

University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 8, No. 2, 2022, pages: 11-23
DOI: 10.22124/janb.2023.23893.1185



An intensive culture of common carp, *Cyprinus carpio* in indoor biofloc system

Reza Akrami

Department of Fisheries, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Golestan, Iran

Received 20 April 2022

Revised 14 June 2022

Accepted 19 June 2022

KEYWORDS ABSTRACT

Biofloc
Indoor system
Growth
Water
consumption
Common carp

Biofloc technology is an environmentally aquaculture production system in which nutrients are continuously recycled and reused. In this technology, growth performance, water quality and production costs need to be considered. The objective of this study was to evaluate intensive culture of common carp (*Cyprinus carpio*) in indoor biofloc system (BFT). One biofloc treatment with minimum water exchange and one control with 30% renewal water in triplicates were managed. Fish (40 g in weight) were stocked in 400 L fiberglass tanks at a density of 2 kg/m³ and 18-week experiment was conducted. Mollasses was added to the biofloc tanks at a C:N ratio of 20:1. In this study, biofloc treatment exhibited significantly higher mean total ammonia, nitrite, nitrate, alkalinity, total suspended solid and lower pH than the control ($p < 0.05$). Growth parameters and final biomass did not differ significantly between BFT and control. Feed conversion ratio was higher ($p < 0.05$) in the control than in the BFT treatment. Water consumption/kg common carp produced in the control was 12 times higher than in the BFT group. It can be concluded that farming common carp in BFT system is more economic in saving great amount of feed and water with minimal discharge of pollutants without negative effects on carp growth.

*Corresponding author: Akrami.aqua@gmail.com





"مقاله پژوهشی"

پرورش متراکم ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با استفاده از فناوری بایوفلاک در محیط بسته

رضا اکرمی

گروه شیلات، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، گلستان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱

کلمات کلیدی

چکیده

فناوری بایوفلاک یک سازگان آبی‌پروری سازگار با محیط زیست است که در آن مواد مغذی به طور مداوم بازیافت و مجدداً استفاده می‌شوند. در این سازگان، عملکرد رشد، کیفیت آب و هزینه‌های تولید باید در نظر گرفته شوند. هدف مطالعه حاضر ارزیابی پرورش متراکم ماهی کپور معمولی با استفاده از فناوری بایوفلاک در محیط بسته بود. یک تیمار بایوفلاک با حداقل تعویض آب و یک گروه شاهد با ۳۰٪ تعویض آب روزانه در ۳ تکرار انتخاب شد. بچه‌ماهیان (۴۰ گرمی) با تراکم ۲ کیلوگرم در مترمکعب در مخازن حاوی ۴۰۰ لیتر آب ذخیره‌سازی و به مدت ۱۸ هفته پرورش داده شدند. ملاس با نسبت کربن به نیتروژن ۱:۲۰ به مخزن بایوفلاک اضافه شد. در این مطالعه، در تیمار بایوفلاک در مقایسه با گروه شاهد آمونیاک کل، نیتريت، نیترات و کل جامدات معلق افزایش معنی‌دار ($p < 0.05$) و pH کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) داشت. عملکرد رشد و زی‌توده نهایی بین تیمار بایوفلاک و شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند ($p < 0.05$). ضریب تبدیل غذایی در گروه شاهد بالاتر از تیمار بایوفلاک بود ($p < 0.05$). مصرف آب به ازای هر کیلوگرم ماهی کپور تولید شده در گروه شاهد ۱۲ برابر بیشتر از گروه بایوفلاک بود. می‌توان نتیجه‌گیری کرد پرورش ماهی کپور معمولی در سازگان بایوفلاک مقرون به صرفه بوده و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و غذا با کمینه تخلیه پساب می‌شود، بدون اینکه روی رشد و بازماندگی ماهی تأثیر منفی داشته باشد.

مقدمه

پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، جمعیت جهان به ۹/۷ میلیارد نفر برسد که عمده این افزایش در کشورهای در حال توسعه آسیا و آفریقا رخ می‌دهد (Pekkoh et al. 2022). با این گسترش جمعیت، تقاضای غذا نیز افزایش می‌یابد و با توجه به منابع محدود زمین، صنایع تولید کننده مواد غذایی با چالش بزرگی روبرو خواهند شد. بنابراین، انتظار می‌رود که آبی‌پروری نقش مهمی در استفاده بهینه از منابع مختلف آبی برای تولید طیف متنوعی از غذاها از طریق روش‌های کشت متراکم ایفا کند (Kumar et al. 2018). با وجود این، کشت متراکم با مسائل زیست‌محیطی مختلفی از جمله تخلیه فاضلاب استخرها، مصرف بیش از حد خوراک، آلاینده‌ها، بیماری‌های عفونی و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی مرتبط است (Liu et al. 2019). معمولاً آبیان تنها ۳۰-۲۰٪ از نیتروژن رژیم غذایی خود را مصرف می‌کنند و باقی‌مانده به‌عنوان عوامل آلاینده محلول (آمونیاک و نیتريت) و دیگر مواد زائد دفع و در آب رها می‌شود که بر کیفیت آب نیز تأثیر منفی می‌گذارد (Kumar et al. 2018; Liu et al. 2019). در نتیجه، آب استخرهای آبی‌پروری باید تعویض شود که منجر به یوتروفیکاسیون (فراغنی‌شدن) و ایجاد شرایط بی‌هوازی در استخر و منابع آبی هم‌جوار می‌شود (Addo et al. 2021). بنابراین، برای بهبود حذف آلودگی، به روش‌های نوآورانه، پایدار و سازگار با محیط زیست نیاز است تا کیفیت آب برای افزایش بهره‌وری سازگان‌های آبی‌پروری تضمین شود. فناوری‌های آبی‌پروری مانند فناوری بیوفلاک، توان بالقوه افزایش بهره‌وری را در عین حفظ محیط زیست و کمک به رفاه جامعه و اقتصاد نشان داده‌اند. بیوفلاک نوعی سازگان پرورشی بسته است که حاوی باکتری‌های مفید، قارچ، جلبک، پلانکتون جانوری و تک‌یاخته‌هایی است که در یک توده همراه با بقایای آلی معلق در آب به هم متصل شده‌اند. این جوامع میکروبی با ورود کربن آلی به سازگان آبی‌پروری و حفظ نسبت کربن به نیتروژن در یک سطح ثابت ایجاد می‌شوند (Wang et al. 2015). استفاده از بیوفلاک سه مزیت عمده دارد: اول اینکه بیوفلاک‌ها به طور مؤثر مقدار نیتروژن سمی را در استخرهای آبی‌پروری کاهش می‌دهند (Luo et al. 2017). دوم، بیوفلاک‌ها به دلیل اندازه ذرات کوچکشان، یک منبع غذایی اضافی در داخل استخر برای آبیان فراهم می‌کنند (Addo et al.

