دستورالعمل راه اندازی سیستم بیوفلاک به زبان ساده

علیرضا قائدی[۱*]، حبیب سرسنگی[۲]، مزدک عالی محمودی[۳] ، محمد محمدی[۲] و محمد اخوان بهابادی[۲]

[۱]موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۲] مرکز تحقیقات ملی آبزیان آب های شور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بافق، ایران

[۳]گروه شیلات و آبزی پروری، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

چکیده

افزایش جمعیت جهان سبب افزایش تقاضا برای غذا شده است و آبزی پروری یکی از بخش های موثر در تامین غذای مردم جهان است. آبزی پروری باید پایدار باشد اما توسعه آبزی پروری پایدار با کاهش دسترسی به منابع آب و زمین و افزایش مخاطرات زیست محیطی محدود شده است. توسعه آبزی پروری دارای چهار پیش شرط عدم افزایش بهره برداری از منابع آب و زمین، کاهش حداکثری اثرات نامطلوب زیست محیطی، آبزی پروری پایدار اقتصادی-اجتماعی و نسبت هزینه/فایده سودآور و اقتصادی است. با این نگاه، یک نیاز مبرم برای ارائه سیستم های جدید و متناسب با نیاز امروز وجود دارد. کلیه این نیازها و پیش شرط ها میتواند با توسعه فن بیوفلاک در آبزی پروری محقق گردد. لذا اطلاع از عملکرد این سامانه و آشنائی با نحوه کار آن و همچنین آگاهی از چالش ها، معایب و مزایای این سیستم، میتواند بهره برداران و سرمایه گذاران را در اتخاذ تصمیم مناسب در زمینه ورود به صنعت آبزی پروری به روش بیوفلاک کمک نماید.

کلمات کلیدی: بیوفلاک، تیلاپیا، آمونیاک کل، نسبت کربن به ازت

* نویسنده مسئول: a.ghaedi@areeo.ac.ir

مقدمه

بیوفلاک تکنیکی است که افزودن منبع کربن به آب، سبب بهبود کیفیت آن می گردد. اگر نسبت کربن و نیتروژن متعادل گردد، آمونیاک ایجاد شده توسط ماهی و میگو به توده زنده باکتریائی تبدیل خواهد شد. با افزودن کربوهیدرات به آب محیط پرورش، باکتری های هتروتروف توسعه یافته و با تغذیه از آمونیاک، علاوه بر حذف آن، منبع پروتئین میکروبی را در اختیار آبزی قرار می دهد. بخشی از این منبع کربن از طریق خوراک مصرفی و الباقی توسط منابع مختلف کربن مانند ملاس، آرد ذرت، سبوس گندم و برنج تامین می گردد. ادامه این فرآیند به کاهش سطح آمونیاک و مواد سمی موجود در آب منتهی خواهد شد. با توجه به اینکه تولید توده زنده باکتریائی در واحد سطح در باکتری های هتروتروف، ۱۰ برابر بیشتر از باکتری های نیتریفیکانت در سیستم بیوفیلتر است که از باکتری های اتوتروف بهره می برند، لذا سرعت حذف آمونیاک در سیستم بیوفلاک که از هتروتروف ها بهره می گیرد، بسیار بیشتر و موثرتر می باشد. محصول باکتری های هتروتروف در واحد سطح حدود ۰/۵ گرم بازای هر سانتی متر مربع است. در کنار باکتری ها، مواد معلق دیگری شامل فیتوپلانکتون، تراکمی از مواد آلی زنده و مرده و چراکنندگان باکتری دیده می‌شوند. این مواد مجموعا فلاک را تشکیل می‌دهند که داری شکلی نامنظم، اندازه ذرات متفاوت، بافتی نرم و متخلل و نفوذپذیر می باشد. بیوفلاک همچنین به عنوان منبعی غنی از پروبیوتیک عمل کرده و میزان دارو درمانی و ضدعفونی را به شدت کاهش می دهد و بدلیل غالب بودن باکتری های سودمند، میزان تحرک و اثرگذاری باکتری های بیماری زا و فرصت طلب به حداقل ممکن می رسد (Avnimelech , Avnimelech, 1999and Kochba, 2009)

از مزایای بیوفلاک میتوان به کاهش ۲۰-۱۰ درصدی هزینه خوراک و حذف بیولوژیک مواد آلی در سیستم پرورش نام برد. این حذف بر اساس بازچرخش داخلی مواد مغذی از طریق تشکیل توده زنده میکروبی شکل می گیرد و خود این توده زنده توسط ماهی مورد مصرف قرار خواهد گرفت. از دیگر مزایای این سیستم، نیاز کمتر به آب، خوراک، ریسک پائین بروز بیماری، ایمنی زیستی بالاتر، افزایش رشد و بازماندگی و در نهایت بازده بیشتر تولید ماهی اشاره کرد. بهبود ضریب تبدیل خوراک از طریق تغذیه از توده زنده میکروبی، کاهش هزینه تولید و حداقل اثرات نامطلوب زیست محیطی بواسطه عدم رهاسازی پساب درمنابع آبی از دیگر مزایای سیستم بیوفلاک در آبزی پروری است. در تحقیقات آینده مکانیزم عملکرد میکروب ها در تولید فلاک، اثر آنها بر سیستم ایمنی ماهی و رقابت با عوامل بیماری زا و پاتوژن هاو همچنین مدیریت بیوفلاک در استخرهای خاکی باید بیشتر مورد توجه و مطالعه قرار گیرد (Zhao *et al*., 2022)

