



به کارگیری منابع کربنی مختلف در سیستم بیوفلاک بر کیفیت آب، شاخص‌های رشد و ترشح نیتروژن متابولیکی در ماهیان انگشت قد کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

ملیحه براتی قلعه شیری^۱، حجت‌الله جعفریان^{۲*}، ضیاء کردجزی^۳، حسین آدینه^۳، محمد فرهنگی^۳

۱. کارشناسی ارشد گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گلستان، ایران

۲. دانشیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گلستان، ایران

۳. استادیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گلستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۷

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

DOR: [20.1001.1.20085729.1401.75.4.6.1](https://doi.org/10.21001/1.20085729.1401.75.4.6.1)

چکیده

سیستم بیوفلاک از جمله فن‌آوری‌های جدیدی است که در طول سال‌های اخیر کاربردهای زیادی در پرورش متراکم و نیمه متراکم آبزیان داشته است. از مهم‌ترین مزایای این سیستم کاهش مصرف آب و افزایش میزان تولید در واحد سطح بدون نیاز به سیستم بیوفیلتر با تکیه بر حضور باکتری‌های هتروتروف است. این آزمایش به مدت ۴۵ روز با ۱۲۰ قطعه بچه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با میانگین وزنی $15/2 \pm 18/07$ گرم انجام شد. بچه ماهیان به شکل تصادفی در ۴ تیمار هر کدام با ۳ تکرار تقسیم شدند. یک تیمار بدون تغییر در نسبت کربن به نیتروژن ولی با تعویض آب به عنوان گروه شاهد (A) انتخاب شد. در تیمارهای بعدی بچه ماهیان با سیستم بیوفلاک حاوی منابع کربنی آرد ذرت (B)، آرد گندم (C) و آرد جو (D) پرورش داده شدند. در پایان دوره، شاخص‌های کیفی آب، میزان رشد و نرخ ترشح نیتروژن متابولیکی بین تیمارهای مختلف مقایسه شد. بر اساس نتایج به دست آمده شاخص‌های کیفی آب بین تیمارهای بیوفلاک نسبت به گروه شاهد بهبود یافت ($p < 0/05$). شاخص‌های رشد به طور معنی‌داری در تیمارهای بیوفلاک ارتقاء یافت ($p < 0/05$). بالاترین میزان رشد و کمترین ضریب تبدیل غذایی در سیستم بیوفلاک حاوی آرد جو ثبت شد ($p < 0/05$). نرخ ترشح آمونیاک و اوره در تیمارهای بیوفلاک نسبت به گروه شاهد به طور معنی‌داری بالاتر بود ($p < 0/05$). بالاترین نرخ ترشح آمونیاک و اوره در تیمار بیوفلاک حاوی آرد جو ثبت شد ($p < 0/05$). در مجموع بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان این‌چنین نتیجه‌گیری کرد که استفاده از آرد جو به عنوان منبع کربن در سیستم بیوفلاک برای پرورش ماهی کپور معمولی قابل استفاده است. استفاده از این منبع کربن علاوه بر بهبود شاخص‌های کیفی آب در ارتقاء رشد بچه ماهیان کپور معمولی در سیستم بیوفلاک نیز مؤثر خواهد بود.

واژگان کلیدی: بیوفلاک، کیفیت آب، عملکرد رشد، سلامتی، کپور معمولی.



Effects of different carbon sources on water quality, growth parameters and excretion of metabolic nitrogen in a biofloc -common carp (*Cyprinus carpio*) culture system

**MaliheBarati Ghaleshiri¹, Hojatollah Jafaryan^{2*}, Zia Kordjazi³,
Hosein Adineh³, Mohammad Farhangi³**

1. M.Sc. Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, GonbadKavous University, Golestan, Iran

2. Associate Professor, Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, GonbadKavous University, Golestan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, GonbadKavous University, Golestan, Iran

Received: 02-Nov-2021

Accepted: 29-Oct-2022

Abstract

Biofloc system is a new technology that used in intensive and semi intensive aquaculture systems. The main advantage of this system is reducing the water use, along with increasing the intensity of production based on heterotrophic bacteria than autotrophic bacteria. The fish were divided into 4 groups in 3 replicates. The first group (A) was reared in normal culture situation as a control. In subsequent treatments, juvenile were rearing in a biofloc system containing various carbon sources, including: maize flour (B), Wheat flour (C) and barley flour (D) as different treatments. One hundred and twenty fingerlings of common carp with initial average body weight of 15.18 ± 2.07 g introduced into the experimental treatments and cultured for 45 days. At the end of the experiment, water quality, growth performance, and metabolic nitrogen excretion rates compared among treatments. Based on the results, water quality improved among all biofloc treatments compared to the control group ($p < 0.05$). Growth indices significantly improved in all biofloc treatments ($p < 0.05$). The highest growth rate and the lowest feed conversion ratio were recorded in the biofloc system containing barley flour ($p < 0.05$). Ammonia and urea excretion in biofloc treatments were significantly higher than the control group ($p < 0.05$). The highest ammonia and urea excretion rates were recorded in the biofloc treatment containing barley flour ($p < 0.05$). Therefore, it was concluded that the use of barley flour as a carbon source in the biofloc system can be used for rearing of common carp. The use of this carbon source, in addition to improving of water quality, is effective in promoting the growth of common carp in the biofloc system.

Keywords: Biofloc, Water quality, Growth performance, Healthy, Common carp.

۱. مقدمه

با توجه به روند افزایش جمعیت، تقاضا برای غذاهای دریایی و آبزیان رو به افزایش می‌باشد. در کنار این موضوع افزایش صید بی‌رویه و آلودگی‌های منابع آبی باعث کاهش ذخایر با ارزش آبزیان و روی آوردن به آبی‌پروری متراکم در اکثر نقاط جهان شده است، ولی با توجه به محدود بودن منابع آبی در اکثر مناطق و همچنین خشک‌سالی و کمبود زمین که به‌طور فزاینده‌ای آینده بشریت را تهدید می‌نماید، باید پیگیری رویکردها و روش‌های نوین و با صرفه اقتصادی در جهت پرورش متراکم آبزیان با حداقل آسیب به محیط زیست بود. در اکثر سیستم‌های پرورش متراکم مشکلاتی از قبیل استفاده زیاد از آب، یا تولید پساب سرشار از مواد مغذی و آلی مطرح است که موجب آسیب جدی به محیط زیست، شکوفایی جلبکی و تلفات آبزیان بومی به دلیل کاهش میزان اکسیژن می‌گردد (Avnimelech, 2009). تهیه غذای با کمیت و کیفیت مناسب و اقتصادی، یکی دیگر از مشکلات گسترش سیستم‌های پرورش متراکم آبزیان است. به‌طوری‌که استفاده از جیره‌های تجاری برای پرورش ماهی کپور و امور با توجه به ضریب تبدیل غذایی بالا غیراقتصادی شده است. به‌طور کلی در آبی‌پروری حدود ۷۰ درصد هزینه تولید به خوراک اختصاص دارد (Hargreaves, 2013). راهکارهای متفاوتی برای بالا بردن تولید در واحد سطح و کاهش مصرف آبدر پرورش آبزیان ارائه شده است. استفاده از سیستم مدار بسته پرورش آبزیان از روش‌های نسبتاً موفق در این راستا است (Mahanand et al., 2013). این روش به دلیل وابستگی شدید به جمعیت باکتریایی نسبتاً خاص در ساختار فیلترهای زیستی یا بیوفیلترها برای حذف ترکیبات نیتروژن‌دار که شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند، برای بسیاری از گونه‌ها موفق‌آمیز نبوده است، ضمن آنکه در استفاده از این روش بایستی از خوراک با کیفیت بالا، گران‌قیمت و سیستم فیلتراسیون پر هزینه استفاده کرد که باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. لذا، محققان درصدد یافتن روش‌های جایگزین

مناسب‌تری هستند. یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری در پرورش میگو و ماهی مورد استفاده قرار گرفته است فن‌آوری بیوفلاک است. فن‌آوری بیوفلاک یا تولید رشته‌های زیستی، فن‌آوری جدیدی است که در سال‌های اخیر در تأسیسات آبی‌پروری به خصوص سیستم‌های متراکم و نیمه متراکم استفاده می‌شود و از مهم‌ترین مزایای این سیستم کاهش مصرف آب، افزایش تولید در واحد سطح، بدون نیاز به کارگیری بیوفیلتر در سیستم پرورشی، با تکیه بر حضور باکتری‌های هتروتروف است (Avnimelech, 2009).

بیوفلاک توده‌ای زیستی، ناهمگن و به هم پیوسته از جلبک‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوئاها، ذرات کلونیدی، ذرات معلق، پلیمرهای آلی، کاتیون‌ها و سلول‌های مرده و دیگر مواد آلی مثل مواد دفعی ماهیان و یا غذای خورده نشده در سیستم‌اند (Wei et al., 2016)، و غنی از اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، مواد معدنی و فسفرند، به همین علت بیوفلاک خشک شده به عنوان یک جزء جیره برای جایگزینی آرد ماهی یا پودر گوشت پیشنهاد شده است (Hargreaves, 2013).

یکی از اهداف اصلی فن‌آوری بیوفلاک استفاده بهینه از منابع غذایی مصرفی و کاهش بار آلودگی است (Avnimelech, 2009). هدف دیگر معرفی سیستم آبی‌پروری متراکمی است که به محیط زیست اطراف صدمه وارد نکند و خود سیستم نیز از خطر بیماری‌های شایع در منطقه ایمن باشد (Naylor et al., 2009) و سومین هدف این فن‌آوری، ایجاد سیستم‌های پرورشی است که دارای افزایش بازدهی اقتصادی برای تولید کننده باشد (Avnimelech, 2009).

بر اساس گزارش FAO، کپور ماهیان یکی از بزرگ‌ترین خانواده‌های ماهیان استخوانی در جهان اند. ماهی کپور معمولی یکی از مهم‌ترین گونه‌های آبی است و سومین گونه عمده آبی‌پرورشی در سطح جهان است (FAO, 2020). پرورش این گونه عموماً به‌صورت متراکم و نیمه متراکم در استخرهای خاکی انجام می‌شود.

بر کیفیت آب، شاخص‌های رشد و میزان ترشح متابولیت‌های نیتروژندار بود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. شرایط آزمایش

در این آزمایش که به مدت ۴۵ روز انجام شد، تعداد ۱۲۰ قطعه بچه ماهی کپور معمولی با میانگین وزن $15/02 \pm 1/93$ گرم از استخرهای پرورشی استان گلستان (گنبد کاووس) تهیه شد. طی دوره سازگاری یک هفته‌ای با شرایط جدید بچه ماهیان توسط خوراک استاندارد ماهی کپور معمولی با اندازه ۲ میلی متر (شرکت کوپنز-هلند)، تغذیه شدند. ترکیب شیمیایی جیره غذایی مورد استفاده در طول دوره آزمایش بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط شرکت سازنده در جدول ۱ گزارش شده است. غذادهی سه بار در روز به میزان ۲ درصد وزن توده زنده انجام شد (Craig and Helfrich, 2003). بچه ماهیان پس از طی دوره سازگاری با متوسط وزنی $15/18 \pm 2/07$ گرم و طولی $10/49 \pm 0/60$ سانتیمتر به‌طور تصادفی در ۴ تیمار آزمایشی هر کدام با ۳ تکرار تقسیم شدند. برای این منظور از ۱۲ مخزن پلاستیکی مدور با حجم آبگیری ۳۰ لیتر و تراکم ۱۰ قطعه بچه ماهی (متوسط بیوماس $19/72 \pm 1/86$ گرم) در هر مخزن استفاده شد. یک تیمار نیز بدون تغییر در نسبت کربن به نیتروژن ولی با تعویض آب به‌عنوان گروه شاهد (A) در نظر گرفته شد. تیمارهای بعدی به ترتیب حاوی منابع مختلف کربن شامل: آرد ذرت (B)، آرد گندم (C) و آرد جو (D) بودند. دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. تعویض آب در تیمارهای آزمایشی روزانه ۳ درصد بود. تعویض آب برای جبران هدر رفت آب طی نمونه‌برداری، جمع‌آوری فلاک اضافی و تبخیر آب صورت گرفت (Widanari et al., 2012).

پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهد که این گونه قابلیت پرورش به‌صورت فوق متراکم در استخرهای بتنی را نیز دارد (Najdegerami et al., 2016). پرورش در سیستم‌های فوق متراکم می‌تواند باعث افزایش میزان تجمع مواد آلی در استخر، از دست رفتن غذا^۱، تولید نیتروژن غیر آلی و سمی گردد که در نهایت منجر به افزایش نگرانی‌ها در خصوص آبی‌پروری پایدار خواهد شد (Zhao et al., 2013). بر اساس بررسی‌های انجام شده استفاده از فن‌آوری بیوفلاک باعث افزایش کیفیت آب، در دسترس بودن غذای طبیعی و بهبود عملکرد رشد ماهیان کپور معمولی در سیستم‌های فوق متراکم می‌گردد (Mahanand et al., 2013). تأثیر مثبت فن‌آوری بیوفلاک بر عملکرد رشد (Crab et al., 2010; Ekasari et al., 2015) و کیفیت آب (Megahed, 2010) در گونه‌های مختلف آبزیان گزارش شده است. Brito و همکاران (۲۰۱۶) و همچنین Ekasari و Bossier (۲۰۱۷) طی تحقیقات جداگانه گزارش دادند که پرورش آبزیان در سیستم بیوفلاک می‌تواند در حذف نیتروژن آمونیاکی کل (TAN)، کاهش مصرف آب و تولید پساب، کاهش میزان *Vibrio*، بهبود کارایی غذا و پروتئین خام لاشه مؤثر باشد. مطالعات Khatoon و همکاران (۲۰۱۶) و Kamilya و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که بهبود عملکرد رشد آبزیان در سیستم بیوفلاک را می‌توان به فلاک میکروبی و حفظ کیفیت آب در این سیستم پرورشی نسبت داد.

ماهی کپور معمولی بازارپسندی مناسب و بحران کمبود آب و تهدید آلاینده‌های آب نیز باعث شده است که به کارگیری روش‌های پیشرفته پرورش این و گونه‌های مشابه از نظر جایگاه غذایی در دستور کار محققین قرار گیرد. لذا می‌توان با بررسی سیستم بیوفلاک، علاوه بر پرورش متراکم این گونه، مصرف آب را کاهش داد و از آلاینده‌گی محیط نیز کاست و در عین حال از خوراک طبیعی هم بهره‌مند شد (Haqparast, 2017). بر اساس آنچه ذکر گردید هدف از اجرای تحقیق حاضر بررسی تأثیر استفاده از منابع مختلف کربن در سیستم بیوفلاک

¹ Feed residues

² Biomass

جدول ۱- میانگین درصد ترکیب بیوشیمیایی جیره غذایی ماهی کپور (Alltech Coppens B.V.) (%)

ترکیبات شیمیایی جیره (%)				
پروتئین	چربی خام	فیبر خام	خاکستر	رطوبت
۴۷	۸	۱/۱	۹/۷	۸

۲.۲. ایجاد سیستم بیوفلاک

در این آزمایش ابتدا دو هفته قبل از ماهی‌دار کردن مخازن، آب خروجی یک استخر پرورش کپور ماهیان به عنوان منبع اولیه باکتری‌های هتروتروف، برای ساخت فلاک به آب مخازن اضافه شد (Sharma *et al.*, 2015). سپس میزان آمونیاک کل (TAN)، نیتريت و نیترات در آب اندازه‌گیری گردید. پس از تثبیت شرایط بر اساس میزان آمونیاک کل و بر اساس فرمول ارائه شده توسط Avnimelech و همکاران (۲۰۱۲) میزان مناسب هر یک از افزودنی‌ها برای ایجاد نسبت‌های C:N برابر ۱:۱۵ محاسبه شد و بعد از رقیق‌سازی به مخازن اضافه گردید. به مدت یک هفته هوادهی شدید انجام گرفت و در نهایت بعد از اینکه میزان فلاک‌های موجود در سیستم به بیش از ۵ میلی‌گرم در هر لیتر رسید، مخازن ماهی‌دار شدند. در طول دوره‌ی آزمایش میزان کربن اضافه شده به هر تیمار بر اساس میزان پروتئین خوراک مصرفی و آمونیاک کل محاسبه و اضافه گردید (Avnimelech *et al.*, 2012).

$$\Delta CH = \text{feed (g)} \times \% \text{protein} \times \% N(16) \times \% N \text{ Excretion (90)} / (\% C \times E/[C/N_{mic}])$$

در فرمول فوق $E =$ ضریب کارایی تبدیل کربن در باکتری‌های هتروتروف است که معادل ۴۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. نسبت کربن به نیتروژن (C/N_{mic}) مورد نیاز در توده باکتری‌ها حدود ۴ در نظر گرفته می‌شود. $C =$ درصد کربن در کربوهیدرات است که معادل ۲۵ درصد در نظر گرفته شد (Avnimelech *et al.*, 2012). بر اساس تحقیق Ebeling و همکاران (۲۰۰۶) ضریب درصد نیتروژن دفعی ($\% N \text{ Excretion}$) بر مبنای نیتروژن

متابولیکی مترشحه از ماهی در نظر گرفته شد.

۲.۳. اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب

میزان اکسیژن محلول (DO) با دستگاه پرتابل کیفیت سنج آب Hack ساخت کشور آمریکا به صورت یک روز در میان اندازه‌گیری شد (APHA, 2012). دما به صورت روزانه و قبل از غذادهی به بچه ماهیان با دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. میزان pH نیز با دستگاه pH متر دیجیتال (Metrohm pH/Ion meter) ساخت کشور سوئیس به صورت یک روز در میان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان قلیائیت، آمونیاک و نیترات نیز بر اساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (APHA, 2012).

۲.۴. اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و تغذیه

برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، تمامی ماهیان هر تیمار آزمایشی، به صورت انفرادی در ابتدا و انتهای دوره‌ی آزمایش مورد زیست‌سنجی قرار گرفتند. جهت کاهش استرس ۲۴ ساعت قبل از زیست‌سنجی غذادهی به‌طور کامل قطع شد. با استفاده از داده‌های به دست آمده از زیست‌سنجی بچه ماهیان و میزان پروتئین موجود در غذا و بر اساس فرمول‌های مربوطه اقدام به محاسبه‌ی میزان افزایش بیوماس، میانگین رشد روزانه، نرخ رشد ویژه، ضریب رشد حرارتی، سرعت رشد وزنی و طولی، کارایی تبدیل رشد و فاکتور وضعیت، ضریب تبدیل غذایی، کارایی غذا، غذای خورده شده روزانه، نسبت کارایی پروتئین، چربی و انرژی گردید (Ismail *et al.*, 2019).

$100 \times [\text{مدت مطالعه} / (\text{وزن اولیه} - \text{وزن نهایی})] = \text{میانگین رشد روزانه}$
 [زمان / (لگاریتم طبیعی میانگین وزن اولیه به گرم - لگاریتم طبیعی میانگین وزن نهایی به گرم)] $\times 100 = \text{نرخ رشد ویژه}$
 [میانگین درجه حرارت به سانتی گراد \times زمان / (وزن توده زنده اولیه ماهی به گرم - $^{۰.۳۳۳}$ وزن توده زنده نهایی ماهی به گرم)] = ضریب رشد حرارتی
 [(میانگین وزن اولیه به گرم + میانگین وزن نهایی به گرم) \times زمان / (میانگین وزن اولیه به گرم - میانگین وزن نهایی به گرم) $\times 100$] = سرعت رشد وزنی (درصد)
 [(میانگین طول اولیه + میانگین طول نهایی) \times زمان / (میانگین طول اولیه - میانگین طول نهایی) $\times 100$] = سرعت رشد طولی (درصد)
 $100 \times (\text{غذای نسبی خورده شده} / \text{نرخ رشد ویژه}) = (\%) \text{ کارایی تبدیل رشد}$
 (میانگین طول انتهای دوره به سانتیمتر) / میانگین وزن انتهای دوره به گرم $\times 100 = \text{شاخص وضعیت}$
 افزایش وزن بدن (گرم) / مقدار غذای خورده شده (گرم) = ضریب تبدیل غذایی
 (مقدار غذای خورده شده به گرم / افزایش وزن بدن به گرم) $\times 100 = \text{کارایی غذا (درصد)}$
 [زمان $\times 2$ / (میانگین وزن اولیه به گرم + میانگین وزن نهایی به گرم)] / غذای خورده شده $\times 100 = \text{غذای خورده شده روزانه}$
 مقدار مصرف پروتئین (گرم) / افزایش وزن (گرم) = نسبت کارایی پروتئین
 مقدار چربی خورده شده (گرم) / افزایش وزن (گرم) = نسبت کارایی چربی
 مقدار انرژی خورده شده (کیلوژول) / افزایش وزن (گرم) = نسبت کارایی انرژی

۲.۵. اندازه گیری آمونیاک و اوره

بدون ماهی نیز به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت نمونه آب از هر ظرف به طور جداگانه تهیه شد و غلظت آمونیاک با روش فنول-هیپوکلرید اندازه گیری شد. غلظت آمونیاک کل از تفریق مقدار به دست آمده از مقدار اندازه گیری شده در مخازن بدون ماهی به دست آمد. غلظت اوره نیز با استفاده از آنزیم اوره آز محاسبه گردید. برای محاسبه ی مقادیر متابولیت های مذکور از فرمول های زیر استفاده شد (Kozloski et al., 2006):

میزان ترشح آمونیاک و اوره در انتهای دوره اندازه گیری شد. تعداد ۵ قطعه بچه ماهی به طور تصادفی از هر تکرار انتخاب شد و پس از توزین، به مدت ۲۴ ساعت درون ظروف ۱۰ لیتری بدون هوادهی قرار گرفتند. به منظور جلوگیری از تأثیر ترشحات نیتروژنی مربوط به باکتری ها و سایر میکروارگانیسم های آبی همراه با نمونه تکرارهای آمونیاک و اوره، یک مخزن ۱۰ لیتری از همان آب؛ اما

میزان آمونیاک مترشحه ($\text{g Kg}^{-1} \text{ BW day}^{-1}$) (Engin and Carter, 2001)

وزن توده ماهی موجود در هر تانک (kg) / حجم آب \times [آمونیاک اولیه (mg/l) - آمونیاک نهایی (mg/l)] =

میزان اوره مترشحه ($\text{g Kg}^{-1} \text{ BW day}^{-1}$) (Engin and Carter, 2001)

وزن توده ماهی موجود در هر تانک (kg) / حجم آب \times [اوره اولیه (mg/l) - اوره نهایی (mg/l)] =

میزان انرژی تلف‌شده بر اساس آمونیاک مترشحه ($\text{Kj Kg}^{-1} \text{BW day}^{-1}$) (Engin and Carter, 2001)

(گرم/کیلوژول) $\times 24/83 \times 1000 / (\text{mg.kg}^{-1} \text{BW.day}^{-1})$ (آمونیاک مترشحه)=

میزان انرژی تلف شده بر اساس اوره مترشحه ($\text{Kj Kg}^{-1} \text{BW day}^{-1}$) (Engin and Carter, 2001)

(گرم/کیلوژول) $\times 23 \times 1000 / (\text{mg.kg}^{-1} \text{BW.day}^{-1})$ (وره مترشحه)=

۲.۶. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تحقیق حاضر در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) انجام شد. برای مقایسه میانگین بین تیمارها از پس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد.

۳. نتایج

۳.۱. شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب

نتایج بررسی شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب در جدول ۲ آورده شده است. میزان قلیائیت کل و دما بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). اکسیژن محلول همان‌طور که انتظار می‌رفت،

با توجه به بار بالای مواد آلی و موجودات زنده موجود در سیستم بیوفلاک، کاهش معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نشان داد ($p < 0.05$). میزان آمونیاک بین تمامی تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). کمترین میزان اکسیژن محلول در تیمار حاوی آرد گندم و کمترین میزان آمونیاک در تیمار حاوی آرد ذرت اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$). میزان NO_3 در تیمارهای حاوی آرد ذرت و آرد گندم به شکل معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$)؛ اما اختلاف معنی‌داری بین تیمار حاوی آرد جو و گروه شاهد مشاهده نشد ($p > 0.05$). متوسط pH نیز در تیمارهای حاوی آرد ذرت و آرد گندم نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد ($p < 0.05$)؛ اما تفاوت معنی‌داری بین تیمار حاوی آرد جو و گروه شاهد مشاهده نشد ($p > 0.05$).

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی آب (بر حسب میلی‌گرم در لیتر - بجز pH) بین تیمارهای حاوی منابع مختلف کربن

(A: گروه شاهد؛ B: تیمار بیوفلاک حاوی آرد ذرت، C: تیمار بیوفلاک حاوی آرد گندم؛ D: تیمار بیوفلاک حاوی آرد جو)

شاخص	A	B	C	D
دما ($^{\circ}\text{C}$)	۲۴±۰/۱	۲۴±۰/۱	۲۴±۰/۱	۲۴±۰/۱
اکسیژن محلول	۷/۰۲±۰/۲۲ ^a	۵/۸۳±۰/۳۳ ^c	۵/۵۳±۰/۲۳ ^c	۶/۵۸±۰/۰۵ ^b
نیترات	۰/۱۵۷±۰/۰۱ ^b	۰/۳۹۵±۰/۰۰ ^a	۰/۳۶۷±۰/۰۵ ^a	۰/۱۲۱±۰/۰۰ ^b
آمونیاک	۰/۰۹۴±۰/۰۲ ^a	۰/۰۵۷±۰/۰۱ ^b	۰/۰۸۸±۰/۰۱ ^{ab}	۰/۰۷۴±۰/۰۱ ^{ab}
قلیائیت کل	۲۸۹±۶۵	۲۶۷±۷	۳۰۵±۱۳	۲۶۷±۹۷
pH	۷/۴۷±۰/۱۸ ^a	۷/۴۰±۰/۰۱ ^{ab}	۷/۲۹±۰/۰۲ ^b	۷/۴۸±۰/۰۲ ^a

*حروف لاتین غیر همنام روی هر شاخص در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ است.

۳.۲. شاخص‌های رشد و تغذیه

نتایج مربوط به مقایسه شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه بین تیمارهای مختلف به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده بالاترین وزن، نرخ رشد ویژه (SGR)، شاخص وضعیت (CF)، کارایی غذا (FCE)، نسبت کارایی پروتئین (PER)، نسبت کارایی چربی (LER) و نسبت کارایی انرژی (EER) در تیمار حاوی آرد جو اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$). تمامی شاخص‌های مذکور در تیمارهای حاوی آرد ذرت و آرد گندم نیز بالاتر از گروه شاهد اندازه‌گیری شدند

($p < 0.05$). در حالی که میزان ضریب تبدیل غذایی (FCR) و غذای خورده شده‌ی روزانه (RFI) در تیمارهای بیوفلاک به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($p < 0.05$). پایین‌ترین ضریب تبدیل غذایی (۰/۴۴) و غذای خورده شده روزانه (۰/۹۲۱) در تیمار حاوی آرد جو ثبت گردید ($p < 0.05$). لازم به ذکر است که میانگین نسبت شاخص وضعیت در تیمارهای حاوی آرد ذرت و آرد گندم به‌طور معنی‌داری نسبت گروه شاهد کمتر بود ($p < 0.05$)؛ اما اختلاف معنی‌داری بین تیمار آرد جو و گروه شاهد وجود نداشت ($p > 0.05$).

جدول ۳- مقایسه میانگین (میانگین+انحراف معیار) شاخص‌های رشد بین تیمارهای حاوی منابع مختلف کربن (A: گروه شاهد، B: تیمار بیوفلاک حاوی آرد ذرت؛ C: تیمار بیوفلاک حاوی آرد گندم و D: تیمار بیوفلاک حاوی آرد جو)

D	C	B	A	شاخص‌های رشد
منبع کربنی جو	منبع کربنی گندم	منبع کربنی ذرت	شاهد (بدون منبع کربنی)	
۴۶/۱۱±۲۰/۳۰ ^a	۳۷/۱۲±۶۴/۱۳ ^{bc}	۳۹/۸±۵۳/۷۷ ^{ab}	۳۲/۸±۸۲/۵۰ ^c	وزن نهایی (گرم)
۱۳/۱±۴۶/۲۷ ^a	۱۲/۱±۶۷/۴۵ ^{ab}	۱۳/۱±۰۳/۱۳ ^a	۱۲/۱±۰۳/۰۷ ^b	طول نهایی (سانتی‌متر)
۲۸۲۸/۹۳۱±۹/۵ ^a	۲۲۳۸/۹۴۶±۶/۱ ^{ab}	۲۳۶۹/۶۰±۳/۷ ^{ab}	۱۷۲۰/۵۵۴±۹/۹ ^c	افزایش بیوماس (گرم)
۲/۱±۸۹/۳۱ ^a	۲/۱±۰۱/۴۳ ^{bc}	۲/۱±۳۰/۰۹ ^{ab}	۱/۰±۳۹/۹۱ ^c	ضریب رشد روزانه (/)
۱/۰±۸۶/۴۰ ^a	۱/۰±۳۸/۴۶ ^{bc}	۱/۰±۶۰/۲۷ ^{ab}	۱/۰±۰۶/۲۵ ^c	نرخ رشد ویژه (درصد وزن بدن/روز)
۵۲/۷±۵۳/۵۶ ^a	۳۱/۵±۱۰/۴۶ ^{bc}	۳۴/۶±۱۴/۳۱ ^{ab}	۱۲/۳±۸۷/۹۳ ^c	کارایی تبدیل رشد (/)
۰/۰±۸۰/۲۲ ^a	۰/۰±۵۷/۲۴ ^{bc}	۰/۰±۶۵/۱۵ ^{ab}	۰/۰±۴۸/۱۴ ^c	ضریب رشد حرارتی (/)
۱/۰±۷۷/۴۴ ^a	۱/۰±۳۲/۵۰ ^{bc}	۱/۰±۵۳/۳۲ ^{ab}	۱/۰±۰۳/۳۲ ^c	سرعت رشد وزنی (/)
۰/۰±۶۶/۱۴ ^a	۰/۰±۵۷/۱۵ ^a	۰/۰±۶۷/۱۳ ^a	۰/۰±۴۱/۰۹ ^b	سرعت رشد طولی (/)
۱/۰±۸۶/۱۲ ^a	۱/۰±۸۰/۱۳ ^{ab}	۱/۰±۷۶/۱۱ ^b	۱/۰±۸۵/۱۱ ^a	فاکتور وضعیت (ضریب چاقی)

*حروف لاتین غیر همنام در بالای اعداد در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ است.

جدول ۴- مقایسه میانگین (میانگین+انحراف معیار) شاخص‌های تغذیه بین تیمارهای حاوی منابع مختلف کربن (A: گروه شاهد، B: تیمار بیوفلاک حاوی آرد ذرت؛ C: تیمار بیوفلاک حاوی آرد گندم و D: تیمار بیوفلاک حاوی آرد جو)

D	C	B	A	شاخص‌های تغذیه
منبع کربنی جو	منبع کربنی گندم	منبع کربنی ذرت	شاهد (بدون منبع کربنی)	
۱/۰±۰۱/۱۴ ^c	۱/۰±۲۶/۱۶ ^{ab}	۱/۰±۱۹/۱۲ ^{bc}	۱/۰±۴۰/۱۳ ^a	ضریب تبدیل غذایی
۱۰۵/۲۵±۷۲/۸۵ ^a	۸۶/۲۷±۱۴/۷۶ ^{bc}	۹۰/۲۰±۴۵/۰۸ ^{ab}	۷۵/۱۹±۱۱/۳۸ ^c	نرخ کارایی غذا (/)
۹/۲±۲۱/۲۹ ^c	۱۱/۲±۹۹/۳۵ ^{ab}	۱۰/۱±۴۳/۱۸ ^{bc}	۱۴/۳±۴۳/۲۸ ^a	غذای نسبی خورده شده (/)
۵/۱±۴۰/۳۷ ^a	۴/۱±۴۰/۴۱ ^{bc}	۴/۱±۶۲/۰۲ ^{ab}	۳/۰±۸۴/۹۹ ^c	نسبت کارایی پروتئین
۲۰/۴±۸۷/۷۹ ^a	۱۷/۵±۰۴/۵۵ ^{bc}	۱۷/۳±۸۰/۶۷ ^b	۱۴/۴±۸۷/۰۱ ^c	نسبت کارایی چربی
۱۴/۳±۳۶/۵۰ ^a	۱۱/۳±۷۰/۷۷ ^{bc}	۱۲/۲±۲۸/۷۲ ^{ab}	۱۰/۲±۲۰/۶۳ ^c	نسبت کارایی انرژی

*حروف لاتین غیر همنام روی هر شاخص در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ است.

۳.۳. متابولیت‌های نیتروژنی

آزمایشی حاوی منابع کربنی به شکل معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود ($p < 0.05$). بالاترین میزان اندازه‌گیری شده برای شاخص‌های مذکور در تیمار حاوی آرد جو اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$). بعد از تیمار حاوی آرد جو بیشترین میزان شاخص‌های اندازه‌گیری شده به ترتیب در تیمارهای حاوی آرد گندم و سپس آرد ذرت مشاهده شد ($p < 0.05$).

نتایج تأثیر منابع کربنی بر میزان دفع نیتروژن و انرژی اتلافی توسط بچه ماهیان کپور معمولی در جدول ۵ آورده شده است. میزان نیتروژن دفع شده بر اساس آمونیاک، میزان نیتروژن دفع شده بر اساس اوره، مجموع نیتروژن دفع شده از طریق آمونیاک و اوره، انرژی اتلاف شده از طریق آمونیاک، انرژی اتلاف شده از طریق اوره و مجموع انرژی اتلاف شده از طریق آمونیاک و اوره در هر سه تیمار

جدول ۵- مقایسه میانگین (میانگین+انحراف معیار) میزان ترشح متابولیت‌های نیتروژنی و انرژی مصرفی بین تیمارهای حاوی منابع مختلف کربن (A: گروه شاهد، B: تیمار بیوفلاک حاوی آرد ذرت؛ C: تیمار بیوفلاک حاوی آرد گندم و D: تیمار بیوفلاک حاوی آرد جو)

D	C	B	A	متابولیت‌های نیتروژنی دفعی و انرژی اتلافی
منبع کربنی جو	منبع کربنی گندم	منبع کربنی ذرت	شاهد (بدون منبع کربنی)	
۱۸۵۱/۷۷±۱۲۴/۴۲ ^a	۱۳۷۵/۰۷±۱۴۴/۶۴ ^b	۱۰۰۶/۴۵±۹۵/۰۸ ^c	۷۳۱/۶۲±۱۰۲/۸۳ ^d	نیتروژن دفعی بر اساس آمونیاک (میلی گرم/کیلوگرم/ساعت)
۴۶۲/۹۴±۱۳/۱۹ ^a	۳۴۳/۷۸±۳۶/۱۵ ^b	۲۵۱/۶۷±۲۳/۷۳ ^c	۱۸۲/۹۱±۲۳/۲۷ ^d	نیتروژن دفعی بر اساس اوره (میلی گرم/کیلوگرم/ساعت)
۲۳۱۴/۷۱±۱۳۵/۶۵ ^a	۱۷۱۸/۸۵±۱۸۰/۸۲ ^b	۱۲۵۸/۱۲±۱۱۸/۸۳ ^c	۹۱۴/۵۳±۱۲۶/۰۵ ^d	مجموع نیتروژن دفع شده از طریق ترشح آمونیاک و اوره (میلی گرم/کیلوگرم/ساعت)
۴۵/۹۴±۳/۰۶ ^a	۴۳/۱۷±۳/۵۱ ^b	۲۴/۹۱±۲/۳۷ ^c	۱۸/۱۶±۱/۳۲ ^d	انرژی اتلاف شده از طریق ترشح آمونیاک (کیلوژول/کیلوگرم وزن بدن/روز)
۱۰/۶۲±۰/۷۲ ^a	۷/۹۱±۰/۸۶ ^b	۵/۷۲±۰/۵۵ ^c	۴/۲۸±۰/۷۲ ^d	انرژی اتلاف شده از طریق ترشح اوره (کیلوژول/کیلوگرم وزن بدن/روز)
۵۶/۶۱±۳/۸۴ ^a	۵۱/۰۶±۴/۴۳ ^b	۳۰/۷۸±۲/۹۲ ^c	۲۲/۴۱±۳/۹۵ ^d	مجموع انرژی اتلاف شده از طریق ترشح آمونیاک و اوره (کیلوژول/کیلوگرم وزن بدن/روز)

* حروف لاتین غیر همنام روی هر شاخص در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

دمایی مناسب برای رشد کپور ماهیان بین 24°C تا 30°C است (Das et al., 2006)؛ اما از آنجایی که اندازه و تراکم فلاک‌ها در سیستم بیوفلاک وابسته به دما است و افزایش بیش از حد دما باعث رشد بیش از حد فلاک‌ها می‌گردد؛ بنابراین این تراکم و رشد اضافی می‌تواند مشکل‌ساز گردد. محدوده دمایی مناسب برای سیستم بیوفلاک 25°C تا 28°C درجه سانتیگراد گزارش شده است (Huang et al., 2020). در پژوهش حاضر نیز دما در همین محدوده تنظیم شد. شرایط مناسب کپور ماهیان برای pH بین ۶/۵

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تغییر منابع کربنی در سیستم بیوفلاک تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های کیفی آب، شاخص‌های رشد و میزان ترشح آمونیاک توسط بچه ماهیان کپور معمولی داشت. میزان اکسیژن، دما، pH و ترکیبات نیتروژنی در آب از جمله مهم‌ترین شاخص‌های بیوشیمیایی آب هستند که بایستی در سیستم بیوفلاک همانند سایر سیستم‌های پرورشی متراکم و فوق متراکم به آن توجه داشت. محدوده‌ی

(Daims et al., 2001). در مطالعه Luo و همکاران در سال ۲۰۱۴ گزارش شد که سوبسترای کربن آلی در بازدارندگی رشد باکتری‌های عامل نیتریفیکاسیون اثر سویی ندارد؛ اما این سوبسترا با تحریک باکتری‌های هتروتروف باعث رشد سریع این باکتری‌ها می‌شود و در نتیجه باعث ایجاد رقابت بر سر اکسیژن، فضا، آمونیاک کل و مواد مغذی میکروسکوپی با باکتری‌های عامل نیتریفیکاسیون می‌گردد. در تحقیق Dauda و همکاران (۲۰۱۷) استفاده از بیوفلاک باعث کاهش معنی‌دار میزان آمونیاک در آب شد. Putra و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر منابع کربنی مختلف (ملاس، تاپیوکا و ساکارز) در سیستم بیوفلاک برای پرورش ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) میزان آمونیاک اندازه‌گیری شده را ۰/۰۷-۰/۰۲ میلی‌گرم/لیتر و میزان نیترات را ۰/۹-۳/۲۰ میلی‌گرم/لیتر گزارش دادند. در تحقیق حاضر میزان آمونیاک و نیترات در تیمار حاوی آرد جو پایین‌تر از گروه شاهد اندازه‌گیری شد که نشان دهنده کارایی بسیار بالای آرد جو به عنوان منبع کربن در حذف ترکیبات از ته از سیستم بیوفلاک است.

میزان رشد بچه ماهی کپور معمولی در تیمارهای تحت تأثیر بیوفلاک بخصوص منبع کربنی آرد جو افزایش معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نشان داد. در توجیه نتایج به دست آمده Ju و همکاران (۲۰۰۸) چنین استدلال کردند که بیوفلاک‌ها منابعی غنی از ترکیبات زیست‌فعال نظیر کاروتنوئیدها، کلروفیل‌ها، فیتواسترول‌ها، بروموفنول‌ها و آمینوشکرها است و در کنار این مواد دارای ترکیبات ضد باکتری و آنتی‌اکسیدانی نیز هستند که می‌تواند باعث افزایش رشد و بهبود سلامت آبزیان گردد. Khanjani و همکاران (۲۰۱۷) از منابع مختلف کربن از جمله ملاس، آرد گندم، نشاسته و مخلوط آن‌ها برای تشکیل بیوفلاک استفاده کردند. طبق مشاهده این محققین شاهد نتایج مختلفی از بیوفلاک‌های رشد یافته در هر ماده کربنی بودند. بر این اساس پیشنهاد شد که تغییر منابع کربنی باعث تغییر ترکیبات تغذیه‌ای

تا ۸/۵ است (Azim et al., 2008) که در مطالعه حاضر بین ۷/۲۹-۷/۴۸ به دست آمد. شاخص اندازه‌گیری شده در محدوده مناسب ماهی کپور قرار داشت. یکی از محدودیت‌های موجود در سیستم بیوفلاک تمایل شدید برای افت pH است که به علت وجود دی‌اکسید کربن بالای ناشی از تنفس میکروارگانیسم‌های هتروتروف حاضر در بیوفلاک و تولید اسید است. Azim و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که در سیستم بیوفلاک pH آب کاهش می‌یابد.

مناسب‌ترین میزان اکسیژن محلول برای رشد و آسایش ماهی کپور بالای ۵ میلی‌گرم در لیتر است (Adhikari, 2006). با توجه به اینکه در سیستم بیوفلاک علاوه بر خود گونه پرورشی، باکتری‌ها و تک‌یاخته‌ای‌های موجود در سیستم نیز از مصرف‌کنندگان اکسیژن به شمار می‌روند؛ بنابراین میزان اکسیژن در این سیستم پرورشی از دیگر عوامل محدود کننده و بحرانی است که نیاز به هوادهی زیاد و با کیفیت است. در این بررسی با هوادهی مناسب اکسیژن محلول در آب در بالای ۵ میلی‌گرم در لیتر نگه داشته شد. لازم به ذکر است که میزان اکسیژن محلول در طول دوره تحقیق در تیمارهای بیوفلاک نسبت به گروه شاهد کمتر بود؛ که این نتایج نشان دهنده نیاز اکسیژنی بیشتر این سیستم نسبت به روش‌های معمول پرورش ماهی کپور است.

یکی از استراتژی‌های ایجاد سیستم بیوفلاک کمک به برقراری تعادل بین مواد دفعی محلول و جامد تولیدی، منبع کربنی و فعالیت باکتریایی سیستم است (Ebeling et al., 2006). در سیستم‌های آبی‌پروری متراکم کیفیت آب به سرعت تحت تأثیر مواد غذایی مصرف نشده و مواد دفعی آبی قرار می‌گیرد که اغلب به صورت آمونیاک و در حالت یونی از طریق آبشش‌ها، ادرار و مدفوع وارد آب می‌شود (Crab et al., 2012). در سیستم بیوفلاک تبدیل ترکیبات نیتروژنی سمی به ترکیبات غیر سمی به دلیل اینکه این فرایند توسط باکتری‌های هتروتروف غالب در آب (معمولاً جنس باسیلوس و یزدوموناس) انجام می‌گیرد، بسیار کارآمدتر است

بیوفلاک بودند. Bakhshi و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی منابع مختلف کربنی شامل: شکر چغندر قند، شکر و نشاسته ذرت در سیستم بیوفلاک برای پرورش ماهی کپور معمولی بهترین میزان رشد و کمترین ضریب تبدیل غذایی را در تیمار حاوی نشاسته ذرت گزارش دادند. Castro و همکاران (۲۰۱۶) نیز با بررسی تأثیر سیستم بیوفلاک در پرورش ماهی گل‌دیفیش (*Carassius auratus*) با منابع مختلف کربن (ملاس) و گیاهان کربن دار بومی *Moringa* (گز روغنی) و *Coffee* (قهوه) شاهد بهبود عملکرد رشد ماهیان در سیستم بیوفلاک نسبت به ماهیان پرورش یافته در سیستم معمولی بودند.

ثابت شده است که در آبیان ترشح آمونیاک، اوره و بودجه‌بندی انرژی وابسته به دما است (Finn *et al.*, 2002; Sun and Chen, 2009) و در گونه‌های گرم آبی نرخ ترشح آمونیاک با افزایش دما افزایش می‌یابد (Ruyet *et al.*, 2004). در تحقیق حاضر میزان ترشح آمونیاک و اوره و به تبعیت از آن‌ها انرژی اتلافی از طریق ترشح این متابولیت‌ها بین تمامی تیمارهای آزمایشی بالاتر از گروه شاهد اندازه‌گیری شد. نرخ ترشح آمونیاک و اوره و انرژی اتلافی بین تیمارهای تحت بررسی به صورت آرد جو < آرد گندم < آرد ذرت < گروه شاهد گزارش شد. به دلیل مشکلات موجود در اندازه‌گیری در تحقیقات بسیار معدودی به بررسی میزان ترشح آمونیاک و اوره پرداخته شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در تحقیق حاضر مشخص گردید که تغییر منبع کربن در سیستم بیوفلاک احتمالاً باعث افزایش سطوح متابولیسم پروتئین اعم از آنابولیسم و کاتابولیسم آن در ماهی کپور معمولی می‌گردد. با این حال سایر محققین نظیر Engin و Carter (۲۰۰۱) نشان دادند که زمانی که ماهیان از جیره‌های با سطوح بالاتر پروتئین تغذیه شدند، مقدار ترشح آمونیاک و اوره در آن‌ها افزایش داشت. همچنین در تیمارهای تحت افزودن منابع کربنی، علی‌رغم افزایش ترشح آمونیاک و اوره از ماهیان کپور و نیز افزایش زیس توده ماهیان در آن‌ها، مقادیر غلظت آمونیاک محلول آب

و کیفیت فلاک‌ها می‌گردد. Tacon و همکاران (۲۰۰۲) نیز اظهار داشتند که بیوفلاک، هضم و جذب غذا را افزایش می‌دهد و منبع غذایی کاملی برای موجودات آبی پرورشی فراهم می‌نماید. میکروارگانیسم‌ها و جوامع میکروبی وابسته به آن‌ها در سیستم بیوفلاک نه تنها باعث حذف پساب و مواد دفعی می‌شوند؛ بلکه سرعت رشد، بازده خوراک و افزایش وزن گونه‌های پرورشی را افزایش می‌دهند (Khanjani *et al.*, 2016; 2017; Burford *et al.*, 2004; Wasielesky *et al.*, 2006). Ahmad و همکاران (۲۰۱۹) پیشنهاد کردند که این تغییرات ممکن است به دلیل ویژگی ترکیبی منابع مختلف کربن رخ دهد. Mahanand و همکاران (۲۰۱۳) نیز اشاره کردند که محتوای مواد مغذی بیوفلاک‌ها به نحوی است که می‌توان از آن‌ها برای تغذیه ماهیان گیاه خوار و همه چیز خوار جهت دستیابی به رشد مطلوب استفاده کرد. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که استفاده از بیوفلاک در سیستم‌های پرورشی بدون تبادل آب به طور قابل توجهی به رشد و تولید تیلاپیا کمک می‌کند (Avnimelech, 2007; Azim and Little 2008). گنجاندن بیوفلاک در رژیم غذایی منجر به بهبود ۷۵ درصدی عملکرد رشد در ماهی کپور معمولی شد (Najdegerami *et al.*, 2016).

Khanjani و همکاران (۲۰۱۵) میزان ضریب تبدیل غذایی را در سیستم بیوفلاک و گروه شاهد به ترتیب ۱/۵۲ و ۱/۲۹-۱/۲۰ گزارش دادند. در تحقیقی دیگر Khanjani (۲۰۱۵) گزارش داد که حضور بیوفلاک می‌تواند منجر به کاهش میزان FCR (۱/۱-۱/۲۹) و افزایش کارایی غذا (۷۸/۶۱-۸۶/۲۶) در مقایسه با گروه شاهد گردد (۱/۵۲ برای FCR و ۶۶/۸۱ درصد برای کارایی غذا). Ahmad و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی منابع مختلف کربن (تاپوکا، گندم، ذرت و شکر باگاس) بالاترین میزان رشد بچه ماهیان انگشت قد کپور هندی (*Labeo rohita*) را در سیستم بیوفلاک حاوی آرد ذرت گزارش دادند. Najdegerami و همکاران (۲۰۱۶) نیز شاهد افزایش رشد بچه ماهیان کپور معمولی در سیستم

سطوح پایین انرژی جیره می‌تواند باعث ایجاد مشکلات جدی در متابولیسم ماهی گردد. چون وقتی از پروتئین به عنوان منبع انرژی استفاده شود، ضریب تبدیل خوراک و دفع آمونیاک توسط گونه آبی افزایش می‌یابد که این موضوع منجر به محدود شدن رشد آبی خواهد شد (Furuya et al., 2005; Pezzato et al., 2002). در مقابل، سطوح بالای انرژی ممکن است مصرف عناصر مغذی را محدود کرده و عملکرد کلی ماهی را تحت تأثیر قرار دهد (Gonçalves et al., 2009).

با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که استفاده از منابع کربنی مختلف در سیستم بیوفلاک برای پرورش ماهی کپور معمولی نتایج متفاوتی را به همراه خواهد داشت. از بین منابع کربنی مورد استفاده آرد جو نسبت به سایر منابع علاوه بر بهبود شاخص‌های کیفی آب توانست در ارتقاء شاخص‌های رشد ماهی کپور معمولی نیز مؤثر باشد، اما نرخ ترشح آمونیاک و اوره را نسبت به سایر منابع با شدت بیشتری افزایش داد.

حوضچه‌های پرورشی در این تیمارها در مقایسه با گروه شاهد پایین بود که نشان دهنده عملکرد مثبت سیستم بیوفلاک است. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن منابع کربنی به سیستم پرورشی توانسته است فعالیت میکروارگانیسم‌های مؤثر در بیوفلاک را تشدید نموده و در نتیجه آمونیاک و اوره مترشحه توسط ماهیان، با سرعت بیشتری در تولید پروتئین و دیگر ترکیبات بیوشیمیایی استفاده گردد. در این خصوص انجام بررسی‌های علمی بیشتر می‌تواند در آینده جنبه‌های مهمی از این یافته‌ی علمی را ارائه نماید.

در تحقیق Rafiee و همکاران (۲۰۰۶) نرخ ترشح روزانه آمونیاک، با توجه به غذای مصرفی یکسان، در ماهیان تیلاپیا با افزایش وزن افزایش یافت؛ در تحقیق حاضر نیز شاهد افزایش نرخ ترشح آمونیاک و اوره با افزایش وزن بچه ماهیان بودیم. افزایش میزان ترشح آمونیاک و اوره به دلیل استفاده از پروتئین به عنوان منبع انرژی و یا کاتابولیسم بیشتر پروتئین در طول دوره تاریکی است. طبق گزارش Durigon و همکاران (۲۰۱۹)

۵. منابع

References

- Adhikari, S., 2006. Soil and water quality management in aquaculture. Handbook of fisheries and aquaculture. Indian Council of Agricultural research, New Delhi, p.1-30.
- Ahmad, I., Leya, T., Saharan, N., Asanaru Majeedkutty, B.R., Rathore, G., Gora, A.H., Bhat, I.A., Verma, A.K., 2019. Carbon sources affect water quality and haemato-biochemical responses of *Labeo rohita* in zerowater exchange biofloc system. *Aquaculture Research* 50, 2879–2887.
- APHA. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington D.C, USA.
- Avnimelech, Y., 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140–147.
- Avnimelech, Y., 2009. Biofloc Technology: A Practical Guide Book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States, 182 P.
- Avnimelech, Y., 2012. Biofloc Technology-A Practical Guide Book, 2nd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA, 272 P.
- 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.

- Azim, M.E., Little, D.C., Bron, J.E., 2008. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C: N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology* 99(9), 3590-3599.
- Bakhshi, F., Najdegerami, E.H., Manaffar, R., Tukmechi, A., Rahmani Farah, K., 2018. Use of different carbon sources for the biofloc system during the grow-out culture of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture* 484, 259–267.
- Bossier, P., Ekasari, J., 2017. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Biotechnology* 10, 1012–1016.
- Brito, L. O., Chagas, A. M., da Silva, E. P., Soares, R. B., Severi, W., Galvez, A.O., 2016. Water quality, *Vibrio* density and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in an integrated biofloc system with red seaweed *Gracilaria birdiae* (Greville). *Aquaculture Research* 47, 940–950.
- Burford, M. A., Thompson, P. J., McIntosh, R. P., Bauman, R. H., Pearson, D. C., 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture* 232(1), 525-537.
- Castro, M.G., Castro, M.J., De Lara, A.R., Monroy, D.M.C., Ocampo, C.J.A., Davila, F.S., 2016. Length, weight and condition factor comparison of *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) juveniles cultured in biofloc system. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 4(6), 345-350.
- 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.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356, 351–356.
- Craig, S., Helfrich, L. A., 2002. Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding. Virginia cooperative extension, Publication, pp. 420-456.
- Daims, H., Nielsen, J. L., Nielsen, P. H., Schleifer, K. H., Wagner, M., 2001. In Situ Characterization of Nitrospira-Like Nitrite-Oxidizing Bacteria Active in Wastewater Treatment Plants. *Applied and environmental microbiology* 67(11), 5273-5284.
- Das, P. C., Ayyappan, S., Jena, J. K., 2006. Haematological changes in the three Indian major carps, *Catla catla* (Hamilton), *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) exposed to acidic and alkaline water pH. *Aquaculture* 256(1), 80-87.
- Dauda, A. B., Romano, N., Ebrahimi, M., Teh, J. C., Ajadi, A., Chong, C. M., Karim, M., Natrah, I., Kamarudin, M. S., 2017. Influence of carbon/nitrogen ratios on biofloc production and biochemical composition and subsequent effects on the growth, physiological status and disease resistance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in glycerolbased biofloc systems. *Aquaculture* 483, 120-130.
- Durigon, E. G., Lazzaric, R., Uczayc, J., de Alcântara Lopesa, D. L., Jerônimod, G. T., Sgnaulin, T., Emerenciano, M. G. T. C., 2019. Biofloc technology (BFT): Adjusting the levels of digestible protein and digestible energy in diets of Nile tilapia juveniles raised in brackish water. *Aquaculture and Fisheries* 5(1), 42-51.
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., Bisogni, J. J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257(1), 346-358.
- Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S. H., Bachtiar, T., Surawidjaja, E. H., Bossier, P., De Schryver, P., 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture* 426, 105–111.

- Ekasari, J., Rivandi, D. R., Firdausi, A. P., Surawidjaja, E. H., Zairin, M., Bossier, P., De Schryver, P., 2015. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture* 441, 72–77.
- Elliott, J. M., 1976. Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L). *Animal Ecology* 45, 561–580.
- Engin, K., Carter, C. G., 2001. Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquaculture* 199, 123-136.
- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome.
- Finn, R. N., Ronnestad, I., Meeren T., Fyhn, H. J., 2002. Fuel and metabolic scaling during the early life stages of Atlantic cod *Gadus morhua*. *Marine Ecology Progress Series* 243, 217-234.
- Furuya, W. M., Botaro, D., Maria, R., Macedo, G., De Gomes, V., Rosa Silva, L. C., de Castro Silva, T., Furuya, V. R. B., Sales, P. G. P., 2005. Aplicação do Conceito de Proteína Ideal para Redução dos Níveis de Proteína em Dietas para Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 35, 1433–1441.
- Gonçalves, G. S., Pezzato, L. E., Barros, M. M., Julia, M., Rosa, S., 2009. Níveis de proteína digestível e energia digestível em dietas para tilápias-do- nilo formuladas com base no conceito de proteína ideal. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38, 2289–2298.
- Haqqarast Ramard, M.M., 2017. Investigating the effect of using biofloc technology on growth parameters, water quality, immunity and healthy indices of common carp *Cyprinus carpio*. Ph.D. thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. 171 p. (In Persian).
- Hargreaves, J. A., 2013. Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center (U.S.), National Institute of Food and Agriculture (U.S.), 11 P.
- Huang, H. H., 2020. Novel biofloc technology (BFT) for ammonia assimilation and reuse in aquaculture in situ. *Emerging technologies and research for eco-friendly aquaculture*, pp. 3-22.
- Ismail M., Wahdan A., Yusuf M., Metwally S.E., Mabrok M., 2019. Effect of dietary supplementation with a synbiotic (Lacto Forte) on growth performance, haematological and histological profiles, the innate immune response and resistance to bacterial disease in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research* 50(9), 2545-2562.
- Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., Kuo, W.C., David Horgen, F., 2008. Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *Aquaculture Research* 39(2), 118-133.
- Kamilya, D., Debbarma, M., Pal, P., Kheti, B., Sarkar, S., Singh, S. T., 2017. Biofloc technology application in indoor culture of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings: the effects on inorganic nitrogen control, growth and immunity. *Chemosphere* 182, 8–14.
- Khanjani, M. H., Sajjadi, M., Alizadeh, M., Sourinejad, I., 2016. Study on nursery growth performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) under different feeding levels in zero water exchange system. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 15(4), 1465–1484.
- Khanjani, M. H., Sajjadi, M., Alizadeh, M., Sourinejad, I., 2017. Nursery performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) cultivated in a biofloc system: the effect of adding different carbon sources. *Aquaculture Research* 48, 1491–1501.
- Khanjani, M., Sajjadi, M., Alizadeh, M., Sourinejad, I., 2015. Effect of different feeding levels on water quality, growth performance and survival of western white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) post larvae with application of biofloc technology. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 24 (2), 13-27. (In Persian).

- Khanjani, M.H., 2015. Effect of different feeding ratios in biofloc system on water quality, growth performance and carcass composition of western white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931). Ph.D. thesis, Hormozgan University. 165 p. (In Persian).
- Khatoon, H., Banerjee, S., Yuan, G. T. G., Haris, N., Ikhwanuddin, M., Ambak, M. A., Endut, A., 2016. Biofloc as a potential natural feed for shrimp postlarvae. *International Biodeterioration and Biodegradation* 113, 304–309.
- Kozloski, G. V., Senger, C. C. D., Perottoni, J., Sanchez, L. B., 2006. Evaluation of two methods for ammonia extraction and analysis in silage samples. *Animal feed science and technology*, 127(3-4), 336-342.
- Luo, G. Z., Gao, Q., Wang, C. H., Liu, W. C., Sun, D. C., Li, L., Tan, H., 2014. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture* 422, 1–7.
- Mahanand, S. S., Moulick, S., Rao, P. S., 2013. Optimum formulation of feed for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), with biofloc as a component. *Aquaculture International* 21, 347–360.
- Megahed, M. E., 2010. The effect of microbial biofloc on water quality, survival and growth of the green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) fed with different crude protein levels. *Journal of the Arabian Aquaculture Society* 5, 119–142.
- Najdegerami, E. H., Bakhshi, F., Bagherzadeh Lakani, F., 2016. Effects of biofloc on growth performance, digestive enzyme activities and liver histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings in zero-water exchange system. *Fish Physiology and Biochemistry* 42 (2), 457–465.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405(6790), 1017-1024.
- Pezzato, L. E., Miranda, E. C., Barros, M. M., Pinto, L. G. Q., Furuya, W. M., Pezzatoet, A. C., 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 31, 1595–1604.
- Putra, I., Effendi, I., Lukistyowati, I., Tang, U. M., Fauzi, M., Suharman, I., Muchlisin, Z. A. 2020. Effect of different biofloc starters on ammonia, nitrate, and nitrite concentrations in the cultured tilapia *Oreochromis niloticus* system. *F1000 Research* 9 (293) 1-6.
- Rafiee, GH., Saad, Ch.R. Kamarudin, M.S., Ismail, M.R., 2006. Estimation of ammonia excretion rates during a period of red tilapia culture, considering biomass increase in a water recirculating system, *Iranian Journal of Fisheries Sciences* (1) 69-82.
- Ruyet, J. P., Mahé, K., Bayon, N. L., Delliou, H. L., 2004. Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 237, 269-280.
- Sharma, D. A., sharma, K., sangotra, R., 2015. Biofloc culture and its utilisation as feed in limited water exchange system for the culture of *labeo rohita*. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary* 3(2), 185-193.
- Sun, L., Chen, J., 2009. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture* 292, 197-206.
- Tacon, A., Cody, J., Conquest, L., Divakaran, S., Forster, I., Decamp, O., 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition* 8, 121–137.
- 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.

- Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C. L., 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.
- Wei, Y., Liao, S. A., Wang, A. L., 2016. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture* 465, 88-93.
- Widanari, A., Ekasari, J., Maryam, S., 2012. Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis sp* cultured at different stocking densities. *Journal of biosciences* 2, 73- 80.
- Zhao, Z. G., Xu, Q. Y., Luo, L., Yin, J. S., Wang, C. A., 2013. Effect of adding carbon source on growth of fish and water quality in Songpu mirror carp (*Cyprinus specularis* Songpu) pond. *Journal of Northeast Agricultural University* 44, 105-112.