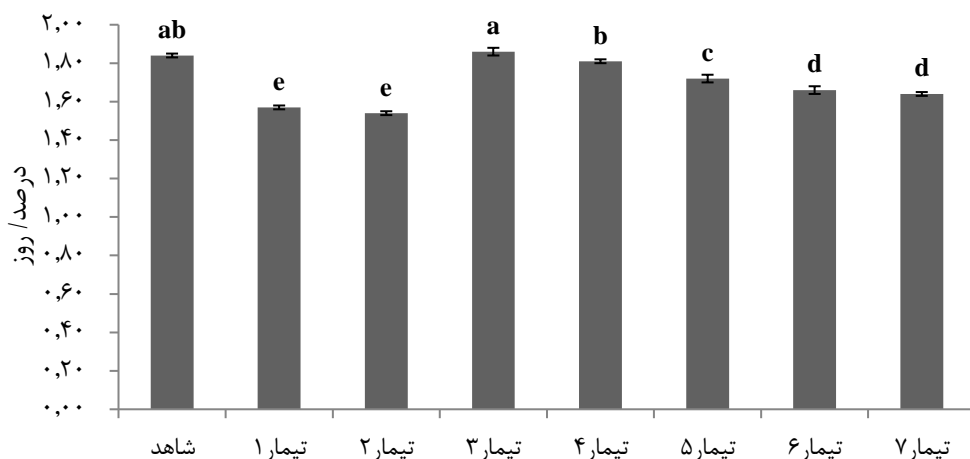


شکل ۱ وزن نهایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش (میانگین \pm انحراف معیار).

نتیجه، انتظار می‌رفت که تغییرات شاخص ضریب رشد روزانه نیز مانند نتایج وزن نهایی باشد. نرخ رشد ویژه در تیمار ۳ بیشینه و تیمارهای ۱ و ۲ کمینه مقدار را داشتند.

نرخ رشد ویژه

با توجه به یکسان بودن وزن اولیه ماهیان (۳۸ گرم) و مدت زمان آزمایش (۶۳ روز) در تمام واحدهای آزمایشی، در

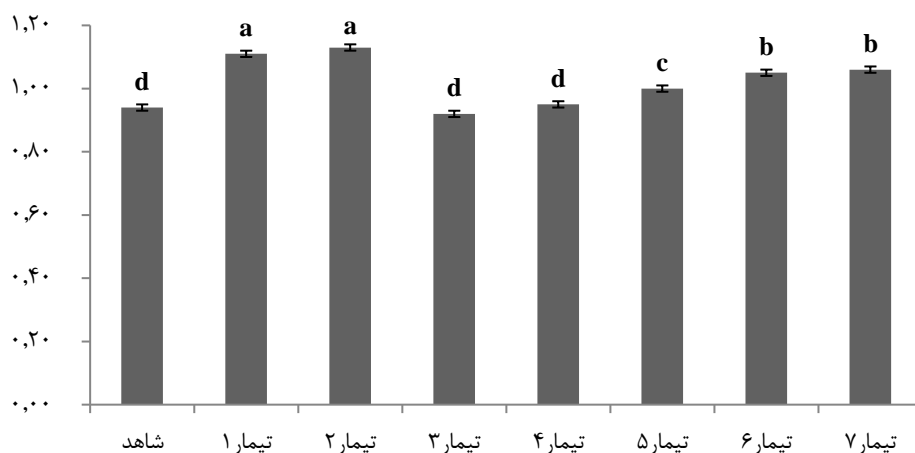


شکل ۲ ضریب رشد ویژه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش (میانگین ± انحراف معیار).

افزایش وزن دارد. بنابراین، تیمار ۲ با کمترین وزن به دست آمده، دارای بیشترین ضریب تبدیل غذایی بود و گروه شاهد، تیمارهای ۳ و ۴ با بیشترین وزن به دست آمده، کمترین ضریب تبدیل غذایی را داشتند (شکل ۳).