در هر سیستم آبزی پروری، کاهش هزینه تولید و بهینه سازی سود منطقی استراتژی اصلی است. برخی شاخص های رشد مانند بقا، تاثیر زیادی بر برگشت سرمایه و سودآوری کار دارند. برای مثال افزایش ۲۰٪ تراکم ذخیره سازی و رشد، به ترتیب سبب افزایش ۵۷٪ و ۴۵٪ سود خواهد شد. به همین ترتیب کاهش ۲۰٪ هزینه خوراک نیز تاثیر زیادی در میزان سودآوری کار دارد. در سیستم بیوفلاک به دلیل تغذیه آبزی از توده زنده میکروبی، بر اساس شرایط و مدیریت پرورش، کاهش ۲۰٪ در میزان مصرف خوراک وجود دارد و از سوی دیگر به دلیل ارزش غذائی بالای فلاک، کارائی پروتئین در سیستم بیوفلاک، در قیاس با سایر روش های پرورش، ۲ برابر است. تولید یک کیلوگرم تیلاپیا و میگو به ترتیب با کاهش ۱۰ و ۳۳ درصدی هزینه تولید همراه است. البته عواملی مانند نوع گونه، کیفیت خوراک، میزان خوراک، میزان مصرف فلاک و قیمت کربوهیدرات مصرفی در این زمینه بسیار موثر اند. در سیستم بیوفلاک، هزینه منبه کربن مانند ملاس جزء هزینه های اصلی است که با توجه به قیمت های موجود تقریبا با ۵۰٪ قیمت خوراک تجاری برابری میکند. اما از سوی دیگر با توجه به هزینه تصفیه و تعویض آب در سیستم های بیوفلاک بسیار پائین تر از سایر روش های آبزی پروری می باشد (Gallardo-Collí *et al*., 2020)

بیان مسئله، ضرورت و اهمیت

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور ازیک سو و نیاز به توسعهصنعت آبزی پروری و همگام سازی آن با تکنولوژی های روز دنیا، یکی از چشم اندازهای توسعه، پرورش ماهی تیلاپیا و میگوی وانامی در استخرهای بتنی میتنی بر سیستم های گلخانه ای و مجهز به فناوری بیوفلاک است. تیلاپیا یکی از گونه های موفق در دنیا است که میزان تولید آن هرساله افزایش می یابد. توسعه پرورش این ماهی در کشور با محدودیت های زیست محیطی مواجه است و امکان پرورش ان در استخرهای خاکی، مناطق ساحلی و مرتبط با آب های آزاد، دریاچه ها و رودخانه ها وجود ندارد. در این شرایط بهترین راهکار، استفاده از روش های گلخانه ای مجهز به فناوری بیوفلاک است زیرا هم چالش کمبود منابع آبی و هم ریسک اثرات نامطلوب زیست محیطی را کاهش می‌دهد. این سیستم ها از عوامل کلیدی و موثر در توسعه صنعت با حداکثر ایمنی زیستی می باشند. فناوری بیوفلاک، علاوه بر امکان بهره وری حداکثری از منابع آب، قابلیت اجرا در مناطق مرکزی و کویری ایران را داشته و امکان تولید ماهی در یک سیستم کاملا امن و بدور از هرگونه آلودگی زیست محیطی را فراهم می کند. کار با سیستم بیوفلاک نیازمند دانش فنی و پشتوانه علمی است و این نوشتار سعی دارد اطلاعات کاربردی و مفیدی مورد نیاز بهره برداران و سرمایه گذاران را به زبان ساده بیان و در اختیار ایشان قرار دهد.

