



University of Tehran

Journal of Fisheries

Home Page: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

Online ISSN: 2423-7809

The Roles of Different Dietary Mineral Levels and Their Effects on Growth Indices and the Bacterial Flora of the Gut and Waterborne in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Gholamreza Rafiee^{1*} | Ebrahim Motaghi² | Eisa Ebrahimi³

1. Professor, Department of fishery, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ghrafiee@ut.ac.ir
2. PhD. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: ebrahimmotaghi@yahoo.com
3. Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: e_ebrahimi@iut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 07 July 2026
Revised: 20 July 2026
Accepted: 21 July 2026
Published online: 23 September 2026

Keywords:
Tilapia,
Gut microflora,
Diet,
Minerals,
Water quality.

ABSTRACT

In this study, the effects of increasing dietary mineral levels of 0%, 50%, and 100% relative to the concentrations typically used to meet plant requirements in a standard hydroponic system on growth indices, waterborne and gut microflora of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) were investigated within a recirculating aquaculture system. A total of 180 Tilapia, with an average weight of 30 ± 3.8 g, were distributed across nine experimental units (comprising three treatments and three replicates). The use of different levels of minerals in the diet had a significant effect on final weight, feed conversion ratio, weight gain, condition factor, and specific growth rate compared to the control group during the experimental period ($p < 0.05$). The best results regarding the improvement of feed conversion ratio, weight gain, and specific growth rate were observed in Treatment 3 (100% dietary nutrients). The inclusion of nutrients significantly reduced the feed conversion ratio, with the highest ratio observed in the control group ($p < 0.05$). As the dietary nutrient level increased, the condition index rose, and the lowest value was recorded in the control group. Electrical conductivity and total dissolved solids were higher in the treatment containing 50% [supplementation] compared to the other two treatments. Supplementing the diet with minerals significantly increased the total intestinal bacterial count at the 50% level ($p < 0.05$). Increasing dietary minerals to the 50% level negatively affected the number of bacteria in the fish's gastrointestinal tract. The results of this study demonstrated that increasing minerals at high levels, using the ratios applied in this trial, did not negatively affect the growth of tilapia. Therefore, based on the results of this study, the diet with the highest mineral content can be recommended as a specialized diet for rearing tilapia in an aquaponic system.

Cite this article: Rafiee, Gh., Motaghi, E., Ebrahimi, E. (2026). The roles of different dietary mineral levels and their effects on growth indices and the bacterial flora of the gut and waterborne in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Fisheries*, 79 (3), 203-214. DOI: <http://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-0621-8890>.



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://https://orcid.org/10.22059/jfisheries.2026.108949>



دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۰۹-۲۴۲۳

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

نقش سطوح مختلف مواد معدنی در جیره غذایی و اثرات آنها بر شاخص‌های رشد و فلور باکتریایی روده و آب در ماهی تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*)

غلامرضا رفیعی^{۱*} | ابراهیم متقی^۲ | عیسی ابراهیمی^۳

۱. استاد گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ghrafee@ut.ac.ir

۲. دکتری، گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: ebrahimmotaghi@yahoo.com

۳. استاد گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: e_ebrahimi@iut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش، افزایش مواد معدنی در جیره غذایی و اثرات آنها بر شاخص‌های رشد، میکروفلور آب و روده، در ماهی تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*) در یک سازگان مدار بسته مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش را افزودن سطوح مختلف معدنی ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به جیره غذایی پایه، بر اساس غلظت موجود در یک لیتر آب محلول کوپر برای رفع نیازهای گیاه در یک دوره پرورش در سیستم هیدروپونیک معمولی تشکیل دادند. تعداد ۱۸۰ قطعه ماهی تیلاپا با متوسط وزن 30 ± 8 گرم به نه واحد آزمایش معرفی گردیدند (شامل سه تیمار و سه تکرار). استفاده از سطوح مختلف مواد معدنی در جیره غذایی اثر معنی داری بر شاخص‌های وزن نهایی، ضریب تبدیل غذایی، افزایش وزن، شاخص وضعیت و رشد ویژه در مقایسه با تیمار شاهد در طول دوره آزمایش داشت ($p < 0.05$). بهترین نتیجه در بهبود ضریب تبدیل غذایی، افزایش وزن و شاخص رشد ویژه مربوط به تیمار ۳ (۱۰۰ درصد مواد مغذی در جیره) بود. استفاده از مواد مغذی تاثیر معنی دار بر کاهش ضریب تبدیل داشت و افزایش ضریب تبدیل در تیمار شاهد مشاهده شد ($p < 0.05$). با افزایش سطح مواد مغذی جیره، شاخص وضعیت افزایش یافت و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد ثبت شد. مقدار هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول در تیمار غذایی حاوی ۵۰ درصد بیش از دو تیمار دیگر بود. افزودن مکمل‌های حاوی مواد معدنی به جیره غذایی مجموع باکتری‌های موجود در روده را به طور معنی داری در سطح ۵۰ درصد افزایش داد ($p < 0.05$). افزایش مواد معدنی در جیره در سطح ۵۰ درصد تاثیر مثبت بر تعداد باکتری‌های دستگاه گوارش ماهی داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که ماهی تیلاپا می‌تواند افزایش مواد معدنی در جیره غذایی را تا سطح بالایی در جیره غذایی تحمل کند و اثر منفی بر رشد این ماهی ندارد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان جیره غذایی حاوی بیشترین مواد معدنی را به عنوان یک جیره اختصاصی برای پرورش ماهی تیلاپا در کشت آکوپونیک معرفی کرد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

ماهی تیلاپا،

میکروفلور روده،

جیره غذایی،

مواد معدنی،

کیفیت آب.

استاد: رفیعی؛ غلامرضا، متقی؛ ابراهیم، ابراهیمی؛ عیسی (۱۴۰۵). نقش سطوح مختلف مواد معدنی در جیره غذایی و اثرات آنها بر شاخص‌های رشد و فلور باکتریایی روده و آب در

ماهی تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*). نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۹ (۳)، ۲۰۲-۲۱۴. DOI: <http://doi.org/https://orcid.org/0000-202-214>

0002-0621-8890.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان. رفیعی؛ غلامرضا، متقی؛ ابراهیم، ابراهیمی؛ عیسی