ضریب تبدیل غذایی

از آنجا که غذادهی در تمام واحدهای آزمایشی برابر بود، تنها عامل تغییر دهنده ضریب تبدیل غذایی، میزان افزایش وزن است. میزان ضریب تبدیل غذایی رابطه عکس با میزان

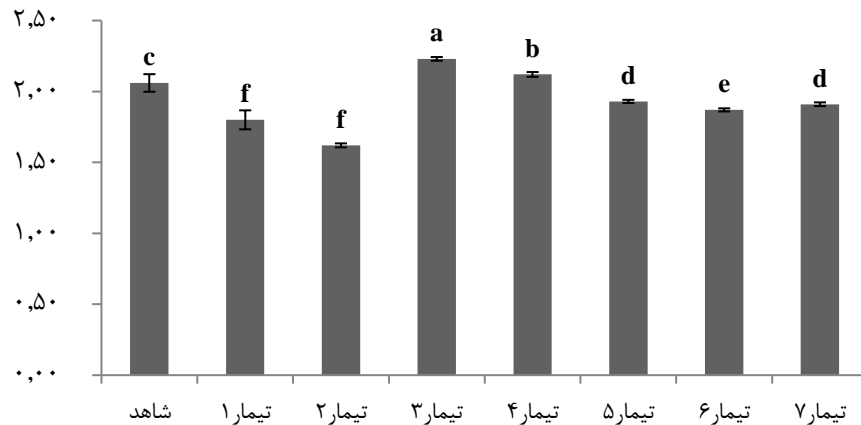


شکل ۳ ضریب تبدیل غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش (میانگین ± انحراف معیار).

تبدیل پروتئین است و کمترین آن در تیمارهای ۱ و ۲ مشاهده شد. در دیگر تیمارها، اختلاف چشم‌گیری مشاهده نشد.

نرخ تبدیل پروتئین

روند تغییرات نرخ تبدیل پروتئین در واحدهای آزمایشی مختلف مبین آن بود که تیمار ۳ دارای بیشترین مقدار نرخ



شکل ۴ ضریب تبدیل پروتئین ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش (میانگین \pm انحراف معیار).

حاصل از میزان چربی عضله اختلاف معنی‌داری را در تیمارهای مختلف نشان داد ($p < 0.05$). بیشترین میزان چربی در گروه شاهد و کمترین آن در تیمارهای ۴ و ۷ با اختلاف کمی مشاهده شد. بیشترین میزان رطوبت در گروه شاهد و کمترین آن در تیمارهای ۶ و ۷ مشاهده شد ($p < 0.05$). اختلاف معنی‌داری در میزان خاکستر تیمارها مشاهده نشد ($p > 0.05$).

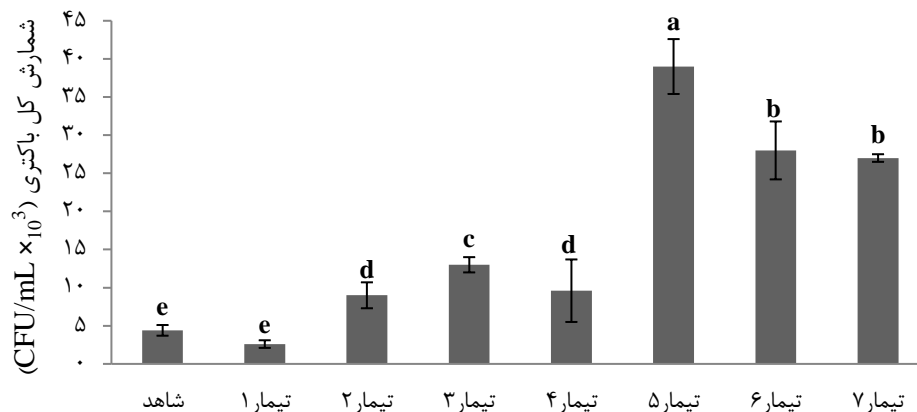
ترکیبات بیوشیمیایی عضله

ترکیبات عضله در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی در جدول ۲ نشان داده شده است. کمترین درصد پروتئین خام در گروه شاهد بود و در دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و میزان پروتئین آن‌ها به‌طور معنی‌دار بیشتر از تیمار ۱ بود ($p < 0.05$). نتایج

