



استفاده از فناوری بیوفلاک در پرورش میگو: بررسی جامع

نرسی نصیرآبادی^{۱*}، ابوالفضل عسکری ساری^۲، لاله رومیانی^۳

۱، ۲، ۳. گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبات: researcherirany@yahoo.com

چکیده

فناوری بیوفلاک (Biofloc) که به اختصار به آن BFT گفته می‌شود، یک جایگزین جدیدی برای آبرزی پروری پایدار ظاهر شده است که می‌تواند به اهداف توسعه پایدار فائو (SDGs) مرتبط با امنیت غذایی کمک کند. استفاده از بیوفلاک به عنوان یک پروبیوتیک طبیعی و اثرات آن بر سلامت میگو و عملکردهای فیزیولوژیکی، ملاحظات اقتصادی و کاربردهای تجاری آبرزی پروری میگو مبتنی بر بیوفلاک و چالش‌های عمده پیش روی پرورش میگو در سیستم‌های بیوفلاک دارد. این بررسی به روزرسانی‌ترین دانش را در مورد استفاده از بیوفلاک در پرورش ماهی‌های مختلف، میگوی دریایی و میگوی آب شیرین انجام می‌دهد.

واژگان کلیدی: فناوری بیوفلاک، پرورش میگو، ارزش غذایی، کیفیت آب، نسبت C/N.

مقدمه

تغذیه جمعیت رو به رشد انسانی که پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۶ میلیارد نفر برسد، در مواجهه با کمبود منابع طبیعی لازم برای تولید غذا، مانند زمین و آب، یک چالش جدی است. آبرزی پروری به عنوان یک گزینه ایده‌آل برای تولید غذا در بسیاری از کشورها ظاهر شده است (FAO, 2017). با توجه به کمبود منابع آب و زمین، پایداری آبرزی پروری احتمالاً متکی به بهبود محیط‌های تولید، افزایش بهره‌وری، افزایش فناوری‌های آبرزی پروری و کاهش هزینه‌های تولید خواهد بود.

فناوری بیوفلاک (BFT) Biofloc به عنوان یک سیستم آبرزی پروری پایدار پیشنهاد شده است. مفهوم بیوفلاک از اوایل دهه ۱۹۷۰ شناخته شده است. با این حال، تحقیقات گسترده‌ای در مورد توسعه و کاربرد بیوفلاک از اوایل دهه ۱۹۹۰ با نتایج دلگرم‌کننده انجام شده است (Avnimelech, 2015). با توجه به واژه نامه کتابخانه ملی کشاورزی (وزارت کشاورزی ایالات متحده)، فناوری بیوفلوک به این صورت تعریف می‌شود: استفاده از تجمع باکتری‌ها، جلبک‌ها یا تک‌یاخته‌ها که در یک کمپلکس همراه با ذرات آلی معلق به منظور بهبود کیفیت آب، نگهداری ضایعات است. به عبارت دیگر، بیوفلاک یک فرآیند همزیستی است که شامل حیوانات آبرزی محدود، باکتری‌های هتروتروف و سایر گونه‌های میکروبی در آب می‌شود. از طریق این فرآیند، آمونیاک از سیستم پرورش حذف می‌شود و مواد زائد ممکن است به منابع غذایی مکمل برای گونه‌های آبرزی پرورشی چرخه شوند (Browdy et al., 2012). این بدان معنی است که بیوفلاک می‌تواند یک گزینه ایده‌آل برای آبرزی پروری پایدار و سازگار با محیط زیست باشد (Crab et al., 2012).

در سال‌های اخیر، توجه ویژه‌ای به فناوری بیوفلاک به عنوان ابزاری امیدوارکننده برای آبرزی پروری پایدار میگو شده است. بیش از ۵۵۰ سند در مورد کاربرد بیوفلاک در آبرزی پروری منتشر شده است که بیشتر آنها در ۱۰ سال گذشته (۲۰۱۰-۲۰۲۰) منتشر شده‌اند. بیش از ۴۰ درصد از این نشریات به آبرزی پروری میگو اختصاص داشت، و میگوی سفید (*L. vannamei*) بیشتر مورد توجه قرار گرفت. بیش از ۲۰۰ مقاله در مورد پرورش این گونه در سیستم‌های بیوفلاک منتشر شد. تحقیق و توسعه در مورد پرورش میگو در سیستم‌های بیوفلاک نیز همچنان با سرعتی فوق‌العاده در حال افزایش است. تنها در سال ۲۰۱۹، ۴۴ مقاله در این زمینه در مجلات برتر و تخصصی منتشر شده است. چهارده مقاله نیز در سه ماهه اول سال ۲۰۲۰ منتشر شد. بنابراین، بررسی جامع و تحلیل انتقادی نقش بیوفلاک در آبرزی پروری میگو به موقع به نظر می‌رسد. این بررسی از طریق تجزیه و تحلیل و بحث در مورد اطلاعات موجود که در مورد کاربرد بیوفلاک در آبرزی پروری



میگو، به ویژه در دهه گذشته (2010-2020) با تاکید بر میگوی سفید (*L. vannamei*) می باشد. امید است که این بررسی به نفع پرورش دهندگان میگو، مدیران مزرعه، محققان، مدیران و سایر ذینفعان مرتبط باشد.

مقالات اخیر، رشته های مختلف پرورش میگو را در سیستم های بیوفلاک پوشش می دهند، از جمله (i) انواع سیستم های بیوفلاک زیر (Panigrahi et al., 2018, 2019a, 2019b, 2020a)؛ (ii) مسیره های حذف آمونیاک در سیستم های بیوفلاک (Kumar et al., 2019; Panigrahi et al., 2019c, 2020a)؛ (iii) عوامل موثر بر تولید میگو در سیستم بیوفلاک: (IV) ارزش غذایی بیوفلاک برای پرورش میگو (Ekasari et al., 2014b; Khanjani et al., 2015; Panigrahi et al., 2019d)؛ (v) نقش بیوفلاک ها به عنوان پروبیوتیک در پرورش میگو (Ekasari et al., 2014a; Anand et al., 2017; Panigrahi et al., 2020c)؛ (vi) کاربرد بیوفلاک در پرورش میگو (Khanjani et al., 2017, 2020; Martinez-Porchas et al., 2020)؛ (vii) پرورش میگو مبتنی بر بیوفلاک یکپارچه (Fourrooghifard et al., 2018)؛ (viii) ملاحظات اقتصادی (Pinto et al., 2020) و (ix) چالش های پیش روی آبرزی پروری مبتنی بر بیوفلاک.

