

Original Article



A review of the role of biofloc technology in improving productivity in aquaculture

Nerssy Nassirabady^{1*} , Abulfazl Askary Sary¹ 

1. Department of Fisheries, Ahv. C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Article history:

Received: 9 March 2024

Revised: 30 April 2024

Accepted: 3 May 2024

ePublished: 3 May 2024

*Corresponding author: Nerssy Nassirabady, Department of Fisheries, Ahv. C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

E-mail: researcherirany@yahoo.com

Abstract

With the ever-growing human population, a significant expansion has been observed in worldwide aquaculture throughout the last ten years. The successful administration of prime conditions for fish production depends entirely on the physicochemical and biological quality of the water. The process requires high aeration and energy, excessive sludge production, C/N ratio control, and limitations on the species that can be cultured. Biofloc technology (BFT) provides an environmentally friendly method for aquaculture by improving water quality and making better use of nutrients. This system uses microbial methods to increase ammonia removal performance in the culture system. The purpose of this research is to investigate the role of biofloc systems in aquaculture.

Keywords: Biofloc, Aquaculture, Productivity Improvement, Microorganisms, Water Quality, Waste Treatment

Please cite this article as follows: Nassirabady N., Askary Sary A. A review of the role of biofloc technology in improving productivity in aquaculture. J Mar Biol, 2024; 16(1): 75–89. DOI:



Copyright © 2024 Journal of Marin Biology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله اصلی

مروری بر نقش فناوری بیوفلاک برای بهبود بهره وری در آبی‌پروری

نرسی نصیرآبادی^{۱*}، ابوالفضل عسکری ساری^۱

۱. گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

با افزایش روز افزون جمعیت انسانی، در طول ده سال گذشته گسترش قابل توجهی در آبی‌پروری جهانی مشاهده شده است. مدیریت موفقیت‌آمیز شرایط اولیه برای تولید ماهی کاملاً به کیفیت فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی آب بستگی دارد. فناوری بیوفلاک بر رشد باکتری‌های هتروتروف و تجمع باکتری‌ها، پروتوزوآها، فیتوپلانکتون‌ها و ذرات آلی معلق استوار است. این فرآیند نیاز به هوادهی و انرژی بالا، تولید بیش از حد لجن، کنترل نسبت C/N و محدودیت در گونه‌های قابل پرورش است. فناوری بیوفلاک (Biofloc technology) با بهبود کیفیت آب و استفاده بهتر از مواد مغذی، روشی سازگار با محیط زیست برای آبی‌پروری فراهم می‌کند. این سیستم از روش‌های میکروبی برای افزایش عملکرد حذف آمونیاک در سیستم پرورش استفاده می‌کند. هدف از این تحقیق نقش سیستم بیوفلاک در آبی‌پروری است.

واژگان کلیدی: بیوفلاک، باکتری‌های هتروتروف، آبی‌پروری، بهبود بهره وری، کیفیت آب، تصفیه پسماند

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۳/۲/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۲/۱۴

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۲/۱۴

تمامی حقوق برای دانشگاه آزاد اهواز محفوظ است.

* نویسنده مسئول: نرسی نصیرآبادی،
گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد
اسلامی، اهواز، ایران

ایمیل:

researcherirany@yahoo.com

استناد: نصیرآبادی، نرسی؛ عسکری ساری، ابوالفضل. مروری بر نقش فناوری بیوفلاک برای بهبود بهره‌وری در آبی‌پروری. مجله زیست‌شناسی دریا، بهار ۱۴۰۳؛ ۱۶(۱):

۷۵-۸۹

مقدمه

در طول چند دهه گذشته، آبی‌پروری به سرعت گسترش یافته و به یک بخش عمده کشاورزی در سطح جهان تبدیل شده است (FAO - Food and Agriculture Organization, 2020). افزایش تقاضا برای محصولاتی که از آبی‌پروری تهیه می‌شوند، به سمت شکل متمرکزتری از تولید سوق می‌دهد، حتی اگر نگرانی‌هایی را در مورد پیامدهای منفی بالقوه چنین تشدید بر اکوسیستم اطراف ایجاد کند. برای حمایت از افزایش جمعیت ماهی در یک فضای محدود، افزایش قابل توجهی در تأمین خوراک مورد نیاز است. این خوراک معمولاً با استفاده از اجزایی که دارای ارزش غذایی قابل توجهی هستند، از جمله پودر ماهی و روغن ماهی، فرموله می‌شود (Glencross, 2009). در طول سال‌ها، رویه گنجاندن چنین عناصری در خوراک آبزیان کاهش یافته است. این امر را می‌توان به کاهش تولید شیلات، همراه با نوسانات مشاهده شده در میزان دسترسی و هزینه آن‌ها نسبت داد (FAO - Food and Agriculture Organization, 2020). در واقع، گنجاندن چنین اجزایی در هنگام تهیه خوراک ماهی، وابستگی به آن مواد خاص را ایجاد می‌کند. این وابستگی مانع قابل توجهی برای سلامت پایدار جمعیت ماهی‌ها در طبیعت و همچنین پایداری طولانی مدت عملیات آبی‌پروری ایجاد می‌کند. در پرورش‌های سنتی، تضمین خلوص آب اغلب مستلزم مقادیر قابل توجهی از این منبع است، که باعث ایجاد رقابت با سایر نیازهای کشاورزی و در واقع با روش‌های مختلف استفاده از آب، از جمله نقش حیاتی آن در تأمین آب آشامیدنی انسان، می‌شود. خروج پساب‌ها از استخرهای پرورش ماهی، غنی از مواد مغذی همراه با پتانسیل آلودگی در رودخانه‌های اطراف می‌شوند (Dauda et al., 2019).