2021) و سوم، ریزموجودات موجود در بیوفلاک پسماندهای غذایی، مدفوع آبیان و متابولیت‌های ثانویه را تجزیه و مصرف، و در نتیجه آلودگی‌های پساب آبی‌پروری را حذف می‌کنند (Kumar et al. 2018). از این رو، روش بیوفلاک برای تعدادی از آبیان در سراسر دنیا اعمال می‌شود.

ماهی کپور معمولی یک گونه آبی‌شناخته شده و یکی از مهم‌ترین گونه‌های تجاری در دنیا است که به دلیل طعم مطلوب و محتوای اسیدهای چرب غیر اشباع به میزان زیاد مصرف می‌شود و پرورش آن به دلیل عادت تغذیه‌ای انعطاف‌پذیر و همه چیزخوار، ضریب تبدیل غذایی مناسب، قابلیت سازگاری آسان با محیط‌های پرورشی و بازاریابی مناسب به‌طور گسترده در بسیاری از کشورهای جهان پرورش داده می‌شود (FAO, 2018). این گونه می‌تواند ذرات فلاک و باکتری‌های معلق از ستون آب یا باکتری‌های متصل به بستر را مصرف کند و باعث شود جمعیت باکتریایی روده خود را تغییر دهد. با وجود این، در سال‌های اخیر توسعه پرورش این گونه با چالش‌های مختلفی از جمله، عدم دسترسی آسان به آب، زمین مناسب، شرایط اقلیمی مساعد، تغییرات فصلی در کمیت یا کیفیت آب در دسترس و بروز بیماری‌های مختلف روبرو شده است. لذا با توجه به کمبود منابع آب شیرین در ایران، پرورش متراکم کپور معمولی در سازگان بیوفلاک می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و خوراک شود (Ebrahimi et al. 2020). مطالعات مختلف روی پرورش ماهی کپور معمولی در سازگان بیوفلاک نشان داده که این گونه از ذرات معلق و فلاک تغذیه می‌کند که باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های خوراک می‌شود. همچنین، به دلیل خصوصیات مانند مقاومت به تراکم بالا، تحمل سطوح حد واسط اکسیژن محلول، تحمل پذیرش ایجاد رسوب در آب، تحمل وجود ترکیبات نیتروژنه، دارا بودن روش فیلتراسیون، سازگاری دستگاه گوارش به جذب ذرات میکروبی، رژیم همه‌چیزخواری و تغذیه از توده‌های زیستی، به تولید این گونه در سازگان‌های بیوفلاک کمک می‌کند (Bakhshi et al. 2018; Ebrahimi et al. 2020).

به‌رغم اینکه مطالعات مختلفی در خصوص پرورش ماهی کپور معمولی و با اهداف مختلف در سازگان بیوفلاک انجام شده، ولی باید اذعان داشت مطالعات انجام شده به صورت مقطعی و در دوره زمانی کوتاه مدت بوده و مطالعه جامعی

ماهی‌دار شدند. در طی دوره پرورش، منبع کربنی شامل مخلوط ملاس (۶۵٪) + سبوس برنج (۳۵٪) الک شده (حاوی ۴۰٪ کربن)، برای تنظیم نسبت کربن به نیتروژن (C/N=20)، بر اساس روش Avnimelech (۱۹۹۹)، روزانه به ازای میزان غذای داده شده و میزان ازت آزاد شده محاسبه و در ۵۰۰ میلی لیتر آب هر مخزن به طور جداگانه حل، و سپس به همان مخزن پس از وعده دوم غذایی اضافه شد (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶).

ذخیره سازی ماهیان و مدیریت مخازن

بچه‌ماهیان از یکی از مراکز معتبر پرورشی ماهیان گرمابی در شرق استان گلستان تهیه شدند. تعداد ۱۵۰ ماهی با وزن متوسط تقریبی ۳۵ گرم انتخاب و سپس به یک مخزن ۲۰۰۰ لیتری برای سازگاری منتقل شدند و بعد از ۲ هفته سازگاری به حوضچه‌های فایبرگلاس حاوی ۴۰۰ لیتر آب مجهز به ۸ سنگ هوا و هواده ایرلیفت منتقل شدند. قبل از انتقال ماهیان به حوضچه‌ها، وزن و درازای کل ماهیان اندازه‌گیری، و در هر یک از حوضچه‌ها تعداد ۲۰ عدد ماهی با میانگین وزنی ۴۰ گرم (تراکم ۲ کیلوگرم در مترمکعب) قرار داده شد. غذادهی ماهیان ابتدا بر حسب مشاهده و رفتار آنها ابتدا به میزان ۳٪ وزن بدن و ۲ بار در روز به مدت ۱۸ هفته انجام، و در ادامه با توجه به زی‌توده مخازن و بر اساس جداول پیشنهادی تنظیم شد. تعویض آب در گروه شاهد روزانه به میزان ۳۰٪ حجم مخزن (۱۲۰ لیتر در روز) و در مخازن بایوفلاک اضافه کردن آب فقط برای جبران تبخیر، نمونه برداری آب و حذف فلاک‌های اضافی به صورت هفتگی انجام می‌شد.

محاسبه کربن مورد نیاز برای تشکیل توده زیستی (Emerenciano et al. 2017)

مرحله اول: محاسبه نسبت کربن به نیتروژن (C:N) در خوراک
با در نظر گرفتن اینکه ۵۰٪ خوراک کربن است و ۷۰٪ خوراک در آب پرورش هدر می‌رود و تنها ۳۰٪ توسط ماهی جذب می‌شود، بنابراین:

از مرحله بچه‌ماهی تا پروراری در محیط بسته بایوفلاک انجام نشده است. لذا هدف تحقیق حاضر بررسی عملکرد رشد، فراسنجه‌های محیطی آب و ارزیابی اقتصادی پرورش متراکم کپور معمولی از مرحله بچه‌ماهی تا پروراری با استفاده از فناوری بایوفلاک در محیط بسته است.

مواد و روش‌ها

آماده سازی مخازن و طرح آزمایش

این آزمایش در یک محیط مسقف در مخازن فایبرگلاس مستطیلی شکل (۱۰۰۰ لیتری) واقع در کارگاه آموزشی و پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر (استان گلستان) در سال ۱۳۹۹ انجام شد. یک تیمار بایوفلاک و یک گروه شاهد (با سه تکرار) در نظر گرفته شد. در گروه شاهد روزانه ۳۰٪ تعویض آب انجام شد. ماهیان تیمار بایوفلاک و شاهد با جیره حاوی ۳۲٪ پروتئین (شرکت فرادانه، شهرکرد) تغذیه شدند.