انواع سیستم های بیوفلاک

اصطلاح "biofloc" تعدادی از سیستم های تولید آبرزی پروری را توصیف می کند که کیفیت آب توسط ترکیبی از فرآیندهای میکروبی اتوتروف و هتروتروف تنظیم می شود. نقش متابولیسم فیتوپلانکتون (فتوستتوز) و فرآیندهای باکتریایی در این سیستم تولید ضروری است. بسته به مکان مزرعه (داخل در مقابل فضای باز)، شدت کشاورزی (نیمه فشرده، فشرده یا فوق فشرده) و پروتکل های فنی اتخاذ شده، تعدادی از سیستم های بیوفلوک توسعه یافته اند. به طور کلی سیستم های بیوفلوک را می توان به انواع زیر تقسیم کرد:

سیستم های رشد معلق (بدون کشت)

سیستم های رشد معلق (suspended-growth systems) که به اختصار SGS است، که با نام های زیر نیز شناخته می شوند: جلبک، باکتری، زئوپلانکتون و ریزه ها (ALBAZOD) که سیستم آبی با رشد معلق فتوستتزی، سوپ جلبک آواری آلی (ODAS)، تبدیل صفر، هوازی و سیستم کشت هتروتروف (ZEAH)، سیستم های استفاده مجدد میکروبی هوادهی، حوضچه های لجن فعال، فرایند تصفیه معلق مبتنی بر باکتری و سیستم رشد معلق فتوستتزی (PSG) می باشد (Hargreaves, 2006). سیستم رشد معلق فتوستتزی به طور کلی برای تولید مقادیر زیادی از زیست توده میکروبی استفاده می شود. در این سیستم، بسترهایی مانند منبع کربن آلی، آمونیاک (NH_3) و نیتريت (NO_2) همراه با هوادهی سنگین مورد نیاز است تا بسترها و جوامع میکروبی را در حالت تعلیق نگه دارند و به نوبه خود باعث افزایش سطح عمل باکتری ها شوند. این بدان معنی است که کیفیت آب از طریق توده فعال فیتوپلانکتون، باکتری های متصل و سایر موجودات زنده و ذرات آلی حفظ می شود (Hargreaves, 2006). در طی این فرآیند، فیتوپلانکتون ها، لخته های میکروبی و سایر موجودات مرتبط توسط آبریان پرورشی مصرف می شوند که منجر به بهبود کارایی سیستم و کاهش هزینه های تولید می شود. سیستم کشت آب سبز که به طور کلی در محیط های بیرونی به کار گرفته می شود، یک کاربرد کارآمد از فناوری رشد معلق فتوستتزی است. در این سیستم، NH_3 و NO_2 به نترات (NO_3) از طریق باکتری های نیتریف کننده رشد کرده روی مواد آلی معلق اکسید می شوند. باکتری ها مواد آلی را از مخازن خارج کرده و از آن به عنوان غذا استفاده می کنند. هوادهی شدید برای حمایت از تعلیق جامعه میکروبی، به حداکثر رساندن تماس بین باکتری ها و مواد زائد و افزایش بهره وری فیتوپلانکتون ضروری است. با مرگ فیتوپلانکتون ها که باعث ایجاد لخته شده و بنابراین تولید ضایعات جامد شده که به طور مداوم از سیستم باید حذف شوند.

فناوری بیوفیلتراسیون رشد پیوسته (با محیط متحرک)

فناوری بیوفیلتراسیون با رشد پیوسته (Attached-growth biofiltration technology) همچنین به عنوان بیوراکتور غشایی رشد پیوسته (AGMBR) نیز شناخته می شود (Hargreaves, 2006; Ibrahim et al., 2019). در این سیستم، بسترها از واحدهای پرورش به راکتورهای تخصصی برای انجام یک عملیات خاص منتقل می شوند. در مقایسه با سیستم های رشد معلق، فناوری بیوفیلتراسیون با رشد پیوسته با محیط زیست فیلترینگ با سطح ویژه بالا مشخص می شود. بنابراین، راندمان نیتریفیکاسیون در بیوفیلتراسیون با رشد پیوسته بسیار



بالا تر از سیستم‌های رشد معلق است. این سیستم همچنین می‌تواند مواد جامد معلق را بدون محدود کردن کارایی فرآیند کاهش دهد (Hargreaves, 2006).

مسیرهای حذف آمونیاک در سیستم‌های بیوفلاک

در سیستم‌های بیوفلاک، آمونیاک حذف می‌شود و مواد زائد ممکن است به غذای طبیعی برای ماهی‌های پرورشی و میگو تبدیل شوند (Browdy *et al.*, 2012). به طور معمول، تبدیل نیتروژن شامل سه مسیر برای حذف کل نیتروژن آمونیاکی (TAN) در سیستم‌های آبرزی پروری است (Ebeling *et al.*, 2006; Crab *et al.*, 2010) به شرح زیر هستند:

- حذف فوتوتوتروفیک توسط گیاهان آبرزی: در این فرآیند، مواد مغذی آزاد شده در پساب‌های آب توسط گیاهان عمدتاً آبرزی حذف می‌شوند.
- تبدیل باکتریایی اتوتروف آمونیاک-نیتروژن به نیترات-نیتروژن: در این مسیر، باکتری‌های اتوتروف و سایر اتوتروف‌ها، از طریق فتوسنتز، با استفاده از دی اکسید کربن به عنوان منبع کربن، ترکیبات سلولی خود را سنتز می‌کنند.
- تبدیل باکتریایی هتروتروف آمونیاک-نیتروژن مستقیماً به زیست توده میکروبی: در این مسیر، افزودن منبع کربن آلی برای تحریک رشد باکتری هتروتروف مورد نیاز است. در نسبت مناسب کربن به نیتروژن (C/N)، این باکتری‌ها آمونیاک-نیتروژن را به پروتئین سلولی جذب می‌کنند.