DOI: <http://doi.org/https://orcid.org/10.22059/jfisheries.2026.108949>



۱. مقدمه

فرآیندی پیچیده از حضور مواد مغذی، فتوسنتزکنندگان، پروتوزوئرها و موجودات مختلف را در یک اکوسیستم آبی می‌توان مشاهده کرد و مورد بررسی قرار داد، طی این فرایند پیچیده زیست توده‌های مختلفی از موجودات مختلف شکل می‌گیرند و در حالت طبیعی در تعادل خواهند بود. در این ارتباط مواد معدنی محلول در آب، به عنوان محیط زیست موجودات در هر بوم‌سازگان نقش زیادی را در حضور موجودات مختلف و در نهایت در زیست توده یا بیوماس موجودات مختلف دارند (Rafiee and Saad, 2005; Mohammadi et al., 2021). از سوی دیگر، غلظت و نسبت مواد معدنی محلول و نیز حضور برخی از مواد آلی محلول مانند ویتامین‌ها بر حضور فتوسنتزکنندگان به عنوان تولیدکنندگان اولیه اثرگذارند و با حضور این مواد فتوسنتزکنندگان کارایی لازم را برای ساخت مواد آلی از مواد معدنی محلول در حضور نور پیدا می‌کنند (Waldvogel-Abramowskia et al., 2014). بنابراین، تولید در یک بوم‌سازگان آبی تابعی از ورود مواد مغذی از خارج از بوم‌سازگان، مواد بیوژن موجود در خود سازگان و شرایط فیزیکی حاکم بر محیط است و با آگاهی از چگونگی چرخه مواد در اکوسیستم‌های مصنوعی و حتی طبیعی، امکان ایجاد تعادل زیستی فراهم می‌شود و مدیریت بوم‌سازگان به سمتی سوق داده می‌شود که با کاهش مواد دفعی و افزایش بازده بیشتر در تولید همراه باشد. این مهم در آبی‌پروری کاربردی شده است و منجر به افزایش علاقه تولیدکنندگان آبزیان به سیستم‌های پرورشی مدار بسته بخصوص سازگان‌های توام ماهی و گیاه یا آکوپونیک شده است (Love et al., 2014). در حال حاضر سیستم کشت توام به عنوان یک نوآوری در بخش‌های مختلف آبی‌پروری مطرح است (Sonnevel, 2009; Pulvenis, 2016). در حال حاضر آکوپونیک به مفهوم یک کشت هماهنگ است که ترکیبی از ماهی، گیاهان قابل کشت در آب و باکتری‌های نیتروبیونت و هتروتروف را در یک محیط سازش یافته در کنار هم قرار می‌دهد. شکل معمول و ساده آن وجود یک بخش هیدروپونیک با جریانی از آب در یک سیستم مدار بسته آبی‌پروری است (Delaide, 2012). در این سیستم پرورشی، هدف طراحی سیستمی با ویژگی حضور توام گیاه و ماهی و استفاده از مواد دفعی تولیدی ماهی به عنوان مواد مغذی برای گیاه و تولید بیومس گیاهی است. در این شرایط تعویض آب و انباشتگی رسوبات در سیستم کاهش می‌یابد. این کاهش قابل ملاحظه برای محیط زیست مفید خواهد بود و از جنبه دیگر سبب افزایش تولید ماهی و گیاه نیز می‌شود (Rafiee and Saad, 2005; Takocy, 2012). با این حال رسیدن به شرایط مطلوب رشد ماهی در چنین سیستمی هنوز به وضوح مشخص نشده و نیاز به مطالعه بیشتر دارد (Yildiz et al., 2017). چیزی که در این سیستم‌ها به عنوان یک مشکل اساسی مطرح است، عدم توانایی در ایجاد یک محیط مناسب برای عملکرد بهینه ماهی برای رشد، حضور باکتری‌های مفید و یا لاکل غیربیماری‌زا و تامین نیازهای گیاه به مواد مغذی در طول دوره پرورش برای رسیدن به حد اکثر رشد و حذف متابولیت‌های ماهی است. در این ارتباط نقش گیاه در حذف متابولیت‌ها دارای اهمیت زیادی است و باید مواد مغذی مختلف (یون‌ها) در غلظتی باشند یا تولید شوند که هم سلامتی گیاه تضمین شود و هم رشد مطلوبی را در دوره پرورش نشان دهد. گیاه برای رشد بهینه به مکمل‌های معدنی کم مصرف و پر مصرف، مانند پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، سولفور، آهن، مس، روی، منگنز و مولیبدن در غلظت و به نسبت ویژه‌ای در آب نیاز دارد (Rafiee and Saad, 2005; Resh, 2012). تا به امروز توازن و میزان مواد مغذی مورد نیاز به استثنای نیتروژن، فسفر و پتاسیم (Wongkiew et al., 2017) صورت نگرفته است. با توجه به اینکه علم اکوپونیک یک زمینه تحقیقاتی جدید است و اثرات زیست محیطی کمتری نسبت به روش‌های کشاورزی معمول ایجاد می‌نماید، پس نیاز است پژوهش‌های بنیادین زیادی در ارتباط با ایجاد تعادل‌های زیستی در این سیستم‌های پرورشی صورت پذیرد تا کمبود اطلاعات در این زمینه جهت افزایش کارایی سیستم‌های پرورشی برای به کارگیری در هنگام طراحی رفع شود. به عبارت دیگر پیاده‌سازی این سیستم به طور عملی و مقایسه آن با سیستم‌های مدار بسته تولید ماهی و هیدروپونیک می‌تواند اطلاعات مفیدی را در این زمینه در اختیار تولیدکنندگان آبزیان و محصولات گلخانه‌ای قرار دهد (Francis et al., 2003; Rafiee and Saad, 2005). لازم به ذکر است که گزارش‌های کمی در مورد عملکرد تولید ماهی و پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک آبزیان در انواع سیستم‌های اکوپونیک ارایه شده است (Lennard, 2006; Motagh et al., 2019; Mohamadi et al., 2021) در این ارتباط لازم است پیش‌بینی شود که چه موقع هدایت الکتریکی آب به حد بهینه و مورد نیاز ماهی می‌رسد و چگونه می‌توان با افزایش هدایت الکتریکی آب، شرایط بهتری را برای رشد گیاه یا فتو سنتزکننده و جذب بیشتر ترکیبات نیتروژندار ایجاد کرد. این کار چندان ساده

نیست، زیرا ممکن است تأثیرات منفی بر پاسخ‌های بیوشیمایی و فیزیولوژیک در ماهی هدف داشته باشد. اندازه‌گیری مواد مغذی پرمصرف و کم‌مصرف در بخش‌های مختلف سیستم‌های کشت توأم ماهی و گیاه نشان می‌دهد که انباشتگی مواد مغذی با توجه به ماهیت آنها سبب از دسترس خارج شدن آنها در نتیجه رسوب در کف بستر پرورش می‌شود. همچنین باید بررسی شود که جمعیت میکروارگانیسم‌ها با حضور گیاه و مواد مغذی موجود در جیره چه تغییراتی دارد. این تغییرات چگونه و تا چه مقدار می‌تواند شرایط مطلوب ایجاد نماید تا حداقل جایگزینی آب لازم باشد و مصرف آب جهت برداشت رسوبات کاهش یابد. گرچه در پژوهش‌هایی نشان داده شده است، افزایش مواد معدنی مغذی در جیره تأثیر منفی بر سلامت ماهی ندارد و رشد ماهی در سطوح پایین مواد مغذی در جیره تحت تأثیر مواد معدنی نیست، و ضریب تبدیل غذا نیز با مصرف مواد معدنی کاهش می‌یابد (Motagh et al., 2019). ولی نیاز است که این سطوح با ایجاد تغییراتی در جیره غذایی مجدداً ارزیابی و بهینه سازی شوند. لذا، در این پژوهش نقش سطوح دیگری از مواد معدنی در جیره غذایی و اثرات آنها بر شاخص‌های رشد و ایمنی در ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. طرح آزمایش