آماده سازی بایوفلاک آغازین

در این مطالعه، ابتدا دو هفته قبل از ماهی‌دار کردن مخازن، تولید فلاک در یک مخزن ۲۰۰ لیتری آغاز شد. برای این کار، حدود ۱۰۰ لیتر از آب خروجی مخزن سازگاری ماهیان به‌عنوان منبع اولیه باکتری‌های هتروتروف و ۵۰ لیتر آب غنی شده استخر پرورش کپورماهیان به مخزن تولید فلاک اضافه شد. سپس، در هر مخزن ۴ سنگ هوا قرار داده شد. همچنین، برخی مواد شامل ۱۰۰ گرم آهک کشاورزی در مترمکعب + یک کیلوگرم نمک در مترمکعب + ۲۰۰ میلی-لیتر ملاس در مترمکعب + ۱۰ میلی‌لیتر پروبیوتیک تجاری در مترمکعب و با نسبت منبع کربن به نیتروژن ۱ به ۲۰ به مخزن فلاک اضافه شد. به مدت دو هفته هوادهی شدید انجام شد. سپس میزان آمونیاک کل و نیتريت در آب اندازه-گیری شد. مقدار ۱۰ تا ۱۵٪ حجم استوک (ذخیره) تولید شده به مخازن پرورشی تلقیح شد. در نهایت، بعد از اینکه میزان آمونیاک و نیتريت به کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر و حجم فلاک موجود در سازگان به بیش از ۵ میلی‌لیتر در هر لیتر رسید (Azim and Little, 2008)، مخازن

$$(\text{کربن در غذا}) \div 2 = (\text{غذای هدر رفته}) \times 0.70 \times (\text{ماده خشک}) \times 0.90 \times (\text{مقدار غذا} = \text{محتوای کربن غذا})$$

$$(\text{ثابت}) \div 0.625 = (\text{میزان پروتئین غذا} \times (\text{غذای هدر رفته}) \times 0.70 \times (\text{ماده خشک}) \times 0.90 \times (\text{مقدار غذا} = \text{محتوای نیتروژن غذا})$$

مرحله دوم: محاسبه مقدار کربن مورد نیاز برای خنثی کردن مقدار نیتروژن خوراک.

بنابراین اگر نسبت کربن به نیتروژن ۲۰ باشد (C:N=20) آنگاه:

$20 \times \text{مقدار نیتروژن غذا} = \text{مقدار کربن محاسباتی}$

(از آنجا که بیشتر منابع کربوهیدراته حاوی ۵۰٪ کربن هستند) $2 \times (\text{مقدار کربن غذا} - \text{مقدار کربن محاسباتی}) = \text{مقدار کربن واقعی مورد نیاز}$

می‌رسید، آهک (کربنات کلسیم) به میزان ۲۰٪ غذای مصرفی به سازگان اضافه می‌شد تا pH آب به ۷/۵ برسد.

بررسی فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی

دما و pH به کمک دستگاه دیجیتال (مدل هانا) روزانه اندازه‌گیری شد. همچنین، اندازه‌گیری میزان اکسیژن، آمونیاک کل (TAN)، نیتريت، قلیائیت و نیترات هفته‌ای یک بار و با استفاده از کیت‌های رنگ سنجی (شرکت اراک شیمی) انجام شد.

حجم فلاک تولید شده (BFV)

برای اندازه‌گیری حجم فلاک، یک لیتر از آب سازگان پرورشی را داخل قیف مدرج مخروطی شکل (ایمپروف اصلاح شده) ریخته و پس از ترسیب به مدت ۳۰ دقیقه میزان فلاک‌های ته‌نشین شده بر حسب میلی‌لیتر در لیتر ثبت شد (Avnimelech, 1999).

تعیین شاخص‌های رشد

در ابتدای و انتهای دوره پرورش، بچه ماهیان مورد آزمایش زیست‌سنجی، و تعداد و زی‌توده ماهیان ارزیابی شد. سپس، بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده، شاخص‌های زیر محاسبه شد (Ebrahimi et al. 2020):

وزن به دست آمده (گرم) ÷ غذای خورده شده (گرم) = ضریب تبدیل غذایی

$100 \times [\text{وزن اولیه (گرم)} \div \text{وزن بدست آمده (گرم)}] = \text{افزایش وزن (درصد)}$

طول دوره آزمایش ÷ [لگاریتم طبیعی وزن اولیه (گرم) - لگاریتم طبیعی وزن نهایی (گرم)] $\times 100 = \text{ضریب رشد ویژه}$

پروتئین خورده شده ÷ افزایش وزن = نسبت کارایی پروتئین

در این آزمایش، قیمت هر کیلوگرم خوراک، ملاس و آهک به ترتیب ۱۲۰ هزار ریال، ۴۰ هزار ریال و ۵ هزار ریال بود. هزینه هر عدد بچه ماهی کپور ۴۰ گرمی ۳۰ هزار ریال، هزینه هر کیلووات ساعت انرژی برای هوادهی به‌طور متوسط ۶۰۰ ریال و قیمت فروش ماهی در انتهای دوره

با توجه به اینکه منبع کربنی مورد استفاده مخلوط ملاس و سبوس برنج با محتوای تقریبی ۴۰٪ کربن (بر مبنای وزن خشک) است، لذا عدد به‌دست آمده را باید تقسیم بر ۴۰٪ کرد. لذا با توجه به محاسبات بالا مشخص شد که بسته به شرایط پرورش و برای حفظ نسبت کربن به نیتروژن بهینه باکتری‌ها، منبع کربنی مورد استفاده باید به میزان ۶۰٪ غذای مصرفی به مخازن بایوفلاک اضافه شود (Avnimelech, 1999). برای این کار، مخلوط منبع کربنی ملاس و سبوس برنج با آب با نسبت ۱ به ۲ مخلوط و در ظرفی ریخته شد. در ظرف کاملاً بسته، و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۸-۳۰ درجه سانتیگراد در شرایط بی‌هوازی تخمیر انجام شد (Akhavan et al. 2022). بعد از سپری شدن زمان مذکور، منبع کربن با یک لیتر از آب مخازن بایوفلاک مخلوط شد و بعد از وعده دوم غذادهی در سطح مخازن پخش شد. قابل ذکر است که در طی دوره پرورش وقتی غلظت نیتروژن آمونیاکی کل (TAN) و نیتريت اندازه‌گیری شده به بیش از ۳ میلی‌گرم در لیتر می‌رسید، برای تحریک باکتری‌های هتروتروف و کاهش TAN از نسبت C:N=6:1 استفاده می‌شد. در طی دوره پرورش هر زمان که سطح فلاک در هر مخزن بایوفلاک از ۲۵ میلی‌لیتر در لیتر فراتر می‌رفت، حذف فلاک از طریق زهکش انجام می‌شد. هنگامی که pH آب به کمتر از ۶/۵

بازماندگی

نرخ بازماندگی ماهی‌ها بر اساس تعداد ماهیان باقی‌مانده در هر حوضچه تعیین شد.