سه مسیر تبدیل نیتروژن اجزای جدایی ناپذیر در تشکیل بیوفلوک‌ها در داخل سیستم‌های کشت هستند. این بیوفلاک‌ها علاوه بر بهبود کیفیت آب در سیستم کشت می‌توانند به عنوان منبع غذایی طبیعی برای ارگانیسم‌های کشت شده استفاده شوند. بنابراین، فرآیند تشکیل بیوفلوک شامل نیتریفیکاسیون بیولوژیکی (اکسیداسیون) آمونیاک به نیتريت (NO₂) توسط باکتری‌های جنس Nitrosomonas و Nitrosococcus است که بیشتر توسط باکتری‌های Nitrobacter و Nitrospira به نیترات (NO₃) اکسید می‌شود. در نهایت، نیترات را می‌توان از طریق نیترات‌زدایی بدون اکسیژن، عمدتاً توسط آکروموباکتر و سودوموناس، به گاز نیتروژن کاهش داد (Schramm *et al.*, 1999). با این حال، ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب بیوفلوک‌ها بسته به سیستم بیوفلوک اتخاذ شده، کمیت و کیفیت خوراک مورد استفاده، گونه‌های هدف، شرایط محیطی، نوع هوادهی و عوامل مرتبط با تولید و کلون‌سازی لخته‌ها به‌طور قابل توجهی متفاوت است (De Schryver *et al.*, 2008; Ray *et al.*, 2010a, b).

عوامل موثر بر کشت میگو در سیستم‌های بیوفلاک

تعدادی از عوامل زیستی، از جمله اندازه و تراکم انبار، خوراک مکمل و در دسترس بودن غذای طبیعی گزارش شده است که بر تولید بیوفلاک، کارایی و استفاده برای آبرزی پروری میگو تأثیر می‌گذارد (Xu and Pan 2014a; Zhu *et al.*, 2016; Esparza-Leal *et al.*, 2020). عوامل غیرزیستی، از جمله دما، اکسیژن، pH، قلیابیت، قرار گرفتن در معرض نور، نیتروژن کل، آمونیاک، نیتريت و نیترات نیز نقش مشابهی در تولید میگو در سیستم‌های بیوفلاک ایفا می‌کنند (Hostins *et al.*, 2015; Khanjani *et al.*, 2020). برخی از شرایط کشت دیگر، مانند افزودن منبع کربن (برای حفظ نسبت C/N مناسب)، تبادل آب و بسترهای پرورش، نیز برای عملکرد بهینه میگو و میگو در سیستم‌های بیوفلوک از اهمیت بالایی برخوردار هستند (Schveitzer *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2017; Olier *et al.*, 2020).

منابع کربن و نسبت کربن به نیتروژن

یک سیستم بیوفلاک به ورودی‌های خارجی از جمله منبع کربن خارجی برای حفظ نسبت کربن به نیتروژن (C/N) مناسب مورد نیاز برای تولید میکروبی نیاز دارد. یک سیستم بیوفلاک مبتنی بر هتروتروف از کربن موجود به عنوان منبع انرژی و آمونیاک-نیتروژن برای سنتز پروتئین سلولی استفاده می‌کند (Hargreaves, 2013). تثبیت آمونیاک توسط باکتری‌های هتروتروف به جذب کل کربن توسط این باکتری‌ها و راندمان تبدیل ناخالص آنها بستگی دارد. تثبیت و تبدیل آمونیاک توسط باکتری‌های هتروتروف سریعتر از نیتریفیکاسیون است،



زیرا رشد و تولید زیست توده میکروبی در واحد بستر باکتری های هتروتروف بالاتر از باکتری های نیتریف کننده هستند (Metcalf and Eddy Inc Tchobanoglous, 1991). با این حال، هنگامی که باکتری های نیتریفیک کننده تثبیت می شوند، افزودن منابع کربن خارجی باید کاهش یابد یا به طور کامل متوقف شود تا از تولید بیش از حد بیوفلاک جلوگیری شود. مکمل بیش از حد کربن آلی (با نسبت C/N بالا) می تواند منجر به افزایش سریع جامدات قابل ته نشین (settleable solids)، کل جامدات معلق (total suspended solids)، جامدات معلق فرار (volatile suspended solids) و کدورت آب می شود (Xu et al., 2016). همچنین، نسبت بالای C/N، بیوفلاک اتوتروف به زیست توده میکروبی هتروتروف منتقل می شود که منجر به تغییر در کیفیت آب و ترکیب بیوفلاک می شود (De Schryver et al., 2008). افزایش تجمع بیوفلاک همچنین می تواند منجر به کاهش اکسیژن محلول، افزایش ترکیبات نیتروژنی شود و ممکن است باعث آسیب به آبشش ماهی شود (Ray et al., 2010b; Schweitzer et al., 2013). بنابراین لازم است که بیوفلاک ها از طریق هوادهی در آب معلق و در تماس مداوم با مواد مغذی و اکسیژن باشند. این امر باعث افزایش میزان تجمع و جلوگیری از ریزش بیوفلاک شود. بنابراین، کاربرد کمی و کیفی منابع کربن و سرعت هوادهی در سیستم های بیوفلاک باید کاملاً درک شود.

منابع کربن

مطالعات متعددی اثرات منابع و سطوح مختلف کربن را بر عملکرد، وضعیت سلامت و کیفیت آب در آبرزی پروری میگو مبتنی بر بیوفلاک بررسی کرده اند. اثربخشی منابع کربوهیدرات در سیستم های بیوفلاک عمدتاً به محتوای کربن و سرعت تجزیه آن ها بستگی دارد که نشان می دهد برخی از منابع کربن در ترویج تولید لخته ها بهتر از سایرین هستند. به طور کلی، قندهای ساده (مانند ملاس و دکستروز) سریعتر از قندهای پیچیده (مانند سبوس گندم) تجزیه می شوند که منجر به غلظت آمونیاک کمتر، میزان رشد بالاتر و کیفیت آب بهتر می شود (Khanjani et al., 2017). بسیاری از محصولات و ضایعات طبیعی به عنوان منابع کربن برای پرورش میگو مبتنی بر بیوفلاک، از جمله ملاس نیشکر، گلوکز، ساکارز، سبوس برنج، سبوس گندم، نشاسته و آرد استفاده شده است. ملاس یکی از پرمصرف ترین منابع کربن در طول مراحل لارو، فاز مراحل رشد برای میگوهای مختلف و میگوهای بیوفلاک رشد می کنند. ملاس علاوه بر سیستم های بیوفلاک پس از لارو، فاز مراحل رشد می تواند منجر به کاهش قابل توجه نیتروژن کل آمونیاک (total ammonia nitrogen) و نیتريت - نیتروژن شود و از ایجاد این ترکیبات جلوگیری کند (Samocha et al., 2007). ملاس همچنین سرعت رشد، میزان بقا و کیفیت آب را بهبود می بخشد و غلظت گونه های ویبریو را کاهش می دهد. تحقیقات اخیر نشان داد که ملاس بهتر از سبوس برنج و دکستروز در کاهش غلظت آمونیاک در آب سیستم های بیوفلاک است (Gao et al., 2012; Serra et al., 2015; Huang et al., 2017). کارایی تعدادی از منابع کربن دیگر در کاهش غلظت آمونیاک، بهبود کیفیت آب و ارتقای تولید میکروبی و عملکرد میگو نیز آزمایش شده است (Panigrahi et al., 2019a).