جهت انجام این آزمایش، ابتدا بخش اکوپونیک شامل واحدهای آزمایش در گلخانه صنعتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان راه اندازی گردید. گلخانه دارای ابعاد ۱۰ متر عرض، ۲۰ متر طول و ۵ متر ارتفاع بود. برای چیدمان هر سیستم اکوپونیک مساحتی حدود ۸۰ متر مربع و حجم آب حدود ۳ متر مکعب در نظر گرفته شد. تعداد ۹ سیستم اکوپونیک هریک به عنوان یک واحد آزمایش در نظر گرفته شد. هر سیستم شامل دو بخش هیدروپونیک و بخش آبی‌پروری بود که با لوله پلی اتیلن جهت انتقال آب به هم متصل و به صورت مدار بسته جریان آب از بخش پرورش به بخش هیدروپونیک منتقل و مجدداً به بخش آبی‌پروری بازگردانده می‌شد. بخش آبی‌پروری از یک مخزن ۳۰۰ لیتری از جنس پلی اتیلن با حجم آبگیری ۲۵۰ لیتر، تشکیل شد. بخش هیدروپونیک شامل یک تراف به طول ۲ متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با حجم آبگیری تقریبی ۱۰۰ لیتر بود ولی در این بخش گیاه استقرار نیافت. دمای هوای گلخانه با استفاده از بخاری ترموستات‌دار دمنده که انرژی تامین کننده آن گاز شهری بود در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد در طول مدت آزمایش به صورت ثابت تنظیم گردید. در هر واحد آبی‌پروری یا آزمایش، تعداد ۲۰ قطعه ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) با متوسط وزنی $30 \pm 3/8$ گرم و در مجموع ۱۸۰ قطعه در واحدهای آزمایش معرفی گردید. روزانه ۴۰ گرم غذا به ماهی‌های هر واحد آزمایش غذا داده شد. غذای مصرفی تقسیم و دو بار در روز به ماهیان داده شد این مقدار غذا در طول دوره آزمایش ثابت بود و مقدار مواد مغذی لازم جهت اجزا مختلف سیستم را در طول آزمایش تامین نمود. مقدار غذای مصرفی در شروع آزمایش برابر ۶/۷ درصد وزن زیست توده بود و در پایان آزمایش (۷۰ روز) به حدود ۱/۴ درصد کاهش یافت. با توجه به هدف آزمایش، غذا با استفاده از اقلام غذایی حاوی مواد مغذی جهت تامین نیاز گیاه تنظیم گردید و برای در اختیار قرار دادن مواد مغذی بیشتر به گیاه بعد از دفع از طریق ماهی این کار صورت گرفت. بنابراین، تیمارهای آزمایش را جیره‌های غذایی حاوی مواد معدنی با غلظت متفاوت تشکیل دادند و شامل: تیمار شاهد (۱)، جیره حاوی ۵۰ درصد مواد معدنی (۲) و جیره حاوی ۱۰۰ درصد مواد معدنی به عنوان جیره پیشینه مواد معدنی در نظر گرفته شد. مواد معدنی مورد استفاده به صورت نمک‌های معدنی به غذا اضافه گردید. نمک‌ها دقیقاً وزن شدند و براساس روش پیشنهادی تهیه محلول هیدروپونیک و با توجه به حد انحلال آنها، محلول‌های مادری تهیه گردیدند. سپس محلول‌های ساخته شده به جیره پایه ساخته شده اضافه شد (جدول ۱) و جیره‌های تیمار تهیه شدند. برای تامین یون‌های لازم، نمک‌های معدنی مورد استفاده شامل سولفات منیزیم، نیتрат آمونیوم، دی پتاسیم فسفات، نیترات کلسیم، کربنات کلسیم، نیترات پتاسیم، اسید نیتریک (۶۵ درصد) و برای ریز مغذی‌ها آهن کلات، سولفات آهن، سولفات منگنز، سولفات مس، سولفات روی، مولیبدات آمونیوم و اسید بوریک استفاده شد. غذا از نظر مواد مغذی برای ماهی تیلاپیا فرموله شد که شامل ۳۰ درصد پروتئین، ۱۲ درصد چربی و ۳/۷ درصد فیبر خام بود. مواد اولیه غذا پس از آسیاب شدن با نسبت‌های مشخص مخلوط و فرموله شد (بصورت خشک) و بعد از آن با افزودن ملاس و همچنین محلول نمکی و آب مقطر به

طور کاملاً یکسانی مخلوط شد. مخلوط به دست آمده، با داشتن رطوبت کافی با چرخ گوشت ۴۲ پلید شد و ذرات غذایی با قطر ۲/۵ و طول ۳ میلی‌متر فراهم آمد. غذا در برابر جریان ملایم هوا بدون تماس با نور آفتاب خشک گردید و جهت رسیدن به میزان چربی جیره و همچنین غیرقابل حل شدن مواد معدنی و وارد نشدن غذا به آب با روغن ذرت روغن‌پاشی و پوشیده شد. پس از جذب روغن، غذا جمع‌آوری گردید و برای جلوگیری از فساد در یخچال نگهداری شد. محتوای ریزمغذی آب سیستم و همچنین جیره‌های ساخته شده اندازه‌گیری شد (Motagh et al., 2019).