ارزیابی اقتصادی

قیمت‌های خرده فروشی بود. هزینه‌های ثابت نادیده گرفته شدند و مجموع هزینه‌های متغیر به عنوان هزینه کل در نظر گرفته شد. سودآوری اقتصادی با توجه به فرمول‌های زیر ارزیابی شد که همه بر مبنای یک متر مکعب آب تنظیم شدند:

$$\text{هزینه آهک} + \text{هزینه ملاس} + \text{هزینه انرژی هوادهی} + \text{هزینه غذا} + \text{هزینه بچه ماهی ذخیره سازی} = \text{کل هزینه تولید}$$

$$\text{قیمت فروش} \times \text{بازده تولید ماهی} = \text{درآمد ناخالص}$$

$$\text{هزینه تولید} - \text{درآمد ناخالص} = \text{سود}$$

$$100 \times (\text{کل هزینه تولید} \div \text{سود}) = \text{حاشیه سود}$$

نیتریت نیز در تیمار بایوفلاک به تدریج افزایش یافت و در هفته ششم به اوج خود و به ۷ میلی گرم در لیتر رسید. میانگین pH در تیمار شاهد و بایوفلاک بالای ۷ باقی ماند. حجم فلاک یا جامدات قابل ته نشین در مخازن بایوفلاک در محدوده ۱۵ تا ۲۵ میلی‌لیتر در لیتر (جدول ۱) همان‌طور که توسط Hargreaves (۲۰۱۳) توصیه شده است، نگه داشته شد. مقدار کل آب مصرف شده در طی آزمایش و آب مصرف شده به ازای هر کیلوگرم ماهی کپور تولید شده به طور قابل توجهی بین تیمار بایوفلاک و شاهد متفاوت بود ($p < 0.05$; جدول ۱). گروه شاهد با تعویض آب روزانه مصرف کل آب (۱۸/۱ مترمکعب) بالاتری نسبت به مخازن بایوفلاک (۱/۴ مترمکعب) داشت (جدول ۱). میزان مصرف آب به ازای هر کیلوگرم ماهی تولید شده در گروه شاهد ۱۲ برابر بیش از تیمار بایوفلاک بود ($p < 0.05$; جدول ۱).

داده‌های مربوط به میانگین عملکرد رشد ماهی کپور پرورش یافته در سازگان بایوفلاک و سازگان تعویض آب در جدول ۲ نشان داده شده است. در انتهای دوره پرورش و در زمان برداشت محصول مشخص شد تفاوت معنی‌دار در شاخص‌های رشد مانند وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، زی‌توده نهایی، شاخص وضعیت، نسبت کارایی پروتئین و نرخ بازماندگی بین گروه شاهد و بایوفلاک وجود نداشت ($p > 0.05$)، اگرچه بازماندگی و زی‌توده نهایی در تیمار بایوفلاک افزایش جزئی نشان داد.

۳۰۰ هزار ریال بود. در این آزمایش، منابع هوای مستقل (تجهیزات الکتریکی) برای هر مخزن تعبیه نشد. به این ترتیب، مقدار انرژی مورد استفاده برای تضمین اکسیژن مورد نیاز برای هر مخزن با مجموع مقدار انرژی مورد نیاز برای تأمین اکسیژن مورد نیاز باکتری‌ها و ماهی‌ها در هر مخزن برای کل دوره تخمین زده شد. برآوردها بر اساس

تجزیه و تحلیل آماری

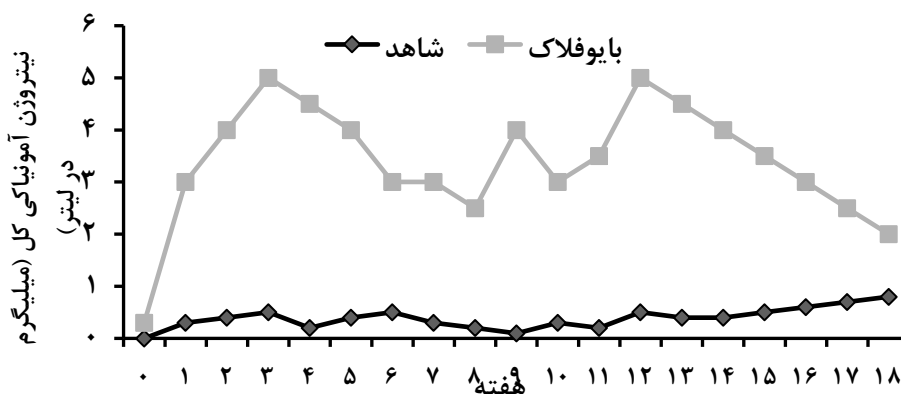
نتایج به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد بیان شد. شاخص‌های رشد به دست آمده و همچنین فراسنجه‌های کیفی آب هر سازگان پرورشی، با استفاده از آزمون t-student در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل آماری شد. همه داده‌ها از نظر نرمال بودن (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) و همگنی واریانس بررسی شدند.

نتایج

میانگین فراسنجه‌های کیفی آب در جدول ۱ نشان داده شده است. دما و اکسیژن محلول تفاوت معنی‌داری در تیمار بایوفلاک و شاهد نداشتند و در محدوده بهینه رشد ماهی کپور معمولی باقی ماندند. مخازن تیمار شاهد به طور معنی‌دار نیترژن آمونیاکی کل کمتری نسبت به مخازن بایوفلاک داشت (جدول ۱). تیمار بایوفلاک به طور معنی‌دار نیتریت بالاتری در مقایسه با گروه شاهد داشت ($p < 0.05$). نیترات از ۵۴/۵ تا ۶۸/۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود و در هفته‌های آخر دوره پرورش به ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز رسید. تغییرات در ترکیبات نیترژنی آمونیاکی محلول در شکل ۱ نشان داده شده است. در طی دوره پرورش، میانگین نیترژن آمونیاکی کل در تیمارهای بایوفلاک کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر باقی ماند و در هفته سوم و دوازدهم و اواخر دوره پرورش به اوج خود و به ۵ میلی‌گرم در لیتر رسید.

جدول ۱ مقایسه میانگین (\pm انحراف معیار) پارامترهای کیفی آب و مصرف آب در طول دوره پرورش ماهی کپور در سازگان بایوفلاک و تعویض آب.