نسبت C/N

نه تنها منبع کربن اثربخشی بیوفلاک ها را تعیین می کند، بلکه نسبت بین کربن و نیتروژن (نسبت C/N در سیستم بیوفلاک) نیز نقش مهمی در این فرآیند ایفا می کند. حداکثر جذب نیتروژن، تجزیه ضایعات و تولید بیوفلاک عموماً در نسبت C/N مناسب رخ می دهد. این بدان معنی است که کنترل نیتروژن معدنی سمی در آب و تولید لخته های میکروبی با تنظیم نسبت C/N در خوراک ها بدست می آید (Avnimelech, 2015).

کنجاله بیوفلاک به عنوان جایگزین پودر ماهی

کنجاله بیوفلاک (Biofloc meal) نه تنها می تواند تا حدی جایگزین کل رژیم غذایی شود، بلکه می تواند جایگزین منابع پروتئینی معمولی در رژیم غذایی نیز شود. مطالعات تأیید کرده اند که گنجاندن کنجاله بیوفلاک می تواند محتوای پروتئین مکمل خوراک را به میزان قابل



توجهی کاهش دهد، عملکرد رشد میگوهای پرورش یافته در سیستم های با تکنولوژی بیوفلاک را افزایش دهد و به نوبه خود هزینه های خوراک را کاهش دهد.

جبران کاهش پروتئین رژیم غذایی در سیستم های بیوفلاک

نیازهای پروتئینی میگوهای پرورش یافته در سیستم های بیوفلاک را می توان به میزان قابل توجهی کاهش داد، زیرا آنها بیوفلاک ها را به عنوان یک غذای طبیعی مصرف می کنند و کاهش پروتئین جیره را جبران می کنند. این فرض توسط چندین نویسنده با استفاده از گونه ها و اندازه های مختلف میگو و طرح های آزمایشی تأیید شده است.

نقش بیوفلاک به عنوان یک پروبیوتیک در پرورش میگو

بیوفلاک ها به عنوان پروبیوتیک نیز عمل می کنند که می تواند سیستم ایمنی را بهبود بخشد و از شیوع بیماری جلوگیری کنند و همچنین فعالیت آنزیم های گوارشی را تحریک کند. این به توانایی بیوفلاک ها برای حفظ کیفیت آب خوب و ترویج تولید باکتری هایی که اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه تولید می کنند، نسبت داده می شود که می تواند از سلول های اپیتلیال روده محافظت کند و از بیماری ها جلوگیری کند. لخته های میکروبی همچنین حد نصاب باکتری های بیماری زا را مختل می کنند (Avnimelech, 2015) که منجر به فعالیت های پروبیوتیک واضح می شود (Emerenciano *et al.*, 2013a; Adel *et al.*, 2017). مطالعات متعددی در مورد استفاده از بیوفلاک ها به عنوان آنتی بیوتیک، ضد قارچ و محرک سیستم ایمنی برای پیشگیری، کنترل و کاهش عوامل بیماری زا در میگوهای پرورش یافته با بیوفلاک منتشر شده است. بیوفلاک ها حاوی تعداد زیادی از جوامع میکروبی هتروتروف و مفید از جمله باسیلوس، اسفنگوموناس، سودوموناس، میکروکوک، نیتروسیرا، نیتروباکتر و مخمر هستند. این میکروارگانیسم ها را می توان به عنوان پروبیوتیک در آبرزی پروری استفاده کرد که منجر به بهبود کیفیت آب، عملکرد و سلامت حیوانات آبرزی پرورشی می شود (Monroy- Dosta *et al.*, 2013; Adel *et al.*, 2017). به عنوان مثال، باسیلوس، باکتری های مفید گرم مثبت و میله ای شکل، در میان گروه های غالب در جوامع میکروبی در بیوفلاک ها هستند (Panigrahi *et al.*, 2019c) که ممکن است نقش مهمی به عنوان یک پروبیوتیک در پرورش میگو ایفا کند. وجود باسیلوس می تواند به مزایای متعددی برای میگوی پرورشی منجر شود، از جمله بهبود میزان رشد، بقا، بازده خوراک، ایمنی و مقاومت در برابر بیماری (Adel *et al.*, 2017; Pacheco-Vega *et al.*, 2018; Panigrahi *et al.*, 2020c). بیوفلاک های حاوی باسیلوس برای بهبود ایمنی در میگوهای هندی *P. indicus* پیدا شد (Panigrahi *et al.*, 2020c).

Panigrahi و همکاران (2019c) متوجه شد که باکتری های مفید بیشتری در روده میگوهای سفید رشد کرده روی بیوفلاک های هتروتروف نسبت به باکتری هایی که در یک سیستم کنترل و آب شفاف پرورش می یابند، کلنی شده اند. همچنین مشخص شد که باسیلوس آنزیم های خارج سلولی مختلف تولید می کند که مزایای بالقوه ای را از نظر رشد و هضم غذا، جذب و متابولیسم فراهم می کند. باکتری های بیماری زا مانند ویبریو، آئروموناس و سودوموناس می توانند به شدت در سیستم های مبتنی بر بیوفلاک تجمع کرده و از طریق افزایش یا کاهش غلظت مواد معلق باعث بیماری زایی شوند (Khanjani and Sharifinia, 2020).

بیوفلاک همچنین ترکیبات بازدارنده ای تولید می کند که باعث کاهش تعداد و رشد این پاتوژن ها می شود، به عنوان مثال، محصولات پلیمری، مانند پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB)، توسط بسیاری از میکروارگانیسم های بیوفلاک تولید می شوند که به عنوان یک عامل پیشگیری کننده یا درمانی در برابر عفونت های ویبریو عمل می کنند (Avnimelech, 2015).

هنگامی که میگوهای سفید با بیوفلاک های تلقیح شده با باسیلوس تغذیه شدند یا در محیط حاوی باسیلوس پرورش داده شدند، بار ویبریو به طور قابل توجهی کاهش یافت (Liu *et al.*, 2017; Pacheco-Vega *et al.*, 2018; Khanjani and Sharifinia, 2020).

