University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 9, No. 1, 2023, pages: 63-75
DOI: 10.22124/janb.2023.24365.1203

Assessment of three Different Recirculating Tilapia Culture Systems Using Biological Filters and Mineral Nutrient

Gholamreza Rafiee*, Fariborz Narimani Rad
Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran

Received 04 February 2023	Revised 03 April 2023	Accepted 04 April 2023

KEYWORDS

Biofloc Lemna
Tilapia
Bacterial biofilter
Water quality
Recirculating system

ABSTRACT

In this study, using different biological factors, we tried to remove the fish metabolites and improve the water quality in the culture system. Therefore, operation of some recirculating system were investigated during a 2-month culture period. The biological factors were bacterial (aerobic and none aerobic bacteria, in two separate departments), *Lemnea* plant and hetrotrophic bacteria for formation of biofloc with adjusting the ratio of C/N. The treatments included 1- a system consisted of the plant (P), 2- a system comprised the plant and biofilter (PB), a system containing of the plant, biofilter and biofloc (FBP) and finally, a system without biological compartment just physical section as control. Twenty tilapia fingerlings (10 ± 0.5 g) were introduced in each experimental unit. The results indicated that efficiency of FBP system based on food conversion ratio, specific growth rate and survival was significantly higher than other culture systems ($p<0.05$). The fish were died at the 23th day of initiation of the study in the control system. The rate of *Lemnea* plant in the treatment P was significantly higher than in other treatments ($p<0.05$). The concentrations of Ca, P, nitrate, ammonia, nitrite and pH were significantly different among treatments. So that, these minerals in treatment FBP were lower than those in the other treatments at the end of the study. The results indicated that using different biological methods (together) in a tilapia culture system could be more efficient in the removal of fish metabolites, in addition to the improvement of fish growth and plant in an integrated fish and plant culture system.

*Corresponding author: ghrafiee@ut.ac.ir

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال نهم، شماره یکم، فروردین ۱۴۰۲، صفحات ۷۵-۶۳

DOI: 10.22124/janb.2023.24365.1203

"مقاله پژوهشی"

بررسی عملکرد سه نوع سازگان مدار بسته پرورش ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) مبتنی بر به‌کارگیری زیست‌پالاهای مختلف و مصرف مواد مغذی

غلامرضا رفیعی*، فریبرز نریمانی زاد

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

چکیده

در این پژوهش با به‌کارگیری عوامل زیستی مختلف، برای بهینه‌سازی کیفیت آب در سازگان پرورشی مداربسته تولید ماهی، عملکرد چند سازگان پرورش ماهی در یک دوره دو ماهه ارزیابی شد. عوامل زیستی مورد استفاده را پالایش‌گر باکتریایی با دو بخش مجزا (هوازی و بی‌هوازی)، گیاه عدسک آبی برای گیاه‌پالایی و به‌کارگیری باکتری‌های هتروترف با تنظیم نسبت کربن به نیتروژن (بیوفلاک) تشکیل دادند. بنابراین، تیمارهای آزمایش ۱- دارای گیاه P، ۲- دارای گیاه P و پالایشگر باکتریایی B (PB)، ۳- دارای گیاه P و پالایشگر باکتریایی B و بیوفلاک F (FBP) و ۴- سازگان بدون هر یک از بخش‌ها با ساختار فیزیکی یکسان به عنوان شاهد (C) تشکیل دادند. به هر سازگان پرورشی تعداد۲۰ قطعه ماهی تیلاپیا *Oreochromis niloticus* با میانگین وزنی ۰/۵ ± ۱۰ گرم معرفی شد. نتایج نشان داد که کارایی سازگان FBP در افزایش رشد ماهی، رشد ویژه، بهبود ضریب تبدیل غذایی و درصد بقا به‌طور معنی‌دار بیش از دیگر تیمارهاست (p<۰/۰۵) و در گروه شاهد همه ماهی‌ها تا روز ۲۳ آزمایش تلف شدند. میزان رشد عدسک آبی به‌طور معنی‌دار در تیمار P بیش از دیگر تیمارها بود(p<۰/۰۵). میزان غلظت یون‌های کلسیم، فسفر، آمونیوم، نیتریت و نیترات و عدد pH در پایان آزمایش اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها نشان داد (p<۰/۰۵). میزان غلظت یون‌ها در آب در تیمار (FBP) کمتر از دیگر تیمارها در پایان آزمایش بود. این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری روش‌های زیستی مختلف با هم می‌تواند اثر بهتری را در افزایش کارایی یک سازگان پروش ماهی و گیاه داشته باشد.