پارامتر	شاهد	تیمار بایوفلاک
درجه حرارت (سانتی گراد)	$25/5 \pm 1/8^a$	$25/8 \pm 1/2^a$
اکسیژن محلول (میلی گرم در لیتر)	$7/1 \pm 0/3^a$	$6/8 \pm 0/5^a$
نیتروژن آمونیاکی کل (میلی گرم در لیتر)	$0/4 \pm 0/12^b$	$1/4 \pm 0/2^a$
نیتريت (میلی گرم در لیتر)	$0/5 \pm 0/1^b$	$1/74 \pm 0/25^a$
نیترات (میلی گرم در لیتر)	$7/5 \pm 0/12^b$	$55/6 \pm 4/5^a$
pH	$7/68 \pm 0/05^a$	$7/15 \pm 0/05^b$
قلیائیت (میلی گرم در لیتر کلسیم)	$210/5 \pm 5/5^a$	$223/2 \pm 12/5^a$
حجم فلاک (میلی لیتر در لیتر)	-	$21 \pm 3/5$
کربوهیدرات مصرفی (کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم ماهی)	-	$0/468 \pm 0/04$
کربنات کلسیم مصرفی (کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم ماهی)	-	$0/093 \pm 0/002$
کل مصرف آب (مترمکعب)	$18/1 \pm 0/2^b$	$1/4 \pm 0/3^a$
آب مصرفی به ازای هر کیلوگرم ماهی (مترمکعب)	$1/9 \pm 0/07^a$	$0/15 \pm 0/02^b$



شکل ۱ مقایسه میانگین (\pm انحراف معیار) هفتگی نیتروژن آمونیاکی در سازگان بایوفلاک و تعویض آب در طول پرورش متراکم ماهی کپور معمولی.

جدول ۲ مقایسه میانگین (\pm انحراف معیار) شاخص‌های رشد ماهی کپور پرورش یافته در سازگان بایوفلاک و تعویض آب پس ۱۸ هفته.

پارامتر	شاهد	تیمار بایوفلاک
وزن اولیه (گرم)	$40/9 \pm 0/8^a$	$39/6 \pm 0/5^a$
وزن نهایی (گرم)	$472/7 \pm 5/2^a$	$465/2 \pm 4/3^a$
نرخ رشد ویژه (درصد در روز)	$1/24 \pm 0/02^a$	$1/22 \pm 0/01^a$
ضریب تبدیل غذایی	$1/92 \pm 0/07^a$	$1/54 \pm 0/05^b$
زی توده نهایی (کیلوگرم در مترمکعب)	$21/15 \pm 1/2^a$	$21/3 \pm 0/67^a$
نرخ بازماندگی (بیشینه- کمینه)	90 ± 5^a	$91/6 \pm 2/8^a$
شاخص وضعیت	$1/95 \pm 0/3^a$	$1/91 \pm 0/1^a$
نسبت کارایی پروتئین	$1/53 \pm 0/08^a$	$1/89 \pm 0/05^b$

هوادهی در تیمار بایوفلاک افزایش بالاتری داشت. سود خالص و درصد حاشیه سود از افزایش معنی‌دار در تیمار بایوفلاک برخوردار بود ($p < 0.05$).

نتایج مربوط به ارزیابی اقتصادی ماهی کپور پرورش یافته در سازگان بایوفلاک و سازگان تعویض آب در جدول ۳ نشان داده شده است. تفاوت معنی‌دار در هزینه کل تولید بین دو گروه وجود نداشت ($p > 0.05$). هزینه انرژی برای

جدول ۳ مقایسه ارزیابی اقتصادی تولید ماهی کپور پرورش یافته در یک سازگان بایوفلاک و یک سازگان تعویض آب پس از ۱۸ هفته.

شاخص	شاهد	تیمار بایوفلاک
هزینه خرید بچه ماهی (هزار ریال در مترمکعب)	۱۵۰۰	۱۵۰۰
هزینه خوراک (هزار ریال در مترمکعب)	۳۸۴۰	۲۹۰۰
هزینه ملاس (هزار ریال در مترمکعب)	-	۴۱۰
هزینه کربنات کلسیم (هزار ریال در مترمکعب)	-	۱۲
هزینه انرژی هوادهی (هزار ریال در مترمکعب)	۱۲۶ ^a	۲۵۳ ^b
کل هزینه تولید (هزار ریال در مترمکعب)	۵۴۶۶	۵۰۷۵
درآمد ناخالص (هزار ریال در مترمکعب)	۶۳۴۵	۶۳۹۰
سود خالص (هزار ریال در مترمکعب)	۸۷۹ ^a	۱۲۱۵ ^b
حاشیه سود (درصد)	۱۶/۱ ^a	۲۵/۹ ^b

بحث

کاهش کیفیت آب یکی از نگرانی‌های مهم در آبرزی پروری است و وضعیت زیست گونه‌های آبرزی به میزان قابل توجهی به آن بستگی دارد. در آبرزی پروری کیفیت آب معمولاً با تعویض منظم آن حفظ می‌شود. با وجود این، اینکار پرهزینه و وقت گیر است و ممکن است عوامل بیماری‌زا را وارد محیط آب پرورش کند. در نتیجه، به یک رویکرد جدید به عنوان سازگان بایوفلاک مبتنی بر دستکاری میکروبی در آبرزی پروری توجه شده است.

در بررسی حاضر میانگین فراسنجه‌های کیفی آب در محدوده بهینه رشد ماهی کپور معمولی بود. میانگین سطح اکسیژن محلول ثبت شده در این مطالعه ۶/۵ میلی‌گرم در لیتر بود. به دلیل افزایش تنفسی مداوم ناشی از تجمع مواد آلی، رشد آبزیان، سوخت و ساز بالای باکتری‌ها (Schveitzer et al. 2013) و تعویض محدود آب، کاهش اکسیژن در طی دوره پرورش در سازگان بایوفلاک قابل انتظار است (Mendoza-Lopez et al. 2017) و اوج این کاهش حدود ۰/۵ ساعت پس از افزودن منبع کربن است.