شمارش باکتری

نتایج شمارش کل باکتری (10^3 CFU/mL) روده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج

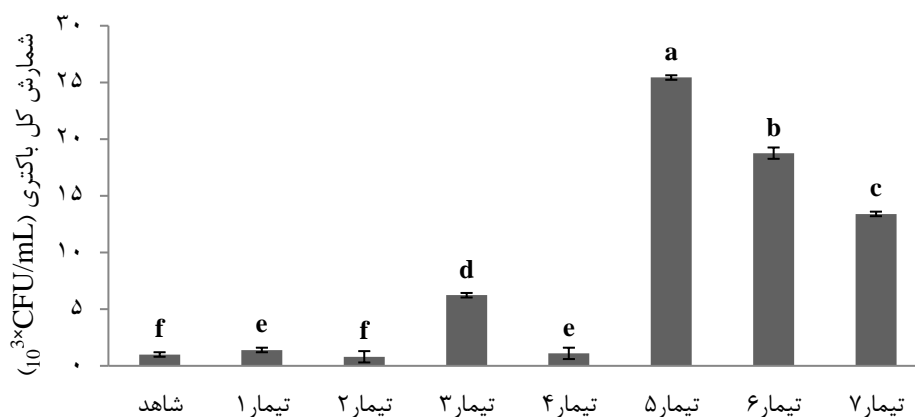
حاصل از شمارش باکتری کل روده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اختلاف چشمگیری را بین تیمارهای مختلف نشان داد ($p < 0.05$). بیشترین تعداد باکتری روده ماهی به تیمار ۵ و کمترین آن به شاهد و تیمار ۱ تعلق داشت.



شکل ۵ شمارش باکتری کل (10^3 CFU/mL) روده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش (میانگین \pm انحراف معیار).

تعداد کل باکتری آب مخزن پرورش ماهی در تیمار ۵ و کمترین در شاهد و تیمار ۲ مشاهده شد.

شمارش کل باکتری‌ها در آب مخزن پرورش ماهی در شکل ۶ نشان داده شده است. اختلاف معنی‌دار در تعداد کل باکتری در بین تیمارها مشاهده شد ($p < 0.05$). بیشترین



شکل ۶ میانگین شمارش باکتری کل ($10^3 \times CFU/mL$) آب مخزن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش (میانگین \pm انحراف معیار).

دارد. بیشترین عملکرد رشد در تیمار ۳ و کمترین در تیمارهای ۱ و ۲ با اندکی اختلاف مشاهده شد. یافته‌های Cheng و همکاران (۲۰۰۳) نیز بر این موضوع تأکید دارد. آن‌ها اعلام کردند که می‌توان تا حد ۵۰٪ از پودر ماهی را

بحث

شاخص‌های رشد

نتایج پژوهش حاضر نشان داد اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش از نظر شاخص‌های عملکرد رشد وجود

درصد پودر ماهی کم و یا فاقد آن بودند و بیشتر با پروتئین‌های گیاهی جیره تنظیم شدند، رشد کمتری حاصل شد که نشان‌دهنده این است که پودر ماهی به دلیل دارا بودن ترکیبی از آمینواسیدهای مورد نیاز و قابلیت هضم بالای آن، به عنوان منبع اصلی پروتئین برای تهیه غذای ماهیان گوشتخوار مطرح است. اگرچه، یکی دیگر از دلایل کاهش عملکرد رشد در ماهیان تغذیه شده با سطوح بالای ترکیبات گیاهی، کاهش جذب غذا به علت کاهش حبه‌پذیری غذا می‌تواند باشد. در تیمارهای ۱ و ۲ که میزان مخمر کم و یا فاقد مخمر بودند و پروتئین‌های گیاهی درصد بالایی را داشت، عملکرد رشد قابل قبولی مشاهده نشد که نشان می‌دهد پروتئین‌های گیاهی بدون مخمر عملکرد مؤثری در رشد آیزی ندارد. بنابراین، مانند تیمارهای ۳، ۴ و ۵ وجود میزان مناسبی از پودر ماهی، مخمر و پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی بر عملکرد رشد ماهی مؤثر خواهد بود. در این باره باید به نوع سازگان پرورشی نیز توجه کرد. این آزمایش در سازگان مداربسته انجام شد و نیاز است عملکرد جیره‌ها در سازگان‌های پرورشی متفاوت ارزیابی شود.