کلمات کلیدی

بیوفلوک

عدسک آبی

تیلاپیا

پالایشگر

باکتریایی

کیفیت آب

سازگان مدار

بسته

نویسنده مسئول: ghrafiee@ut.ac.ir

مقدمه

پژوهش‌ها نشان داده است که پساب آبزی‌پروری، در صورتی که بدون تصفیه به محیط‌های طبیعی وارد شود، عواقب خطرناکی را به دنبال خواهد داشت (Camargo,1992). پساب تولیدی مزارع آبزی‌پروری شامل انواع مواد مغذی، به‌خصوص ترکیبات نیتروژن و فسفردار، مواد آلی محلول و ذره‌ای، انواع مواد معلق و قابل ته‌نشینی، مطالبه زیستی و شیمیایی اکسیژن و غیره است. البته کمیت و کیفیت پساب‌ها، به گونه آبزی و شرایط دیگر محیطی پرورش نیز بستگی دارد. این مسئله در سال‌های اخیر با محدودتر شدن منابع آب باکیفیت و نیز افزایش تقاضا برای مصرف آب، بیشتر خود را نمایان ساخته و نیاز به استفاده از روش‌های نوین پرورش ماهی مانند پرورش متراکم آبزیان یا سازگان‌های گردشی آب، برای افزایش میزان تولید ماهی در واحد سطح را بیشتر کرده است (Rafiee et al. 2005; Avnimelech, 2007). در این باره برای حذف مهم‌ترین عوامل محدودکننده افزایش تراکم ماهی در سازگان‌های پرورشی، ترکیبات نیتروژن‌دار دفعی ماهی به‌خصوص آمونیاک، از پالاینده‌های زیستی استفاده شده است (Rousta, 2009). در سازگان‌های مداربسته ۹۵-۹۰٪ ذرات معلق در سازگان باقی می‌ماند و این ذرات معلق با یک پالایش فیزیکی ابتدا کاهش یا حذف می‌شود، و سپس آب وارد زیست‌پالا شده و آمونیاک آن طی فرایند نیتریفیکه شدن توسط باکتری‌ها به نیتریت و سپس، نیترات تبدیل شده و حذف، و با تعویض کم آب، کیفیت آن در حد زیست ماهی تنظیم می‌شود (Malone and Pfeiffer, 2006). در سازگان‌های بدون تعویض آب، علاوه بر حذف مواد محلول سوخت و ساز، بازیافت مواد جامد معلق، به‌عنوان جزء مهمی از عملکرد سازگان توسط هتروتروف‌ها حذف می‌شوند (Motaghi et al. 2012). در این سازگان‌ها، حل شدن مواد مغذی و یا تراوش آن‌ها در آب، یک نکته مثبت به شمار می‌آید، زیرا این مواد می‌توانند به‌عنوان مواد مغذی برای رشد باکتری‌های هتروترف و یا بخش هیدروپونیک (آبکشت) در یک سازگان توأم کشت ماهی و گیاه کارایی داشته باشند (Rafiee et al. 2005; Ray et al. 2010). لذا، جذب این مواد توسط فتوسنتزکنندگان و استفاده مجدد از آن‌ها در چرخه تولید مواد آلی، پدیده‌ای مثبت در سازگان بازگردشی آب در پرورش توأم ماهی و گیاه به شمار می‌آید. اخیراً با توجه به محدودیت‌های منابع آب، پژوهش‌گران و متولیان امر آبزی‌پروری، افزایش تراکم ماهی و کمتر کردن میزان تعویض آب را هدف اصلی خود در پرورش آبزیان مطرح کرده‌اند. بسیاری از پژوهش‌گران بیان کرده‌اند که می‌توان از سازگان کشت توأم ماهی و گیاه یا آکواپونیک به عنوان جایگزینی مناسب برای این زیست‌پالاها استفاده کرد (Motaghi et al. 2012). امروزه، استفاده از فناوری‌های جدید و مناسب دیگری مانند تولید رشته‌های زیستی یا فناوری بیوفلاک، در امر تکثیر و پرورش ماهی از اهمیت بالایی برخوردار شده است. عنوان شده است که این فناوری می‌تواند اهداف مهم آبزی‌پروری پایدار را دنبال کند. فناوری بیوفلاک از سازگان‌های آبزی‌پروری سازگار با محیط‌زیست است و از طریق آن، مواد مغذی و آلی، بازیافت شده و تبدیل به توده‌های زیستی می‌شود که می‌توان از آن به‌عنوان غذای آبزی پرورشی استفاده کرد. رویکرد پایدار چنین سازگانی، مبتنی بر رشد ریزموجودات در محیط پرورشی است که کمینه تعویض آب را به همراه دارد. این فناوری مزیت‌های مهمی ازجمله به حداقل رساندن مصرف آب و بازیافت مواد مغذی و مواد آلی را دارد. علاوه بر این، ورود عوامل بیماری‌زا به سازگان پرورش را کاهش داده و منجر به بهبود امنیت زیستی در مزرعه می‌شود (Avnimelech, 2007). با استفاده از سازگان بیوفلاک، سطوح مایکوتوکسین‌ها و عوامل ضدتغذیه‌ای در خوراک آبزی نیز محدود می‌شود. مشکل اصلی در باره تولید رشته‌های زیستی، تنظیم نسبت کربن \ نیتروژن در سازگان پرورشی است. رشد جمعیت هتروتروف‌ها زمانی که نسبت C/N بالاتر از ده باشد، آغاز می‌شود. تأمین این نسبت، با افزودن یک منبع کربن مناسب مثل ملاس و به سادگی قابل پخش و حل در آب، میسر است. هتروتروف‌ها ذرات آلی معلق را که شامل ذرات مدفوع، غذا، موجودات ریز مرده و غیره هستند، به‌عنوان بستر نشست انتخاب می‌کنند. فیلم زیستی مترشحه توسط این باکتری‌ها محلی برای زندگی قارچ‌ها، تک یاخته‌ها و غیره می‌شود. در ستون آب، تعامل پیچیده‌ای بین ماده آلی، بستر فیزیکی و طیف وسیعی از ریزموجودات مانند پلانکتون‌های گیاهی، باکتری‌های آزاد و

متصل و پالیده‌خوارهایی مانند روتیفرها، مژه‌داران، تاژک‌داران تک‌یاخته و پاروپایان (کوپه‌پودها) برقرار است. این تولیدات طبیعی نقش مهمی را در بازیافت مواد مغذی و حفظ کیفیت آب ایفا می‌کنند (Ray et al. 2010). تبدیل آمونیاک به پروتئین میکروبی در مقایسه با فرایند نیتریفیکه شدن، نیاز کمتری به مصرف اکسیژن محلول نیز دارد (Avnimelech et al. 2008) و این امر بیانگر برتری باکتری‌های هتروتروف نسبت به نیتریفیکانت‌ها در سازگان سوسپانسیون رشته‌های زیستی فعال است. جمعیت میکروبی موازی با شبکه‌های غذایی همواره مصرف می‌شود. در سازگان‌هایی که از غذای دستی استفاده می‌شود، تولیدات باکتریایی افزایش می‌یابد. به این معنی که جمعیت باکتریایی شکل گرفته در یک سازگان پرورشی فقط اتوتروف یا هتروتروف نیستند. در محیط پرورش آبزی، در یک زمان هم اتوتروف‌ها و هم هتروتروف‌ها فعال هستند و نسبت و غلبه آن‌ها بر اساس شرایط محیط حاکم متفاوت است (Motaghi et al. 2012). تولید در سازگان بیوفلاک در مقیاس بزرگ آبزی‌پروری می‌تواند مزایای زیست محیطی ارزشمندی در بوم‌سازگان‌های دریایی و ساحلی در بر داشته باشد. با تولید آن، می‌توان بخشی از غذا را تأمین کرد و یا آنرا جایگزین سویا یا پودر ماهی در جیره غذایی آبزیان کرد. لذا، امکان کنترل پساب آبزی‌پروری و اثرات زیست‌محیطی آن وجود دارد. با توجه به مطالب مطرح شده در بالا، سه دیدگاه زیستی برای به کار گیری در سازگان‌های پرورشی آبزیان دارای اهمیت است: ۱- استفاده از پالاینده‌های باکتریایی ۲- استفاده از باکتری‌های هتروتروف و تشکیل بیوفلاک ۳- استفاده از فتو سنتز کنندگان که باید به طرق مختلف برای حذف ترکیبات یا متابولیت‌های تولیدی توسط ماهی و باکتری‌ها به‌کار گرفته شوند (Rafiee et al. 2005).