علاوه بر این، هنگامی که میگوهای سفید در محیط زیست فلوک پرورش داده شدند و سپس با *V. Harvey* بیماریزا به چالش کشیده شدند، سیستم ایمنی قادر به حذف پاتوژن و جلوگیری از بروز بیماری شد (Aguilera-Rivera *et al.*, 2014). علاوه بر این، هنگامی که *L.*



vannamei در سیستم هتروتروف مبتنی بر بیوفلاک رشد کرد، رشد، بقا، استفاده از خوراک، وضعیت سلامت و بیان ژن های ایمنی بالاتری نسبت به میگوهای پرورش یافته در شرایط اتوتروف به طور قابل توجهی داشتند (Panigrahi et al., 2019d). میگوهای پرورش یافته با بیوفلاک همچنین در هنگام به چالش کشیدن با ویبریو پاراهملیتیکوس مقاومت بیشتری در برابر بیماری نشان دادند. از این مطالعات مشخص است که سویه های باسیلوس مانند *Lactobacillus plantarum* و *L. lactis* که جزء اصلی بیوفلاک ها هستند، می توانند با موفقیت به عنوان یک عامل محافظتی در برابر عفونت ویبریو مورد استفاده قرار گیرند.

اثرات منفی بیوفلوک ها بر عملکرد میگو

با وجود مزایای قابل توجه بیوفلاک ها در آبرزی پروری میگو و میگو، اگر سیستم های بیوفلاک به درستی درک و مدیریت نشود، این سخت پوستان ممکن است از بیوفلاک ها سود نبرند. تعدادی از مطالعات نشان داد که عملکرد و کیفیت آب در پرورش میگو در سیستم های آبرزی پروری چرخشی (RAS) بهتر از سیستم های بیوفلاک است. به عنوان مثال، غلظت آمونیاک در مخازن میگوی آب شیرین *Macrobrachium rosenbergii* PL که در سیستم بیوفلاک رشد کرده است، در مقایسه با سیستم چرخشی با بیوفیلترها از سطوح ایمن فراتر بود، اما میزان رشد و بقا نیز مشابه بود (Ballester et al., 2017).

پرورش یکپارچه میگو مبتنی بر بیوفلاک

یکی از مشکلات عمده در سیستم بیوفلاک، ریزش بیش از حد مواد جامد است که در کف واحدهای کشت انباشته می شوند (Ray et al., 2010b). ریزش مواد جامد به طور کلی منجر به بدتر شدن کیفیت آب و اختلال در عملکرد ماهی و میگوی پرورشی می شود که عمدتاً به دلیل افزایش سطوح ترکیبات نیتروژنی است (Emerenciano et al., 2013a, b). جامدات سنگین همچنین ممکن است باعث گرفتگی آبشش ماهی و میگو شود (Schveitzer et al., 2013). بنابراین، ادغام گونه های مختلف آبرزی، با اشغال سطوح تغذیه ای مختلف در زنجیره غذایی، به عنوان یک راه جایگزین برای به حداقل رساندن ضایعات انباشته شده و بهبود کیفیت آب و بهره وری و عملکرد میگو پیشنهاد شده است. در این راستا، تعدادی از مطالعات ادغام پرورش میگو در سیستم های بیوفلاک با سایر گونه های گیاهی یا جانوری را بررسی کرده اند.

Poli و همکاران (2019) نشان داد که ادغام میگوی سفید و تیلایپا نیل در یک سیستم بیوفلاک می تواند عملکرد کل را تا 31/2 درصد افزایش دهد. این سیستم همچنین می تواند لجن نسبت زیست توده را کاهش داده و بازیافت نیتروژن و فسفر را افزایش دهد و به طور کلی پایداری پرورش *L. vannamei* را در سیستم های بیوفلاک افزایش دهد.

Martins و همکاران (2020) نتایج مشابهی با میگوی سفید اقیانوس آرام را در یکپارچگی با تیلایپا نیل در تیمار هتروتروف بیوفلاک (که در آن کربن در طول آزمایش اضافه شد و در ابتدا بیوفلوک تلقیح نشد) یا در یک تیمار بالغ (که نیمی از حجم واحدهای پرورش میگو پر شده بود) پرورش با آب غنی از بیوفلوک انجام شد.

ملاحظات اقتصادی

با وجود پتانسیل بالای فناوری بیوفلاک در آبرزی پروری، دارای معایبی نیز می باشد. مهم ترین مشکل اقتصادی استفاده بیش از حد از انرژی برای هوادهی مداوم و اختلاط آب است. این سیستم همچنین به نظارت، آلارم و منبع تغذیه اضطراری نیاز دارد. این بدان معناست که سیستم های بیوفلوک می توانند هزینه های عملیاتی را به دلیل هزینه های سیستم هوادهی و منبع کربن اضافه شده به سیستم افزایش دهند (Perez-Rostro et al., 2014). بنابراین، لازم است قبل از اتخاذ سیستم بیوفلاک در مقیاس های تجاری، تحلیل های اقتصادی انجام شود. ادغام ماهی تیلایپا نیل (*O. niloticus*) و میگوی ببر سبز (*P. semisulcatus*) در یک سیستم بیوفلاک منجر به کاهش 33 درصدی در هزینه های تولید شد (Megahed, 2010). Pinto و همکاران (2020) دریافتند که پرورش جوان میگو *L. vammamei* در سیستم های بیوفلاک از نظر ژئوتکنیکی و مالی مناسب است.



کاربرد تجاری

علیرغم گسترش گسترده کشت تجاری فشرده و فوق فشرده میگو در سیستم‌های بیوفلاک، داده‌ها و اطلاعات مربوط به اقتصاد این سیستم‌ها تقریباً کم است یا در دسترس عموم نیست.

چالش‌ها و محدودیت‌ها

تحقیقات در مورد فناوری بیوفلاک برای بیش از سه دهه در حال انجام است، در حالی که کاربردهای تجاری از اواسط دهه ۱۹۹۰ وجود داشته است. اما مسائل اساسی مربوط به عملکرد سیستم بیوفلاک هنوز به خوبی درک نشده است (Taw, 2010; Hargreaves, 2013) و سیستم‌های بیوفلاک هنوز با چندین اشکال و مشکلات روبرو هستند. یکی از جدی‌ترین چالش‌های پیش روی پایداری سیستم‌های بیوفلاک، نوسان مداوم کیفیت آب استهنگامی که سیستم‌های بیرونی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند، ریزجلبک‌ها شکوفا می‌شوند که منجر به نوسانات pH، DO، CO₂، آمونیاک و TSS می‌شود (Hargreaves, 2006).