میزان نیتروژن آمونیاکی کل در این تحقیق به‌طور میانگین ۱/۴ میلی‌گرم در لیتر بود. همچنین، بر اساس غلظت اندازه-

گیری شده نیترات مشخص شد که حضور باکتری‌های نیتریفایر نقش مهمی در حذف TAN و ثبات سازگان داشتند. میانگین مقدار نیتريت در مخازن بایوفلاک معادل ۱/۷۴ میلی‌گرم در لیتر با مکمل کربنی ملاس به دست آمد. یادآور می‌شود که برای تنظیم نیتريت از نمک به مقدار ۲ گرم در لیتر به صورت هفتگی استفاده می‌شد. هوادهی ناکافی، وجود نقاط کور در مخازن پرورش، عدم تعادل باکتریایی و تجمع لجن از مهم‌ترین عوامل افزایش نیتريت در سازگان به‌شمار می‌رود. لازم به ذکر است که در کنار دانش فنی و تخصصی، طراحی فنی مناسب منطبق با اصول سازگان بایوفلاک اعم از احداث سازه و هواده‌ها از مهم‌ترین عواملی است که در اغلب موارد نادیده گرفته شده و مشکلات زیادی در طی دوره پرورش ایجاد می‌کند. در این مطالعه میانگین محدوده نیتريت در تیمار بایوفلاک از ۵۵ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد که نشان‌دهنده تبدیل کارآمد نیتريت به نیترات توسط باکتری نیتروباکتر یا به‌عبارتی نرخ بالای نیتریفیکاسیون در سازگان است. گزارش شده است که در فرآیند نیتریفیکاسیون برای اکسایش ۱ میلی‌گرم TAN تقریباً به ۴ میلی‌گرم اکسیژن و ۸ میلی‌گرم کربنات نیاز است (Azim and Little, 2008). به‌رغم این واقعیت که در طی دوره پرورش، ملاس بر اساس نسبت

احتمال گرفتگی آبشش و عفونت انگلی توصیه شده است. در طی دوره پرورش تلاش برای حفظ حجم فلاک در محدوده کمتر از ۲۵ میلی‌لیتر در لیتر انجام شد، اما در مواقعی نیز حجم فلاک غیرقابل کنترل بود که با تعویض جزئی آب تنظیم می‌شد. بنابراین، مدیریت حجم فلاک با استفاده از روش‌ها و ابزارهای مختلف کنترلی و تعویض محدود آب جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت مؤثر این سازگان است.

در این مطالعه، مصرف آب در گروه شاهد بسیار بیش از تیمارهای بایوفلاک با تعویض آب محدود بود. ۱۳ برابر مصرف آب بیشتر به ازای هر کیلوگرم ماهی کپور تولید شده در گروه شاهد نسبت به تیمار بایوفلاک نشان‌دهنده مزیت استفاده فناوری بایوفلاک به‌خصوص در مناطق با منابع آبی بسیار محدود است. Ridha و همکاران (۲۰۲۰) نتایج مشابهی از مصرف آب بالاتر در مخازن غیر بایوفلاک (۴۲ برابر) نسبت به مخازن بایوفلاک گزارش کردند. با وجود این، مصرف آب ۰/۱۷-۰/۱۳ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم ماهی کپور تولید شده در تحقیق حاضر در تیمار بایوفلاک بیش از مقدار آب مصرفی برای تولید ماهی کپور توسط بخشی و همکاران (۱۳۹۵) بود.

در بررسی حاضر، شواهد واضحی وجود داشت که نشان می‌داد زی‌توده بایوفلاک به رشد و تولید ماهی کپور معمولی کمک می‌کند. علاوه بر این، مقادیر ضریب تبدیل غذایی و شاخص وضعیت به‌دست‌آمده در تیمار بایوفلاک نشان می‌دهد که ماهی کپور از ذرات بایوفلاک و میکروفلور سوبسترا به عنوان منبع غذایی استفاده می‌کند (Ebrahimi et al. 2020). نتایج مطالعه حاضر مشابه نتایج یافت شده توسط Wang و همکاران (۲۰۱۵) در ماهی کاراس (*Carassius auratus*) پرورش یافته در سازگان بایوفلاک بود و بیان‌گر آن است که گونه‌های کپورماهیان گزینه خوبی برای پرورش در سازگان‌های بایوفلاک هستند (بخشی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Aalimahmoudi and Mohammadiazarm, 2019). نتایج وزن نهایی انفرادی در تیمار بایوفلاک نسبت به گروه شاهد اندکی کمتر بود که این کاهش رشد فردی به بی‌ثباتی فراسنجه‌های کیفی آب مانند نوسانات pH، قلیائیت، آمونیاک و همچنین افزایش کدورت ناشی از توده بایوفلاک نسبت داده می‌شود (Azim & Little, 2008). در گزارشی اظهار شد ماهی کپور معمولی پس از ۶ ماه

۱ به ۲۰ کربن به نیتروژن به سازگان اضافه می‌شد (Avnimelech, 1999)، گاهی اوقات در طی آزمایش در مخازن بایوفلاک غلظت TAN و نیتريت افزایش و حتی به سطح بحرانی می‌رسید. اگرچه سازگان بایوفلاک به سبب مزیت داشتن جامعه‌ای از باکتری‌های مولتی‌تروفیک (چندتغذیه‌ای) ترکیبات نیتروژنی سمی را هضم می‌کند (Ebeling و همکاران، ۲۰۰۶؛ Azim and Little, 2008). علاوه بر این، راهبرد افزودن کربن آلی تنها زمانی که غلظت TAN برابر یا بیش از ۱ میلی‌گرم در لیتر باشد، باعث افزایش تجمع کمتر جامدات و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

روند کاهش pH در سازگان بایوفلاک می‌تواند به دلیل تولید باکتری‌ها (Azim and Little, 2008)، نرخ تنفسی بالا توسط جامعه میکروبی هتروتروف و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محلول در سازگان با تعویض آب محدود باشد. Martins و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که pH در دامنه ۶/۵-۷/۵ باعث افزایش عملکرد رشد آبی در سازگان بایوفلاک می‌شود. pH با حفظ قلیائیت کافی تثبیت می‌شود. در این مطالعه، قلیائیت ثبت شده در تیمار بایوفلاک بیش از محدوده ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده توسط Hargreaves (۲۰۰۶) برای تشکیل بهتر بیوفلاک و استقرار باکتری‌های نیتریفایر بود. در حالی که قلیائیت کل در مخازن شاهد پایدار بود (۲۱۵-۲۰۵ میلی‌گرم در لیتر)، اما در مخازن بایوفلاک (۲۴۰-۲۰۵ میلی‌گرم در لیتر) نوسان داشت که نشان می‌دهد سازگان‌های بایوفلاک ظرفیت بافری را از دست می‌دهند و بنابراین، نیاز به افزودن مکرر کربنات کلسیم دارند. برای تبدیل هر گرم آمونیاک به نیترات ۷/۰۷ گرم قلیائیت مصرف می‌شود و بنابراین، برای افزایش pH و قلیائیت، ترکیبات کربناته به سازگان اضافه می‌شود (Azim & Little, 2008; Luo et al. 2017). در مطالعه حاضر، مقدار متوسط روزانه آهک اضافه‌شده به مخازن بایوفلاک معادل ۲۰٪ مصرف خوراک روزانه بود تا قلیائیت را در سازگان حفظ کند.