باید یاد آور شد که نمی‌توان از گونه‌های مختلف آبزی در سازگان بیوفلاک بهره برد. آبزی باید خصوصیات لازم برای دستیابی به عملکرد رشد بهتر، مانند مقاومت به تراکم بالا، تحمل سطوح متوسط اکسیژن محلول (تقریباً ۳ تا ۶ میلی‌گرم در لیتر)، پالایشگر غذایی بودن، عادت همه‌چیزخواری و یا قابلیت سازگاری دستگاه گوارش به جذب بهتر ذرات میکروبی را داشته باشد (Taw, 2010). فناوری-های ترکیبی با فناوری تولید رشته‌های زیستی یا بیوفلاک، می‌توانند در پرورش آبزیان تحولی را ایجاد کنند. در این باره، ماهی تیلاپیا یکی از کارامدترین ماهی‌ها در مصرف توده‌های زیستی تولید شده است. ماهیان دیگری همچون کپور معمولی، فیتوفاگ، ماهی سفید و کفال و بسیاری از آبزیان دیگر مانند میگوها نیز می‌توانند کارایی لازم را برای استفاده از این مواد در سازگان های پرورشی مبتنی بر تولید رشته‌های زیستی داشته باشند. با توجه به معرفی روش‌های جدید و مؤثر در پرورش آبزیان مبتنی بر کاهش مصرف آب و غذا، نیاز به پژوهش‌های گسترده ای در این زمینه برای معرفی طراحی‌های مختلف است. لذا، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر سازگان‌های زیستی مختلف در بهبود کیفیت آب و تأثیر آنها در شاخص‌های رشد ماهی تیلاپیا، رشد گیاه عدسک آبی و کیفیت آب در یک سازگان مدار بسته بدون تعویض آب انجام شد.

مواد و روش‌ها

تنظیم مقدار مواد معدنی آب

با به‌کارگیری کودهای تجاری و تعیین ترکیب شیمیایی آن مقدار مواد معدنی ورودی به سازگان پرورشی تنظیم شد. میزان یک گرم کود الیت توزین، و در یک لیتر آب حل شد و سپس، با همکاری آزمایشگاه شیمی گروه زیست‌فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اقدام به اندازه‌گیری، و نتیجه به شکل زیر اعلام شد.

جدول ۱ مقدار عناصر تشکیل دهنده آب با مصرف یک گرم نمک معدنی در آب مقطر

نوع ماده	فسفات	سولفات	کربنات	بی کربنات	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	نیترات	آهن	بور	مس	روی	نیتریت
میلی گرم	۱۱/۳۹	۴/۱۳	صفر	۸	۱۴	۳/۴۱۶	۳	۳۴	۱۹/۷	۰/۳	۱/۸۴	۰/۳	۰/۲	۰/۰۶

پالایش‌گرهای باکتریایی

این پالایشگرها دارای دو بخش به شرح زیر بود.

A) مخزنی به حجم ۸۰ لیتر: از این مخزن برای ایجاد یک شرایط مناسب برای فعالیت باکتری‌های (بی‌هوازی و هوازی اختیاری) استفاده شد. در داخل این مخزن پوکه معدنی، مدیا از جنس پلی پروپیلن و اسفنج قرار داده شد. درب این مخزن کاملا بسته بود و آب توسط یک پمپ از بالای مخزن وارد، و از کف مخزن، پس از یک زمان ماندن مناسب برای فعالیت باکتری‌های هوازی و بی هوازی، به مخزن B وارد می‌شد.

B) در این مخزن از الیاف پلی‌پروپیلنی، نخ‌گونی و طناب برای افزایش سطح بستر برای نشست باکتری و همچنین، از یک هواده استفاده شد (با توجه به ماندن آب در مخزن ۱ و کمبود اکسیژن). در این قسمت با توجه به هوادهی انجام شده و حضور اکسیژن، فعالیت باکتری‌های به صورت هوازی بود. بنابراین سه زیست‌پالا، شامل باکتریایی با دو بخش مجزا (هوازی و بی‌هوازی) و گیاه عدسک آبی برای گیاه‌پالایی در سازگان‌ها عمل می‌کردند. تنظیم نسیت کربن به نیتروژن (بیوفلاک) نیز در تیمارها مد نظر قرار گرفت. با توجه به شرح بالا، تیمارهای آزمایش بر حسب وجود یا عدم وجود هر یک از بخش‌های توضیح داده شده به شرح زیر تنظیم شدند.

طرح آزمایش

تیمارهای آزمایش را سازگان‌های ۱- دارای گیاه P، ۲- دارای گیاه P و پالایشگر باکتریاییB (PB)، ۳- دارای گیاه P و پالایشگر باکتریایی B و بیوفلاک F (BPF) و ۴- سازگان بدون هر یک از بخش‌ها با ساختار فیزیکی یکسان به عنوان شاهد (C)، تشکیل دادند. ۱- تیمار P: این سازگان دارای یک مخزن ۳۰۰ لیتری آب جهت پرورش ماهی و دو مخزن ۲۰ لیتری برای کشت عدسک آبی بود که روی مخزن پرورش ماهی قرار گرفت و توسط یک مخزن کوچک پلاستیکی برای آبرسانی به هم وصل شد. ۲- BP: این سازگان همانند سازگان ذکر شده بالا طراحی شد. با این اختلاف که علاوه بر وجود گیاه، از پالایش‌گر باکتریایی نیز استفاده شد. آب توسط یک پمپ به پالاینده باکتریایی وارد، و از مخزن A وارد مخزن B می‌شد و سپس، وارد مخزن گیاه و از این طریق، آب به سازگان پرورش ماهی وارد می‌شد. ۳- BPF: این سازگان همانند سازگان ۲ بود، با این اختلاف که علاوه بر گیاه و زیست‌پالا در این سازگان تنظیم نسبت کربن به نیتروژن نیز انجام شد. شاهد C: سازگان دارای یک مخزن ۳۰۰ لیتری برای پرورش ماهی و دو مخزن ۲۰ لیتری بود و آب توسط یک پمپ داخل سازگان گردش می‌یافت. تفاوت تیمار شاهد با تیمار گیاه در این بود که از همان مخزن گیاه استفاده شد، ولی گیاه (صرفاً برای چرخش آب) در آن کشت داده نشده بود. لازم به ذکر است که در این سازگان همه ماهی‌ها تا روز ۲۳ تلف شدند. بنابراین، اندازه‌گیری شاخص‌های رشد در روز ۲۳ انجام شد. تیمارها دارای سه تکرار بودند.