توسعه در دستورالعمل‌های عملیاتی برای این سیستم‌ها، متفاوت و پیچیده دشوار است. در نتیجه این اشکالات، بسیاری از مزارع مبتنی بر بیوفلاک از کار افتادند یا به سیستم‌های کشاورزی دیگر روی آوردند، احتمالاً به دلیل عدم تجربه فنی در مورد نحوه مدیریت این سیستم‌های پیچیده می‌باشد. در سیستم بیوفلاک هزینه انرژی برای هوادهی، اختلاط آب و تعلیق ذرات مواد آلی، همچنان یک محدودیت عمده محسوب می‌شود، که گسترش تجاری بیوفلاک برای آبرزی پروری میگو را محدود می‌کند (Avnimelech, 2015). همچنین قطع برق می‌تواند منجر به فروپاشی سیستم شود و خسارات اقتصادی چشمگیری را به همراه داشته باشد. توسعه با روند آهسته در سیستم بیوفلاک اولیه مسئله دیگری است، زیرا ممکن است بیش از ۴ هفته طول بکشد تا باکتری‌های نیتریفیک کننده در سیستم بیوفلاک ایجاد شوند. طعم بد ماهی و میگو تولید شده توسط بیوفلاک (ناشی از کدورت و سیانوباکتری‌ها) ممکن است نگرانی جدی برای بازاریابی آنها ایجاد کند (Avnimelech, 2015). با وجود هزینه‌های اضافی این فرآیند، ممکن است پاک کردن این مزه با نگهداری ماهی و میگو در یک آب تمیز و روان برای مدت معینی قبل از برداشت، ضروری باشد. در نهایت، درک کامل سیستم‌های بیوفلاک برای مدیریت بهتر، پایداری و اثربخشی هزینه این سیستم‌ها ضروری است.

نظارت مستمر و حرفه‌ای بر عملکرد سیستم بیوفلاک نیز برای اجرای موفقیت‌آمیز این فناوری در آبرزی پروری میگو ضروری است. برنامه‌های تحقیق و توسعه بیشتری نیز باید رسیدگی و به مشکلات فنی سیستم‌های بیوفلاک اختصاص داده شود تا هزینه‌های عملیاتی آنها کاهش یابد و ظرفیت‌های تولید بهبود یابد.

نتیجه‌گیری

بیوفلوک یک فرآیند همزیست شامل آبرزیان پرورشی، باکتری‌های هتروتروف، اتوتروف و دیگر گونه‌های میکروبی در آب است. از طریق این فرآیند ها، آمونیاک از سیستم پرورشی حذف می‌شود و مواد زائد ممکن است به لخته‌های میکروبی تبدیل شوند. فرآیند تبدیل نیتروژن شامل سه مسیر جدایی ناپذیر برای حذف آمونیاک است که شامل حذف فوتواتوتروفیک توسط گیاهان آبرزی، تبدیل باکتریایی اتوتروف آمونیاک - نیتروژن به نیترات - نیتروژن و تبدیل باکتریایی هتروتروف از آمونیاک - نیتروژن به طور مستقیم به زیست توده میکروبی می‌باشد. در مسیر سوم، افزودن مقادیر مناسبی از منبع کربن آلی (مانند ملاس، قندهای ساده، سبوس) برای تحریک رشد باکتری هتروتروف مورد نیاز است. در نسبت‌های مناسب کربن به نیتروژن (C/N)، باکتری‌های هتروتروف آمونیاک-نیتروژن را به پروتئین سلولی جذب می‌کنند.

این بیوفلاک‌ها علاوه بر منبع غذایی طبیعی برای ارگانیسم‌های پرورش یافته، بر بهبود وضعیت سلامت آبرزی و کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. عوامل متعددی بر تولید میگو در سیستم‌های بیوفلاک تأثیر می‌گذارند، از جمله گونه‌های میگو و اندازه و تراکم پرورش، دمای آب، شوری، قلیائیت، سختی آب، pH، هوادهی، شدت نور و دوره نوری، وجود بسترها، منابع کربن اعمال شده، کربن/نیتروژن نسبت و کل مواد جامد معلق. بقا و عملکرد رشد میگو به طور کلی با افزایش تراکم ذخایر کاهش می‌یابد. افزایش تراکم ذخایر منجر به



ورودی‌های بیش از حد مواد مغذی می‌شود که باید توسط جوامع میکروبی بازیافت شوند. این مواد مغذی می‌توانند باعث اتروفیکاسیون سیستم‌ها و ایجاد زیست توده میکروبی شوند. در چگالی بالا، هوادهی شدید برای حفظ چگالی ذرات بالا و نگه داشتن مواد آلی در حالت تعلیق مورد نیاز است.

نسبت C/N 10-20:1 در هکتار برای بهینه‌سازی رشد باکتری و تولید لخته‌های میکروبی و به نوبه خود افزایش رشد و تولید میگوی پرورش یافته با بیوفلاک پیشنهاد شده است. وجود نور در سیستم‌های تولید لخته (به ویژه در سیستم‌های فضای باز) برای تولید غذای طبیعی برای ماهیان پرورشی و میگو نیز ضروری است. نور عامل محدود کننده برای افزایش فتوسنتز و شکوفایی فیتوپلانکتون در حوضچه‌های اتروفیک در فضای باز است.

فتوسنتز منجر به نوسانات ذیل در غلظت DO، CO₂، pH و آمونیاک غیریونیزه می‌شود و سیستم‌های بیوفلاک را تحت تغییرات مداوم بین روز و شب قرار می‌دهد. افزودن بسترهای غوطه‌ور در پرورش میگو بر پایه بیوفلاک باعث بهبود کیفیت آب، کاهش غلظت آمونیاک و نیتريت و افزایش بهره‌وری طبیعی، تقویت تشکیل پری فیتون، تهیه غذاهای طبیعی برای میگوهای پرورشی، و بهبود میزان رشد و پاسخ‌های ایمنی شود. کل جامدات معلق (TSS) نیز یک عامل مهم بر تولید بیوفلاک در آبرزی پروری فشرده و فوق فشرده است. کربن آلی مکمل بیش از حد، با نسبت C/N بالا، می‌تواند باعث افزایش سریع کل جامدات معلق شود.