در سال‌های اخیر، علاقه دانشمندان به اتخاذ رویکردهای پرورش سازگارتر با محیط زیست و از نظر بیولوژیکی سالم برای کاهش پیامدهای منفی شیوه‌های موجود، افزایش یافته است. فناوری بیوفلاک مبتنی بر تحریک رشد باکتری‌های هتروتروف با افزودن مواد آلی کربن‌دار به سیستم پرورش و تنظیم دقیق نسبت کربن به نیتروژن است (Khanjani and Sharifinia, 2020). علاوه بر این، کربوهیدرات‌ها به عنوان یک روش مؤثر برای کاهش اثرات ضایعات نیتروژنی در سیستم‌هایی با تعویض آب صفر یا بسیار کم در آبی‌پروری شناخته شده‌اند (Emerenciano et al., 2017; Khanjani et al., 2017). در سیستم بیوفوک، برای انتخاب نوع منبع کربن، باید قابلیت هضم کربوهیدرات، محتوای پروتئین و هزینه هر واحد در نظر گرفته شود. کربوهیدرات‌های پیچیده (مانند: آرد گندم، آرد جو) اغلب حاوی پروتئین‌هایی هستند که هنگام محاسبه کربوهیدرات مورد نیاز برای حفظ نسبت بالای کربن به نیتروژن باید در نظر گرفته شوند (Avnimelech, 2009; Walker et al., 2020). ملاحظات بسیار دیگری نیز برای انتخاب منبع کربن وجود دارد، مانند در دسترس بودن، قابلیت هضم و خوش خوراکی، راندمان جذب توسط باکتری‌ها و فراهمی زیستی، توانایی پراکنده شدن در آب و مقرون به صرفه بودن است. مواد آلی کربن‌دار باید یا محلول باشند یا به خوبی پودر شوند، تا سرعت ته‌نشینی کاهش و در آب معلق شوند تا دسترسی باکتری‌ها به آن‌ها بیشتر شود (Khanjani et al., 2017). با این حال، استفاده از منابع کربن مختلف در سیستم بیوفلاک اثرات متفاوتی بر کیفیت آب، عملکرد رشد، ترکیبات بیوشیمیایی بدن، فعالیت‌های ایمنی، آنزیم‌های گوارشی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بیوفلاک تولید شده دارد (Ahmad et al., 2016, 2019; Khanjani et al., 2017; Bakhshi et al., 2018; Panigrahi et al., 2019; Khanjani et al., 2021a).

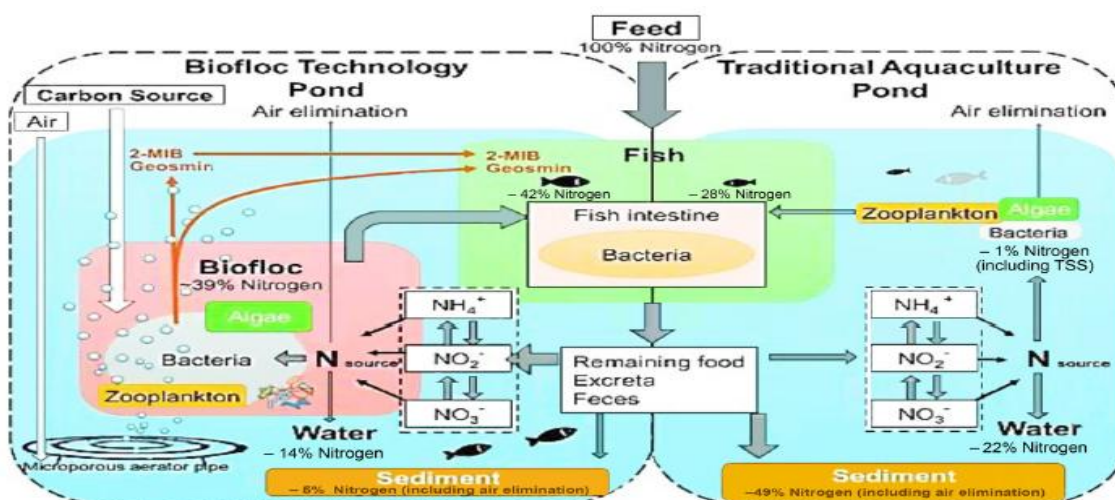
توده‌های زیستی (فلوک) به لطف قابلیت‌های بازسازی سریع خود، معیارهای لازم را به عنوان یک منبع غذایی برآورده می‌کنند (Avnimelech & Kochba, 2009) و موجوداتی که قادر به استفاده از این ویژگی‌ها هستند، می‌توانند از طریق استفاده از این روش خاص، رشد کنند (Ekasari et al., 2014). مصرف زیست توده میکروبی توسط ماهی، می‌تواند با استفاده از غذاهایی با پروتئین کمتر (Azim & Little, 2008; Hisano et al., 2019) و استفاده از استراتژی‌های مدیریت غذا با هدف بهره‌وری بهتر در استفاده از غذا (Hisano et al., 2020; P'erez-Fuentes et al., 2018) هزینه‌های تولید را کاهش دهد. مزایای قابل توجهی در پرورش ماهی در بیوفلاک در مقایسه با آب زلال نشان داده شده است. کاهش ضریب تبدیل غذایی، بهبود عملکرد

(Azim & Little, 2008; Long et al., 2015; Menaga et al., 2019; Widanarni et al., 2012) و پاسخ ایمنی ماهی از جمله آن‌ها هستند (Kim et al., 2018, 2020). وجود اجزای سلولی، متابولیت‌ها و سایر مشتقات میکروارگانیسم‌ها با پتانسیل تحریک سیستم ایمنی (Crab et al., 2012; Kamilya et al., 2017) بهبود سلامت حیوانات (Kim et al., 2018; Yu et al., 2020a)، فعالیت آنزیم‌های گوارشی (Ezhilarasi et al., 2019; Long et al., 2015) و عملکرد تولید مثلی (Ekasari et al., 2013) را بهبود بخشیده است. در مراحل اولیه رشد، ماهی‌ها برای تأمین نیازهای غذایی خود به غذاهایی با پروتئین بالا نیاز دارند. علاوه بر این، ماهیان جوان بیشتر مستعد ابتلا به بیماری‌ها هستند، و نیاز به ایمنی زیستی بیشتری در طول پرورش دارند. همچنین، با کاهش تعویض آب و وجود میکروارگانیسم‌های مفید، می‌توان کنترل بیشتری بر وجود عوامل بیماری‌زا در محیط پرورش اعمال کرد.

در فناوری بیوفلاک هزینه سرمایه گذاری اولیه کمتر نسبت به اکثر سیستم‌های تولید معمولی دارد، زیرا فقط به نور خورشید، منبع کربن، جلبک و باکتری و مواد غذایی مداوم نیاز دارد. همچنین، توانایی فناوری بیوفلاک برای آبرزی پروری تولید غذای زنده در هچری برای حفظ ثابت ماهی با کیفیت بالا در طول سال مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ogello et al., 2021). در فناوری بیوفلاک بازیافت مواد مغذی و ضایعات نیتروژنی با حفظ نسبت کربن به نیتروژن است. بیوفلاک نه تنها کیفیت آب را حفظ می‌کند، بلکه تغذیه ضروری و با کیفیت بالاتر را برای ماهیان گرم‌آبی در دستیابی به رشد سریع، کاهش ضریب غذایی (FCR) و امکان پیشگیری از بیماری‌ها فراهم می‌کند (Suneetha et al., 2018).