تنظیم مواد معدنی آب و اندازه گیری شاخص های رشد

قبل از شروع آزمایش، میزان ۳۰ گرم کود الیت وارد مخازن پرورش ماهی شد و به مدت ۱۰ روز سازگان‌ها بدون ماهی و گیاه به کار خود ادامه دادند. در طی دوره آزمایش برای محاسبه میزان ورودی غذا به هر مخزن پرورشی و نیز اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، در فواصل زمانی هر ده روز یک‌بار، زیست‌سنجی ماهی‌ها انجام شد. در هر دوره زیست‌سنجی، شاخص‌های درازای کل و همچنین، وزن کل ماهیان توسط خط‌کش مدرج و ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. دیگر عوامل رشد از جمله درصد افزایش وزن (wg%)، شاخص رشد روزانه (SGR) و در نهایت، میزان بقای ماهیان بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شد.

$$\text{افزایش وزن (\%)} = \{(\text{وزن نهایی (gr)} - \text{وزن اولیه (gr)})/\text{وزن اولیه}\} \times 100$$

$$\text{شاخص رشد روزانه (SGR)} = (\ln\{\text{وزن نهایی}\} - \ln\{\text{وزن اولیه}\})/\text{تعداد روز} \times 100$$

$$\text{نرخ بقاء (\%)} = (\text{تعداد نهایی}/\text{تعداد اولیه}) \times 100$$

$$FCR = \text{مقدار افزایش وزن ماهی}/\text{مقدار غذای مصرفی}$$

$$\text{افزایش وزن گیاه (تر)} = \{\text{وزن نهایی (gr)} - \text{وزن اولیه (gr)}\}$$

شرح آزمایش

در هر سازگان پرورشی تعداد ۲۰ قطعه ماهی تیلاپیا *Oreochromis niloticus* با میانگین وزنی ۰/۵ ±۱۰ گرم وارد شد (توزین با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد). ۱۵۰ گرم عدسک آبی زنده به سازگان دارای گیاه اضافه شد. طی دوره آزمایش ۲ ماه بود. شاخص‌های رشد و کیفیت آب اندازه گیری شد و زیست سنجی و میزان تلفات بین سازگان‌ها اندازه‌گیری شد. غذادهی به میزان ۲٪ وزن بدن و با استفاده از غذای قزل آلای رنگین کمان حاوی ۳۵٪ پروتئین (شرکت بهپرور، GFT2) در طی دوره انجام شد. در روزهای آغازین شروع آزمایش با توجه به وزن ماهی و زیست-سنجی انجام شده روزانه ۴/۵ گرم (۲/۲۵٪ وزن بدن) و با توجه به رشد ماهیان هر ده روز یک‌بار، میزان غذادهی افزایش یافت. غذادهی دو بار در روز در ساعت ۹ صبح و ۱۶ عصر انجام شد.

تعیین میزان کربن آلی

برای تعیین میزان کربن آلی، روش احتراق خشک (روش گرم) در آزمایشگاه دکتر حبیبی (گروه خاک‌شناسی) پردیس منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران به‌کار گرفته شد. میزان کربن آلی سبوس مورد استفاده در این تحقیق ۳۶٪ برآورد شد (Avnimelech, 2015).

تنظیم نسبت کربن به نیتروژن

محاسبه مقدار مصرف کربن مورد نیاز با توجه به نیتروژن زائد به دست آمده از خوراک، غذای خورده نشده و مقدار موجود در مدفوع تولیدی برای تشکیل بیوفلاک بر اساس پیشنهاد Crab و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد. لذا، روزانه ۱۲ گرم از ماده خشک ترکیبات آلی کربن‌دار سبوس استفاده شد (Avinmelech, 2009). نسبت کربن به نیتروژن، با توجه به جیره مصرفی ۱۴ در نظر گرفته شد.

اندازه گیری پیراسنجه های کیفی آب

میزان اکسیژن محلول روزانه با استفاده از دستگاه اکسیژن‌متر قابل حمل مدل AZ اندازه گیری و ثبت شد. همچنین، میزان pH، هدایت الکتریکی، TDS، Salt، TS و TSS با استفاده از دستگاه روزانه ثبت شد. همچنین، اندازه‌گیری نیترات، نیتریت، فسفر، نیتروژن کل، کلسیم، آمونیوم با روش-های مرسوم در آزمایشگاه شیمی گروه زیست‌فناوری پردیس منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد، در شروع دوره، ماه بعد و پایان دوره آزمایش‌ها انجام و ثبت شدند (APHA, 1998).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین اختلاف معنی‌دار در داده‌های شاخص‌های اندازه-گیری شده در روز اول و ماه دوم در بین تیمار از آزمون Paired sample t-test استفاده شد. برای بررسی میانگین متغیرهای آزمایش در بین تیمارهای مختلف از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای تعیین سطح اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها از آزمون دانکن (Dunkan) استفاده شد. برای تعیین همبستگی و ارتباط میان فسفر و کلسیم، آمونیوم و pH و نیز غلظت آمونیوم و درصد بقای ماهی در پساب تیمارهای مختلف از تست همبستگی پیرسون استفاده شد. از نرم‌افزار SPSS مدل ۱۷ برای انجام تحلیل‌های آماری و برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel, 2016 استفاده شد.

نتایج

شاخص های رشد

در جدول ۲ شاخص‌های رشد در بین تیمارهای مختلف آمده است. همان‌طور که داده ها نشان می‌دهد، وزن نهایی ماهی‌ها در تیمار FBP در مقایسه با تیمارهای دیگر به‌طور معنی‌دار بیشتر بود. شاخص‌های رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، درصد بقا نیز در این تیمار به طور معنی‌دار بهتر از دو تیمار دیگر بود ($p< ۰/۰۵$). رشد عدسک آبی اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها نشان داد ($p< ۰/۰۵$)، و در تیمار P بیش از دیگر تیمار ها بود ($p< ۰/۰۵$). کمترین میزان رشد عدسک آبی در تیمار FBP دیده شد.

جدول ۲ شاخص‌های رشد ماهی و گیاه عدسک آبی در تیمارهای مختلف در پایان آزمایش (میانگین ± انحراف معیار)

تیمارها	P	B P	FBP
وزن اولیه (گرم)	۹/۸۴ ± ۱/۰۵	۹/۸۴ ± ۱/۰۸	۱۰/۰۷ ± ۱/۱۵
وزن نهایی (گرم)	۵۱/۹۰ ± ۱۸/۱۳^{a}	۵۷/۱۲ ± ۱۴/۱۹^{a}	۷۴/۶۲ ± ۱۷/۷۴^{b}
نرخ رشد ویژه (٪ در روز)	۲/۶۸ ± ۰/۵۴^{a}	۲/۸۸ ± ۰/۳۷ ^{b}	۳/۲۹ ± ۰/۳۸^{c}
ضریب تبدیل غذایی	۱/۳۵ ± ۰/۱۴^{c}	۱/۱۲ ± ۰/۰۳^{b}	۰/۹۷ ± ۰/۰۸^{a}
بقا (٪)	۸۷/۵۰ ± ۳/۵۳^{a}	۹۷/۵۰ ± ۳/۵۳^{b}	۱۰۰ ^{b}
افزایش رشد گیاه (٪)	۱۸۷/۵ ± ۹/۴۵^{b}	۱۷۹ ± ۱۱/۳۱^{b}	۴۶ ± ۸/۴۸^{a}