ترکیبات بیوشیمیایی عضله ماهی

نتایج مربوط به ترکیبات عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌هایی با پروتئین‌های گیاهی و مخمر نشان داد که تیمار ۳ بیشترین درصد پروتئین را داراست. نتایج تحقیق حاضر با نتایج Ta'ati و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. این در حالی است که Susse و همکاران در سال ۲۰۱۴ اعلام کردند که میزان پروتئین عضله با افزایش پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی تغییر نمی‌کند. همچنین، Omnes و همکاران (۲۰۱۷) نیز اعلام داشتند که با افزایش میزان پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی ماهی باس دریایی اروپایی، محتوی پروتئین عضله تغییری نمی‌کند که احتمالاً این عدم انطباق یافته‌های تحقیق حاضر با تحقیقات بالا به دلیل عملکرد فیزیولوژیک مختلف دستگاه گوارشی در گونه‌های مختلف آبزیان، بافت‌های مختلف منتخب برای تعیین درصد ترکیبات عضله، گونه‌های مختلف (گیاه‌خوار، گوشت‌خوار و همه‌چیزخوار)، چرخه زندگی، اندازه ماهی و تفاوت در سازگان یا شرایط پرورش باشد. تأثیر چشم‌گیر استفاده توأم از پودر ماهی، مخمر و پروتئین‌های گیاهی بر فلور میکروبی دستگاه گوارش ماهی موجب ابقای بیشتر پروتئین در عضله و رشد

در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با پروتئین‌های گیاهی (آرد سویا، آرد گندم، آرد گلوتن ذرت) جایگزین کرد. در غیر این صورت با کاهش رشد و افزایش ضریب تبدیل غذایی مواجه خواهند بود و برای جبران کاهش رشد در جایگزینی بیشتر، مصرف ۰/۴٪ لایزین یا بیشتر را به عنوان مکمل پیشنهاد دادند. همچنین، در تحقیقات Gomesa و همکاران (۱۹۹۵) امکان جایگزینی بخشی از پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی تا ۶۶٪ بدون اثر منفی را گزارش کردند، زیرا تفاوت چشم‌گیری در وزن به دست آمده و ضریب رشد ویژه در بین ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با صفر، ۳۳ و ۶۶٪ پروتئین گیاهی مشاهده نکردند و میزان افزایش وزن در این تیمارها نسبت به تیمار غذایی با ۱۰۰٪ پروتئین گیاهی بیشتر بود. کاهش رشد در جیره‌های غذایی حاوی مقادیر بیشتر مخمر را می‌توان به کمبود اسیدهای آمینه لایزین، متیونین و آرژینین نسبت داد. تعادل بین نسبت آمینواسیدهای جیره غذایی با توجه به گونه پرورشی دارای اهمیت زیادی است. در این ارتباط، در ماهی باس دریایی اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) هیچ تفاوت چشم‌گیری در شاخص‌های رشد (وزن نهایی بدن و ضریب رشد ویژه) به علت جایگزینی سطوح پایین پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی مشاهده نشد و در جایگزینی سطوح بالاتر پودر ماهی نیز رشد کاهش یافت (Bonvini et al. 2018).