جدول ۱- اجزا و ترکیبات بیو-شیمیایی تشکیل دهنده جیره پایه

اقلام غذایی	میزان استفاده %	پروتئین %	انرژی Kcal/Kg	خاکستر %	چربی %	کربوهیدرات %	فیبر %
پودر ماهی	۲۷	۱۵/۹۳	۹۳۴	۵/۹۱	۱/۸۳	۳/۳۲	۰/۲۱
سویا	۱۳	۵/۸۲	۴۵۵	۰/۸۲	۰/۷۲	۵/۶۳	۰/۸۶
ذرت	۱۵	۱/۰۲	۴۴۴	۰/۲	۰/۵۲	۱۰/۲۵	۰/۲۸
گندم	۱۵	۲/۰۲	۵۴۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۱۲/۴۳	۰/۴۳
رش برنج	۱۵	۲/۱۶	۵۴۴	۲/۳۲	۲/۰۹	۹/۴	۲/۱۸
پودر میگو	۳	۱/۴	۱۲۸	۱/۰۸	۰/۱۳	۱/۳۸	۰/۵۱
مخمر	۲	۰/۸۵	۷۰	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۰۶
مالاس	۳	۰/۱۸	۸۳	۰/۳۷	۰/۰۲	۲/۴۱	۰/۱۹
نمک	۲	۰	۰	۱/۸	۰	۰/۲	۰
روغن	۳	۰	۹۰	۰/۰۶	۲/۸۵	۰/۰۹	۰/۰۴
پودر یونجه	۱	۰/۳۷	۴۱	۰/۲۱	۰/۰۵	۱/۳۷	۰/۷
متیونین	۰/۵	۰/۴۹	۱۹	۰/۰۰۴	۰	۰/۰۰۶	۰
لیزین	۰/۵	۰/۴۹	۱۸	۰/۰۰۴	۰	۰/۰۰۶	۰
	۱۰۰	۳۰/۷	۳۳۶۵	۱۳/۲۱	۸/۵	۴۷/۵۲	۵/۵

مواد معدنی موجود در جیره‌ها و ترکیب آنها در جدول ۲ ارائه شده است. بنابراین جیره اول به عنوان جیره پایه یا شاهد با پروفیل مواد معدنی ذکر شده در جدول ۱ بود. برای تهیه تیمارهای دوم و سوم طبق کمبود مواد معدنی تا رسیدن به نیاز گیاه (محلول کوپر) البته پس از مصرف یک ماه از جیره، مکمل معدنی توسط ماهی، به جیره پایه اضافه شد، به این صورت که به تیمارهای دوم و سوم به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ درصد مواد معدنی مورد نیاز گیاه طبق محلول کوپر به جیره اضافه شد.

جدول ۲- سطوح مختلف مواد معدنی مصرفی در جیره‌های مورد استفاده در این آزمایش

عناصر معدنی	جیره ۱	جیره ۲	جیره ۳
نیتروژن	۰	۳۱	۶۲
پتاسیم	۰	۱۰۱/۵	۲۰۳
کلسیم	۰	۱۶/۹۵	۳۳/۹
فسفر	۰	۱۰	۲۰
گوگرد	۰	۳۹/۹	۷۹/۸
منیزیم	۰	۳/۷	۷/۴
منگنز	۰	۰/۲	۰/۴
روی	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۲۴
مس	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲
آهن	۰	۱/۰۰۵	۲/۰۱

۲-۲. کیفیت آب

منبع آب مصرفی، آب چاه موحود در دانشگاه صنعتی اصفهان بود و خصوصیات کیفی آن در جدول ۳ آمده است. دمای آب با اقرار دادن یک بخاری الکتریکی ترموستات دار در آب، در حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد و pH در طول آزمایش در محدوده ۷-۸ قرار داشت. دما، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، میزان جامدات محلول در آب (TDS)، pH، مجموع نیتروژن آمونیاکی (TAN)، نیترات، نیتريت و آمونیوم سه بار در هفته اندازه‌گیری گردید. سختی کل، مجموع جامدات کل غیر محلول (TSS) و محلول (TDS)، هر هفته اندازه‌گیری شد (AHPA, 2012). نمونه‌برداری و اندازه‌گیری از خروجی بخش هیدروپونیک که در واقع ورودی بخش پرورش ماهی است در صبح و قبل از غذاهای و تمیز نمودن پمپ‌ها انجام شد. دما، EC و TDS با دستگاه EC متر Jenway، اکسیژن محلول با دستگاه اکسیژن متر WTW مدل Oxi325i، مجموع نیتروژن آمونیاکی را به روش کج‌دال، نیترات، نیتريت با دستگاه اسپکتروفتومتر Jenway با استفاده از روش‌های استاندارد و آمونیوم با دستگاه یون آنالایزر Jenway مدل ۳۰۱۰ اندازه‌گیری شد.

جدول ۳- میانگین خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آب در شروع آزمایش

تیما	pH	هدایت الکتریکی μS/cm	سختی کل mg/l CaCO ₃	جامدات محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	جامدات غیر محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	نیتروژن کل (میلی‌گرم بر لیتر)	آمونیم (میلی‌گرم بر لیتر)	نیتريت (میلی‌گرم بر لیتر)	نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)
شروع	۷/۷۱	۶۴۸	۱۹۸	۴۱۴	۴۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۶/۳۸

۲-۳. مصرف انرژی

بخش‌های مختلف سیستم مانند پمپ آب که دارای مصرف انرژی بود، میزان مصرف انرژی آنها محاسبه گردید و با توجه به نوع انرژی مصرفی و میزان توان هر دستگاه این مقدار در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- وسایل الکتریکی مورد استفاده در سیستم و میزان مصرف انرژی آنها

نوع وسیله	توان مصرفی W	میزان کارکرد روزانه W	مصرف روزانه W	تعداد وسیله	مصرف کل W	درصد مصرف
پمپ آب	۴۰	۲۴	۹۶۰	۱۰	۹۶۰۰	۲۰
هواده مرکزی	۱۰۰	۲۴	۲۴۰۰	۱	۲۴۰۰	۵
بخاری اکواریوم	۳۰۰	۱۲	۳۶۰۰	۱۰	۳۶۰۰۰	۷۵

۲-۴. نمونه برداری از ماهیان و ارزیابی شاخص‌های رشد

در این آزمایش بررسی جیره دارای مکمل مواد معدنی و بررسی عملکرد فرآیند تجزیه، بازچرخ و تجمع این مواد و تاثیر آنها بر سلامت، رشد و بازماندگی ماهی بررسی شد. به این صورت که تمامی اجزا شرح داده شده در مورد راه‌اندازی سیستم اکوایونیک به غیر از گیاه در بخش هیدروپونیک وجود داشت. بنابراین ارزیابی تولید گیاه در این آزمایش مطرح نبود. افزایش وزن ماهی دو بار در طول آزمایش با میانگین‌گیری از ۱۰ درصد جمعیت ماهیان ثبت گردید و زیست توده کل ماهی‌ها در ابتدا و انتهای آزمایش با توزین کل ماهی به دست آمد. عملکرد شاخص‌های رشد ماهی با تغییرات زیست توده، ضریب تبدیل غذایی، شاخص وضعیت، درصد افزایش رشد ویژه ماهی به دست آمد. ابتدا تمام ماهیان هر مخزن برداشت شدند و به مدت چند دقیقه در محلول ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پودر گل میخک قرار گرفتند و پس از بیهوش‌سازی، طول و وزن ماهیان اندازه‌گیری شد و عملکرد رشد و بقا توسط روابط زیر محاسبه گردید:

میزان افزایش وزن به دست آمده (کیلوگرم) / میزان غذای خورده شده (کیلوگرم) = FCR (ضریب تبدیل غذایی)

$$100 \text{ (cm)} \text{ }^3 \text{ } / \text{WF (g)} = \text{CF (CF)} \text{ ضریب چاقی}$$

$$\text{WI} - \text{WF (g)} = \text{BW (g)} \text{ افزایش وزن بدن}$$

^۱- Condition Factor

$(BWI) = [(WF_{(g)} - WI_{(g)})] / WI \times 100$ درصد افزایش وزن بدن

$(SGR) = [(\ln WF_{(g)} - \ln WI_{(g)}) \times 100] / t$ نرخ رشد ویژه

در روابط بالا L طول ماهی، WI وزن اولیه، WF وزن نهایی و t دوره پرورش به روز می‌باشند.