حروف انگلیسی یکسان در بالای اعداد در یک ردیف به معنی عدم اختلاف معنی دار در بین تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

شاخص های کیفی آب

داده‌های مربوط به کیفیت آب در جدول ۳ قابل مشاهده است. بر اساس این نتایج، میانگین غلظت کلسیم در تیمار BP به شکل معنی‌دار بیش از دیگر تیمارها بود. در خصوص فسفر، میانگین غلظت این عنصر در تیمار شاهد C به طور معنی‌دار از دیگر تیمارها بیشتر بود ($p< ۰/۰۵$)، در حالی‌که تیمار BP، اختلاف معنی‌داری با تیمارهای P و BPF نداشت ($p>۰/۰۵$). میانگین غلظت نیترات و pH در تیمارهای P و BP، اختلاف معنی‌داری با دو تیمار دیگر داشت ($p<۰/۰۵$). میانگین نیتریت در تیمارهای P و C به‌صورت معنی‌دار کمتر از دیگر تیمارها بود ($p< ۰/۰۵$). تیمار شاهد C دارای بیشترین میانگین غلظت آمونیوم بود و کمترین میزان آن در تیمارهای BP و تیمارهایP و BPF مشاهده شد. مقدار EC آب در تیمارهای C و BP دارای اختلاف معنی‌دار با دیگر تیمارها بود ($p< ۰/۰۵$). بیشترین و کمترین مقدار EC به‌ترتیب در تیمارهای BPF و P دید شد.

جدول۳ میانگین داده های مربوط به شاخص های کیفیت آب در بین تیمارهای مختلف در ماه اول

تیمارها	کلسیم	فسفر	نیترات	نیتریت	آمونیوم	pH	EC
P	۴۷/۱۷^{a}	۱۸/۳۷^{a}	۳/۱۰^{a}	۰/۴۲۳^{a}	۳/۵۷^{a}	۶/۲۹^{a}	۸۰۱/۰۰^{a}
BP	۶۶/۰۰^{b}	۱۶/۱۴^{ab}	۳/۱۰^{a}	۰/۰۲۷^{b}	۱/۹۵^{b}	۶/۲۹^{a}	۸۷۹/۰۰^{b}
BPF	۴۷/۶۷^{a}	۱۵/۷۰^{b}	۰/۱۳^{b}	۰/۰۳۰^{b}	۱/۷۰^{b}	۷/۱۶^{b}	۹۱۳/۶۷^{c}
C	۵۳/۰۰^{a}	۳۱/۰۱^{c}	۰/۱۴^{b}	۰/۴۹۶^{a}	۶۰/۴۶^{c}	۷/۱۵^{b}	۸۶۰/۳۳^{b}

حروف انگلیسی یکسان در بالای اعداد در یک ردیف به معنی عدم اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها در سطح ۰/۰۵ است.

داده‌های مربوط به کیفیت آب در پایان دوره آزمایش در جدول ۴ قابل مشاهده است. بر اساس این نتایج میانگین غلظت کلسیم در تیمار BP به شکل معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود ($p<۰/۰۵$). در خصوص فسفر، میانگین غلظت

این عنصر در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها نشان داد (p<۰/۰۵). این مقدار درتیمار PBF، کمتر از دیگر تیمارها بود (p<۰/۰۵). میانگین غلظت نیترات و pH در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارها نشان داد (p<۰/۰۵). مقدار نیترات درتیمار PBF، کمترین و pH بیشترین میزان را در بین تیمارها دارا بود. میانگین نیتریت در تیمارهای BP و C به‌صورت معنی‌دار کمتر از دیگر تیمارها بود (p<۰/۰۵). گروه شاهدC دارای بیشترین میانگین غلظت آمونیوم بود و کمترین میزان آن در تیمارهای BP مشاهده شد. مقدار EC آب در تیمارهای C و BP دارای اختلاف معنی‌دار با دیگر تیمارها بود (p<۰/۰۵). بیشترین و کمترین مقدار EC به ترتیب در تیمارهایC و BP مشاهده شد. بعد از تیمار C، کمترین میزان EC را تیمار P داشت که به‌طور معنی‌دار کمتر از تیمارهای PBF و BP بود (p< ۰/۰۵).

بررسی روابط همبستگی

برای بررسی ارتباط میان غلظت کلسیم و فسفر، آمونیوم و pH و نیز غلظت آمونیوم و درصد بقای ماهی در تیمارهای مختلف از آزمون همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضرایب همبستگی حاصل از این آزمون به‌ترتیب در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در تیمارهایP و C (به‌خصوص گروه شاهد) بین عناصر کلسیم و فسفر همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد؛ به این صورت که با افزایش غلظت کلسیم، غلظت فسفر نیز افزایش‌یافته است. در تیمار BPF نیز بین غلظت کلسیم و فسفر ارتباط معنی‌دار وجود دارد که البته این رابطه به‌صورت منفی است؛ به این معنی که با افزایش غلظت کلسیم، غلظت فسفر کاهش می‌یابد. در خصوص تیمار BP هیچ‌گونه رابطه‌ای اعم از مثبت یا منفی میان غلظت کلسیم و فسفر مشاهده نشد.

جدول۴ شاخص‌های کیفیت آب در بین تیمارهای مختلف درابتدا و پایان دوره آزمایش (میانگین± انحراف معیار)