در پژوهش حاضر به جز تیمار شاهد که ماهیان از جیره تجاری موجود در بازار تغذیه شدند، ماهیانی که به ترتیب با تیمارهای ۳، ۴ و ۵ تغذیه شدند، دارای بیشترین وزن، ضریب رشد ویژه، نسبت کارایی پروتئین و کمترین ضریب تبدیل غذایی بودند و در تیمارهای ۱ و ۲ کمترین عملکرد رشد مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که با میزان مناسبی از به‌کارگیری پروتئین‌های گیاهی، مخمر و پودر ماهی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، می‌توان جیره‌های متعادل‌تر و با کیفیت بیشتر را معرفی کرد.

شاید بتوان گفت که وجود ترکیبات موجود در مخمر (توازن خوبی از آمینواسیدها، ویتامین B)، پودر ماهی (مواد معدنی و ویتامین) تأثیر مهمی بر ترشح ویتامین‌ها، مواد ضروری و تولید آنزیم‌های دستگاه گوارش دارد و موجب فعال شدن فلور میکروبی روده ماهیان می‌شود و در نهایت، باعث هضم و جذب بیشتر خواهد شد و رشد ماهی نیز افزایش می‌یابد (Shurson, 2018). از طرفی، در تیمارهای ۶ و ۷ که

مقایسه با تیمار شاهد بیشتر است و میزان آنها با استمرار مصرف این پروبیوتیک‌ها در روده ماهی قزل‌آلای رنگین-کمان افزایش بیشتری می‌یابد. در مقابل، یافته‌های حاصل از مطالعه اکرمی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که با افزایش میزان اینولین جیره از ۱ تا ۳٪، شاخص‌های رشد در فیل ماهیان جوان پرورشی و نیز تعداد کل لاکتوباسیل‌های روده کاهش می‌یابد. در بررسی حاضر نیز با افزایش میزان پروتئین‌های گیاهی و مخمر در جیره، تعداد کل باکتری‌ها افزایش یافت. شاخص‌های بسیاری از جمله شکل دستگاه گوارش آبزیان، دمای آب، روش پرورش، نوع جیره غذایی، نوسان‌های فصلی و طول روز بر ترکیب میکروبیوتای دستگاه گوارش اثر دارند. در تیمارهایی حاوی پروتئین‌های گیاهی و پودر ماهی، تشکیل فلور باکتریایی بهتر صورت گرفت و هضم و جذب در روده ماهی بهتر شد و در نتیجه، عملکرد رشد بهتر و تعداد باکتری بیشتر را شاهد بودیم. در واقع، تیمارهایی با میزان مخمر بالاتر از ۹٪ در جیره غذایی، تعداد باکتری‌های بیشتری را در روده، در مقایسه با تیمارهایی با میزان مخمر کمتر، داشتند. طبق داده‌های مربوط به شمارش کل باکتری‌های موجود در روده ماهی، ریشه گیاه و آب مخزن پرورش ماهی، می‌توان نتیجه گرفت که نوع ترکیبات غذایی در جیره غذایی آبزیان در تشکیل فلور میکروبی نقش مهمی دارد. درباره جیره ۷ می‌توان نتیجه گرفت که وجود پروتئین‌های گیاهی و مخمر به تنهایی نیز باعث تشکیل فلور میکروبی در محیط پرورش می‌شوند. در مقایسه با تیمارهای بالاتر از ۹٪ مخمر و دارای پودر ماهی، تیمار ۷ با داشتن مخمر بیشتر، میزان باکتری کمتری را در روده داشت. لذا، می‌توان بیان کرد که ترکیب پروتئین‌های گیاهی، مخمر و پودر ماهی موجب ایجاد تعداد باکتری قابل قبولی برای ایجاد تعادل در سازگان آکواپونیک خواهد شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنظیم میزان مصرف مخمر و پودر ماهی در جیره‌های غذایی اهمیت زیادی دارد. وجود ترکیبات موجود در مخمر (توازن خوبی از آمینواسیدها، ویتامین B، پودر ماهی (مواد معدنی و ویتامین) تأثیر مهمی بر ترشح ویتامین‌ها، مواد ضروری و تولید آنزیم‌های دستگاه گوارش دارد و موجب فعال شدن فلور میکروبی روده ماهیان نیز می‌شود و در نهایت، باعث هضم و جذب بیشتر