۵-۲. ارزیابی میکروفلور آب و روده در ماهی

برای بررسی جمعیت باکتری‌ها در روده، از هر تیمار ۳ قطعه ماهی برداشت و با ضربه فیزیکی به سر کشته و سپس سطح بدن ماهی با الکل ۷۰ درصد ضد عفونی و با آب اتوکلاو شده شستشو شد. سپس در شرایط کاملاً استریل شکم ماهی باز و نمونه‌های روده پس از تخلیه کامل محتویات، به اندازه یک گرم از قسمت انتهایی بافت روده توزین و درون یک هاون چینی استریل هموژن و از آن رقت‌های متوالی ۱-۱۰ تا ۶-۱۰ تهیه گردید (Karim, 2008). یک میلی‌لیتر از هر رقت را با سمپلر در محیط کشت نوترینت آگار به صورت سطحی کشت داده و به مدت ۲۴ ساعت داخل انکوباتور در دمای آب محیط پرورش (۲۶ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. به منظور شمارش باکتری‌های آب محیط پرورش یک میلی‌لیتر از آب محیط پرورش ماهی برای رقیق سازی مورد استفاده قرار گرفت و سایر مراحل مشابه به روش قبل انجام گرفت. پلیت‌هایی که دارای ۳۰-۳۰۰ کلونی بودند شمارش شدند و تعداد کلونی‌ها در عکس ضریب رقت ضرب و تعداد تقریبی باکتری‌های موجود در یک گرم بافت روده ماهی (CFU /g یا Colony Forming Unit) و در یک میلی‌لیتر آب (CFU /ml) محاسبه گردید (Karim, 2008).

۶-۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. سپس جهت تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به متغیرهای مورد بررسی از تجزیه واریانس یک طرفه (one-way ANOVA) و در ادامه برای تعیین سطح اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون چند متغیره دانکن استفاده شد. تمامی تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۱۹ نرم افزار SPSS انجام پذیرفت. تفاوت‌های آماری نیز در سطح ۰/۰۵ گزارش شده است. میانگین‌ها همراه با انحراف معیار یا خطای استاندارد (انحراف معیار $\pm$ میانگین) بیان شده است.

۳. نتایج

۱-۳. تعیین شاخص‌های رشد

استفاده از سطوح مختلف مواد معدنی در جیره غذایی اثر معنی‌داری ($p < 0/05$) بر شاخص‌های وزن نهایی، ضریب تبدیل غذایی، افزایش وزن، شاخص وضعیت و رشد ویژه در مقایسه با تیمار شاهد در طول دوره آزمایش داشت (جدول ۵). بهترین نتیجه در بهبود ضریب تبدیل غذایی، افزایش وزن و شاخص رشد ویژه مربوط به تیمارهای ۲ و ۳ بود. استفاده از مواد مغذی تاثیر معنی‌دار ($p < 0/05$) بر کاهش ضریب تبدیل داشت و بالاترین ضریب تبدیل در تیمار شاهد مشاهده شد. با افزایش سطح مواد مغذی جیره، شاخص وضعیت افزایش یافت و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد ثبت شد. جیره ۳ بیشترین شاخص وضعیت را نشان داد ($p < 0/05$). بیشترین میزان شاخص وزن نهایی در جیره ۲ و کمترین مقدار آن در جیره شاهد به دست آمد ($p < 0/05$) ولی تفاوت معنی داری با جیره ۳ نداشت.

جدول ۵- میانگین (انحراف معیار $\pm$ میانگین) شاخص‌های رشد ماهی در بین تیمارهای مختلف در پایان دوره آزمایش

جیره	وزن اولیه	وزن نهایی	ضریب تبدیل غذایی	شاخص وضعیت	رشد ویژه
۱	۵۲/۶ $\pm$ ۲/۶	۱۲۱/۵ $\pm$ ۴/۱ ^a	۱/۴۶ $\pm$ ۰/۱ ^a	۱/۹۱ $\pm$ ۰/۱۸ ^a	۱/۳۲ $\pm$ ۰/۳ ^a
۲	۵۲/۳ $\pm$ ۳/۰	۱۴۵/۶ $\pm$ ۶/۱ ^b	۱/۲۹ $\pm$ ۰/۲ ^a	۲/۱۷ $\pm$ ۰/۷ ^{ab}	۱/۴۶ $\pm$ ۰/۳ ^{ab}
۳	۵۲/۶ $\pm$ ۲/۳	۱۴۴/۱ $\pm$ ۶/۱ ^b	۱/۳۰ $\pm$ ۰/۲ ^a	۲/۴۴ $\pm$ ۰/۴ ^c	۱/۴۸ $\pm$ ۰/۳ ^{ab}

حروف غیرمشترک در بالای اعداد در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار است ($p < 0/05$).

۲-۳. تاثیر تیمارهای آزمایشی بر کیفیت آب در سیستم

جیره‌های مختلف تاثیر معنی‌دار بر تغییر pH آب داشت (جدول ۶). بیشترین هدایت الکتریکی در تیمار ۲ با ۱۰۰ درصد مکمل مواد معدنی دیده شد و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد ($p < 0.05$). سختی کل و مجموع جامدات محلول در تیمار شاهد به طور معنی‌دار کمترین مقدار را داشت. سختی کل در تیمار ۲ بیشترین مقدار بود و اختلاف معنی‌دار در مقایسه با تیمارهای دیگر نشان داد ($p < 0.05$). مجموع جامدات غیر محلول در تیمار ۳ کمترین مقدار و بیشترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد ($p < 0.05$).

جدول ۶- میانگین (میانگین $\pm$ انحراف معیا) خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در پایان آزمایش.