شاخص‌ها	روز اول	C(۲۳م) شاهد	P	BP	BPF
کلسیم	۲۶/۰۰ ± ۲/۸۲	۵۳/۰ ± ۲/۶۵	۷۶/۳۳ ± ۱۰/۲۱^{a}	۱۰۷/۳۳ ± ۱۴/۱۹^{b}	۸۸/۳۳ ± ۷/۵۱^{b}
فسفر	۱۶/۴۱ ± ۱/۵۷	۳۱/۰۱ ± ۲/۵۵	۱۹/۷۴ ± ۰/۲۷^{c}	۱۷/۹۲ ± ۰/۸۵^{b}	۱۴/۸ ± ۰/۱۰^{a}
نیترات	۰/۱۵ ± ۰/۰۷	۰/۱۳ ± ۰/۰۱	۴/۷۶ ± ۰/۹۲^{b}	۵/۴۰ ± ۰/۸۲^{b}	۰/۳۰ ± ۰/۱۰^{a}
نیتریت	۰/۰۷۵ ± ۰/۰۲	۰/۵۱ ± ۰/۰۶	۰/۳۹ ± ۰/۰۴^{b}	۰/۰۳۰ ± ۰/۰۰^{a}	۰/۰۸۰ ± ۰/۰۰^{c}
آمونیوم	۳۲/۱۰ ± ۱۱/۰۳	۶۰/۴۶ ± ۱۰/۷۸	۵/۱۵ ± ۰/۸۴^{b}	۱/۳۲ ± ۰/۸۵^{a}	۲/۲۷ ± ۰/۴۲^{a}
pH	۷/۳۴ ± ۰/۰۱	۷/۱۵ ± ۰/۰۸	۶/۳۹ ± ۰/۱۸^{b}	۶/۰۳ ± ۰/۰۶^{a}	۷/۳۲ ± ۰/۰۶^{c}
EC	۵۸۶/۵ ± ۲۰/۵	۸۶۰/۳ ± ۱۰/۸	۱۰۱۹/۰ ± ۱۷/۴^{a}	۱۰۸۰/۰ ± ۵۴/۲۶^{b}	۱۰۵۰/۰ ± ۳۳/۲^{b}

حروف انگلیسی یکسان در بالای اعداد در یک ردیف به معنی عدم اختلاف معنی دار در بین تیمارها در سطح ۰/۰۵است.

جدول ۵ همبستگی میان غلظت کلسیم و فسفر در پساب ماهی در تیمارهای مختلف

گیاه	BP	PFB	C
کلسیم × فسفر	کلسیم × فسفر	کلسیم × فسفر	کلسیم × فسفر
۰/۷۹۹*	۰/۴۴۳^{ns}	-۰/۷۲۱*	۰/۹۵۹**

ns =(not significant) اختلاف معنادار وجود ندارد،*= اختلاف معنادار وجود دارد (p<۰/۰۵)،**= اختلاف معنادار وجود دارد (p<۰/۰۱).

با توجه به داده های جدول ۶، به‌استثنای تیمار BP، در دیگر تیمارها ارتباط معنی‌داری بین غلظت آمونیوم و pH وجود

نداشت. در تیمار BP، میان غلظت آمونیوم و pH همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت ($p<۰/۰۵$)؛ به این ترتیب که با کاهش pH، غلظت آمونیوم نیز کاهش‌یافت.

جدول ۶ همبستگی بین غلظت آمونیوم و pH در پساب ماهی در تیمارهای مختلف

C	BPF	BP	P
آمونیوم × pH	آمونیوم × pH	آمونیوم × pH	آمونیوم × pH
$-۰/۲۵۹^{ns}$	$۰/۳۸۴^{ns}$	$۰/۸۹۹^{**}$	$-۰/۲۷۳^{ns}$

ns(not significant) = اختلاف معنادار وجود ندارد، **= اختلاف معنادار وجود دارد ($p<۰/۰۱$).

بر اساس داده های جدول ۷ ، همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت آمونیوم و درصد بقای ماهی در تیمارهای گیاه و شاهد مشاهده شد ($p<۰/۰۵$)، به این ترتیب که با افزایش غلظت آمونیوم در این دو تیمار دزصد بقای ماهی کاهش یافت. در تیمار BP، به موازات کاهش غلظت آمونیوم، درصد بقای ماهی نیز با کاهش مواجه شد که نشان‌دهنده وجود رابطه مثبت و معنی‌دار میان این دو شاخص است، در حالی که در تیمار BPF، غلظت آمونیوم هیچ تأثیری بر درصد بقای ماهی نداشت.

جدول ۷ همبستگی میان غلظت آمونیوم و بقای ماهی در تیمارهای مختلف

C	BPF	BP	P
آمونیوم × ٪ بقاء ماهی	آمونیوم × ٪ بقاء ماهی	آمونیوم × ٪ بقاء ماهی	آمونیوم × ٪ بقاء ماهی
$-۱/۰۰^{**}$	-	$۱/۰۰^{**}$	$-۱/۰۰^{**}$

ns (not significant)= اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، **= اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p<۰/۰۱$).

بحث

بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که به‌کارگیری زیست‌پالا، عدسک آبی و تنظیم کربن در یک سازگان می‌تواند بر کیفیت آب تأثیرگذار باشد و امکان استفاده از ترکیب عملکردهای زیستی با توجه به اهداف سازگان پرورشی وجود دارد. در یک سازگان مداربسته، در صورت تراکم پایین ماهی تا حد بسیار مطلوب نیتروژن کل، آمونیوم، فسفر و دیگر ترکیبات معدنی کاهش خواهد یافت. با توجه به مقایسه‌ای که بین تیمارهای آزمایشی در این تحقیق به‌دست آمد، نشان داده شد که با به‌کارگیری سه روش زیستی برای افزایش تولید ماهی، امکان افزایش تولید و کاهش مصرف غذا وجود دارد. با تنظیم کربن (بیوفلاک) و حضور پالاینده باکتریایی با دو شرایط بی‌هوازی و هوازی، رشد گیاه عدسک آبی کاهش یافت که علت آن احتمالاً بر طبق قانون لیمبیک می‌تواند کاهش ترکیبات نیتروژن‌دار ناشی از عملکرد سازگان بیوفلاک باشد (Hossenifar et al. 2012). در تیمارهایی که تنظیم کربن انجام نشد، عدسک آبی بیشینه میزان رشد خود را داشت. همچنین، از نظر شاخص‌های رشد ماهی، در تیماری که نسبت کربن به نیتروژن تنظیم شد، تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها دیده شد که علت آن ممکن است حفظ کیفیت آب در طی دوره و مصرف فلاک تولیدی توسط ماهی تیلاپیا، در غذاگیری و حضور انواع مژکداران و تاژکداران و نماتودها در این سازگان باشد. این طور می‌توان تفسیر کرد که قسمتی از رشد ماهی می‌تواند ناشی از تولید فلاک باشد. جمعیت باکتری‌های هتروتروفیک در زمان کوتاهی تکثیر خواهد شد و وابسته به غلظت مواد مغذی‌اند و به سرعت با شرایط مختلف سازگار می‌شوند. زمان تکثیر و توسعه جمعیت اتوتروف‌های نیتریفیکنت در مقایسه با باکتری‌های هتروتروفیک بسیار