تحت این شرایط، بیوفلاک اتوتروف به تولید میکروبی هتروتروف جایگزین می‌شود که منجر به تغییرات قابل توجهی در کیفیت آب و تراکم و ترکیب بیوفلاک می‌شود. بیوفلوک‌ها دارای پروفایل‌های مواد مغذی خوبی هستند، و آنها را به یک منبع غذایی طبیعی بالقوه خوب برای میگوهای پرورشی تبدیل می‌کند. با این حال، ارزش غذایی بیوفلاک بسته به نسبت C/N آب پرورش، ترکیب و سطح خوراک جیره، شدت نور، ترکیب و سن دانه‌های بیوفلاک، کل جامدات معلق، غلظت باکتری-فیتوپلانکتون و شرایط پرورش، به طور قابل توجهی متفاوت است. میگوهای دریایی پرورشی و میگوهای آب شیرین می‌توانند به راحتی از بیوفلاک‌ها به عنوان منبع غذایی طبیعی یا جایگزینی جزئی برای رژیم غذایی میگو یا منابع پروتئینی رژیم غذایی استفاده کنند. مصرف بیوفلاک می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد میگو، میزان بقا، فعالیت آنزیم‌های گوارشی، سیستم ایمنی، وضعیت سلامت و کیفیت آب، علاوه بر کاهش قابل توجه هزینه‌های خوراک شود. بنابراین، بیوفلاک به طور گسترده در پرورش میگو در تمام مراحل رشد آزمایش شده است و همچنین می‌تواند در ادغام با سایر آبیان و یا گیاهان آبی استفاده شود. علیرغم توسعه و مقرون به صرفه بودن پرورش میگوهای تجاری در سیستم‌های فشرده و فوق فشرده با بیوفلاک، اطلاعات قابل اعتماد در مورد اقتصاد این سیستم‌ها تقریباً وجود ندارد یا برای عموم قابل دسترس نیست.

علاوه بر این، سیستم‌های بیوفلاک همچنان با اشکالات و مشکلات متعددی روبرو هستند. نوسانات مداوم در پارامترهای کیفیت آب، هزینه بالای نهاده‌های پرورشی، قدرت و شکست مکانیکی، توسعه آهسته بیوفلاک‌های اولیه و طعم‌های غیرعادی ماهی و میگو تولید شده توسط بیوفلاک چالش‌های عمده‌ای است که پایداری فناوری بیوفلاک در آبرزی پروری میگو با آن مواجه است. بنابراین، درک کامل سیستم‌های بیوفلاک برای مدیریت بهتر و به نوبه خود برای پایداری و اثربخشی هزینه این سیستم‌ها ضروری است.

منابع

- Adel, M., El-Sayed, A.F.M., Yeganeh, S., Dadar, M. and Giri, S.S., 2017. Effect of potential probiotic *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* on growth performance, intestinal microbiota, digestive enzyme activities, and disease resistance of *Litopenaeus vannamei*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 9: 150–156.
- Aguilera-Rivera, D., Prieto-Davo, A., Escalante, K., Chavez, C., Cuzon, G. and Gaxiola, G., 2014. Probiotic effect of FLOC on Vibrios in the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 424: 215–219.
- Anand, S., Sudhayam, P., Kumar, S., Kohli, M.P., Sundaray, J.K. and Sinha, A., 2017. Dietary biofloc supplementation in black tiger shrimp, *Penaeus monodon*: effects on immunity, antioxidant and metabolic enzyme activities. *Aquaculture Research*, 48: 4512–4523.



- Avnimelech, Y., 2015.** Biofloc Technology. A Practical Guidebook, 3rd edn. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Ballester, E.L., Marzarotto, S.A., Silva de Castro, C., Frozza, A., Pastore, I. and Abreu, P.C., 2017.** Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system. *Aquaculture Research*, 48: 4748–4755.
- Browdy, C., Ray, A., Leffler, J. and Avnimelech, Y., 2012.** Biofloc based aquaculture systems. In: Tidwell JH (ed.) *Aquaculture Production System*, pp. 278–307. Ames, IA and Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc.
- Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P. and 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. and Verstraete, W., 2012.** Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356: 351–356.
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N. and Verstraete, W., 2008.** The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277: 125–137.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B. and 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.
- Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, SH., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H. and Bossier, P., 2014b.** The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*, 426: 105–111.
- Ekasari, J., Azhar, M.H., Surawidjaja, E.H., Nuryati, S., De Schryver, P. and Bossier, P., 2014a.** Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish and Shellfish Immunology*, 41: 332–339.
- Emerenciano, M., Cuzon, G., Paredes, A. and Gaxiola, G., 2013b.** Evaluation of biofloc technology in pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* culture: growth performance, water quality, microorganisms' profile and proximate analysis of biofloc. *Aquaculture International*, 21: 1381–1394.
- Emerenciano, M., Gaxiola, G. and Cuzon, G., 2013a.** Biofloc technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. In: Matovic (ed.) *Biomass Now-Cultivation and Utilization*, pp. 301–328. Rijeka, Croatia: InTech Open.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2017.** FAO and the SDGs. Indicators: Measuring up to the 2030 Agenda for Sustainable Development, 39 pp. FAO, Rome.
- Fourooghifard, H., Matinfar, A., Mortazavi, M.S., Roohani Ghadikolaee, K. and Roohani Ghadikolaee, M., 2018.** Nitrogen and phosphorous budgets for integrated culture of white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* with red seaweed *Gracilaria corticata* in zero water exchange system. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 17: 471–486.
- Gao, L., Shan, H.W., Zhang, T.W., Bao, W.Y. and Ma, S., 2012.** Effects of carbohydrate addition on *Litopenaeus vannamei* intensive culture in a zero-water exchange system. *Aquaculture*, 342: 89–96.
- Hargreaves, J.A., 2006.** Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34: 344–363.
- Hargreaves, J.A., 2013.** Biofloc Production Systems for Aquaculture, 11 pp. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 4503, Stoneville, Mississippi.
- Hostins, B., Braga, A., Lopes, D.L., Wasielesky, W. and Poersch, L.H., 2015.** Effect of temperature on nursery and compensatory growth of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* reared in a super-intensive biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 66: 62–67.