تیمار	دما °C	pH	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر)	اکسیژن محلول (میلی گرم بر لیتر)	سختی کل (میلی گرم بر لیتر)	قلیائیت (میلی گرم بر لیتر)	TDS (میلی گرم بر لیتر)	TSS (میلی گرم بر لیتر)
شروع	۲۵/۱	7.48 ± 0.1^a	۵۳۴	۵/۳	۱۹۸	۱۳۱	۳۴۱	-
۱	۲۵/۹	8.05 ± 0.2^b	1232 ± 59^a	۵/۹	$273/3 \pm 7/1^a$	$212 \pm 6/1^a$	$616 \pm 11/7^a$	$384 \pm 2/7^b$
۲	۲۶/۳	7.94 ± 0.2^b	1980 ± 4^b	۵/۷	$441/3 \pm 3/5^c$	$382 \pm 5/8^e$	$968 \pm 4/5^c$	$208 \pm 9/6^{ab}$
۳	۲۵/۹	7.91 ± 0.3^b	1732 ± 32^{ab}	۵/۶	$416 \pm 3/8^c$	$284 \pm 6/9^d$	$859 \pm 3/5^{bc}$	$98 \pm 1/9^a$

- حروف غیرمشترک در بالای اعداد در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$).

۳-۳. تاثیر تیمارهای آزمایشی بر میکروفلور آب و روده

همانطور که داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد. در جیره ۲ بیشترین مجموع کلونی‌های باکتری در آب و روده شمارش شد که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بود ($p < 0.05$).

جدول ۷- میانگین (میانگین $\pm$ sd) باکتری‌های شمارش شده در آب و روده در تیمارهای پرورشی در پایان آزمایش

تیمار	مجموع کلونی‌های باکتری شمارش شده از آب (CFU/ml)	مجموع کلونی‌های باکتری شمارش شده در روده (CFU/g)
۱	$3/11 \times 10.5 \pm 0/1 \times 10.2^a$	$4/11 \times 10.5 \pm 4/4 \times 10.2^a$
۲	$1/7 \times 10.6 \pm 4/3 \times 10.4^b$	$1/95 \times 10.6 \pm 4/3 \times 10.4^b$
۳	$9/40 \times 10.5 \pm 2/1 \times 10.2^b$	$3/86 \times 10.5 \pm 1/8 \times 10.2^a$

حروف غیرمشترک در بالای اعداد در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$).

میزان کل باکتری‌های موجود در روده ماهیان در تیمارهای مختلف در جدول ۸ آورده شده است. با توجه به داده‌های این جدول افزودن مکمل‌های حاوی مواد معدنی به جیره غذایی مجموع باکتری‌های موجود در روده را به طور کاملاً معنی‌داری کاهش داد و در سطح ۵۰ درصد کاهش بیشتری نسبت به شاهد نشان داد ($p < 0.05$). افزایش مواد معدنی در جیره در سطح ۵۰ درصد تاثیر منفی بر تعداد باکتری‌های دستگاه گوارش ماهی داشت. نتایج حاصل از کشت نمونه‌های برداشته‌شده از روده ماهیانی که سطوح مختلف مواد مغذی را دریافت نموده‌اند در جداول ۷ و ۸ نشان داده شده است و باکتری‌های مختلفی در روده ماهی شناسایی شدند.

جدول ۸- تنوع باکتریایی در روده ماهی در سطوح مختلف مواد معدنی

نوع باکتری	گونه
کوکسی‌های گرم مثبت	آئروموناس هیدروفیلا، اشرشیاکولی، ویبریو، پلزیوموناس، فلاوباکتریوم، پاستورلا، گزنورابدوس، فتورابدوس
کوکسی‌های گرم منفی	استافیلوکوکوس اورئوس
باسیل‌های گرم مثبت	باسیلوس سرئوس، باسیلوس سوبتیلیس

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش نشان داده شد که افزایش میزان مواد معدنی در جیره غذایی ماهی تیلاپیا، سبب کاهش میزان رشد نمی‌شود. افزوده شدن مواد معدنی پر مصرف مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نقش ساختاری در رشد ماهی و سایر جانوران دارند و مواد معدنی کم مصرف مانند آهن، مس، روی و منگنز در عملکرد آنزیم‌های مختلف دخالت دارند و در سطح کمینه سبب افزایش رشد می‌شوند. در حالیکه اضافه شدن این مواد در حد بیشینه به دلیل ایجاد سمیت در غلظت زیاد ممکن است ایجاد استرس کند و رشد ماهی را محدود کند (Rafiee and Saad, 2005; Rafiee and Narimani, 2023). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ماهیان در تیمار شاهد با میانگین وزنی $4/1 \pm 121/5$ با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمارهای حاوی مواد معدنی کمترین رشد را داشتند. بین سطوح مواد معدنی یعنی در جیره ۲ و ۳ اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. به عبارت دیگر از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مواد معدنی تا سطح بالایی (در حد غلظت محلول هیدروپونیک، بدون وجود سطح غلظت نیتروژن) تاثیر منفی بر رشد ماهی تیلاپیا نیل ندارد و ماهیان می‌توانند تا این سطح مواد معدنی را در جیره غذایی خود در فرایندهای فیزیولوژیک هضم، جذب و تحمل نمایند (Motagh et al., 2019). تنظیم متوسط دمای آب در حد ۲۶ درجه سانتی‌گراد در یک دامنه بین ۲۵/۹ تا ۲۶/۱ شرایط مناسبی را برای رشد ماهی تیلاپیا نیز فراهم کرد. در پایان آزمایش pH در تیمار ۱ نسبت به شروع آزمایش افزایش بیشتری را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد، در شروع آزمایش pH حدود ۷/۸ بود و با ادامه آزمایش به میانگین ۷/۹ کاهش یافت. به نظر می‌رسد که در طول آزمایش با اضافه شدن روزانه غذا به مخزن پرورش ماهی و افزایش بیشتر ترشح آمونیاک توسط ماهی و نیز عدم شکل‌گیری جمعیت بارز باکتری‌های نیتریفیکانت pH آب افزایش یابد. به تدریج با رشد و تجمع جمعیت باکتری‌های نیتروфіکانت طی فرآیند نیتروфіکاسیون آمونیوم به نیتريت و نیترات تبدیل گردید و سبب آزاد شدن یون H^+ شود (Schreier, 2009). این پدیده اسیدی شدن آب را باعث می‌شود و اصلی‌ترین دلیل کاهش قلیائیت محسوب می‌شود. در پژوهش‌های مختلف تغییرات شدید pH مبنی بر کاهش آن به خصوص در سیستم‌های مدار بسته مشاهده شده است، این آزمایش نشان داد که افزودن مواد معدنی در جیره علاوه بر تاثیر بر بهبود شاخص‌های رشد ماهی می‌تواند از اسیدی شدن آب نیز جلوگیری نماید. کاهش شدید pH و رسیدن به مقادیری تا حد ۴/۷ در سیستم‌های مدار بسته با حداقل مصرف آب و اکوپونیک ثبت شده است (Rafiee and Saad, 2006). در طول آزمایش EC یا هدایت الکتریکی آب، با یک روند صعودی در تمامی تیمارها افزایش یافت و از شروع آزمایش که ۵۳۴ اندازه‌گیری شد به میانگین حدود ۱۶۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در بین تیمارها رسید. با افزایش EC، مواد مغذی کم مصرف و پر مصرف افزایش یافت که نشان‌دهنده تجمع مواد غذایی در آب در طول آزمایش بود. و ورود غذا و دفع متابولیت‌های تولیدی توسط ماهی این افزایش ایجاد شد. این نتایج نشان می‌دهد که در بین مواد مغذی نیترات و کلسیم سریع‌تر و بیشتر تجمع می‌یابند و سبب افزایش EC می‌شوند. به دلیل عدم جایگزینی آب در طول آزمایش هیچ ماده مغذی از سیستم گردش خارج نشد، بنابراین کاهش EC به دلیل تعویض و جایگزینی آب، که سبب رقیق شدن آن می‌شود، وجود نداشت. هدایت الکتریکی مقدار کل مواد مغذی معدنی محلول را در سیستم نشان می‌دهد. این موضوع نشان داد که با افزودن مواد مغذی به جیره غذایی می‌توان مواد مغذی را در محیط پرورش ماهی به حد مناسب برای رشد و محصول‌دهی گیاهان در تولید به روش هیدروپونیک رساند. در این تحقیق ثابت شد که مواد معدنی مختلف اثر معنی‌داری بر جمعیت باکتری‌های آب محیط پرورش و روده ماهی نسبت به گروه شاهد دارد و با افزایش مواد معدنی در جیره و میزان غذاهای، تعداد باکتری‌ها در آب محیط پرورش تغییر می‌کند. مواد معدنی آزاد شده به‌عنوان منبع غذایی به سرعت توسط باکتری‌ها مصرف می‌شوند و جمعیت آنها را افزایش می‌دهند. تجزیه مواد دفعی مقدار قابل توجهی از مواد مغذی را به عنوان یک ماده اولیه برای رشد باکتری‌ها مورد استفاده در کاتابولیسم آمونیاک فراهم می‌کند. این امر به نوبه خود سبب بهبود کیفیت آب نیز می‌شود. تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تعداد باکتری‌های موجود در روده ماهیان، در جیره‌های حاوی مواد معدنی با شاهد تفاوت معنی‌داری دارد. افزایش باکتری در آب می‌تواند به عنوان یک منبع ورود به بدن ماهی نیز باشد (Anand et al., 2013). تغذیه ماهیان از جیره‌های حاوی مواد معدنی باعث تغییر در تعداد باکتری‌های روده شد و با افزایش مواد معدنی تعداد باکتری در روده کاهش یافت. گزارش شده است که نوع جیره غذایی بر میکروفلور روده ماهیان آب شیرین و شور پرورشی تاثیر دارد. میزان حضور باکتری‌ها در روده ماهی بازتابی از محل زندگی ماهی و نوع غذای مصرفی آن است (Ringo et al., 1997). با توجه به نتایج حاصل با افزایش تعداد باکتری در محیط پرورش، تعداد باکتری‌ها در روده نیز افزایش