طولانی است و هفته‌ها به درازا می‌انجامد. همچنین، این باکتری‌ها به تغییر شرایط به‌کندی پاسخ می‌دهند. در تراکم-های بالای ماهی، کربن اضافه شده به سازگان به واسطه غذای خورده نشده و مواد آلی موجود در سازگان موجب رشد هتروتروف‌ها شده و بر سازگان اثرات زیادی می‌گذارند (Bakhshi et al. 2018). نسبت کربن به نیتروژن بالا برای تضمین رشد بهینه باکتری‌های هتروتروف ضروری بیان شده است (Emerenciano et al. 2012) و دلیل آن انرژی لازم برای نگهداری و همچنین، برای رشد و تولید یاخته‌های جدید بیان شده است. منابع کربن مورد استفاده در سازگان بیوفلاک اغلب محصولات کشاورزی کربوهیدراته و یا فرآورده‌های غذایی دامی قابل‌دسترس‌اند. منابع ارزان از کربوهیدرات‌ها مانند ملاس، گلیسرول و بلغورهای گیاهی (گندم، ذرت و برنج) قبل از ذخیره‌سازی پست لارو میگو و در طی مرحله رشد استفاده می‌شوند که با هدف حفظ نسبت بالای کربن (۱۵ یا ۲۰) به نیتروژن (۱) است (Taw, 2010). منبع کربن به عنوان یک بستر برای سازگان‌های عامل بیوفلاک و تولید یاخته‌های پروتئین میکروبی عمل می‌کند. مطالعات نشان داده است که اضافه کردن مواد کربن‌دار منجر به کاهش قابل توجه تجمع آمونیاک در مخازن می‌شود (Avnimelech, 2007). میزان مطلوب نسبت کربن به نیتروژن (در غذا و مواد کربنی اضافه‌شده) را بین ۱۵ تا ۲۵ در نظر گرفته‌اند، با اضافه کردن کربوهیدرات به آب و تنظیم نسبت کربن به نیتروژن، باکتری‌های هتروتروف مواد نیتروژن‌دار و مغذی را جذب، و تشکیل بیوفلاک ها را بهینه می‌کنند و درنتیجه، منجر به حذف نیتروژن آمونیاکی کل (TAN) و نیتریت می‌شوند (Hargreaves, 2013). در این پژوهش نشان داده شد که حذف نیتروژن آمونیاکی از طریق تنظیم نسبت کربن به نیتروژن کارایی بیشتری را نسبت به عملکرد زیست‌پالاهای باکتریایی دارد و تأثیر مثبت آن بر رشد ماهیان نیز به اثبات رسیده است. این یافته‌ها تأییدکننده یافته‌های بسیاری از پژوهشگران است که به این موضوع پرداخته‌اند. زمانی که اثر نیتریفیکانت‌ها از سازگان حذف شود، نیتریت و آمونیوم در سازگان افزایش یافته و شاهد کاهش شدید نیترات نیز خواهیم بود (Liu et al. 2019). مطالعه حاضر نشان داد که سطح نیترات و آمونیاک به‌طور معنی‌دار در سازگان BPF کاهش می‌یابد. وجود عملکردهای مختلف باکتریایی در سازگان اثر معنی‌دار بر حذف ترکیبات نیتروژن-دار داشت. با توجه به ارتباط این باکتری‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که هتروتروف‌ها بر نیتروفیکانت‌ها غلبه داشته‌اند. اشکال عمده زیست‌پالاها این است که آن‌ها می‌توانند به-سرعت توسط باکتری‌های هتروتروف متوقف شوند. در نتیجه، عملکرد زیست‌پالا ممکن است کاهش قابل ملاحظه‌ای نیز داشته باشد. نیترات محصول نهایی نیتریفیکاسیون است. در سازگان‌های سوسپانسیون فعال رشته‌های زیستی، باکتری‌های هتروتروف به خاطر حضور مواد آلی و منبع کربن به اتوتروف‌ها و کموتروف‌ها غلبه می‌یابند. بسیاری از هتروتروف‌های مصرف کننده آمونیاک برای تأمین آمونیاک مورد نیاز خود، نیترات تولید شده در سازگان را به آمونیاک تبدیل می‌کنند (Neissi et al. 2022). این فرایند عکس نیتریفیکاسیون است. لذا، در سازگان‌های مبتنی بر تولید بیوفلاک یا رشته‌های زیستی، نیترات تولید شده به مصرف هتروتروف‌های احیا کننده نیترات رسیده و آمونیاک را به-عنوان منبع تأمین نیتروژن برای هتروترف‌ها تولید می‌کند. بنابراین، عملکرد هتروتروف‌ها و جذب ترکیبات نیتروژن‌دار را می‌توان به عنوان عامل اصلی کاهش ترکیبات نیتروژن‌دار در سازگان BPF تلقی شود.

طی آزمایشی با استفاده از زیست‌پالایی که از دو قسمت تشکیل شده بود (یک قسمت هوازی و یک قسمت بی‌هوازی) و با استفاده از منبع کربن متانول به این نتیجه رسیدند که اگر دو زیست‌پالا را به هم وصل کنند، ۹۷٪ نیتروژن کل از سازگان حذف می‌شود. درحالی‌که اگر از زیست‌پالا صرفاً دارای قسمت بی‌هوازی استفاده شود ۵۵٪ و در صورت استفاده از سازگان هوازی میزان حذف نیتروژن در قسمت هوازی ۸۶٪ است. آن‌ها بیان کردند که دلیل این اختلاف را می‌توان ناشی از تغییر در جمعیت باکتری‌ها در شرایط هوازی و بی‌هوازی دانست (Richter and Krüner, 1994).

مشخص شده است که میزان جذب نیتروژن و فسفر توسط گیاه آبزی عدسک آبی بالاست. این گیاه در محیط‌های کشت حاوی مواد مغذی در محیط آزمایشگاهی کارایی بالایی را نشان داده است. تخلیه پساب به منابع آبی موجب پدیده خوراکوری و از بین رفتن کیفیت آب براثر رشد بیش‌ازحد