کنترل مواد جامد برای حفظ سطح اکسیژن محلول و شرایط زیستی مطلوب آرزویان اهمیت زیادی دارد (Hargreaves, 2006; Azim and little, 2008). میانگین حجم فلاک به‌دست آمده در این مطالعه (۲۵-۱۷ میلی‌لیتر در لیتر) در محدوده ایمن بود که برای کاهش

پیتیدوگلیکان‌ها، بتاگلوکان‌ها و لیپوپلی ساکاریدها در دیواره یاخته‌ای باکتری‌های بایوفلاک و همچنین، وجود ترکیبات ضد اکسایش در ترکیب بیوشیمیایی آن نسبت داد که ایمنی و بقای آبی را افزایش می‌دهد (Kim et al. 2014; Walker et al. 2020). نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات پیشین در ماهی کپور معمولی در سازگان بایوفلاک مشابهت داشت (Bakhshi et al. 2018; Ebrahimi et al. 2020; Akhavan Abiri et al. 2011).

هزینه ذخیره‌سازی بچه ماهی، غذا و انرژی سهم عمده‌ای در هزینه تولید دارد که منجر به افزایش هزینه کل می‌شود. در سازگان بایوفلاک به واسطه در دسترس بودن غذای طبیعی در طی مدت شبانه‌روز، مقدار غذای مصرفی و به تبع آن ضریب تبدیل غذایی کاهش یافت که می‌تواند مزیت بزرگی برای این سازگان به دلیل صرفه‌جویی در هزینه تولید و جلوگیری از تخریب محیط زیست به واسطه کاهش حجم پساب باشد. اگرچه سازگان بایوفلاک مستلزم استفاده از مکمل‌های کربنی (ملاس) و کربناته (کربنات کلسیم) برای حفظ فراسنجه‌های کیفی آب در مقایسه با سازگان‌های معمولی است و لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر طبق برآورد انجام شده، هزینه ملاس و کربنات کلسیم کمتر از ۸٪ کل هزینه تولید بود.

محققان مختلف اظهار کرده‌اند که با استفاده از سازگان بایوفلاک برای پرورش آبزیان می‌توان ۲۰-۱۰٪ هزینه‌های تولید را کاهش داد (Avnimelech, 1999; De (Schryver, 2008; Crab, 2010). در تحقیق حاضر، هزینه تولید ماهی کپور در سازگان بایوفلاک در مقایسه با سازگان معمولی تعویض آب تقریباً ۸٪ کاهش یافت که اگر هزینه مربوط به تصفیه آب (که در این بررسی لحاظ نشد) را نیز در نظر بگیریم، این رقم مقرون به صرفه‌تر نیز خواهد شد.

نتایج بررسی حاضر بیان‌گر حاشیه سود ۵۰٪ سازگان بایوفلاک نسبت به سازگان شاهد و همراه با مصرف بسیار کمتر آب با تراکم ذخیره‌سازی و قیمت فروش یکسان بود. این مطالعه اطلاعات مربوط به مرحله رشد ماهی کپور معمولی در سازگان بایوفلاک و مزایا و محدودیت‌های این سازگان را در پرورش این گونه نشان داد و فقط یک تحلیل اقتصادی در سازگان بایوفلاک در یک بازه زمانی مشخص را

پرورش در سازگان بایوفلاک با استفاده از منابع کربنی مورینگا به وزن نهایی ۹۰۹/۴۸ گرم رسید (Castro et al. 2018).

دلایل مختلفی می‌تواند اثرات مفید بایوفلاک بر عملکرد رشد و زی‌توده ماهی کپور معمولی در این سازگان را تشریح کند. اول اینکه بایوفلاک حاوی سطوح بالای پروتئین (۳۹۷/۹-۴۴۸ گرم بر کیلوگرم؛ Li et al. 2018) بوده و می‌تواند توسط ماهی مصرف شود (Ray et al. 2017).

همچنین، به واسطه بازیافت مواد مغذی به وسیله باکتری‌های هتروتروفیک، بهره‌وری فسفر و نیتروژن در سازگان بایوفلاک افزایش می‌یابد. در ضمن در ترکیب توده بایوفلاک علاوه بر مواد مغذی، مواد معدنی فراوان (مانند منگنز، روی، مس، سدیم، منیزیم، برم و پتاسیم)، پلی‌بتا‌هیدروکسی بوتیرات و ترکیبات زیست‌فعال (کاروتنوئید، کلروفیل، بروموفنول‌ها و فیتواسترول‌ها) وجود دارد که رشد و ایمنی را تقویت می‌کند. از سویی، بایوفلاک قادر است احتیاجات غذایی آبزیان را با مواد مغذی طبیعی (پروتئین باکتریایی، ریزجلبک، پروتوزوا، نماتد، دیاتومه، پاروپا و کرم پرتار) مرتفع کند و سرانجام اینکه بایوفلاک با تغییر و اصلاح جمعیت باکتریایی روده ظرفیت جذب و عملکرد رشد آبی را بهبود می‌بخشد (Cardona et al. 2016). علاوه بر این، بایوفلاک‌ها دارای خواص پروبیوتیکی هستند که به آبزیان در هضم و جذب جیره‌های مصنوعی کمک می‌کند.

به احتمال زیاد به دلیل مصرف بایوفلاک و باکتری‌های هتروتروف که به عنوان پروبیوتیک عمل می‌کنند، فعالیت آنزیم‌های گوارشی در شرایط بایوفلاک افزایش می‌یابد (Khanjani et al. 2021). فعالیت آنزیم‌های پروتئاز و آمیلاز در سازگان بایوفلاک نسبت به سازگان‌های واجد تعویض آب معمولی بیشتر است. این آنزیم‌ها به تجزیه پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و دیگر مواد مغذی کمک می‌کنند و غذا را به واحدهای کوچک‌تر تجزیه می‌کنند و هضم و جذب آن را تسهیل می‌کنند (Xu and Pan, 2012). هنگامی که غذای دستی همراه با بایوفلاک مصرف می‌شود، بایوفلاک به عنوان یک آنزیم خارجی مکمل عمل می‌کند و عملکرد آنزیم‌های گوارشی را به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Lin et al. 2007).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بازماندگی ماهی کپور معمولی در تیمار بایوفلاک نسبت به گروه شاهد بالاتر بود که دلیل آن را می‌توان به وجود محرک‌های ایمنی مانند

عوامل بیماری‌زا می‌توان استفاده از این فناوری را برای پرورش متراکم ماهی کپور و در محیط بسته توصیه کرد.