پیدا می‌کنند (De Schryver, 2008) که نشان دهنده وجود همکاری نزدیک بین میکروبیوتای روده میزبان و میکروبیوتای محیط زندگی موجودات آبی است. در برخی پژوهش‌ها به شباهت زیاد بین جمعیت باکتری‌های موجود در لوله گوارش، آب و رسوبات استخر در تیلایای پرورشی اشاره شده است (Delaide et al., 2015). نشان داده شده است که افزایش جمعیت میکروبی در سیستم به دلیل رقابت بر سر غذا و فضا در آب و لوله گوارش مانع ازدیاد پاتوژن‌ها می‌شود (Crab et al., 2010). گرچه، افزایش مواد معدنی در جیره و آب محیط پرورش و تاثیر آنها بر کنترل پاتوژن‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است و بایستی در دستور کار پژوهشگران قرار گیرد. ولی نشان داده شده است که افزایش سلول‌های جامی باعث افزایش تولید موکوس در روده ماهی می‌شود و تولید موکوس یک مکانیسم مهم برای جلوگیری از ورود پاتوژن‌ها از طریق روده است (Watanabe, 2001). علاوه بر این مخاط روده دارای اثرات ضد باکتریایی و محافظ در برابر مواد سمی است و به انتقال مواد غذایی از لومن به سلول‌های اپیتلیالی روده کمک می‌کند (Motagh et al., 2019). نشان داده شده است که تجمع و تماس مستقیم نمک جیره با دستگاه گوارش سبب تغییر در مورفولوژی روده می‌گردد. آبشش و لوله گوارش اندام‌هایی هستند که در تماس با محیط خارج، نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بدن دارند (Waldvogel et al., 2014). جذب فعال یون‌های خورده شده توسط دستگاه گوارش و دفع نمک از طریق آبشش‌ها صورت می‌گیرد (Li et al., 2014). افزایش نمک مورفولوژی روده را تغییر می‌دهد. این تغییرات شامل افزایش ضخامت لایه عضلانی و قطر روده به دلیل التهاب در ناحیه لامینا پروپریا است و افزایش تعداد سلول‌های مترشح موکوس و لوکوسیت‌ها را به همراه دارد (Motagh et al., 2019). این داده‌ها نشان می‌دهد که مکانیزم پیچیده‌ای در ایجاد تغییرات ظاهری و عملکرد روده و در جذب و دفع مواد وجود دارد و این مکانیزم‌ها با توجه به نوع گونه پرورشی، نوع غذای مصرفی و میزان رها سازی مواد مغذی در آب و با شکل گیری باکتری‌های مختلف در آب تغییر می‌کنند که با شناخت عملکرد هر عامل، امکان بهینه سازی و معرفی سیستم‌های پایدار پرورش ماهی و دوستار محیط زیست و پرورش ماهی با دیدگاه اکوسیستمی وجود دارد. با این حال رسیدن به کیفیت مطلوب برای بهینه سازی محیط پرورش ماهی در چنین سیستمی که دارای چرخش زیاد آب است، هنوز به وضوح مشخص نشده و نیاز به توجه ویژه در ایجاد تعادل بین عملکرد ماهی، گیاه و باکتری‌ها و تنظیم مواد مغذی در محیط پرورش دارد (Motagh et al., 2019). سلامتی گیاه و رشد مناسب آن نیز نیاز به حضور مکمل‌های کم مصرف و پر مصرف مواد مغذی مانند پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، سولفور، آهن، بور، مس، روی، منگنز و مولیبدن به نسبت و غلظت ویژه در آب دارد. تا به امروز توازن و میزان غلظت مواد مغذی به استثنای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، به طور کامل در سیستم اکواپونیک مورد مطالعه قرار نگرفته است در حالیکه این اطلاعات برای طراحی، شکل دهی و فرمول بندی بهتر این نوع سیستم‌های پرورشی یا کشت توام ماهی و گیاه لازم اند، بنابراین نیاز است پژوهش‌های گسترده تری در بهینه سازی این نوع روش‌های پرورشی صورت پذیرد.