- Ibrahim, R.S., Sabeen, A.H., Zainon Noor, Z. and Ahmad Mutamim, N.S., 2019.** Comparative study of suspended and attached growth in membrane bioreactors for wastewater treatment. *Water and Environment Journal*, pp. 1–17.
- Khanjani, M.H., Alizadeh, M. and 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., Sajjadi, M.M., Alizadeh, M. and 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: 13–28.
- 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.
- Kumar, S., Shyne Anand, P.S., De, D., Ghoshal, T.K., Alavandi, S.V. and Vijayan, K.K., 2019.** Integration of substrate in biofloc based system: Effects on growth performance, water quality and immune responses in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* culture. *Aquaculture Research*, 50: 2986–2999.
- Liu, G., Zhu, S., Liu, D., Guo, X. and Ye, Z., 2017.** Effects of stocking density of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) on immunities, antioxidant status, and resistance against *Vibrio harveyi* in a biofloc system. *Fish and Shellfish Immunology*, 67: 19–26.
- Martinez-Porchas, M., Ezquerra-Brauer, M., Mendoza-Cano, F., Chan-Higuera, J.E., Vargas-Albores, F. and Martinez-Cordova, L.R., 2020.** Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the whiteleg shrimp,
- Martins, M.A., Poli, M. A., Legarda, E.C., Pinheiro, I.C., Carneiro, R.F. and Pereira, S.A., 2020.** Heterotrophic and mature biofloc systems in the integrated culture of Pacific white shrimp and Nile tilapia. *Aquaculture*, 514: 734517.
- 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.
- Metcalf and Eddy Inc., Tchobanoglous G., 1991** Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 2nd edn, p. 1334. McGraw- Hill, New York, NY.
- Monroy-Dosta, M.D., De Lara-Andrade, R., Castro-Mejia, J., Castro-Mejia, G. and Coelho-Emerenciano, M.G., 2013.** Microbiology community composition and abundance associated to biofloc in tilapia aquaculture. *Revista De Biología Marina Y Oceanografía*, 48: 511–520.
- Olier, B.S., Tubin, J.S., de Mello, G.L., Martinez-Porchas, M. and Emerenciano, M.G., 2020.** Does vertical substrate could influence the dietary protein level and zootechnical performance of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in a biofloc system? *Aquaculture International*, 28: 1227–1241.
- Perez-Rostro, C.I., Perez-Fuentes, J.A. and Hernandez-Vergara, M.P., 2014.** Biofloc, a technical alternative for culturing Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii*. In: Hernandez-Vergara EM, Perez-Rostro C (eds) Sustainable Aquaculture Techniques, pp. 87–104. Rijeka, Croatia: Intech Open.
- Pacheco-Vega, J.M., Cadena-Roa, M.A., Leyva-Flores, J.A., Zavala- Leal, O.I., Perez-Bravo, E. and Ruiz-Velazco, J.M., 2018.** Effect of isolated bacteria and microalgae on the biofloc characteristics in the Pacific white shrimp culture. *Aquaculture Reports*, 11: 24– 30.



- Panigrahi, A., Das, R.R., Sivakumar, M.R., Saravanan, A., Saranya, C. and Sudheer, N.S., 2020c.** Bio-augmentation of heterotrophic bacteria in biofloc system improves growth, survival, and immunity of Indian white shrimp *Penaeus indicus*. *Fish and Shellfish Immunology*, 98: 477–487.
- Panigrahi, A., Esakkiraj, P., Jayashree, S., Saranya, C., Das, R.R. and Sundaram, M., 2019c.** Colonization of enzymatic bacterial flora in biofloc grown shrimp *Penaeus vannamei* and evaluation of their beneficial effect. *Aquaculture International*, 27: 1835–1846.
- Panigrahi, A., Saranya, C., Ambiganandam, K., Sundaram, M. and Sivakumar, M.R., 2020a.** Evaluation of biofloc generation protocols to adopt high density nursery rearing of *Penaeus vannamei* for better growth performances, protective responses and immuno modulation in biofloc based technology. *Aquaculture*, 522: 735095.
- Panigrahi, A., Saranya, C., Sundaram, M., Kannan, S.V., Das, R.R. and Kumar, R.S., 2018.** Carbon: Nitrogen (C: N) ratio level variation influences microbial community of the system and growth as well as immunity of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc based culture system. *Fish and Shellfish Immunology*, 81: 329–337.
- Panigrahi, A., Sundaram, M., Chakrapani, S., Rajasekar, S., Syama Dayal, J. and 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. *Aquaculture Research*, 50: 29–41.
- Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Kumar, R.S., Dayal, J.S. and Saraswathy, R., 2019d.** 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.
- Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Swain, S., Dash, R.R. and Dayal, J.S., 2019a.** Carbohydrate sources deferentially influence growth performances, microbial dynamics and immunomodulation in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc system. *Fish and Shellfish Immunology*, 86: 1207–1216.
- Panigrahi, J., Yang, Q., Ma, Z., Zhou, F., Yang, L. and Deng, J., 2017.** Effects of adding sucrose on *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) growth performance and water quality in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 48: 2316–2327.
- Pinto, P.H., Rocha, J.L., do Vale Figueiredo, J.P., Carneiro, R.F.S., Damian, C. and de Oliveira, L., 2020.** Culture of marine shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc technology system using artificially salinized freshwater: Zootechnical performance, economics and nutritional quality. *Aquaculture*, 520: 734960.
- Poli, M.A., Legarda, E.C., de Lorenzo, M.A. and Martins, M.A., do Nascimento Vieira, F., 2019.** Pacific white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-stocking densities. *Aquaculture*, 498: 83–89.
- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L. and Leffler, J.W., 2010b.** Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture* 299: 89–98.
- Ray, A.J., Seaborn, G., Leffler, J., Wilde, S., Lawson, A. and Browdy, C.L., 2010a.** Characterization of microbial communities in minimal- exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, 310: 130–138.
- Samocha, T.M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A.M., Burger, J.M. and Almeida, R.V., 2007.** Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 36: 184–191.
- Schveitzer, R., Arantes, R., Baloi, M.F., Cost_odio, P.F., Arana, L.V. and Seiffert, W.Q., 2013.** Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking



densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. Aquacultural Engineering, 54: 93–103.

Serra, F.P., Gaona, C.A., Furtado, P.S., Poersch, L.H. and Wasielesky, W., 2015. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture International, 23: 1325–1339.

Taw, N., 2010. Biofloc technology expanding at white shrimp farms. Global Aquaculture Advocate, 13: 20–22.

Xu, W.J., Morris, T.C. and Samocha, T.M., 2016. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange.

Use of biofloc technology in shrimp farming: A comprehensive review

Nersi Nassirabady^{1*}, Abolfazl Askary Sary², Laleh Roomiani³

1, 2, 3. Department of Fisheries, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding author: researcherirany@yahoo.com

Abstract

Biofloc technology, abbreviated as BFT, has emerged as a new alternative for sustainable aquaculture that can contribute to the FAO Sustainable Development Goals (SDGs) related to food security. The use of biofloc as a natural probiotic and its effects on shrimp health and physiological functions, economic considerations and commercial applications of biofloc-based shrimp aquaculture, and major challenges facing shrimp farming in biofloc systems. This review summarizes the most up-to-date knowledge on the use of biofloc in the culture of various fish, marine shrimp and freshwater shrimp.

Keywords: Biofloc technology, shrimp farming, nutritional value, water quality, C/N ratio.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