توسعه فناوری بیوفلاک

این فناوری سازگار با محیط زیست نه تنها برای بهره‌وری بالاتر بلکه کاربردهای جدید در پرورش آبزیان را دارد (جدول ۱) (Abakari et al., 2020a). همچنین، با افزودن کربوهیدرات‌های مناسب باعث افزایش رشد باکتری‌های هتروتروف در آب شده و باعث افزایش تولید پروتئین‌ها می‌شوند که به منجر به کاهش میکروبیوم‌های روده گونه پرورشی می‌شود (Panigrahi et al., 2019b). باکتری‌های هتروتروف در بیوفلاک رایج‌ترین اعضای جامعه میکروبی هستند، که ساختار بیوفلاک را تشکیل می‌دهند. اتوتروف‌ها نسبت به سایر انواع باکتری‌ها در این سیستم کمتر است، که به نوبه خود منجر به جریان کمتر نیتروژن در استخر می‌شود. همچنین، اکتینوباکتری‌ها تشکیل بیوفلاک را تحریک کرده و می‌توانند برای مزایای ثانویه محافظت در برابر پاتوژن‌های ماهی ضروری باشند (Liu et al., 2019) (شکل ۱).

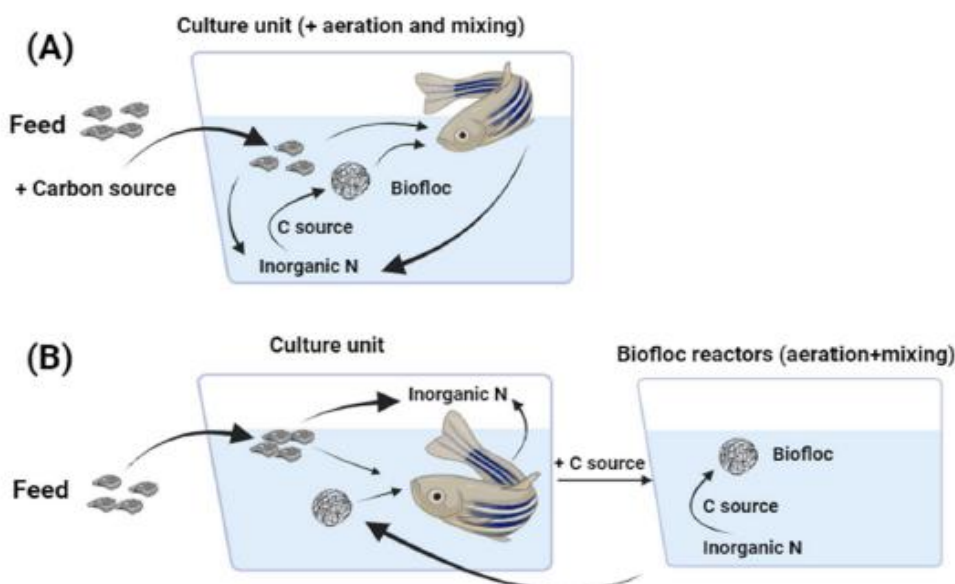


شکل ۱: نقش جوامع میکروبی در فناوری بیوفلاک برای بهبود کیفیت آب و عملکرد ماهی در استخر آب شیرین در

داخل و خارج از آب

(Liu et al., 2019)

یکی از جنبه‌های کلیدی در سیستم بیوفلاک، استفاده استراتژیک از کربن است، چه از طریق مکمل‌های خارجی و چه با افزایش محتوای کربن در خوراک است. این فرآیند، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، از رشد میکروبی پشتیبانی کرده و چرخه نیتروژن را تسهیل می‌کند.



شکل ۲: نمایش شماتیک چگونگی عملکرد توده‌های زیستی در سیستم‌های آبی‌پروری (Reprinted from Crab et al., 2012)

نسبت کربن به نیتروژن (C/N) به طور ویژه حیاتی است، زیرا باعث افزایش رشد باکتری‌های هتروتروف شده، که ضایعات نیتروژنی را مصرف کرده و آن را به زیست‌توده میکروبی تبدیل می‌کنند، که این یک منبع تغذیه‌ای اضافی برای گونه‌های پرورش شده است (Crab et al., 2012).

جدول ۱: کاربرد های جدید از فناوری بیوفلاک در پرورش آبزیان

منابع	تأثیر بر جانداران آبی	اثر بر آب	تکنولوژی مورد استفاده	گونه های پرورشی
(Holanda et al. 2020)	افزایش رشد کفال، اما اختلال در رشد میگو	نیتریفیکاسیون باکتریایی اصلاح شده؛ کاهش کل جامدات معلق	بیوفلاک با کشت تلفیقی	Mullet (<i>Mugil liza</i>); Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>)
(Elayaraja et al. 2020)	بهبود رشد و بقا؛ ایمنی بالاتر نسبت به عفونت <i>A. hydrophila</i> ظرفیت بیشتر آنتی اکسیدانی	افزایش جذب توسط نیتریفیکاسیون باکتریایی، تقویت خنثی سازی آمونیاک	بیوفلاک بر پایه شکر زرد (Jaggery)	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)
(Menaga et al. 2020)	افزایش رشد و بقا؛ بهبود پارامترهای ایمنی	غنی سازی پروبیوتیک <i>Bacillus infantis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Exiguobacterium</i> ,	کشت در تانک FRP با باکتری های	Genetically improved Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)

	پروبیوتیک جدا شده از بیوفلاک	<i>profundum</i> , <i>B. megaterium</i>		
The Amur minnow (<i>Rhynchocypris lagowski</i>)	بیوفلاک با پروتئین	بدون تغییرات قابل توجهی در دما، نیتروژن آمونیاک کل، فسفر کل، $\text{NO}_2^- \text{N}$ ، کاهش pH و اکسیژن محلول	افزایش رشد؛ افزایش پاسخ ایمنی و فعالیت آنزیم های گوارشی؛ بیان بیشتر ژن های مرتبط با آنتی اکسیدان	(Yu et al. 2020)
Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	بر پایه آرد گندم، آب صفر، تبادل با بیوفلاک	بازبایی موثر و کیفیت آب پایدار بدون بی کربنات سدیم؛ تنوع بالاتر باکتریایی	تاثیر در عملکرد رشد	(Kim et al. 2020)
Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	سیستم تانک فوق فشرده مبتنی بر بیوفلاک	در اواخر مرحله غلظت پایین TAN و $\text{NO}_2^- \text{N}$ ($< 1.0 \text{ mg/l}$)، تنوع باکتریایی بالاتر، نیتریفیک کننده مختلف در بیوفلوک	عملکرد رشد بهتر در شرایط بیرون نسبت به محیط داخلی	(Xu et al. 2021)
Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	شاه بلوط (Chestnut) بر پایه پلی فنول ها، بیوفلاک	بدون اطلاعات	بهبود عملکرد رشد؛ بقای بهتر؛ افزایش ایمنی مخاطی و سرم در برابر استرپتوکوکوس آگالاکتیه بیماری زا (<i>Streptococcus agalactiae</i>)	(Van Doan et al. 2020)
Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) juveniles	بیوفلاک با پری بیوتیک ها و پروبیوتیک ها	کاهش غلظت نیتريت	میزان بالاتر رشد ویژه، افزایش وزن و وزن نهایی؛ پارامترهای بهتر خونی	(Laice et al. 2021)
Indian major carps, e.g., rohu (<i>Labeo rohita</i>), catla (<i>Catla catla</i>), and mrigal (<i>Cirrihinus mrigala</i>)	بیوفلاک با چند کشت	$\text{NH}_4^+ \text{N}$, $\text{NO}_2^- \text{N}$ و $\text{NO}_3^- \text{N}$ در محدوده قابل قبول کیفیت آب	عملکرد مطلوب رشد (میزان بالاتر رشد ویژه)	(Deb et al. 2020)
Juvenile of Cachama blanca (<i>Piaractus brachypomus</i>)	بیوفلاک	حفظ کلیه پارامترهای کیفیت آب در محدوده قابل قبول به جز NH_4^+ و NO_2^-	بهبود عملکرد رشد	(Sandoval-Vargas et al. 2020)
Bluegill (<i>Lepomis macrochirus</i>) juveniles	نشاسته ذرت یا بر پایه قند ساکارز، بیوفلاک	کاهش پاتوژن های انسانی؛ افزایش سطح آمونیاک، کاهش سطح اکسیژن محلول	کاهش عملکرد رشد و میزان مرگ و میر بالاتر	(Fischer et al. 2020)

کاربرد بهینه در سیستم بیوفلاک

فناوری بیوفلاک کاربرد جدیدی را ارائه می‌دهد، زیرا مواد مغذی را می‌توان به طور مداوم بازیافت و در محیط آبی حوضچه پرورشی مورد استفاده مجدد قرار داد و از تبادل حداقل یا صفر آب بهره‌مند شد.

Laice و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که افزودن سین‌بیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌ها به سیستم بیوفلاک، عملکرد رشد و پارامترهای خونی تیلاپای نیل را بهبود یافت، به طوری که وزن اولیه ماهی از ۳۵ گرم به ۷۷.۲۸ گرم در طول ۴۰ روز افزایش یافت.

Azimi و همکاران (۲۰۲۲) نسبت‌های مختلف کربن/ نیتروژن (۱:۱۵، ۱:۱۰ و ۱:۲۰) را برای کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) ارزیابی کردند، و دریافتند، که نسبت ۲۰:۱ برای پاسخ‌های فیزیولوژیکی، ایمنی و رشد بهینه شد.

Khanjani و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که با افزودن روزانه ملاس به عنوان منبع بیوفلاک تازه منجر به افزایش نرخ رشد، افزایش بهره‌وری و کاهش ۱۵ درصدی هزینه‌ها و در نتیجه افزایش ۲۵ درصدی سودآوری می‌شود.

مطالعه بعدی توسط Khanjani و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که منابع مختلف کربن، از جمله آرد جو، آرد ذرت، ملاس و نشاسته، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد رشد بچه‌های تیلاپیا نیل ندارند. این یافته‌ها بر کاربردهای متنوع و پتانسیل در سیستم بیوفلاک در افزایش بهره‌وری آبی‌پروری تأکید دارند.

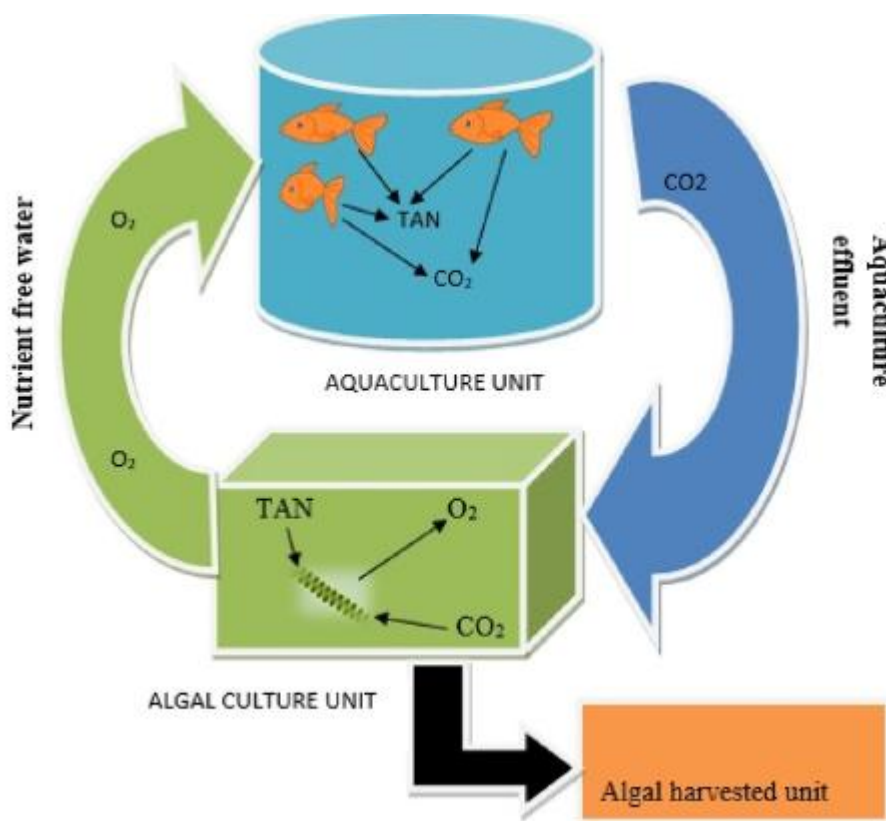
Khanjani و همکاران (۲۰۲۳) تجزیه و تحلیل عمیقی از پارامترهای مختلف ایمنی، پروفایل‌های خونی و بیوشیمیایی، مقاومت در برابر پاتوژن‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آبزیان پرورش‌یافته در سیستم‌های بیوفلاک ارائه دادند. مطالعه آن‌ها نشان داد که وجود ارگانسیم‌های میکروبی خاص در سیستم‌های بیوفلاک به عنوان پروبیوتیک‌های طبیعی عمل می‌کنند، و ایمنی ذاتی گونه‌های پرورشی را افزایش می‌دهند. آن‌ها در مقایسه با آبی‌پرورش بدون سیستم بیوفلاک، بهبودهای قابل توجهی در میزان فاگوسیتوز، NBT، MPO، ACH50، سطح کل ایمونوگلوبولین، فعالیت لیزوزیم و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD، CAT و MDA مشاهده کردند. نتیجه این مطالعه که ماهی‌ها و صدف‌های پرورش یافته در سیستم‌های بیوفلاک مقاومت بیشتری در برابر عوامل بیماری‌زایی مانند *V. harveyi*، *A. hydrophila*، *E. tarda* و *S. agalactiae* نشان می‌دهند.