۴-۱. نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، افزایش مواد معدنی در جیره غذایی تاثیر مثبتی بر شاخص‌های رشد ماهی تیلایای نیل داشت. افزایش در میکروفلور آب نیز با افزایش مواد معدنی جیره مشاهده شد، ولی تغییر در تعداد فلور باکتریایی پایدار نبود و از یک روند یکسانی تبعیت نکرد. با افزایش مواد معدنی در جیره تعداد باسیلوس‌ها هم در آب و هم در دستگاه گوارش افزایش یافت. افزایش مواد معدنی در جیره و مصرف آن توسط ماهی، باعث افزایش مواد معدنی و افزایش هدایت الکتریکی آب شد و مقایسه مقدار افزایش هدایت الکتریکی آب با محیط کشت گیاه به روش آبکشت یا هیدرو پونیک، نشان دهنده تحمل ماهی تیلایا به افزایش هدایت الکتریکی آب نیز بود. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان جیره غذایی حاوی بیشترین مواد معدنی را به عنوان یک جیره اختصاصی برای پرورش ماهی تیلایا در کشت اکواپونیک معرفی کرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی صمیمانه خود را از کلیه اعضای هیئت علمی و کارشناسان دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و دانشگاه صنعتی اصفهان اعلام می‌دارد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- Ali, A., 2000. Probiotics in the fish farming. Evaluation of a bacterial mixture. PhD thesis Swedish University of Agriculture Sciences. Umea, Sweden. IP Address: 204.18.57.34.
- APHA, 2012. Harikumar,P.S., Aravind,A., Vasudevan..S., Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 22nd Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Anand, P.S.S., Kumar, S., Panigrahi, A., Ghoshal, T.K., Dayal, J.S., Biswas, G., Sundaray, J.K., De, D., Raja, R.A., Deo, A.D., Pillai, S.M. and Ravichandran, P., 2013. Effects of C: N ratio and substrate integration on periphyton biomass, microbial dynamics and growth of *Penaeus monodon* juveniles. *Aquaculture International*. 21(-), 511–524. DOI:10.1111/are.13276.
- Crab, R., 2010. Bioflocs technology: an integrated system for the removal of nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture. PhD thesis, Ghent University. pp: 178.
- Cooper, A. 1979. The ABC of NFT Grower book. PP181. London,
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y., 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquaculture Engineering*, 40(-), 105–112. 10.1016/j.aquaeng.2008.12.004
- Delaide, B., Goddek, S., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R., 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustain*. 7(-), 4199–4224. DOI:10.3390/su7044199
- De Schryver, P., Verstraete, W., 2009. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*, 100 (3),1162–1167. 10.1016/j.biortech.2008.08.043
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., Poincelot, R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(-), 99–118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10
- Karim, M., Jeong, S.Y., Yoon, S.J., Cho, S.J., Kim, Y.H., Kim,M.J., Ryu, E.Y., Lee, S.J., 2008. Aerobic denitrification of *Pseudomonas putida* AD-21 at different C/N ratios. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 106(-), 498–502. DOI: 10.1263/jbb.106.498
- Lennard, W.A., Leonard, B.V., 2006. A comparison of three different hydroponic subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*, 4 (6), 539-550. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-006-9053-2>
- Love, D.C., Fry, J.P.; Genello, L.; Hill, E.S.; Frederick, J.A.; Li, X.; Semmens, K., 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS One*. No. 9 (7), e102662.
- Mottaghi, E., Rafiee, Gh., Mirvaghefi, AR., Mojazi Amiri, B., Ebrahimi Dorcheh, E., 2019, Effects of different levels of inorganic supplementation in hydroponic system on growth and hemato-immunological responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Journal of Aquatic Animal Nutrition (In Persian)* 5 (2), 115-130. 10.22124/JANB.2020.16602.1088
- Mohammadi,G., Rafiee,GH., Tavabe., Kh., Abdel-Latif, HMR., Dawood, MAO, 2021. The enrichment of diet with beneficial bacteria (single-or multi-strain) in biofloc system enhanced the water quality, growth performance, immune responses, and disease, *Aquaculture* 539, 736640. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102471>
- Pulvenis, J. F., 2016. Fisheries and Aquaculture topics. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). Topics Fact Sheets. Fisheries and Aquaculture Department; Rome.
- Rafiee, Gh., Narimani Rad, F., 2023. Assessment of three Different Recirculating Tilapia Culture Systems Using Biological Filters and Mineral Nutrient, *Aquatic Animals Nutrition*, 9(1), 63-75. DOI: 10.22124/janb.2023.24365.1203.

- Rafiee, Gh., Saad, Ch. Roos., 2006. The effect of natural zeolite (Clinoptilolite) on Aquaponics production of red tilapia (*Oreochromis* sp.) and Lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia), and improvement of water quality. *Iranian Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 8(4), 313-322. 20.1001.1.16807073.2006.8.4.7.1
- Rafiee, Gh., Saad, Ch. Roos., 2005. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*. 244(1-4), 109-118. DOI: 10.1016/j.aquaculture. 2004.10.029
- Rakocy, J. E., 2012. Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. In; Wiley-Blackwell. pp: 344–386.
- Resh, H. M., 2012. Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower; Boca Raton, FL: CRC Press: Boca Raton, FL.
- Ringø, E., Strom, E., 1994. Microflora of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. L. gastrointestinal microflora of free-living fish, and effect of diet and salinity on the intestinal microflora. *Aquaculture and Fisheries Management*. 25(-), 623-629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1994.tb00726.x>Digital Object Identifier (DOI)
- Schreier, H. J., Mirzoyan, N., Saito, K. Microbial diversity of biological filters in recirculating aquaculture systems. *Curr. Opin. Biotechnology*. **2010**, 21, 318–325. DOI: 10.1016/j.copbio.2010.03.011
- Sonneveld, C., Voogt, W., 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Netherlands. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-2532-6>
- Yildiz, H. Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domnguez, D., Parisi, G., 2017. Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces-A review. *Water* (Switzerland), 9(-), 1–17; <https://doi.org/10.3390/w9010013>
- Waldvogel-Abramowska s. Gérard Waeberb Christoph Gassnerc Andreas Buserd Beat M. Freyc Bernard Favrate Jean-Daniel Tissota. *Transfus Med Hemother* 2014. Physiology of Iron Metabolism. 41:000–000 DOI: 10.1159/
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., Khana S. K., 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems.