University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 8, No. 1, 2022, pages: 41-56
DOI: 10.22124/janb.2023.23646.1180

Effects of *Nannochloropsis oculata* and *Isochrysis galbana* microalgae added in biofloc system on body composition and sensory evaluation of fillets in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*

Mohsen Asghari[1], Sakineh Yeganeh[*1], Mahmoud Hafezieh[2]

1- Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran

2- Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received 02 January 2022 Revised 15 March 2022 Accepted 19 March 2022

KEYWORDS

Protein

Biofloc

Water

physicochemical

parameters

ABSTRACT

Biofloc technology is a technique to maintain water quality by absorbing water nitrogen and converting it into the microbial protein. The purpose of this study was to investigate the effects of adding *Nannochloropsis oculata* and *Isochrysis galbana* on biochemical composition of biofloc and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillet. This study was carried out using 5 treatments including control (T_1), biofloc group (T_2), treatments containing biofloc and *N. oculata* (T_3), biofloc and *I. galbana* (T_4), and biofloc and combination of both algae (T_5) on Nile tilapia with a density of 15 fish per tank (with water intake volume of 150 liters) and in the system without water exchange in a period of 60 days. According to the results, the highest values of fish fillet fat were obtained in the treatments containing biofloc ($p<0.05$). No significant difference was observed in the dry weight and carcass protein values among the treatments containing biofloc ($p>0.05$); however, significantly highest compared to the control ($p<0.05$). The amount of ash did not show a significant difference among experimental treatments ($p>0.05$). Also, the highest amount of carbohydrates was observed in the control group ($p<0.05$). Based on organoleptic properties of tilapia fillets raised in the biofloc system and control treatment, fillet color, taste, texture, chew ability, and general acceptability did not exhibit any significant differences among different treatments ($p>0.05$). Using 75% of the feeding required for tilapia in the biofloc system caused an elevation in body protein compared to the control treatment. In addition, the amount of fat also upraised due to the employment of this system. Using single-celled algae resulted in an increase in the amount of biofloc and an effect on the composition of Nile tilapia fish fillets.

*Corresponding author: skyeganeh@gmail.com; s.yeganeh@sanru.ac.ir

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال هشتم، شماره یکم، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۵۶-۴۱

DOI: 10.22124/janb.2023.23646.1180

"مقاله پژوهشی"

تأثیر ریزجلبک‌های *Nannochloropsis oculata* و *Isochrysis galbana* اضافه شده به بایوفلاک بر ترکیب بدنی و ارزیابی حسی فیله در ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)

محسن اصغری[۱]، سکینه یگانه*[۱]، محمود حافظیه[۲]

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، مازندران

۲- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

چکیده

فناوری بایوفلاک فناوری برای حفظ کیفیت آب از طریق جذب نیتروژن آب و تبدیل آن به پروتئین میکروبی است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر افزودن ریزجلبک‌های *Nannochloropsis oculata* و *Isochrysis galbana* بر ترکیب بیوشیمیایی بایوفلاک تولیدی و ترکیب بدنی فیله ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) بود. این مطالعه با ۵ تیمار شامل گروه شاهد، تیمار حاوی بایوفلاک، تیمار حاوی بایوفلاک و جلبک *N. oculata*، تیمار حاوی بایوفلاک و جلبک *I. galbana* و تیمار حاوی بایوفلاک و ترکیب هر دو جلبک بر ماهیان تیلاپیای انگشت قد با تراکم ۱۵ قطعه در هر مخزن (با حجم آب‌گیری ۱۵۰ لیتر) و بدون تعویض آب برای تیمارها در مدت زمان ۶۰ روز انجام شد. بر اساس نتایج، بالاترین مقادیر مربوط به چربی فیله ماهیان، در تیمارهای حاوی بایوفلاک به‌دست آمد ($p<۰/۰۵$). تفاوت معنی‌داری در مقادیر وزن خشک و پروتئین لاشه در بین تیمارهای حاوی بایوفلاک مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$)، ولی نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌دار بیشتر بودند ($p<۰/۰۵$). میزان خاکستر در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌دار نشان نداد ($p>۰/۰۵$). همچنین، بالاترین مقدار کربوهیدرات در تیمار شاهد مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). بر اساس ارزیابی حسی فیله ماهیان تیلاپیا پرورش یافته در سازگان بایوفلاک و گروه شاهد، رنگ فیله، مزه، بافت، قابلیت جویدن و پذیرش کلی در بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار نشان نداد ($p>۰/۰۵$). استفاده از ۷۵٪ جیره مورد نیاز برای تغذیه ماهیان تیلاپیا، در سازگان بایوفلاک سبب افزایش میزان پروتئین بدن نسبت به گروه شاهد شد. همچنین مقدار چربی نیز در اثر استفاده از این سازگان افزایش یافت. استفاده از جلبک‌های تک سلولی سبب افزایش میزان حجم بایوفلاک شده و بر ترکیب فیله ماهی تیلاپیای نیل مؤثر بود.

کلمات کلیدی

پروتئین

بایوفلاک

پارامترهای

فیزیکوشیمیایی آب

نویسنده مسئول: skyeganeh@gmail.com s.yeganeh@sanru.ac.ir;

مقدمه

با توجه به گسترش سریع آبزی‌پروری، خوراک ماهی به عنوان یک جزء ضروری در نظر گرفته می‌شود که بیش از ۵۰ تا ۷۰٪ کل هزینه عملیاتی در آبزی‌پروری را تشکیل می‌دهد (FAO, 2018). از آنجا که تنها حدود ۲۶٪ از نیتروژن و ۳۰٪ از فسفر موجود در خوراک توسط ماهی‌ها استفاده می‌شود، تجمع ضایعات ماهی و خوراک نخورده آن چیزی است که باعث افزایش بار نیتروژن و آمونیاک پیوندی در روش‌های پرورش ماهی نیمه‌متراکم و متراکم می‌شود (Baluyut and Balnyme, 1995). تعویض مداوم و جزئی آب، به‌خصوص در پرورش متراکم ماهیان که برای حفظ کیفیت بالای آب مورد نیاز است، می‌تواند هزینه‌های زیادی را در بر داشته باشد (Datta, 2012).

فناوری بایوفلاک (Biofloc Technology) یک روش جدید است که برای حفظ کیفیت آب از طریق جذب نیتروژن آب و تبدیل آن به پروتئین میکروبی ایجاد شده است (Xu and Pan, 2014). بر اساس تعریف Emerenciano و همکاران (۲۰۱۷)، بایوفلوک‌ها از انواع ریزموجودات ناهمگن، از جمله باکتری‌ها، ریزجلبک‌ها، تک-یاخته‌ها، فیتوپلانکتون‌ها، روتیفرها، آنلیدها، نماتدها، غلاف‌ها، کاتیون‌ها، کلوئیدها، پلیمرهای آلی، خوراک هضم نشده و یاخته‌های مرده تشکیل شده‌اند. برای تشکیل توده‌ای که ماهی بتواند آن را مورد تغذیه قرار بدهد، همه مواد تشکیل‌دهنده محلول با یکدیگر جمع شده، تشکیل پیوند داده و باعث بهبود بازیافت مواد مغذی و افزایش عملکرد رشد ماهیان می‌شوند (Avnimelech 2009; Zhao et al. 2012). نسبت کربن به نیتروژن به‌عنوان یکی از الزامات اصلی تشکیل بایوفلاک باید ثابت نگه داشته شود. نسبت کربن به نیتروژن باید بین ۱۰:۱ تا ۲۰:۱ باشد تا رشد بایوفلاک را افزایش دهد (Ballester et al. 2010).

ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) به دلیل ویژگی‌ها و مزایایی که دارد، مانند ظرفیت آن برای مصرف انواع مواد غذایی (پلانکتون گیاهی، ذرات معلق در ستون آب و توده‌های میکروبی) (Bosisio et al. 2017)، توسعه و تکامل سریع، سازگاری راحت با روش پرورش متراکم و مصرف غذای فرموله (Fitzsimmons et al. 2011)، به‌عنوان یک گونه مهم برای پرورش در سراسر جهان شناخته شده است (Wang and Lu, 2016). بر اساس گزارش‌های Avnimelech و Samocha (۲۰۰۹) و همکاران (۲۰۱۷)، ماهی تیلاپیا را می‌توان در سازگان بایوفلاک در هر دو شرایط متراکم و فوق متراکم تولید کرد. این گونه همچنین می‌تواند ریزموجوداتی را استفاده کند که به بایوفلاک وابسته هستند (Durigon et al. 2020). Ray و همکاران (۲۰۰۹) و Wang و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که تحقیقات بیشتری در مورد ریزجلبک‌ها برای افزایش درک فناوری بایوفلاک مبتنی بر ریزجلبک‌ها مورد نیاز است، اگرچه مطالعات قبلی در مورد حذف آلاینده‌ها و تشکیل لخته‌ها، این درک را ارتقا داده باشند (D'Silva and Kyndt, 2020; Dauda, 2020).

کاربرد پالاینده‌های زیستی با به‌کارگیری ریزموجودات اتوتروف و هتروتروف در زیست فناوری و علوم محیط زیست بسیار حائز اهمیت است (Arous et al. 2016; Dourou et al. 2016; Silva et al. 2016). ریزجلبک‌ها به‌طور مؤثر در پساب‌های گوناگون رشد کرده و ترکیبات مهمی که اهمیت زیست فناورانه دارند را تولید می‌کنند و در اصلاح آب نقش مؤثری دارند (Rawat et al. 2011; Bellou et al. 2014; Economou et al. 2015; Tsolcha et al. 2017). آنها به‌خصوص می‌توانند به‌طور مؤثری حذف مواد مغذی/آلاینده‌ها به-خصوص نیتروژن و فسفات از پساب‌های صنایع کشاورزی را بهبود بخشند (Tsolcha et al. 2017). این فناوری بر مبنای تعویض حداقلی آب، حذف بخش زیادی از مواد آلی در قالب مواد غذایی باقی‌مانده، کودها و محصولات حاصل از دفع و در نتیجه، پساب غنی از مواد غذایی با توان بالقوه بالا برای فراغنی شدن (یوتریفیکاسیون) استوار است (Viadero et al. 2005). جلبک‌ها مکمل غذایی مناسبی را برای ماهی و میگو فرآهم می‌آورند. همچنین، ارائه دهنده مواد غذایی در دسترس برای رشد جامعه باکتریایی بوده و یک منبع غذایی مناسب برای پلانکتون-های جانوری باشند که به نوبه خود، به‌عنوان غذا برای ماهی و میگو محسوب می‌شوند (Marinho et al. 2014). جلبک‌های تک یاخته‌ای از نظر بسیاری از ترکیبات یاخته‌ای مانند انواع رنگدانه‌ها از جمله کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و ترکیبات پلی‌ساکاریدی مشابه یکدیگر هستند (Liu and Lin, 2001). مشخص شده است که ریزجلبک‌ها می‌توانند ترکیبات آلی مرتبط با نیتروژن مانند پروتئین‌ها را با استفاده از آمونیاک و نیترات تولید کنند

(Cui et al. 2020). روش فتوسنتزی همراه با تولید ضداکسایشی‌هایی مانند آستازانتین و لوتئین، همچنین می‌تواند هیدروکربن‌ها و لیپیدها (از جمله اسیدهای چرب غیر اشباع) را تولید کند (Kawale and Kishore, 2019; Cui et al. 2020; Li et al. 2020). بهره‌وری و کیفیت محصولات را می‌توان با تغذیه این مـواد تولید شده توسـط ریزجلبک‌ها، به موجودات آبزی بهبود بخشید (Crab et al. 2012; Dauda, 2020; Khanjani and Sharifnia, 2020). مصرف جلبک به‌عنوان یک منبع پروتئین گیاهی غنی می‌تواند ترکیبات شیمیایی گوشت گونه هدف را تغییر دهد (Richmond, 2004; Chisti, 2007). بر اساس گزارش Hargreaves در سال ۲۰۱۳، وجود ریزجلبک‌ها در سازگان‌های بایوفلاک، سبب نیاز به قدرت هواده کمتر (صرفه‌جویی در انرژی)، تبخیر کمتر آب، حفظ کیفیت آب و افزایش میزان بایوفلاک تولیدی می‌شود. با وجود این، هنوز تحقیقات بیشتری در مورد عملکرد و ویژگی‌های ریزجلبک‌ها در فناوری بایوفلاک مورد نیاز است.

Nannochloropsis oculata حاوی ۳۱/۲٪ پروتئین خام و ۳۶٪ چربی است. این جلبک در طیف وسیعی از شوری (صفر-۳۶ گرم در لیتر) رشد می‌کند (Ayerza & Coates, 2001). *Isochrysis galbana* دارای ۴۶-۴۱٪ پروتئین و ۲۲٪ و همچنین، سرعت رشد بالاست. اگرچه می‌تواند در شوری بین ۱۰ تا ppt ۳۰ رشد کند، ولی دامنه تحمل شوری آن نسبت به جلبک نانوکلروپسیس کمتر است. این جلبک به‌سرعت در آب شنا می‌کند و ته-نشین نمی‌شود (Hoffmann, 1999).

هدف از این مطالعه، تعیین تأثیر گنجاندن ریزجلبک‌ها به‌عنوان یکی از منابع فلاک در آب بایوفلاک با آب تبادل صفر بر ترکیب بیوشیمیایی فیله ماهی تیلاپیای نیل و بایوفلاک تولیدی و همچنین، ارزیابی حسی فیله است.

مواد و روش‌ها

بچه‌ماهی انگشت قد تیلاپیا از مرکز تولید ماهی تیلاپیای بافق یزد تهیه و برای مدت ۲ هفته قبل از شروع پروژه در شرایط آزمایشگاهی و در آب با شوری ppt ۱۲ برای سازگاری نگهداری، و با غذای حاوی ۳۰٪ پروتئین (خوراک فرادانه) تغذیه شدند.

بچه‌ماهی انگشت قد با میانگین وزن ۰/۲۷ ± ۲/۷۳ گرم در ۱۵ مخزن فایبرگلاس (با حجم حدود ۱۵۰ لیتر) به تعداد ۱۵ قطعه ماهی در هر مخزن نگهداری شدند. برای نمونه شاهد آب هر هفته یکبار در حدود ۹۰٪ تعویض شد، در حالی که برای دیگر مخازن حاوی بایوفلاک به‌جز مقدار مشخص آب برای جبران تبخیر سطحی، هیچ‌گونه تعویض آبی انجام نشد. آزمایش به مدت ۹۰ روز انجام شد که شامل ۳۰ روز تولید بایوفلاک و ۶۰ روز پرورش بچه ماهیان در تیمارهای تعیین‌شده، بود. ماهیان بر مبنای ۳٪ وزن بدن و ۲ بار در روز با جیره حاوی ۴۰٪ پروتئین (شرکت فرادانه) غذادهی شدند (Soaudy, 2018). این آزمایش با ۵ تیمار شامل تیمار ۱: گروه شاهد فاقد جلبک و بایوفلاک؛ تیمار ۲: حاوی بایوفلاک و فاقد جلبک؛ تیمار ۳: حاوی بایوفلاک و جلبک *N. oculata*؛ تیمار ۴: حاوی بایوفلاک و جلبک *I. galbana* ؛ و تیمار ۵: حاوی بایوفلاک و جلبک‌های *N. oculata* و *I. galbana* به صورت همزمان (با نسبت برابر) انجام شد که در ۳ تیمار آخر هر روز جلبک به مخازن اضافه شدند. آزمایش در مخازن فایبرگلاس ۱۵۰ لیتری انجام شد. استوک ریزجلبک‌ها در این آزمایش تراکمی در حدود ۱۰۰ میلیون یاخته در میلی‌لیتر داشتند و کشت آنها با استفاده از محیط کشت گیلارد (Guillard, 1973) و در شرایط استاندارد انجام شد. جلبک‌ها در انتهای مرحله رشد انفجاری با استفاده از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در دقیقه) برداشت شدند (وحدت و همکاران، ۱۳۹۶). پس از تولید بایوفلاک در مدت زمان ۴ هفته و یک هفته قبل از انتقال ماهیان تیلاپیا به مخازن پرورشی، به‌صورت روزانه و باتوجه به حجم آب‌گیری ۱۵۰ لیتری مخازن، به میزان ۱۲۰ میلی لیتر به هر مخزن از هر گونه جلبکی (۸۰ هزار یاخته در هر میلی‌لیتر آب مخزن) در تیمارهای مورد مطالعه اضافه شد (Hargreaves, 2013; Pérez-Fuentes et al. 2016). در تیمارهای حاوی بایوفلاک، میزان غذادهی، ۲۵٪ نسبت به گروه شاهد کمتر بود. در این تیمارها از ۷۵٪ جیره محاسبه شده روزانه استفاده شد (Khanjani et al. 2021).

تیمارهای حاوی بیوفلاک

مقدار نیتروژن در ۱۰۰ گرم غذا با مقدار ۲۶٪ پروتئین طبق معادله ۲۶ = ۶/۲۵ × N به میزان ۴/۱۶ گرم به دست آمد. برای برقراری نسبت کربن به نیتروژن به صورت نسبت

۱۰ به ۱، ۴۱/۶ گرم کربن به آب اضافه شد و با توجه به اینکه ملاس چغندر دارای ۴۰٪ کربن است، نیاز به ۱۰۴ گرم ملاس بود. منبع کربن مورد نظر با بخشی از آب مخازن آزمایشی مخلوط، و سپس به‌صورت روزانه در کل سطح آب پخش شد (Avnimelech, 2012).

ارزیابی فراسنجه‌های کیفی مخازن بایوفلاک

دمای آب، pH و اکسیژن محلول به‌صورت روزانه با استفاده از دستگاه پرتابل ATC-686 ثبت شد. نیتروژن کل، نیتریت، نیترات و کربن کل به روش APHA (۱۹۹۸) به‌صورت هفتگی اندازه‌گیری شدند. میزان مواد جامد محلول (TDS) نیز به صورت هفتگی و با استفاده از دستگاه پرتابل ATC-686 ثبت شد. برای هوادهی از دستگاه بلوئر Calmo با قدرت یک اسب بخار و خروجی هوای ۱۲۰ متر مکعب در ساعت استفاده شد که به صورت دائمی از کف مخزن (تمامی نقاط) هوادهی انجام می‌شد تا ذرات معلق ته‌نشین نشوند. در مخزن بایوفلاک مجموع ذرات معلق TSS در هفته چهارم از زمان شروع، اندازه‌گیری شد. توده بیوفلاک با استفاده از مخروط ایمهوف و حجم فلاک ته مخروط بعد از ۲۰ دقیقه رسوب‌گذاری هر دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری شد (Avnimelech, 2009). اکسیژن مورد نیاز زیست‌شناختی (BOD) و شیمیایی (COD) هر دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری شدند (APHA, 1998). میزان نیتروژن کل در زمان پرورش ماهیان تیلاپیا از ۳/۸۳ تا ۴/۵۴ میلی‌گرم در لیتر، نیتریت از ۱۹/۵ تا ۲۲ میلی‌گرم در لیتر، نیترات از ۲۲/۸ تا ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، کربن کل از ۶۴۰ تا ۷۰۴ میلی‌گرم در لیتر، میزان مواد جامد معلق (TSS) از ۰/۲۵ تا ۰/۳۶ گرم در لیتر، COD از ۸/۵ تا ۲۴/۲ میلی‌گرم در لیتر و BOD از ۱/۸ تا ۳/۵۸ میلی‌گرم در لیتر در بین تیمارهای بایوفلاک متغیر بود.

سنجش فیله ماهی

در پایان آزمایش، تعداد ۵ ماهی از هر تکرار به‌صورت تصادفی صید و با اسانس گل میخک با غلظت ۵۰ قسمت در میلیون بیهوش شدند (جهان‌تیغی و همکاران، ۱۳۹۵). مقدار تقریبی ترکیب فیله شامل: پروتئین، رطوبت، چربی کل و خاکستر با روش AOAC (۲۰۰۵) تعیین شد. تعیین رطوبت به روش خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت (تا زمان ثابت شدن وزن)، سنجش چربی کل به روش سوکسله با حلال اتر، سنجش پروتئین به روش کلدال با استفاده از دستگاه کلدال (مدل تقطیر K9840 شرکت Hanon، مدل V40) انجام شد. برای تبدیل میزان نیتروژن به‌دست آمده از ضریب تبدیل ۶/۲۵ استفاده شد. سنجش خاکستر با روش کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰–۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت، تا به‌دست آمدن رنگ خاکستر به رنگ روشن استفاده شد. برای اندازه گیری مقدار کربوهیدرات از روش Hedge and Hofreiter (۱۹۶۲) استفاده شد که برای این منظور مقدار مشخصی از نمونه ابتدا با اسید HCl به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد هضم شد. سپس با استفاده از واکنش‌گر آنترون ۰/۲٪ در طول موج ۶۳۰ نانومتر مقدار کربوهیدرات نمونه‌ها به‌دست آمد (برای محلول استاندارد از گلوکز با غلظت ۱۰۰ میکروگرم در میلی لیتر استفاده شد).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی توسط یک تیم ۱۵ نفره از افراد نیمه آموزش‌دیده انجام شد. برای این منظور فیله ماهی تیلاپیای نیل در یک توستر (Toaster) با مدل بوش آلمان (Bosch, Germany) در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه پخته شد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱). مقدار ۳۰ گرم نمونه ماهی پخته شده از هر تیمار در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت. نظرات ارزیاب‌ها در خصوص رنگ، طعم و مزه، بافت، قابلیت جویدن و پذیرش کلی روی پرسشنامه‌هایی که از قبل تهیه شده بود، ثبت شد. ارزیابی نهایی بر اساس امتیاز ۵ درجه‌ای ثبت شد (Lin and Morrissey, 1994؛ جدول ۱).

جدول ۱ امتیازات ارزیاب حسی (Lin and Morrissey,1994).

امتیازات	رنگ	طعم و مزه	بافت	قابلیت جویدن	پذیرش کلی
۵	بسیار خوب	بسیار خوب	بسیار خوب	بسیار خوب	بسیار خوب

۴	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب
۳	قابل قبول	قابل قبول	قابل قبول	قابل قبول	قابل قبول
۲	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف
۱	بسیار ضعیف	بسیار ضعیف	بسیار ضعیف	بسیار ضعیف	بسیار ضعیف

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. از روش آزمون واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. بررسی معنی دار بودن میانگین تیمارها توسط آزمون توکی (Tukey) و در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد. برای بررسی معنی‌دار بودن ارزیابی حسی از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس و من ویتنی یو استفاده شد. از بسته نرم افزار آماری SPSS (نسخه ۲۲) برای آزمون داده‌ها استفاده شد.

نتایج

فراسنجه‌های کیفی آب از قبیل دما، اکسیژن محلول و مقدار pH در زمان تولید بایوفلاک در جدول ۲ آمده است. با توجه به ثابت بودن شرایط پرورش، تفاوت معنی‌داری در بین این فراسنجه‌ها مشاهده نشد ($p>0/05$).

جدول ۲ فراسنجه‌های کیفی آب در زمان تولید بایوفلاک در مدت زمان ۴ هفته (قبل از معرفی ماهی به بیوفلاک).

	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	pH
شاهد	۷/۲۶ ± ۰/۱۳	۲۷/۳۹ ± ۰/۲۲	۷/۹۴ ± ۰/۲
بایوفلاک	۶/۹۸ ± ۰/۱۴	۲۷/۲۹ ± ۰/۲۲	۸/۱۵ ± ۰/۲۵

فراسنجه‌های کیفی آب در زمان تشکیل بایوفلاک (قبل از معرفی ماهی) در جدول ۳ آمده است. در هفته اول مقدار نیتروژن کل در حدود ۱/۳۰ میلی‌گرم در لیتر و TDS در حدود ۲/۷۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که نسبت به دیگر هفته‌ها، از همه کمتر بوده و تفاوت معنی‌دار نشان دادند ($p<0/05$)، ولی در هفته دوم تا چهارم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$). میزان نیتریت و نیترات در هفته‌های اول و دوم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($p>0/05$)، ولی از هفته سوم به بعد افزایش معنی‌داری در مقادیر نیتریت و نیترات مشاهده شد ($p<0/05$). با افزایش سن بایوفلاک از هفته اول به چهارم، میزان کربن کل افزایش معنی‌داری را از خود نشان داد ($p<0/05$). حجم بایوفلاک تولیدی، مقادیر BOD و COD در هفته چهارم نسبت به هفته دوم افزایش معنی‌دار داشتند ($p<0/05$). همچنین، در پایان هفته چهارم مقدار TSS در محدوده ۱/۱۳ گرم در لیتر بود.

جدول ۴ ترکیب بیوشیمیایی فیله ماهی تیلاپیا را در شرایط مختلف پرورشی نشان می‌دهد. بالاترین مقادیر چربی، در تیمارهای حاوی بایوفلاک به‌دست آمد ($p<0/05$) که در این بین تیمارهای بایوفلاک و بایوفلاک + نانوکلروپسیس بالاترین مقدار چربی را در بین تیمارها از خود نشان دادند ($p<0/05$). تفاوت معنی‌داری در مقادیر وزن خشک و پروتئین لاشه در تیمارهای حاوی بایوفلاک مشاهده نشد ($p>0/05$)، ولی نسبت به گروه شاهد بیشتر و دارای تفاوت معنی‌دار بود ($p<0/05$). میزان پروتئین فیله در تیمار بایوفلاک مخلوط جلبکی بیشترین مقدار را نسبت به دیگر تیمارها نشان داد ($p<0/05$). میزان خاکستر در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌دار نداشت ($p>0/05$). همچنین، بالاترین مقدار کربوهیدرات (۲۱/۱۶ ± ۲۲/۲ درصد) در گروه شاهد مشاهده شد ($p<0/05$).

جدول ۳ فراسنجه‌های کیفی آب در طی تولید بایوفلاک در مدت زمان ۴ هفته اول (بدون ماهی).

شاخص‌ها	تیمارهای آزمایش			
	بایوفلاک در هفته اول	بایوفلاک در هفته دوم	بایوفلاک در هفته سوم	بایوفلاک در هفته چهارم
نیتروژن کل (mg/L)	۱/۳۱ ± ۰/۰۵^{a}	۳/۳۷ ± ۰/۰۴^{b}	۳/۲۹ ± ۰/۰۸^{b}	۳/۳۹ ± ۰/۱۲^{b}
نیتریت (mg/L)	۰/۵۴ ± ۰/۰۲^{a}	۰/۶۸ ± ۰/۰۲^{a}	۱/۰۵ ± ۰/۰۴^{b}	۲/۰۴ ± ۰/۰۹^{c}
نیترات (mg/L)	۰/۵۱ ± ۰/۰۱^{a}	۰/۶۵ ± ۰/۰۱^{a}	۱/۱۶ ± ۰/۰۵^{b}	۲/۴۵ ± ۰/۱۱^{c}
TDS (mg/L)	۲/۷۳ ± ۰/۰۱^{a}	۲/۹۷ ± ۰/۲۷^{ab}	۳/۱۱ ± ۰/۲۷^{b}	۳/۲۲ ± ۰/۰۱^{b}
کربن کل (mg/L)	۲۵/۹۱ ± ۱/۰۷^{a}	۵۱/۵۹ ± ۹/۷۲^{b}	۶۰/۳۹ ± ۳/۸۵^{c}	۸۶/۶۳ ± ۳/۶۱^{d}
حجم بایوفلاک تولیدی (mL)	❋	۱/۵ ± ۰/۲۸^{a}	❋	۹۶/۵ ± ۲/۳^{b}
BOD (mg/L)	❋	۰/۹۱ ± ۰/۱۴^{a}	❋	۲/۳۹ ± ۰/۲۶^{b}
COD (mg/L)	❋	۶/۸۳ ± ۰/۲۶^{a}	❋	۱۱/۵۳ ± ۰/۰۹^{b}
TSS (g/L)	❋	❋	❋	۱/۱۳ ± ۰/۰۱

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی دار است ($p<0.05$). TDS: مواد جامد محلول؛ BOD: اکسیژن مورد نیاز زیست شناختی؛ COD: اکسیژن مورد نیاز شیمیایی؛ TSS: مواد جامد معلق.

جدول ۴ ترکیب تقریبی (وزن خشک، چربی، پروتئین، خاکستر و کربوهیدرات) فیله ماهی تیلاپیا (*O. niloticus*) (میانگین ±انحراف معیار) به دست آمده در انتهای دوره پرورش در تیمارهای مختلف (درصد بر اساس وزن خشک).

تیمارهای آزمایش	ترکیب تقریبی (درصد وزن خشک)				
	وزن خشک	چربی	پروتئین	خاکستر	کربوهیدرات
شاهد	۲۷/۴۷ ± ۰/۴۶^{b}	۲۳/۱۶ ± ۰/۸^{c}	۴۹/۳ ± ۰/۴۵^{c}	۱۰/۹۷ ± ۱/۰۲^{a}	۱۶/۲۱ ± ۲/۲۲^{a}
بایوفلاک	۲۷/۹۲ ± ۰/۱۳^{ab}	۲۹/۹۱ ± ۰/۳۲^{a}	۵۲/۰۶ ± ۰/۲^{b}	۱۱/۶۹ ± ۱/۴۲^{a}	۶/۰۴ ± ۱/۱^{b}
بایوفلاک نانوکلروپسیس	۲۸/۳۲ ± ۰/۲۴^{ab}	۲۸/۷۶ ± ۰/۱۱^{a}	۵۲/۶۳ ± ۰/۳۵^{b}	۱۰/۰۴ ± ۰/۶۴^{a}	۸/۲ ± ۱/۱۲^{b}
بایوفلاک ایزوکرایسیس	۲۹/۰۹ ± ۰/۳^{a}	۲۶/۰۶ ± ۰/۴۶^{b}	۵۳/۶۵ ± ۰/۱^{b}	۱۰/۸۳ ± ۰/۶۱^{a}	۹/۱۷ ± ۱/۰۸^{b}
بایوفلاک مخلوط جلبکی	۲۹/۱۴ ± ۰/۲۸^{a}	۲۵/۰۸ ± ۰/۵۵^{bc}	۵۵/۱۲ ± ۰/۷^{a}	۱۱/۷۵ ± ۰/۳۳^{a}	۷/۵۸ ± ۰/۹۷^{b}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار است ($p<۰/۰۵$).

ترکیب شیمیایی بایوفلاک‌های تولیدی در تیمارهای مختلف در جدول ۵ آمده است. بر اساس نتایج، به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقدار چربی و پروتئین در تیمار بایوفلاک به‌دست آمد ($p<۰/۰۵$). مقدار کربوهیدرات در بین بایوفلاک‌های تولیدی تفاوت معنی‌دار نداشت ($p>۰/۰۵$). میزان خاکستر در تیمار بایوفلاک از دیگر تیمارها بالاتر، و دارای تفاوت معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). بیشترین مقدار پروتئین مربوط تیمار بایوفلاک مخلوط جلبکی بود ($p<۰/۰۵$). پایین‌ترین مقدار وزن خشک در بین تیمارها، در تیمار بایوفلاک مشاهده شد ($p<۰/۰۵$).

جدول ۵ ترکیب تقریبی (وزن خشک، چربی، پروتئین، خاکستر و کربوهیدرات) بایوفلاک (میانگین ±انحراف معیار) به دست آمده در تیمارهای مختلف (درصد بر اساس وزن خشک).

تیمارهای آزمایش	ترکیب تقریبی (درصد وزن خشک)				
	وزن خشک	چربی	پروتئین	خاکستر	کربوهیدرات
بایوفلاک	۱۷/۰۹ ± ۰/۱۵^{b}	۳/۶ ± ۰/۳۴^{a}	۲۸/۰۴ ± ۰/۱۵^{c}	۳۳/۷۷ ± ۰/۴۲^{a}	۳۴/۲۴ ± ۰/۳۶
بایوفلاک نانوکلروپسیس	۲۰/۰۵ ± ۰/۶۶^{a}	۲/۳ ± ۰/۴۶^{b}	۳۳/۹۹ ± ۰/۲۵^{b}	۳۰/۳۷ ± ۰/۶۵^{b}	۳۲/۸ ± ۰/۵۴
بایوفلاک ایزوکرایسیس	۲۰/۹۲ ± ۱/۰۱^{a}	۲/۲ ± ۰/۱۱^{b}	۳۵/۳۵ ± ۰/۲^{ab}	۲۸/۸۳ ± ۰/۵۵^{b}	۳۳/۲۲ ± ۰/۸۱
بایوفلاک مخلوط جلبکی	۲۰/۷ ± ۰/۲۵^{a}	۲/۶ ± ۰/۱۲^{b}	۳۶/۹۶ ± ۰/۵۵^{a}	۲۸/۳۱ ± ۰/۷^{b}	۳۱/۸۸ ± ۱/۴۴

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار است ($p<۰/۰۵$).

بر اساس ارزیابی حسی فیله ماهیان تیلاپیا پرورش یافته در سازگان بایوفلاک (جدول ۶) و شاهد رنگ فیله، مزه، بافت، قابلیت جویدن و پذیرش کلی در بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار نداشتند ($p>۰/۰۵$).

جدول ۶ ارزیابی حسی فیله ماهیان تیلاپیا.

تیمارهای آزمایش	رنگ	طعم و مزه	بافت	قابلیت جویدن	پذیرش کلی
شاهد	۴/۲۶ ± ۰/۷۸	۴/۲۶ ± ۰/۸۶	۴ ± ۰/۶۴	۴/۰۶ ± ۰/۷۳	۴/۲ ± ۰/۹۲
بایوفلاک	۴/۳۳ ± ۰/۶	۴/۸۶ ± ۰/۳۴	۴/۳۳ ± ۰/۴۷	۴/۷۳ ± ۰/۴۴	۴/۸ ± ۰/۴
بایوفلاک نانوکلروپسیس	۴/۱۳ ± ۰/۸۹	۴/۴۶ ± ۰/۷۳	۴/۲ ± ۰/۴۷	۴/۵۳ ± ۰/۸۱	۴/۹۳ ± ۰/۲۵
بایوفلاک ایزوکرایسیس	۴ ± ۰/۸۳	۴/۱۳ ± ۰/۹۷	۳/۸ ± ۰/۵۵	۴/۶ ± ۰/۸۱	۴/۵۳ ± ۰/۸۱
بایوفلاک مخلوط جلبکی	۴/۴ ± ۰/۷۲	۴/۵۳ ± ۰/۵	۴/۴۶ ± ۰/۶۲	۴/۲ ± ۰/۸۴	۴/۶ ± ۰/۷۲

بحث

عوامل متعددی بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد که برای حفظ سلامت گونه‌های آبزی مهم است و می‌تواند یک عامل محدود کننده باشد (Sharifinia et al. 2020). در مطالعه حاضر، برخی از خواص فیزیکوشیمیایی آب، مانند pH و دما، شوری، نیتریت، نیترات، نیتروژن کل و TSS که در پرورش ماهی تیلاپیا استفاده شد، در محدوده مناسب برای تشکیل بایوفلاک و لخته‌های فلوکی نگهداری شد که با مطالعات Emerenciano و همکاران (۲۰۱۷)، Hostins و همکاران (۲۰۱۵) و El-Shafiey و همکاران (۲۰۱۸) هم‌سویی داشت. همچنین، pH و میزان اکسیژن محلول در تیمارهای شاهد و بیوفلاک کافی بود. یکی از اصلی‌ترین فراسنجه‌ها، شوری است که می‌تواند بر فرآیند نیتریفیکاسیون باکتری‌های هتروتروف تأثیر بگذارد (Khanjani et al. 2020a). از این رو، شکل‌گیری بایوفلاک با کیفیت می‌تواند بر ترکیب بدن آبزی پرورش داده شده اثر بگذارد.

در مطالعه حاضر با گذشت زمان از هفته دوم تا چهارم تشکیل بایوفلاک، میزان نیتروژن کل تقریباً ثابت بود، ولی مقادیر نیتریت و نیترات افزایش پیدا کرد که نشان دهنده استفاده جوامع باکتریایی از منابع نیتروژنی و کربنی (ملاس) در سازگان مورد استفاده بدون تعویض آب است. این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده توسط Garcia Ros و همکاران (۲۰۱۹) و Ahmad و همکاران (۲۰۱۶ و ۲۰۱۹) مبنی بر عدم افزایش نیتروژن کل در این سازگان‌ها با استفاده از منابع کربنی مطابقت دارد. در مطالعات اخیر، در مقایسه با گروه شاهد، افزودن ملاس به مخازن بایوفلاک منجر به کاهش اکسیژن شد، اما با افزایش هوادهی، کمبود اکسیژن برطرف شد و شرایط بهینه برای تیمار بایوفلاک و شاهد یکسان نگه داشته شد (Kim et al. 2014; Khanjani et al. 2017). افزایش حجم بایوفلاک از هفته دوم تا چهارم به دلیل افزایش تولید بایوفلاک توسط باکتری‌ها است، به این دلیل که در طی ۴ هفته اول، تنها تولید بایوفلاک انجام شد و مصرف کننده بایوفلاک (در اینجا بچه ماهیان تیلاپیای نیل) وجود نداشت و با نزدیک شدن به انتهای چرخه باکتریایی (هفته ۴)، از میزان مواد نیتروژنه و کربنه اضافه شده به مخازن کم شد و به مقدار زی‌توده باکتریایی و در نتیجه، بایوفلاک‌های تولیدی افزوده شد

(Luo et al. 2013). بر اساس گزارش Luo و همکاران (۲۰۱۳) در زمان تشکیل بایوفلاک در طول مدت ۳۳ روز در راکتورهای بسته (همراه با تلقیح به مقدار ۱۳۷ گرم در لیتر)، حجم بایوفلاک تولیدی تا روز ۱۳ کمتر از ۳۰ میلی-لیتر بود و از روز ۱۵ تا ۳۳ میزان تولید بایوفلاک به بیش از ۸۵ میلی‌لیتر رسید که با تحقیق حاضر هم‌سویی دارد.

ترکیب بیوشیمیایی فیله ماهیان از شاخص‌های مهم قابل بررسی برای شرایط فیزیولوژیک ماهی است (Aberoumad and Pourshafi, 2010). ترکیب بیوشیمیایی فیله تحت تأثیر ترکیب غذایی جیره آبزی (Kim et al. 2014)، مدت زمان پرورش، وزن و گونه ماهی و میزان و نحوه غذادهی قرار دارد (Breck, 2005). پروتئین از اجزای ساختاری یاخته آبزی است که نقش مهمی در ساختار و عملکرد آنها دارد (Deng et al. 2011). پروتئین خام در محدوده ۲۵ الی ۳۰٪ و چربی خام در محدوده ۸-۶٪ برای پرورش ماهیان تیلاپیا توسط Jauncey(۲۰۰۰) در جیره پیشنهاد شده است. محتوای چربی جیره‌های تیلاپیا برای ماهیان بزرگتر بر اساس گزارش Chou و Shiau (۱۹۹۶)، در حدود ۵٪ برای برآورده کردن نیازهای چربی ماهی تیلاپیای هیبرید جوان (*O. niloticus* × *O. aureus*) کافی است، اما برای بیشینه رشد، سطحی از ۱۲٪ لازم است. علاوه بر این، پیشنهاد نمی‌شود که رژیم غذایی ماهی تیلاپیا حاوی بیش از ۱۲٪ خاکستر باشد، زیرا این امر منجر به کاهش مقدار ماده مغذی قابل استفاده در جیره می‌شود (De Silva and Anderson, 1995). به استثنای سطوح بسیار پایین چربی خام، کیفیت بیوفلاک در مطالعه حاضر برای ماهی تیلاپیا مناسب بود. ترکیب بیوشیمیایی برای ماهیان تیلاپیای نیل به دست آمده در این مطالعه، نشان داد که جلبک‌های مختلف در ترکیب بایوفلاک تأثیر دارند. بیشترین میزان پروتئین فیله ماهی تیلاپیا در بایوفلاک مخلوط جلبکی (در حدود ۵۵٪) مشاهده شد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که این تفاوت‌ها در بین فلاک‌های ترکیبی به منابع بایوفلاک وابسته بوده و در پرورش آبزیان مختلف از قبیل *Litopenaeus vannamei* (Khanjani et al. 2017)، *Cyprinus carpio* (Najdegerami et al. 2016)، *Clarias gariepinus* (Dauda et al. 2017)، *Labeo rohita* (Ahmad et al. 2016) و *O. niloticus* (Mirzakhani et al. 2019) ترکیبات مختلفی را به‌دست آوردند. افزایش میزان چربی و پروتئین در گونه‌های پرورش یافته در بایوفلاک به دلیل تغذیه از لخته‌های میکروبی است (Najdegerami et al. 2016; Khanjani et al. 2017) که نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات قبلی هم‌سویی دارد. به عنوان یک لخته با ارزش غذایی بالا، آبزی‌پروری می‌تواند از آن مواد غذایی با کیفیت بالا تولید کند، زیرا علاوه بر لیپیدها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و اسیدهای آمینه ضروری در آن وجود دارد (Ekasari et al. 2014; Wang et al. 2016; Najdegerami et al. 2016). در مطالعه حاضر، ترکیبات بیوشیمیایی بایوفلاک تحت تأثیر عوامل مختلف مانند ترکیب جلبک‌ها، بر ترکیب بیوشیمیایی فیله ماهیان تیلاپیا اثر گذاشت.

López-Elíasو همکاران (۲۰۱۵) مقدار پروتئین بایوفلاک تولیدی را بین ۲۳/۷ تا ۲۵/۴٪، چربی بین ۲/۶ تا ۳/۵٪ و خاکستر بین ۳۳ تا ۴۰٪ گزارش کردند، درحالی که در مطالعه دیگر توسط Becerril-Cortes و همکاران (۲۰۱۸) میزان خاکستر ۶/۷ تا ۱۶/۵٪، چربی ۲ تا ۲/۵٪ و پروتئین ۳۰/۲ تا ۴۸٪ را در مخازن پرورش ماهیان تیلاپیا، گزارش کردند. همچنین، منابع مختلف کربنی می‌توانند بر ترکیبات بایوفلاک در زمان پرورش آبزی تأثیر بگذارند (Crab et al. 2010; Ekasari et al. 2015; Najdegerami et al. 2016). منابع کربن مختلف (Crab et al. 2010; Dauda et al. 2017; Khanjani et al. 2017)، نسبت کربن به نیتروژن (Minabi et al. 2017)، شوری آب (Khanjani et al. 2020)، میزان غذادهی (Khanjani et al. 2017) و وجود جلبک‌های مختلف می‌تواند بر ترکیبات بایوفلاک-های تولیدی اثر بگذارد. با این حال، Azim و همکاران (۲۰۰۸) پیشنهاد کردند که یک بایوفلاک با کیفیت بالاتر در یک سازگان بدون ماهی می‌تواند بر ترکیب بیوشیمیایی لخته تأثیر بگذارد. Beveridge و همکاران (۱۹۸۹) و Beveridge و Baird (۲۰۰۰) گزارش دادند که بیشتر ماهیان تیلاپیا ذرات غذایی تولید شده، از جمله باکتری‌های معلق را مصرف می‌کنند. Avnimelech در سال ۲۰۰۷ با استفاده از روشی به نام برچسب گذاری ایزوتوپ نیتروژن پایدار ثابت کرد که ماهی تیلاپیای موزامبیک ذرات بایوفلاک را بلعیده بود. اضافه کردن جلبک *Schizochytrium* به مقدار ۲۹/۸ گرم در کیلوگرم بر

جیره ماهی تیلاپیا سبب شد که بر ترکیب شیمیایی بدن تأثیر بگذارد (Santos et al. 2018). استفاده از غلظت‌های بالاتر جلبک *Schizochytrium* اثری افزایشی در فراسنجه‌های ترکیبات بدنی نداشت، ولی توانست میزان رشد ماهی تیلاپیا را افزایش دهد (Santos et al. 2018). در مطالعه حاضر، جلبک‌های نانوکلروپسیس و ایزوکرایسیس و ترکیب آنها با یکدیگر سبب افزایش پروتئین و وزن خشک بایوفلاک شد، در حالی که مقدار چربی و خاکستر کاهش پیدا کرد. احتمالاً منبع پروتئینی تهیه شده از جلبک *Schizochytrium* مسئول افزایش مقدار پروتئین فیله ماهی تیلاپیا است که در حدود ۴۵/۳٪ پروتئین در فیله این ماهی مشاهده شد (Lupatsch, 2009; Schields and Lupatsch, 2012; Hadley et al. 2018). در مطالعه انجام شده، حضور جلبک در سازگان بایوفلاک سبب افزایش پروتئین نسبت به گروه شاهد در ترکیب فیله ماهی تیلاپیا شد. از طرف دیگر، Ungsethaphand و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از مکمل پودر جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*) در جیره ماهی تیلاپیای هیبرید قرمز (*O. mossambicus* × *O. niloticus*) نیز سبب افزایش میزان پروتئین فیله ماهی شد.

بررسی استخوان و اسکلت ماهی تیلاپیا بیانگر این موضو ع است که این ماهیان فاقد استخوان‌های ریز در داخل بافت عضلات بوده و با جدا کردن ستون فقرات به راحتی می‌توان فیله بدون پوست و استخوان تهیه کرد. نتایج ارزیابی فیله‌های پخته شده نیز بیانگر این مطلب است که تمامی فراسنجه‌های مورد بررسی برای تیمارهای مختلف تغییرات معنی دار نداشتند و در واقع نوع سازگان بایوفلاک که ماهیان تیلاپیا در آن پرورش داده شده بودند، تأثیری بر ارزیابی حسی نشان نداد. در مطالعه مرادی و همکاران (۱۳۹۱) در بین فیله پخته شده ماهیان تیلاپیای قرمز و تیلاپیای نیل که در استخرهای خاکی پرورش یافته بودند، در ارزیابی حسی تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده نشد که با نتایج مطالعه حاضر هم‌راستا بود.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی، مطالعه حاضر نشان داد که امکان تولید بایوفلاک در مدت چهار هفته و استفاده از آن برای پرورش تیلاپیا وجود دارد و به این ترتیب علاوه بر کاهش مصرف آب برای پرورش، میزان غذای مصرفی کاهش یافته و تیلاپیای پرورش یافته با استفاده از بایوفلاک بدون جلبک و بایوفلاک حاوی جلبک از نظر ارزیابی‌های حسی، تفاوتی را در فراسنجه‌های پنج‌گانه ندارند. استفاده از جلبک در سازگان بایوفلاک، با تأثیر بر ترکیب بایوفلاک می‌تواند میزان چربی و پروتئین فیله ماهی را در مقایسه با گروه شاهد افزایش، و میزان کربوهیدرات فیله را کاهش دهد. استفاده از فناوری بایوفلاک در پرورش تیلاپیا، با افزودن ریزجلبک‌های مطالعه‌ی حاضر، نیاز به بررسی‌های بیشتر در زمینه تأثیر آنها بر شاخص‌های ایمنی، ضداکسایشی و ترکیب اسید چرب فیله دارد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافعی را در این پژوهش شناسایی نکردند.

منابع

جهان‌تیغی، ف.، قلی‌پور کنعانی، ح.، ابراهیمی، پ.، جعفریان، ح.، شاهسونی، د. ۱۳۹۵. استفاده از اسانس میخک و نانو اسانس میخک (*Eugenia caryophillata*) در بیهوشی ماهی قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*). نخستین همایش ملی گیاهان دارویی معطر و ادویه‌ای، دانشگاه گنبد کاووس، ۶-۱.

مرادی، ی.، مشائی، ن.، کرمی، ب.، زارع گشتی، ق. ۱۳۹۱. بررسی ترکیبات تقریبی، اسیدهای چرب و ارزیابی حسی گوشت ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) و تیلاپیای هیبرید قرمز پرورش داده شده در آب لب شور زیرزمینی بافق-یزد. مجله علمی شیلات ایران ۲۱: ۱۳۲-۱۲۵.

وحدت، س.، آتشبار، ب.، بیابانی اسرمی، م.، نوری، ف. ۱۳۹۶. اثر ترکیبی کودهای شیمیایی و محیط کشت BG-11 بر سرعت رشد، ترکیب بیوشیمیایی، کلروفیل و مقدار کارتنوئید کل جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس (*Haematococcus pluvialis*) در آب لب شور. علوم آبزی پروری ۵: ۳۶-۲۸.

Aberoumad, A., Pourshafi, K. 2010. Chemical and proximate composition properties of different fish species obtained from Iran. World Journal of Fish and Marine Sciences 2: 237-239.

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 rohitain* zero-water exchange biofloc system Aquaculture Research 50: 2879-2887.

Ahmad, I., Verma, A.K., Babitha Rani, A.M., Rathore, G., Saharan, N., Gora, A.H. 2016. Growth, non-specific immunity and disease resistance of *Labeo rohita* against *Aeromonas hydrophila* in biofloc systems using different carbon sources. Aquaculture 457: 61-67.

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis (18th edition). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA, 96 p.

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

Arous, F., Frikha, F., Triantaphyllidou, I.-E., Aggelis, G., Nasri, M and Mechichi, T. 2016. Potential utilization of agro-industrial wastewaters for lipid production by the oleaginous yeast *Debaryomyces etchellsii*. Journal of Cleaner Production 133: 899-909.

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. 2nd ed. Baton Rouge, US., The World Aquaculture Society, 182 p.

Avnimelech, Y. 2012. Biofloc Technology: - A Practical Guidebook. 2nd ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 271 p.

Ayerza, R., Coates. W. 2001. The omega-3 enriched eggs: the influence of dietary linolenic fatty acid source combination on egg production and composition. Canadian Journal of Animal Science 81: 355-362.

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: 3590-3599.

Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerenciano, M., De Abreu, L., Wasielesky Jr.W. 2010. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero-exchange suspended microbial flocs intensive system Aquaculture Nutrition 16: 163-172.

Baluyut, E.A., Balnyme, E. 1995. Aquaculture Systems and Practices: A Selected Review Daya Publishing House, 90 p.

Becerril-Cortes, D., Monroy-Dosta, M., Emerenciano, M., Castro-Mejia, G., Sofia, B., Bermudez, S., Correa, G.V. 2018. Effect on nutritional composition of produced bioflocs with different carbon sources (Molasses, coffee waste and rice bran) in biofloc system. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 6: 541-547.

Bellou, S., Baeshen, M.N., Elazzazy, A.M., Aggeli, D., Sayegh, F., Aggelis, G. 2014. Microalgal lipids biochemistry and biotechnological perspectives. Biotechnology Advances 32: 1476-1493.

Beveridge, M.C.M., Baird, D.J. 2000. Diet, feeding, and digestive physiology. In: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. (Eds.), Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 59-87.

Beveridge, M.C.M., Begum, M., Frerichs, G.N., Millar, S. 1989. The ingestion of bacteria in suspension by the tilapia

Oreochromis niloticus. Aquaculture 81: 373-378.

Bosisio, F., Rezende, K.F.O., Barbieri, E. 2017. Alterations in the hematological parameters of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) submitted to different salinities. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 12: 146-154.

Breck O., Bjerkas, E., Sandeson, J., Waagbo, R., Campbell, P. 2005. Dietary histidine affects lens protein turnover and synthesis of N-acetylhistidine in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) undergoing parr-smolt transformation Aquaculture Nutrition 11: 321-332.

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25: 294-306.

Chou, B., Shiau, S. 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. Aquaculture 143: 185-195.

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.

Cui, H., Ma, H., Chen, S., Yu, J., Xu, W., Zhu, X. 2020. Mitigating excessive ammonia nitrogen in chicken farm flushing wastewater by mixing strategy for nutrient removal and lipid accumulation in the green alga *Chlorella sorokiniana*. Bioresource Technology 303: 122-140.

Datta, S. 2012. Management of water quality in intensive aquaculture. Respiration 6: 602-614.

Dauda, A., Romano, N., Ebrahimi, M., Karim, M., Natrah, I., Kamarudin, M.S., Ekasari, J. 2017. Different carbon sources affects biofloc volume, water quality and the survival and physiology of African catfish *Clarias gariepinus* fingerlings reared in an intensive biofloc technology system. Fisheries Science 83: 1037-1048.

Dauda, A.B. 2020. Biofloc technology: a review on the microbial interactions, operational parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic animals. Reviews in Aquaculture 12: 1193-1210.

Deng, Q., Yoo, S.K., Cavnar, P.J., Green, J.M., Huttenlocher, A. 2011. Dual roles for Rac2 in neutrophil motility and active retention in zebrafish hematopoietic tissue. Developmental Cell 21: 735-745.

De Silva, S.S., Anderson, T.A. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman and Hall, London, 320p.

Dourou, M., Kancelista, A., Juszczyk, P., Sarris, D., Bellou, S., Triantaphyllidou, I.-E., Rywinska, A., Papanikolaou, S., Aggelis, G. 2016. Bioconversion of olive mill wastewater into high-added value products. Journal of Cleaner Production 139: 957-969 .

D'Silva, A., Kyndt, J. 2020. Bacterial diversity greatly affects ammonia and overall nitrogen levels in aquabioponics bioflocs systems, based on 16S rRNA gene amplicon metagenomics. Journal of Applied Microbiology 6: 169-178.

Durigon, E.G., Lazzari, R., Uczay, J., Lopes, D.L.D.A., Jerônimo, G.T., Sgnaulin, T., Emerenciano, M.G.C. 2020. Biofloc technology (BFT): Adjusting the levels of digestible protein and digestible energy in diets of Nile tilapia juveniles rose in brackish water. Aquaculture and Fisheries 5: 42-51.

Economou, C.N., Marinakis, N., Moustaka-Gouni, M., Kehayias, G., Aggelis, G., Vayenas, D.V. 2015. Lipid production by the filamentous cyanobacterium *Limnothrix* sp. growing in synthetic wastewater in suspended- and attached growth photobioreactor systems. Annals of Microbiology 65: 1941-1948.

Ekasari, J., Azhar, M.H., Surawidjaja, E.H., Nuryati, S., De Schryver, P., and Bossier, P. 2014. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. Fish and Shellfish Immunology 41: 332-339.

Ekasari, J., Rivandi, D. R., Firdausi, A. P., Surawidjaja, E. H., Zairin, M., Bossier, P. 2015. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. Aquaculture 441: 72-77.

El-Shafiey, M.M., Mabroke, R.S., Mola, H.R.A., Hassan, M.S. Suloma, A. 2018. Assessing the suitability of different carbon sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* culture in BFT system. AACL Bioflux 11: 782-795.

Emerenciano, M.G.C., Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porcha, M., Miranda-Baeza, A. 2017 .Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. In Tech, 91-109.

Fitzsimmons, K., Martinez-Garcia, R., Gonzales-Alanis, P. 2011. Why tilapia is becoming the most important food fish on the planet. Proceedings of the Ninth International Symposium in Tilapia in Aquaculture. Shanghai, China, 2011 p.

Food Agriculture Organization (FAO). 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture.

García-Ríos, L., Miranda-Baeza, A., Emerenciano, M.G.C., Huerta-Rábago, J.A., Osuna-Amarillas, P. 2019. Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. Aquaculture 502: 26-31.

Guillard, R.R.L. 1973. Division rates. In: Stein, J.R. (ed.). Handbook of Physiological Methods: Culture Methods and Growth Measurements. Cambridge University Press. Cambridge, 289-312.

Hadley, P.A., Mckenna, M.M., Rispoli, M. 2018. Sentence diversity in early language development: recommendations for target selection and progress monitoring. American Journal of Speech-Language Pathology 27: 553-565.

Hargreaves, J.A. 2013. Biofloc Production Systems for Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center. (SRAC) Publication 4503: 1-12.

Hedge, J.E., Hofreiter, B.T. 1962. Carbohydrate Chemistry, 17. Whistler R.L., Be Miller, J.N. (Eds). Academic Press, New York.

Hoffmann, J.P. 1999. Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. Journal of Phycology 34: 757-763.

Hostins, B., Braga, A., Lopes, D., Wasielesky, W., Poersch, L. 2015. Effect of temperature on nursery and compensatory growth of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* reared in a super-intensive biofloc system. Aquaculture Engineering 66: 62-67.

Jauncey, K. 2000. Nutritional requirements. In: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. (Eds.). Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers, London, UK, 327-375.

Kawale, H.D., Kishore, N. 2019. Production of hydrocarbons from a green algae (*Oscillatoria*) with exploration of its fuel characteristics over different reaction atmospheres. Energy 178: 344-355.

Khanjani, M.H., Alizadeh, M., Sharifinia, M. 2020. Rearing of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system: The effects of different food sources and salinity levels Aquaculture Nutrition 26: 328-337.

Khanjani, M.H. Sharifinia, M. 2020. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. Reviews in Aquaculture 12: 1836-1850. Khanjani, M.H., Sajjadi, M.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.

Kim, S., Pang, Z., Seo, H., Cho, Y., Samocha, T., Jang, I. 2014. Effect of biofloc on growth and immune activity of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* post larvae. Aquaculture Research 45: 362-371.

Li, L., Chen, Z., Huang, Q. 2020. Exogenous γ-aminobutyric acid promotes biomass and astaxanthin production in *Haematococcus pluvialis*. Algal Research 52: 102089.

Lin, D., Morrissey, M.T. 1994. Iced storage characteristics of Northern squawfish (*Ptychocheilus oregonensis*). Journal of Aquatic Food Production Technology 3: 25-43.

Liu, C., Lin, L. 2001. Ultrastructural study and lipid formation of *Isochrysis* sp. Botanical *Bulletin* of Academia Sinica. 42: 207-214.

López-Elías, J.A., Moreno-Arias, A., Miranda-Baeza, A., Martínez-Córdova, L.R., Rivas-Vega, M.E., Márquez-Ríos, E. 2015. Proximate composition of bioflocs in culture systems containing hybrid red tilapia fed diets with varying levels of vegetable meal inclusion. North American Journal of Aquaculture 77: 102-109.

Luo, G., Avnimelech, Y., Pan, Y., Tan, H. 2013. Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. Aquacultural Engineering 52: 73-79.

Lupatsch, l. 2009. Quantifying nutritional requirements in aquaculture: the factorial approach, New Technologies in Aquaculture Improving Production Efficiency, Quality and Environmental Management Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 417-439.

Marinho, Y.F., Brito, L.O., Silva, C.V.F., Santos, I.G.S., Galvez, A.O. 2014. Effect of addition of Navicula sp. On plankton composition and postlarvae growth of *Litopenaeus vannamei* reared in culture tanks with zero water exchange. Latin American Journal of Aquatic Research 42: 427-437.

Minabi, K., Sourinejad, I., Alizadeh, M., Rajabzadeh Ghatrami, E., Khanjani, M.H. 2020. Effects of different carbon to nitrogen ratios in the biofloc system on water quality, growth, and body composition of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. Aquaculture International 28: 1883-1898.

Mirzakhani, N., Ebrahimi, E., Jalali, S.A.H., Ekasari, J. 2019. Growth performance, intestinal morphology and nonspecific immunity response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured in biofloc systems with different carbon sources and input C:N ratios. Aquaculture 512: 734235.

Najdegerami, E.H., Bakhshi, F., Lakani, F.B. 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: 457-465.

Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Satish Kumar, R., Syama Dayal, J., Saraswathy, R., Otta, S.K., Shyne Anand, P.S., Nila Rekha, P., Gopal, C. 2019. Influence of differential protein levels of feed on production performance and immune response of pacific white leg shrimp in a biofloc-based system. Aquaculture 503: 118-127.

Pérez-Fuentes, J. A., Hernández-Vergara, M. P., Pérez-Rostro, C. I., Fogel, I. 2016. C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. Aquaculture 452: 247-251.

Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T and Bux, F. 2011. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. Applied Energy 88: 3411-3424.

Ray, A.J., Shuler, A.J., Leffler, J.W., Browdy, C.L. 2009. Microbial ecology and management of biofloc systems, in the rising tide: Proceedings of the special session on sustainable shrimp farming. Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.). Baton Rouge, LA, USA, World Aquaculture Society, 231-242.

Richmond, A. 2004. Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology (1st ed.). Ames, IW: Amos Richmond.

Samocha, T.M., Prangnell, D.I., Hanson, T.R., Treece, G.D., Morris, T.C., Castro, L.F., Staresinic, N. 2017. Design and operation of super intensive, biofloc-dominated systems for indoor production of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*– The Texas A&M AgriLife Research Experience. Louisiana, The World Aquaculture Society, 368 p.

Santos, S.K.A., Schorer, M., Moura, G.S., Lanna, E.A.T., Pedreira, M.M. 2019. Evaluation of growth and fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with *Schizochytrium* sp. Aquaculture Research 50: 1068-1074.

Schields, R., Lupatsch, I. 2012. Algae for aquaculture and animal feed, Microalgal Biotechnology: Integration and Economy, Edited by: Posten, C., Walter, C. (Eds.).

Sharifinia, M., Afshari Bahmanbeigloo, Z., Keshavarzifard, M., Khanjani, M. H., Lyons, B.P. 2020. Microplastic pollution as a grand challenge in marine research: A closer look at their adverse impacts on the immune and reproductive systems. Ecotoxicology and Environmental Safety 204: 111109.

Silva, C.M., Ferreira, A.F., Dias, A.P and Costa, M. 2016. A comparison between microalgae virtual biorefinery arrangements for bio-oil production based on lab-scale results. Journal of Cleaner Production 130: 58-67.

Tsolcha, O.N., Tekerlekopoulou, A.G., Akratos, C.S., Aggelis, G., Genitsaris, S., Moustaka- Gouni, M and Vayenas, D.V. 2017. Biotreatment of raisin and winery wastewaters and simultaneous biodiesel production using a Leptolyngbya-based microbial consortium. Journal of Cleaner Production 148: 185-193.

Ungsethaphand, T., Peerapornpisal, Y., Whangchai, N., Sardsud, U. 2010, Effect of feeding *Spirulina platensis* on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*). Maejo International Journal of Science and Technology 4: 331-336.

Viadero, R.C., Cunningham, J.H., Semmens, K.J., Tierney, A.E. 2005. Effluent and production impacts of flow through aquaculture operations in West Virginia. Aquacultural Engineering 33: 258-270.

Wang, H., Qi, B., Jiang, X., Jiang, Y., Yang, H., Xiao, Y. 2019. Microalgal interstrains differences in algal-bacterial biofloc formation during liquid digestate treatment. Bioresource Technology 289: 121741.

Wang, M., Lu, M. 2016. Tilapia polyculture: a global review. Aquaculture Research 47: 2363- 2374.

Xu, W.J., Pan, L.Q. 2014. Enhancement of immune response and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juvenile in biofloc-based culture tanks manipulating high C/N ratio of feed input. Aquaculture 412: 117-124.

Zhao, P., Huang, J., Wang, X.H., Song, X.L., Yang, C.H., Zhang, X.G., Wang, G.C. 2012. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus* Aquaculture 354: 97-106.