بیشتر می‌شود و تیمار ۳ و دیگر تیمارها با میزان مخمر بالاتر از ۹٪ در جیره غذایی نیز میزان پروتئین بیشتری نسبت به گروه شاهد بدون مخمر داشتند. نتایج حاصل از میزان چربی عضله اختلاف معنی‌داری را در تیمارهای مختلف نشان داد. بیشترین میزان چربی در شاهد و کمترین آن در تیمارهای ۴ و ۷ با اختلاف کمی مشاهده شد. نتایج مشابه درمیزان چربی میگوی بزرگ آب شیرین که از ۷۵ و ۱۰۰٪ *Arthrospira platensis* تغذیه شده بودند، نسبت به تیمار شاهد، کم بود (Radhakrishnan et al. 2016). این در حالی است که در جایگزینی پروتئین‌های گیاهی با حیوانی در جیره غذایی ماهی *Astyanax altiparanae* سطح چربی پروتئین‌های گیاهی بالاتر بود (Sussel et al. 2014). نتایج حاصل از میزان رطوبت، اختلاف معنی‌داری را در تیمارهای مختلف نشان داد. بیشترین میزان رطوبت در شاهد و کمترین آن در تیمارهای ۶ و ۷ مشاهده شد. نتایج مشابهی در مطالعه‌ای با جایگزینی مقادیر مختلف پودر ماهی با کنجاله سویا در جیره غذایی بچه ماهیان ازون برون (امدادی و همکاران، ۱۳۹۲)، ترکیب شیمیایی عضله، بیشترین میزان رطوبت عضله در گروه شاهد ثبت شده است. در تقابل با این نتایج در مطالعه‌ای رطوبت عضله فیل ماهی با افزایش پروتئین‌های گیاهی، افزایش داشته است (Ta'ati et al. 2011).

شمارش تعداد کل باکتری

نتایج حاصل از شمارش باکتری کل روده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اختلاف چشم‌گیری را بین تیمارهای مختلف نشان داد. بیشترین شمارش باکتری روده ماهی به تیمار ۵ و کمترین آن به تیمارهای شاهد و ۱ تعلق داشت. فنید و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر غذادهی با پروبیوتیک بر افزایش مقاومت در برابر آئروموناس هیدروفیلا و تغییر جوامع باکتریایی دستگاه گوارش ماهی سوف را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزودن لاکتوباسیلوس برویس به جیره ماهی سوف سفید، به طور معنی‌دار میزان باکتری‌های اسید لاکتیک، باکتری‌های کل روده‌ای و میزان بقای آن نسبت به گروه شاهد افزایش می‌یابد. همچنین، اندانی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که تراکم باکتری‌های پروبیوتیک در محتویات روده ماهی قزل‌آلای رنگین-کمان تغذیه شده با لاکتوباسیلوس کازئی و پلانتاروم در

امدادی، ب.، سجادی، م.م.، یزدانی، م.ع.، شکوریان، م. ۱۳۹۲. تاثیر جایگزینی مقادیر مختلف آرد ماهی توسط کنجاله سویا در جیره غذایی بچه ماهیان ازون برون (*Acipenser stellatus*) بر میزان رشد، ضریب تبدیل غذایی و میزان ترکیبات شیمیایی لاشه، عضله و بافت کبد. مجله علمی شیلات ایران ۲: ۳۴-۲۵.

اندانی، ح.، توکمه چی، ا.، مشکینی، س.، و ابراهیمی، ه. ۱۳۹۰. افزایش مقاومت ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در برابر عفونت با آئروموناس هیدروفیلا و یرسینیا روکری با استفاده از لاکتوباسیل‌های جدا شده از روده ماهی کپور معمولی. دامپزشکی ایران ۳۱: ۳۵-۲۶.

فئید، م.، کسری کرمانشاهی، ر.، پورکازمی، م.، داربویی، م.، حقیقی، س. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر غذایی با پروبیوتیک بر افزایش مقاومت در برابر آئروموناس هیدروفیلا و تغییر جوامع باکتریایی دستگاه گوارش ماهی سوف سفید. زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها ۷: ۱۲-۱.