منابع

- Aalimahmoudi, M., Mohammadiazarm, H. 2019. Dietary protein level and carbon/nitrogen ratio manipulation in bioflocs rearing of *Cyprinus carpio* juvenile: Evaluation of growth performance, some blood biochemical and water parameters. *Aquaculture* 513: 734-408.
- Abbas Zadeh, A., Yavari, V., Hosseini, S.J., Nafisi Bahabadi, M. 2018. Effects of molasses and spoilage date palm extract on bacterial load of water, growth performance and intestine of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in the biofloc technology. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 26: 33-41.
- Addo, F.G., Zhang, S., Manirakiza, B., Ohore, O.E., Shudong, Y. 2021. The impacts of straw substrate on biofloc formation, bacterial community and nutrient removal in shrimp ponds. *Bioresources Technology* 326: 124727.
- Akhava Abiri, S.H., Chitsaz, H., Najdegerami, E.H., Akrami, R., Shalazar Jalali, A. 2022. Effects of wheat and rice bran fermentation on water quality, growth performance and health status of Common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles in biofloc-based system. *Aquaculture* 555: 738168.
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176: 227-235.
- Azim, M.E., Little, D.C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283: 29-35.
- Bakhshi, F., Najdegerami, E.H., Manaffar, R., Tukmechi, A., Farah, K.R. 2018. Use of different carbon sources for the biofloc system during the grow-out culture of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Aquaculture* 484: 259-267.
- Cardona, E., Gueguen, Y., Magre, K., Lorgeoux, B., Piquemal, D., Pierrat, F., Saulnier, D. 2016. Bacterial community characterization of water and intestine of the shrimp *Litopenaeus stylirostris* in a biofloc system. *BMC Microbiology* 16: 157-166.
- Castro, M., Castro, M.G., Castro, A.E.C., Vega, U.A.L., Moreno, O.L. 2018. Weight gain comparison in common carp (*Cyprinus carpio*) cultured in a biofloc system with four different carbon sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6: 11-15.
- Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., Verstraete, W. 2010. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research* 41: 559-567.
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. 2008. The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277: 125-137.
- Ebrahimi, A., Akrami, R., Najdegerami, E.H., Ghiasvand, Z., Koohsari, H. 2020. Effects of different protein levels and carbon sources on water quality, antioxidant status and performance of common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles raised in biofloc based system. *Aquaculture* 516: 734-739.
- Emerenciano, M.G.C., Martínez-Cordova, L.R., Martínez-Porchas, M., Miranda-Baeza, A. 2017. Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. *Water Quality* 5: 92-109.

ارائه کرد و مطالعه بازگشت سرمایه در مطالعه حاضر انجام نشد.

در مجموع، با توجه به اثرات مثبت استفاده از فناوری پرورش به روش بیوفلاک در کاهش هزینه تولید (شامل کاهش مصرف آب، زمین و غذا)، افزایش امنیت زیستی، کاهش شیوع بیماری‌ها و افزایش مقاومت آبی در برابر

- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Hargreaves, J.A. 2006. Photosynthetic suspended growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering* 34: 344-363.
- Khanjani, M.H., Sharifinia, M. 2021. Biofloc technology with addition molasses as carbon sources applied to *Litopenaeus vannamei* juvenile production under the effects of different C/N ratios. *Aquaculture International* 30: 383-397.
- Kim, S., Pang, Z., Seo, H., Cho, Y., Samocha, T., Jang, I. 2014. Effect of bioflocs on growth and immune activity of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Aquaculture Research* 45: 362-371.
- Kumar, V.S., Pandey, P.K., Anand, T., Bhuvanewari, G.R., Dhinakaran, A., Kumar, S. 2018. Biofloc improves water, effluent quality and growth parameters of *Penaeus vannamei* in an intensive culture system. *Journal of Environmental Management* 215: 206-215.
- Li, J., Liu, G., Li, C., Deng, Y., Tadda, M.A., Lan, L., Zhu, S., Liu, D. 2018. Effects of different solid carbon sources on water quality, biofloc quality and gut microbiota of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae. *Aquaculture* 495: 919-931.
- Lin, S., Mai, K., Tan, B. 2007. Effects of exogenous enzyme supplementation in diets on growth and feed utilization in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture Research* 38: 1645-1653.
- Luo, G., Zhang, N., Cai, S., Tan, H., Liu, Z. 2017. Nitrogen dynamics, bacterial community composition and biofloc quality in biofloc-based systems cultured *Oreochromis niloticus* with poly-β-hydroxybutyric and polycaprolactone as external carbohydrates. *Aquaculture* 479: 732-741.
- Martins, G. B., da Rosa, C.E., Tarouco, M.F., Robaldo, R.B. 2019. Growth, water quality and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in biofloc technology system at different pH. *Aquaculture Research* 50: 1030-1039.
- Mendoza-Lopez, D., Castaneda-Chavez, M., Lango-Reynoso, F., Galaviz-Villa, I., Montoya-Mendoza, J., Ponce-Palafox, J. 2017. The effect of biofloc technology (BFT) on water quality in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture: a review. *Revista Bio Ciencias* 4: 1-15.
- Pekkoh, J., Lomakool, S., Chankham, J., Duangjan, K., Thurakit, T., Phinyo, K., Ruangrit, K., Tragoolpua, Y., Pumas, C., Pathom-aree, W., Srinuanpan, S. 2022. Maximizing biomass productivity of cyanobacterium *Nostoc* sp. through high-throughput bioprocess optimization and application in multiproduct biorefinery towards a holistic zero waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 10.1007/s13399-021-02285-0.
- Ray, A.J., Drury, T.H., Cecil, A. 2017. Comparing clear-water RAS and biofloc systems: Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production, water quality, and biofloc nutritional contributions estimated using stable isotopes. *Aquacultural Engineering* 77: 9-14.
- Ridha, M.T., Arshad Hosein, M.D., Azad, I.S. Saburova, M. 2020. Effects of three carbohydrate sources on water quality, water consumption, bacterial count, growth and muscle quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquaculture Research* 51: 4225-4237.
- Schveitzer, R., Arantes, R., Costodio, P.F.S., do Espírito Santo, C.M., Arana, L.V., Seiffert, W.Q. 2013. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquaculture Engineering* 56: 59-70.
- Wang, G., Yu, E., Xie, J., Yu, D., Li, Z., Luo, W., Qiu, L., Zheng, Z. 2015. Effect of

- C/N ratio on water quality in zero–water exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp (*Carassius auratus*). *Aquaculture* 443: 98-104.
- Walker, D.A.U., Suazo, M.C.M., Emerenciano, M.G.C. 2020. Biofloc technology: principles focused on potential species and the case study of Chilean river shrimp (*Cryphiops caementarius*). *Reviews in Aquaculture* 12: 1759-1782.
- Xu, W., Pan, L., Zhao, D., Huang, J. 2012. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture* 350-353: 147-153.