Mabroke و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر دفعات غذایی را بر تیلاپاهای پرورش یافته در سیستم‌های بیوفلاک بررسی کردند. نتایج نشان داد که دو بار غذایی در روز، استفاده بهینه از خوراک، کاهش هزینه‌های نیروی کار، بالاترین نرخ بقا (۱۰۰٪) و بالاترین سطح تولید (۱۱.۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب) دست می‌یابد. این مطالعه بر مزایای شیوه‌های تغذیه استراتژیک در به حداکثر رساندن کارایی و بهره‌وری در سیستم‌های آبی‌پروری بیوفلاک تأکید می‌کند.

اجزای پرورش جلبک

پرورش جلبک شامل چهار جزء اصلی است: واحد آبی‌پروری، واحد کشت جلبک، واحد برداشت جلبک و واحد هوادهی است (Yang et al., 2020). یک طرح کلی یک واحد پرورش جلبک در شکل ۳ نشان داده شده است. در این سیستم، ماهی در واحد آبی‌پروری پرورش و با خوراک پلت شده تغذیه می‌شود. پساب خروجی در واحد آبی‌پروری به دلیل خوراک و فضولات خورده نشده ماهی، شامل غلظت بالایی از آمونیاک، دی‌اکسید کربن و سایر مواد زائد است. تخلیه از واحد آبی‌پروری در واحد کشت جلبک به گردش در می‌آید. در واحد کشت جلبک، جلبک‌ها آمونیاک را مصرف کرده و آن را به پروتئین، اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA)، رنگدانه‌ها و سایر محصولات با ارزش افزوده غنی از مواد معدنی تبدیل می‌کنند (Yang et al., 2020). دی‌اکسید کربن حاصل از پساب آبی‌پروری نیز مصرف شده و اکسیژن را به آب آزاد می‌کند، بنابراین به عنوان یک بیوایراتور عمل می‌کند.

Fang و همکاران (۲۰۱۸) از وجود یک کمپلکس جلبک-باکتری به عنوان کمکی دیگر برای بهبود کیفیت آب در محیط کشت خبر دادند. در مرحله نهایی، آب عاری از مواد مغذی از واحد کشت جلبک از طریق واحد آبی پروری دوباره به گردش در می‌آید. زیست توده جلبکی به روش‌های مختلفی در واحد برداشت می‌شود، که شامل لخته‌سازی، فیلتراسیون، میکرواسکرین، رسوب‌گذاری ثقلی و سانتریفیوژ از رایج‌ترین روش‌های برداشت جلبک هستند (Shah et al., 2014).



شکل ۳: طرح کلی یک واحد پرورش جلبک (Yang et al., 2020)

بیوفلاک یک منبع غذایی مهم در سیستم آبی پروری در گردش (RAS)

سیستم آبی پروری در گردش (RAS) یک سیستم آبی پروری مدرن است که می‌تواند برای پرورش بچه ماهیان در یک محیط با امنیت زیستی برای کمک به طرح‌های تولید استفاده شود. با این حال، هنوز مبهم است، که چه نوع سیستم آبی پروری در گردش می‌تواند، بهترین برای چنین فعالیت‌هایی باشد.

Vinatea و همکاران (۲۰۱۸) یک مطالعه مقایسه‌ای بر روی نقش سیستم آبی پروری در گردش با بیوفلاک برای رشد بچه ماهی *Tinca tinca* نشان داد که جامعه میکروبی در سیستم آبی پروری در گردش و بیوفلاک متفاوت بوده و تنوع میکروبی در سیستم آبی پروری در گردش نسبت به بیوفلاک نسبتاً بالاتر است.

Hisano و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه دیگر، عملکرد بیوفلاک در مقابل سیستم آبی پروری در گردش بر روی تیلپیا نیل، *Oreochromis niloticus* در تک پرورش و چند پرورشی با میگوی غول پیکر آب شیرین، *Macrobrachium rosenbergii* مورد ارزیابی قرار گرفت. گزارش شده است که بیوفلاک عملکرد رشد بهتری را برای *O. niloticus* در تک پرورش و چند پرورشی با *M. rosenbergii* در مقایسه با سیستم آبی پروری در گردش ارائه می‌کند. به دلیل کیفیت تغذیه‌ای خوب، بیوفلاک خشک شده به عنوان

یک ماده برای جایگزینی پودر ماهی یا سویا تا حدی در خوراک برای آبزیان پیشنهاد می‌شود. اما در دسترس بودن و تنوع بیوفلاک خشک شده محدود است.

بیوفلاک یک سیستم ایمن و یکپارچه برای بهره‌وری بالا

طبق گزارشات اخیر بیوفلاک بر پایه شکر زرد (Jaggery-based BFT) در ماهی تیلاپیا نیل ایمنی را در برابر عفونت بیماری‌زایی *Aeromonas hydrophila* از طریق تنظیم داخلی در سلول‌های مختلف ایمنی، ژن‌ها، آنزیم‌های مرتبط با ایمنی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش داده است. بنابراین، بیوفلاک بر پایه جاگری قادر به افزایش عملکرد رشد و میزان بقای ماهی تیلاپیا نیل شد (Elayaraja et al. 2020).

Gallardo-Collí و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که باکتری پروبیوتیک مانند *Bacillus subtilis*، *Bacillus infantis* و *Bacillus megaterium* جدا شده از بیوفلاک قادر به افزایش رشد و میزان بقای تیلاپیا نیل با دستکاری ژنتیکی در حین پرورش در مخزن ۵۰۰ لیتری بودند. با این حال، *B. subtilis* و *B. megaterium* ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ایمنی بهتری نسبت به دو سویه باقی مانده نشان دادند (Menaga et al. 2020). به همین ترتیب، پرورش فشرده ماهی تیلاپیا نیل را می‌توان با استفاده از آب تخلیه شده از سیستم‌های بیوفلاک در طول دوره رشد بدون اثرات منفی بر بقای ماهی و عملکرد تولیدی ایجاد کرد. آب تخلیه شده از سیستم بیوفلاک می‌تواند منبع خوبی برای یک جامعه میکروبی سالم باشد.

مزایا و معایب فناوری بیوفلاک

بیوفلاک دارای مزایای بسیاری است که آن را از دیگر سیستم‌های پیشرفته پرورش ماهی متمایز می‌کند، مانند یک سیستم پرورش سازگار با محیط زیست همراه با زهکشی صفر پس از پرورش می‌باشد. بیوفلاک به دلیل ظرفیت بالا برای کاهش اثرات زیست محیطی، بهبود استفاده موثر از زمین و آب، حفظ کیفیت مناسب آب با حداقل مصرف و تبادل آب در حوضچه‌های پرورش و خوراک مکمل غنی از پروتئین و کاهش هزینه خوراک تجاری می‌باشد (Reddy, 2019). مشکلاتی در سیستم بیوفلاک وجود دارد، مانند نیاز فوری به هوادهی بالا که هزینه زیادی دارد، ناهمگونی کیفیت بیوفلاک، که نیاز به افزایش انرژی برای اختلاط و هوادهی می‌شود. معایب دیگر مانند کاهش زمان پاسخ به دلیل مصرف اکسیژن محلول در آب و میزان تنفس بالا، افزایش ناشی از تجمع نیترات، و نیاز به دوره راه اندازی و مکمل‌های قلیایی و محدودیت در گونه‌های پرورشی با این سیستم می‌باشد (Reddy, 2019). در عمل، استفاده مستقیم از بیوفلاک به عنوان خوراک در ماهیان محدود (به‌ویژه در گونه‌های گوشتخوار) است. این فناوری بیشتر برای میگو و ماهیان فیلترکننده یا همه‌چیزخوار مؤثر است. بیوفلاک نیاز به نگه‌داری دارد، به طوریکه گاهی اوقات ممکن است بسیار گران باشد. یکی از جدی‌ترین چالش‌های پیش روی پایداری سیستم‌های بیوفلاک، نوسان مداوم کیفیت آب است. هنگامی که سیستم‌های بیرونی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند، باعث شکوفایی جلبک‌ها می‌شوند، که منجر به نوسانات PH، DO، CO₂، آمونیاک و TSS می‌شود.

نتیجه‌گیری

فناوری بیوفلاک امکان کشت با تراکم بالا، بازیافت مواد مغذی، به‌ویژه ضایعات نیتروژنی به زیست‌توده میکروبی در محل، امکان حفظ کیفیت خوب آب را بدون نیاز به تعویض آب یا حداقل تعویض آب را فراهم می‌کند. در سیستم بیوفلاک، توده‌های میکروبی که عمدتاً از میکروارگانیسم‌های هتروتروف تشکیل شده‌اند، پتانسیل عظیمی برای ترویج توسعه بیوفلاک، بهبود کیفیت آب، ایمنی میزبان و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زای میکروبی دارند. مزایای زیست محیطی بیوفلاک تأثیر مثبتی بر مدیریت پسماند در محل خواهد داشت، که از طریق کاهش تعویض آب برای به حداقل رساندن سطح مواد مغذی، تقاضای آب را کاهش می‌دهد. سیستم‌های بیوفلاک بدون نیاز به تعویض آب، هزینه‌های تصفیه آب را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهند، کاهش دوره پرورش، میزان بقا و رشد گونه‌های آبزی را افزایش می‌دهند، که آن را به یک سیستم تولید پایدار تبدیل می‌کنند. همچنین، جداسازی جامعه میکروبی مشتق شده از بیوفلاک، عمدتاً میکروب‌های هتروتروف، و توصیف بیشتر مکانیسم تعامل احتمالی آن‌ها با محیط، میزبان

و میکروب‌های بیماری‌زا، راه‌های جدیدی را باز خواهد کرد و یک فناوری آبی‌پروری امیدوارکننده برای محیط‌های آبی آینده و مدیریت عوامل بیماری‌زا خواهد بود و احتمالاً منجر به افزایش کلی تولید آبی‌پروری با تراکم بالا و حداقل یا بدون تعویض آب خواهد شد. این فناوری بیشتر برای میگو و ماهیان فیلترکننده یا همه‌چیزخوار مؤثر است. علاوه بر این، حفظ سیستم بیوفلاک بدون تعویض آب در بلندمدت دشوار است، که نیاز به مدیریت سنجش قلیائی، اکسیژن محلول در آب و بار مواد آلی است. این سیستم بخاطر هوادهی بالا و انرژی هنوز باید مورد بررسی قرار گیرد. انتشار منظم یافته‌های تحقیقاتی برای پرورش دهندگان برای شیوه‌های مدیریتی و پرداختن به چالش‌های عملیاتی آن ضروری است.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ گونه ارتباط مالی یا شخصی با افراد یا سازمان‌های دیگر را گزارش نمی‌کنند، که ممکن است بر محتوای این مقاله تأثیر منفی بگذارد.

References

1. Abakari, G., Luo, G., Kombat, E.O., 2020a. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review. *Aquacult Fish*. 2020a; Article in Press. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>.
2. Ahmad, I., Verma, A.K., Babitha Rani, A.M., Rathore, G., Saharan, N. and 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. DOI:10.1016/j.aquaculture.2016.02.011.
3. Ahmad, I., Leya, T., Saharan, N., Asanaru Majeedkutty, B.R., Rathore, G., Gora, A.H., Bhat, I.A., and Verma, A.K., 2019. Carbon sources affect water quality and haemato-biochemical responses of *Labeo rohita* in zero-water exchange biofloc system. *Aquaculture research*, 50, 2879-2887. DOI:10.1111/are.14241.
4. Avnimelech, Y., 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*, 264, 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>.
5. Avnimelech, Y., Kochba, M., 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using ¹⁵N tracing. *Aquaculture*, 287, 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.009>.
6. Azim, M. E., & Little, D. C., 2006. Intensifying aquaculture production through new approaches to manipulating natural food. *CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.*, 62, 1-22. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20061062>.
7. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>.
8. Azimi, A., Shekarabi, S.P.H., Paknejad, H et al., 2022. Various carbon/nitrogen ratios in a biofloc-based rearing system of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings: Effect on growth performance, immune response, and serum biochemistry. *Aquaculture*. 548: 737622.

9. Bakhshi, F, Najdegerami, E.H., Manaffar, R., Tokmechi, A., Farah, K.R. and Jalali, A.S., 2018. Growth performance, haematology, antioxidant status, immune response and histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed biofloc grown on different carbon sources. *Aquaculture Research*, 49, 393–403. DOI:10.1111/are.13469.
10. Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.04.046>.
11. Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S., & Akinwole, A. O., 2019. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>.
12. Deb, S., Noori, M.T., Rao, P.S., 2020. Application of biofloc technology for Indian major carp culture (polyculture) along with water quality management. *Aquacult Eng.* 2020 Nov;91:102106. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102106>.
13. 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, 346–358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>.
14. 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*, 426–427, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.023>.
15. Ekasari, J., Zairin, M., Putri, D. U., Sari, N. P., Surawidjaja, E. H., & Bossier, P., 2013. Biofloc-based reproductive performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. broodstock. *Aquaculture Research*, 46, 509–512. <https://doi.org/10.1111/are.12185>.
16. Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S.H., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H., Bossier, P. and De Schryver, P., 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*, 426, 105–111.
17. Elayaraja, S., Mabrok, M., Algammal, A., Sabitha, E., Rajeswari, M.V., Zágöršek, K., Ye. Z., Zhu, S., Rodkhum, C., 2020. Potential influence of jaggery-based biofloc technology at different C:N ratios on water quality, growth performance, innate immunity, immune-related genes expression profiles, and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol.* 2020 Dec;107 Pt A:118–128. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.023>.
18. Emerenciano, M.G.C., Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas M. and Miranda-Baeza, A., 2017. Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. In: *Water quality. InTech*, pp. 91-109.

19. Ezhilarasi, V., Verma, A. K., Babitharani, A. M., Harikrishna, V., Chandrakant, M. H., Ahmad, I., & Nageswari, P., 2019. Effect of different carbon sources on growth, non-specific immunity and digestive enzyme activity of amur carp (*Cyprinus rubrofasciatus* lacepede 1803) fingerlings in biofloc based rearing system using inland saline groundwater. *Indian Journal of Fisheries*, 66, 85–92. <https://doi.org/10.21077/ijf.2019.66.3.86206-11>.
20. Fang, Y., Chen, X., Hu, Z., Liu, D., Gao, H., Nie, L., 2018. Effects of hydraulic retention time on the performance of algal-bacterial-based aquaponics (AA): focusing on nitrogen and oxygen distribution. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 102, 9843–9855. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9338-1>.
21. FAO - Food and Agriculture Organization., 2020. The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Rome.
22. Fischer, H., Romano, N., Renukdas, N., Egnew, N., Sinha, A.K., Ray, A.J., 2020. The potential of rearing juveniles of bluegill, *Lepomis macrochirus*, in a biofloc system. *Aquacult Rep.* 2020 Jul;17:100398. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100398>.
23. Gallardo-Collí, A., Pérez-Rostro, C.I., Hernández-Vergara, M.P., 2019. Reuse of water from biofloc technology for intensive culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): effects on productive performance, organosomatic indices and body composition. *Int Aquatic Research*. 2019 Mar;11(1):43–55. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0218-9>.
24. Glencross, B. D., 2009. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1, 71–124. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01006.x>.
25. Hargreaves, J. A., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural aquaeng*.2005.08.009.
26. Hisano, H., Barbosa, P.T.L., Hayd, L.A., Mattioli, C.C., 2019. Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *Int Aquatic Research*. 2019 Dec;11(4):335–346. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-00242-2>.
27. Hisano, H., Parisi, J., Cardoso, I. L., Ferri, G. H., & Ferreira, P. M. F., 2019. Dietary protein reduction for Nile tilapia fingerlings reared in biofloc technology. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1–11. <https://doi.org/10.1111/jwas.12670>.
28. Hisano, H., Pinheiro, V. R., Losekann, M. E., & Moura e Silva, M. S. G., 2020. Effect of feeding frequency on water quality, growth, and hematological parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared using biofloc technology. *Journal of Applied Aquaculture*, 33, 96–110. <https://doi.org/10.1080/10454438.2020.1715909>.
29. Holanda, M., Santana, G., Furtado, P., Rodrigues, R.V., Cerqueira, V.R., Sampaio, L.A., Wasielesky, W. Jr., Poersch, L.H. 2020. Evidence of total suspended solids control by *Mugil liza*

reared in an integrated system with pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using biofloc technology. *Aquacult Rep.* 2020 Nov;18:100479. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100479>.

30. 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.021>.

31. Khanjani, M.H., Sajjadi, M.M., Alizadeh, M. and 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. DOI:10.1111/are.12985.

32. Khanjani, M.H., Sharifinia, M., Hajirezaee, S., 2020. Effects of different salinity levels on water quality, growth performance and body composition of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) cultured in a zero water exchange heterotrophic system. *Ann Anim Sci.*20(4):1471–86.

33. Khanjani, M.H., Sharifinia, M., Emerenciano, M.G.C., 2023. A detailed look at the impacts of biofloc on immunological and hematological parameters and improving resistance to diseases. *Fish Shellfish Immunol.* 108796.

34. Khanjani, M.H., Alizadeh, M., Mohammadi, M., Sarsangi Aliabad, H., 2020. Culture of Nile tilapia fish *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in a biofloc production system and its effects on water quality. *Univ Jiroft Res Proj.* 2020;No Grant 4813–98–3.

35. Khanjani, M.H., Alizadeh, M. and Sharifinia, M., 2021a. Effects of different carbon sources on water quality, biofloc quality, and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings in a heterotrophic culture system. *Aquaculture International*. 29: 307- 321. DOI: 10.1007/s10499-020-00627-9.

36. Kim, J. H., Kim, S. K., & Kim, J. H., 2018. Bio-floc technology application in flatfish *Paralichthys olivaceus* culture: Effects on water quality, growth, hematological parameters, and immune responses. *Aquaculture*, 495, 703–709. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.034>.

37. Kim, Y-S., Kim, S-E., Kim, S-J., Jung, H-K., Park, J., Jeon, Y.J., Kim, D-H., Kang, J-H., Kim, K-H., 2020. Effects of wheat flour and culture period on bacterial community composition in digestive tracts of *Litopenaeus vannamei* and rearing water in biofloc aquaculture system. *Aquaculture*. 2021;531:735908. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735908>.

38. Kumar, A., Reddy, A., Rani, A., Rathore, G., Lakra, W., Jayant, M., 2019. Water quality and nutrient dynamics of biofloc with different C/N ratios in inland saline water. *J Animal Res.* 2019 Oct 15;9(5):783–791. <https://doi.org/10.30954/2277-940X.05.2019.23>.

39. Laice, L.M., Corrêa Filho, R.A.C.C., Ventura, A.S., Farias, K.N.N., Silva, A.L.N., Fernandes ,C.E., Silva, A.C.F., Barbosa, P.T.L., de Souza, A.I., Emerenciano, M.G.C., et al.,

2021. Use of symbiotics in biofloc (BFT)-based Nile tilapia culture: production performance, intestinal morphometry and hematological parameters. *Aquaculture*. 2021 Jan;530:735715. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735715>.

40. Liu, H., Li, H., Wei, H., Zhu, X., Han, D., Jin, J., Yang, Y., Xie, S., 2019. Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. *Aquaculture*. 2019 May;506:256–269. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.031>.

41. Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., & Wu, F., 2015. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.017>.

42. Menaga, M., Felix, S., Charulatha, M., Gopalakannan, A., & Panigrahi, A., 2019. Effect of in-situ and ex-situ biofloc on immune response of Genetically Improved Farmed Tilapia. *Fish & Shellfish Immunology*, 92, 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.06.031>.

43. Menaga, M., Felix, S., Charulatha, M., Gopalakannan, A., Mohanasundari, C., Boda, S., 2020. In vivo efficiency of *Bacillus* sp. isolated from biofloc system on growth, haematological, immunological and antioxidant status of genetically improved farmed tilapia (GIFT). *Indian J Exp Biol*. 2020;58(10):714–721.

44. Mabroke, R.S., Zidan, A.E.N.F., Tahoun, A.A et al., 2021. Feeding frequency affect feed utilization of tilapia under biofloc system condition during nursery phase. *Aquac Rep*.19: 100625.

45. Nobile, A. B., Cunico, A. M., Vitule, J. R. S., Queiroz, J., Vidotto-Magnoni, A. P., Garcia, D. A. Z., Orsi, M. L., Lima, F. P., Acosta, A. A., Silva, R. J., Prado, F. D., Porto- Foresti, F., Brandão, H., Foresti, F., Oliveira, C., & Ramos, I. P., 2019. Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in aquaculture*, 1–23. <https://doi.org/10.1111/raq.12393>.

46. Ogello, E.O., Outa, N.O., Obiero, K.O., Kyule, D.N., Munguti, J.M., 2021. The prospects of Biofloc Technology (BFT) for sustainable aquaculture development. *Sci Afr* 14(November):e01053. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2021.E01053>.

47. P´erez-Fuentes, J. A., P´erez-Rostro, C. I., Hern´andez-Vergara, M. P., & Monroy- Dosta, M. C., 2018. Variation of the bacterial composition of biofloc and the intestine of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, cultivated using biofloc technology, supplied different feed rations. *Aquaculture Research*, 49, 3658–3668. <https://doi.org/10.1111/are.13834>.

48. Panigrahi, A., Das, R.R., Sivakumar, M.R., Saravanan, A., Saranya, C., Sudheer, N.S., Kumaraguru Vasagam, K.P., Mahalakshmi, P., Kannappan, S., Gopikrishna, G., 2020. Bio-augmentation of heterotrophic bacteria in biofloc system improves growth, survival, and immunity of Indian white shrimp *Penaeus indicus*. *Fish Shellfish Immunol*. 2020 Mar;98:477–487. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.021>.

49. Panigrahi, A., Sundaram, M., Chakrapani, S., Rajasekar, S., Syama Dayal, J., Chavali, G., 2019b. Effect of carbon and nitrogen ratio (C:N) manipulation on the production performance and immunity of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in a biofloc-based rearing system. *Aquacult Res.* 2019b Jan;50(1):29–41. <https://doi.org/10.1111/are.13857>.
50. Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Satish Kumar, R., Syama Dayal, J., Saraswathy, R., Otta, S.K., Shyne Anand, P.S., Nila Rekha, P. and 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. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.12.036.
51. Reddy, J., 2019. Biofloc fish farming advantages, Training in India [Internet]. 2019 [cited 2020 May]. Available from <https://www.agrifarming.in/biofloc-fish-farming-advantages-training-in-india>.
52. Sandoval-Vargas, L.Y., Jiménez-Amaya, M.N., Rodríguez-Pulido, J., Guaje-Ramírez, D.N., Ramírez-Merlano, J.A., Medina-Robles, V.M., 2020. Applying biofloc technology in the culture of juvenile of *Piaractus brachipomus* (Cuvier, 1818): effects on zootechnical performance and water quality. *Aquacult Res.* 2020 Sep;51(9):3865–3878. <https://doi.org/10.1111/are.14734>.
53. Shah, J.H., Deokar, A., Patel, K., Panchal, K., Mehta, A.V., 2014. A comprehensive overview on various method of harvesting microalgae according to Indian perspective. *Int. Conf. Multidiscip. Res. Pract.* Vol. 1, 313–317. (<http://www.rsisinternational.org/Issue7/313-317.pdf>).
54. Suneetha, K & Kavitha K & Chatla, D., 2018. Biofloc Technology: An emerging tool for sustainable aquaculture. *International Journal of Zoology Studies*, 87-90.
55. Van Doan, H., Hoseinifar, S.H., Hung, T.Q., Lumsangkul, C., Jaturasitha, S., Ehab, El-Haroun, Paolucci M., 2020. Dietary inclusion of chestnut (*Castanea sativa*) polyphenols to Nile tilapia reared in biofloc technology: impacts on growth, immunity, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae*. *Fish Shellfish Immunol.* 2020 Oct;105:319–326. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.010>.
56. Vinatea, L. Malpartida, J., Carbó, R., Andree, K.B., Gisbert, E., Estévez, A., 2018. A comparison of recirculation aquaculture systems versus biofloc technology culture system for on-growing of fry of *Tinca tinca* (Cyprinidae) and fry of grey *Mugil cephalus* (Mugilidae). *Aquaculture*. 2018 Jan;482:155–161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.041>.
57. Walker, D.A.U., Suazo, M.C.M. and Emerenciano, M.G.C., 2020. Biofloc technology: principles focused on potential species and the case study of Chilean river shrimp *Cryphiops caementarius*. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1752-1782. DOI:10.1111/raq.12408.
58. Widanarni, 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. *HAYATI Journal of Biosciences*, 19, 73–80. <https://doi.org/10.4308/hjb.19.2.73>.

59. Xu, W., Xu, Y., Su, H., Hu, X., Xu, Y., Li, Z., Wen, G., Cao, Y., 2021. Production performance, inorganic nitrogen control and bacterial community characteristics in a controlled biofloc-based system for indoor and outdoor super-intensive culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture. 2021 Jan;531:735749. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735749>.
60. Yang, L., Wang, R., Lu, Q., Liu, H., 2020. "Algaquaculture" integrating algae-culture with aquaculture for sustainable development. J. Clean. Prod. 244, 118765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118765>.
61. Yu, Z., Dai, Z. Y., Qin, G. X., Li, M. Y., & Wu, L. F., 2020a. Alleviative effects of dietary microbial floc on copper-induced inflammation, oxidative stress, intestinal apoptosis and barrier dysfunction in Immunology, 106, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.070>.
62. Yu, Z., Huang, Z.Q., Du, H.L., Li, H.J., Wu, L.F., 2020. Influence of differential protein levels of feed on growth, copper-induced immune response and oxidative stress of *Rhynchocypris lagowski* in a biofloc-based system. Aquacult Nutr. 2020 Dec;26(6):2211–2224. <https://doi.org/10.1111/anu.13158>.