- AOAC, 2005. Official methods of analysis. (16th Ed.), Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Bonvini, E., Bonaldo, A., Mandrioli, L., Sirri, R., Dondi, F., Bianco, C., Parma, L. 2018. Effects of feeding low fishmeal diets with increasing soybean meal levels on growth, gut histology and plasma biochemistry of sea bass. *Animals* 12: 923-930.
- Catacutan, M.R., Pagador, G.E. 2004. Partial replacement of fish meal by defatted soybean meal in formulated diets for the mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775). *Aquaculture Research* 35: 299-306.
- Cheng, Z., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Ma, H., Li, Y., Zhang, J. 2010. Effects of dietary canola meal on growth performance, digestion and metabolism of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 305: 102-108.
- Da Silva, B. C., Vieira, F.do.N., Mouriño, J. L.P., Ferreira, G.S., Seiffert, W.Q. 2013. Salts of organic acids selection by multiple characteristics for marine shrimp nutrition. *Aquaculture* 384-387: 104-110.
- Dediu, L., Cristea, V., Xiaoshuan, Z. 2012.

در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان خواهد شد و رشد ماهی نیز افزایش می‌یابد. مشخص شد که امکان تهیه جیره‌ای که در آن پودر ماهی مصرف نشود، نیز در سازگان پرورشی مداربسته با کمی کاهش رشد وجود دارد و با توجه به بررسی شاخص‌های رشد، تیمار ۳ (۲۰٪ پودر ماهی، ۹٪ مخمر و ۵۲٪ پروتئین‌های گیاهی)، بهترین جیره برای معرفی و جایگزین جیره تجاری شناخته شد.

منابع

اکرمی، ر.، حاجی مرادلو، ع.، متین فر، ع.، عابدیان کناری، ع.، مازندرانی، ر. ۱۳۸۷. تاثیر پربیوتیک اینولین بر شاخص تولید و تراکم باکتریایی دستگاه گوارش فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان پرورشی. فن‌آوری‌های نوین در توسعه آبی پروری ۲: ۱۰-۱.

- Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with baster and lettuce. *African Journal of Biotechnology* 11: 2349-2358.
- Desai, A.R., Links, M.G., Collins, S.A., Mansfield, G.S., Drew, M.D., Van Kessel, A.G., Hill, J.E. 2012. Effects of plant-based diets on the distal gut microbiome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 350-353: 134-142.
- Drew, M.D. 2004. Canola protein concentrate as a feed ingredient for salmonid fish. In: VII International symposium on aquaculture nutrition (eds. L.E. Cruz Suarez, D. Ricque Marie, M.G. Nieto Lopez, D. Villarreal, U. Scholz, M. Gonzalez), pp. 168-181. Hermosillo, Sonora, Mexico.
- FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gatlin, 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: 551-579.
- Gomes, E.F., Rema, P., Kaushik, S.J. 1995.

- Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130: 177-186.
- Hardy, R.W. 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: Effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research* 41: 770-776.
- Hardy, R.W., Sugiura, S., Babbitt, J., Dong, F.M. 2000. Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research* 31: 585-593.
- Hung, S.S.O., Storebakken, T., Cui, Y., Tian, I., Einen, O. 1997. High-energy diets for white sturgeon, *Acipenser transmontanus* Richardson. *Aquaculture Nutrition* 3: 281-286.
- Huyben, D., Nyman, A., Vidaković, A., Passoth, V., Moccia, R., Kiessling, A., Lundh, T. 2017. Effects of dietary inclusion of the yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and *Wickerhamomyces anomalus* on gut microbiota of rainbow trout. *Aquaculture* 473: 528-537.
- Kaushik, S., Coves, D., Dutto, G., Blanc, D. 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass *Dicentrarchus Labrax*. *Aquaculture* 230: 391-404.
- Lech, G.P., Reigh, R.C. 2012. Plant products affect growth and digestive efficiency of cultured florida pompano (*Trachinotus carolinus*) fed compounded diets. *PLoS ONE* 7: e34981.
- Liang, X. F., Hu, L., Dong, Y.C., Wu, X.F., Qin, Y.C., Zheng, Y.H., Liang, X.F. 2017. Substitution of fish meal by fermented soybean meal affects the growth performance and flesh quality of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). *Animal Feed Science and Technology* 229: 1-12.
- Mariscal-Lagarda, MM., Pérez-Osuna, F., Esquer-Méndez, JL., Guerrero-Monroy, I., Vivar, AR., Félix-Gastelum, R. 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. *Aquaculture* 366: 76-84
- Mente, E., Deguara, S., Santos, M.B., Houlihan, D. 2003. White muscle free amino acid concentrations following feeding a maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 225: 133-147.
- Omnes, M.H., Le Goasduff, J., Le Delliou, H., Le Bayon, N., Quazuguel, P., Robin, J.H. 2017. Effects of dietary tannin on growth, feed utilization and digestibility, and carcass composition in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture Reports* 6: 21-27.
- Pereira, T.G., Oliva-Teles, A. 2003. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles. *Aquaculture Research* 34: 1111-1117.
- Pratoomyot, J., Bendiksen, E.Å., Bell, J.G., Tocher, D.R. 2010. Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 305: 124-132.
- Radhakrishnan, S.E.H., Belal, I., Seenivasa, C., Muralisankar, T., Saravana, B. 2016. Impact of fishmeal replacement with *Arthrospira platensis* on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Reports* 3: 35-44.
- Rafiee, G., Saad, C. 2006. The effect of natural zeolite (Clinoptilolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), and improvement of water quality. *Journal of Agricultural Science and Technology* 8: 313-322.
- Rakocy, J.E., Massor, M.P., Losordo, T.M. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics integrating fish and plant culture. *SRAC*

- Publication, No. 454, 16 p.
- Shurson, G.C. 2018. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology* 235: 60-76.
- Soltan, M.A., Hanafy, M.A., Wafa, M.I.A. 2008. Effect of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Global Veterinaria* 2: 157-164.
- Storebakken, T., Shearer, K.D., Baevefjord, G., Nielsen, B.G., Åsgård, T., Scott, T., De Laporte, A. 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture* 184: 115-132.
- Sussel, F.R., Viegas, E.M. M., Evangelista, M.M., Gonçalves, G.S., Salles, F.A., Gonçalves, L.U. 2014. Replacement of animal protein with vegetable protein in the diets of *Astyanax altiparanae*. *Acta Scientiarum Animal Sciences* 36: 34-39.
- Ta'Ati, R., Soltani, M., Bahmani, M., Zamini, A. 2011. Growth performance, carcass composition, and immunophysiological indices in juvenile great sturgeon (*Huso huso*) fed on commercial prebiotic, Immunoster. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 10: 324-335.
- Wang, Y., Wang, L., Zhang, C., Song, K. 2017. Effects of substituting fishmeal with soybean meal on growth performance and intestinal morphology in orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). *Aquaculture Reports* 5: 52-57.
- Watanabe, T. 1993. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. *Journal of the World Aquaculture Society* 24: 153-161.
- Xue, G.D., Wu, S.B., Choct, M., Swick, R.A. 2017. Effects of yeast cell wall on growth performance, immune responses and intestinal short chain fatty acid concentrations of broilers in an experimental necrotic enteritis model. *Animal Nutrition* 3: 399-405.
- Yigit, M., Erdem, M., Koshio, S., Ergun, S., Turker, A., Karaali, B. 2006. Substituting fish meal with poultry by-product meal in diets for black Sea turbot *Psetta maeotica*. *Aquaculture Nutrition* 12: 340-347.
- Yigit, M., Ergün, S., Türker, A., Harmantepe, B., Erteken, A. 2010. Evaluation of soybean meal as a protein source and its effect on Black Sea Turbot (*Psetta maeotica*) juveniles. *Journal of Marine Science and Technology* 18: 682-688.