گیاهان و جلبک‌ها می‌شود. گیاهان آبزی مانند عدسک آبی قادر هستند نیتروژن و فسفر زیادی را از آب جذب کنند. در این پژوهش نیز ثابت شد که گیاه عدسک آبی را می‌توان به عنوان گیاهی ارزشمند در سازگان‌های آبزی‌پروری استفاده کرد. بازده حذف فسفر توسط گیاه عدسک آبی بیش از نیتروژن بیان شده است. در پژوهشی، از گربه‌ماهی آفریقایی و گیاه اسفناج، نسبت بین اجزای سازگان (بخش پرورش ماهی و هیدروپونیک) برحسب غذای مصرفی و سطح زیر کشت استفاده شد. بهترین نسبت ماهی به گیاه ۴۲-۱۵ گرم غذای ماهی به ازای هر مترمربع سطح زیر کشت گیاه به‌دست آمد (Motaghi et al. 2021). در آزمایشی دیگر با استفاده از ماهی تیلاپیا و گیاهان کاهو، ریحان و چندین گیاه دیگر میزان ۱۰۰-۶۰ گرم ماهی را برای هر مترمربع کشت گیاه مناسب دانستند (Rakocy, 2012). مشخص شده است که زی-توده باکتریایی ۶۱٪ خام تولید می‌کند. بهره‌وری از پروتئین در سازگان‌های رشته‌های زیستی به شکل قابل ملاحظه‌ای بیش از دیگر سازگان‌های آبزی‌پروری است. در سازگان‌های رشته‌های زیستی، PCR حدود دو است که این سازگان‌ها را بسیار اقتصادی می‌کند. بهره وری از پروتئین در سازگان‌های رشته‌های زیستی اقتصادی است و موجب کاهش معنی‌دار FCR در این سازگان‌ها می‌شود (Chaberlain et al. 2001). در این آزمایش نشان داده شد که گیاه عدسک آبی به تنهایی قادر به کاهش ترکیبات نیتروژن‌دار و فسفر از محیط آب نیست. غلظت نیترات، نیتریت و آمونیاک کل در تیمار فقط حاوی گیاه عدسک آبی در مقایسه با دیگر تیمارها بیشتر بود. در عین حال، کاهش معنی‌داری در میزان هدایت الکتریکی آب دیده شد که ناشی از جذب بیشتر آنیون‌ها و کاتیون‌های دیگر است. لذا، عملکرد همزمان گیاه عدسک آبی، باکتری‌های اتوتروف و هتروتروف در یک سازگان پرورشی را می‌توان به عنوان یک روش کارآمدتر برای افزایش کارایی سازگان‌های پرورشی برای ماهی تیلاپیای نیل پیشنهاد کرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کمک های کارشناسان گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران جهت فراهم نمودن تجهیزات جهت انجام پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می شود.

منابع

APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater, 22nd ed. American Public Health Association, Washington, DC.

Avnimelech, Y. 2015. Biofloc technology - a practical guide book. 3rd edition, The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, pp 21-73.

Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. Aquaculture 264: 140-147.

Avnimelech Y. 2009. Biofloc technology. A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge.

Avnimelech Y., Verdegem M. C. J., Kurup M., Keshavanath P. 2008. Sustainable land-based aquaculture: rational utilization of water, land and feed resources. Mediterranean Aquaculture Journal 45-55.

Bakhshi F., Najdegerami E. H., Manaffar R., Tokmechi A., Rahmani Farah K., Shalizar Jalali, A. 2018. Growth performance, haematology, antioxidant status, immune response and histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed biofloc grown on different carbon sources. Aquaculture Research 49: 393-403.

Camargo J.A. 992. Structural and trophic alterations in macrobenthic communities downstream from a fish farm outlet. Hydrobiologia 242: 41-49.

Chamberlain G, Avnimelech Y, McIntosh RP, Velasco M. 2001. Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C:N. I: nutrient transformation and water quality benefits. Glob Aqua Advocate 4: 53-56.

Ekasari D., Angela S.H., Waluyo T., Bachtiar E.H, Surawidjaja P., Bossier et al. 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals, Aquaculture 426-427: 105-111.

Emerenciano M., Avnimelech Y., Gonzalez R., Leon A. T. D., Cuzon G., Gaxiola G. 2009. Effect of bio-floc technology (BFT) in ectoparasite control in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* culture. In CD of Abstracts of World Aquaculture Society Meeting.

Liu G., Deng Y., Verdegem M., Ye Z., Zhu S. 2019. Using poly (β-hydroxybutyrate-β-hydroxyvalerate) as carbon source in biofloc-systems: Nitrogen dynamics and shift of *Oreochromis niloticus* gut microbiota. Science of the Total Environment 694: 133664.

Hossenifar R., Rafiee Gh., Pourbabaei A. 2021. Evaluating the water quality changes and formation of Bio-Floc in a zero exchange water of common carp (*Cyprinus carpio*) culture system using different ratios of carbon to nitrogen (C:N), Aquatic Animals Nutrition (In Persian) 6: 65-83.

Malone, R.F., Pfeiffer, T.J. 2006. Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems, Aquacultural Engineering 34: 389-402.

Monroy-Dosta, D., Lara-Andrade, J., Castro-Mejía, G., Castro-Mejía, M.G. Emerenciano. 2013. Microbiology community composition and abundance associated to biofloc in tilapia aquaculture Revista De Biologia Marina Y Oceanografia 48: 511-520.

Motaghi, E., Rafiee, Gh., Mirvaghefi, A., Ebrahimi, E., Majazi Amiri, B. 2021. Effect of different levels of inorganic supplement in hydroponic system on hemato-immunological responses, intestine bacterial flora and morphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Animal Environment 13: 267-276.

Neissi A., Rafiee Gh., Rahimi S., Farahmand H., Pandit S., I Mijakovic I. 2020. Enriched microbial communities for ammonium and nitrite removal from recirculating aquaculture systems. Chemosphere 295, 133811.

Nootong K., Pavasant P., Powtongsook S. 2011. Effects of organic carbon addition in controlling inorganic nitrogen concentrations in a biofloc system, Journal of World Aquaculture Society 42: 339-346.

Rafiee, Gh. Dynamic of Nutrients in a Recirculating Aquaponic System Using Red Tilapia (*Oreochromis* Sp.) and Lettuce *(Lactuca Sativa* Var longifolia*)* (Doctoral dissertation, 2003. University Putra Malaysia).

Rafiee Gh., Saad C.R. 2005. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. Aquaculture 244: 109-118.

Rakocy, J.E. 1997. Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems. Tilapia Aquaculture in the Americas 1: 163-184.

Rakocy, J.E. Aquaponics: Integrating fish and plant culture. Aquaculture production systems. 2012(1):343-386.

Ray, A.J., Seaborn G., Leffler J.W., Wilde S.B., Lawson A., Browdy C.L. 2010. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. Aquaculture 310: 130-138.

Ray, A.K., Ghosh, K., Ringø, E. 2012. Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: a review. Aquaculture Nutrition 18: 465-492.

Reddy, K.R., D'angelo, E.M. 1997. Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in

constructed wetlands. Water Science and Technology 35: 1-10.

Richter, K.U., Krüner, G. 1994. Elimination of nitrogen in two flooded and statically packed bed biofilters with aerobic and anaerobic microsites. Water Research 28: 709-716.

Roosta, H.R., Hamidpour, M. 2011. Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. Scientia Horticulturae 129: 396-402.

Rousta, K., Bolton, K., Lundin, M., Dahlén, L. 2015. Quantitative assessment of distance to collection point and improved sorting information on source separation of household waste. Waste Management 40: 22-30.