ارائه دستورالعمل

قبل از آغاز سرمایه گذاری، باید آنالیز منبع آب مورد استفاده در سیستم را بدست آورد. مهمترین شاخص های قابل توجه شامل اکسیژن محلول، پی اچ، قلیائیت، سختی و نیتریت منبع آب اولیه است. هرگونه عدم توجه به این موضوع، سبب تحمیل هزینه های زیادی جهت تصفیه یا حفظ شرایط آب خواهد شد. سیستم بیوفلاک به شدت اکسیژن خواه است و باید جهت تامین اکسیژن مورد نیاز و ماهیان موجود در آن، از هواده هایی با قدرت متناسب با حجم مخزن بهره برد. اگرچه مقادیر زیاد اکسیژن در اثر تنفس تعداد زیادی از باکتری‌های هتروتروف در سیستم مصرف خواهد شد، به طور کلی هوا در هر دقیقه باید با میزان ۱ تا ۵ درصد از حجم آب مخلوط شده تا سطح اکسیژن محلول را در حد مطلوب حفظ کند. به عنوان مثال، در یک حوضچه هزار متر مکعبی، سرعت جریان هوا از دمنده به آب باید ۱۰-۵۰ متر مکعب در دقیقه باشد. بعد از اطمینان از شرایط فیزیکوشیمیائی آب، مخزن آبگیری و به مدت ۴۸ ساعت هوادهی گردد. در صورت نیاز از کلر برای ضدعفونی آب استفاده گردد اما لازم است بعد از این مدت تست کلر انجام و در صورت وجود مقادیر بالای کلر در آب از تیوسولفات سدیم و ویتامین ث برای حذف آن استفاده نمود. گام بعدی کنترل پی اچ و قلیائیت آب است که نقش کلیدی در توسعه بیوفلاک دارد. اگر پی اچ کمتر از ۷ بود، از آهک کشاورزی به میزان ۷ پی پی ام و یا کربنات سدیم به میزان ۱۱ پی پی ام استفاده شود. با توجه به اینکه در قلیائیت ۱۸۰ و پی اچ ۸، به هیچ عنوان بی کربنات و کربنات در آب حل نمی‌شود لذا بهتر است از جوش شیرین جهت حفظ ظرفیت بافری آب استفاده گردد.

نسبت کربن به نیتروژن و نحوه محاسبه آن

حفظ نسبت کربن به نیتروژن در پائین نگهداشتن سطح آمونیاک و ادامه کار بیوفلاک بسیار موثر است. ایجاد و حفظ نسبت کربن به ازت شامل دو مرحله است. در آغاز کار نسبت کربن به ازت ۲۰ در نظر گرفته می شود تا بیوفلاک در مدت زمان حدود دو هفته به بلوغ برسد. بعد از رهاسازی ماهی در مخزن ها، این نسبت به ۱۵ تقلیل خواهد یافت از افزایش بی رویه حجم فلاک جلوگیری و میزان اکسیژن و مواد متابولیتی قابل کنترل باشند. در انتهای دوره و زمان نزدیک به صید، این نسبت به ۶ کاهش می یابد. معمولا در استخرهای پرورشی به دلیل

غذادهی به ماهی میزان لازم آمونیاک برای توسعه باکتری های هتروتروف وجود دارد اما در سیستم بیوفلاک به دلیل افزودن منبع کربوهیدرات، معمولا میزان کربن بالا و میزان ازت کمتر است. کربوهیدرات مصرفی می تواند ملاس، سبوس برنج یا گندم و یا حتی شکر باشد. در سیستم بیوفلاک نسبت C:N باید بالاتر از ۱۰ باشد تا بتواند سبب رشد و غالبیت باکتری های هتروتروف در سیستم گردد. این باکتری ها برای رشد خود ازت موجود در آب را مصرف و بدین طریق، کیفیت آب را حفظ میکنند. برای توسعه جمعیت باکتری ها و تولید سلول های جدید و همچنین برای فعالیت های متابولیکی آنها به ازت نیاز دارند که این ازت از بقایای آلی درحال تجزیه تامین می گردد. حدود ۱۰۰ گرم از بقایای آلی در حال تجزیه، سبب ایجاد ۸-۳ گرم توده زنده میکروبی می گردد. باکتری ها و دیگر ارگانیزم های هتروتروف، طول عمر کوتاهی داشته و بعد از مرگ، به ذخیره مواد آلی در حال تجزیه استخر افزوده می‌شوند (Abakari *et al.*, 2022)

از کود شیمیائی ازته (کود کامل و کود اوره) در استخرها به عنوان منبع سریع ازت برای افزایش میزان تجزیه مواد آلی و مینراله شدن فسفر و افزایش تولیدات اولیه استفاده می شود. منبع دیگر ازت، خوراک ماهی است که C:N در آن (۱: ۱۰-۷) می باشد. توصیه شده نسبت C:N حدود ۱: ۱۵-۱۲ نتایج بهتری در سیستم بیوفلاک داشته و سبب غیرفعال شدن سطوح سمی آمونیاک می گردد. خوراک ماهی اگر حاوی ۳۵٪ پروتئین باشد، با توجه به عدد ثابت ۶/۲۵، دارای ۵/۶٪ ازت خواهد بود. برای متعادل کردن سطح ازت، افزودن منابع کربن مانند ملاس، شکر یا سبوس گندم و برنج ضروری است. این کربن به همراه ازت به مصرف میکروارگانیزم ها جهت فعالیت های متابولیکی و تولید توده زنده میکروبی می رسد. به زبان ساده تر باید گفت باکتری ها و دیگر میکروارگانیزم های موجود در محیط آب، ازت را در صورت وجود کربن و اکسیژن مصرف می کنند تا نیازهای متابولیکی خود را تامین و توده زنده میکروبی جدید ایجاد کنند. برای حفظ کیفیت آب و تعیین نسبت C:N باید به میزان خوراک مصرفی و درصد پروتئین آن، میزان ازت و کربن موجود در خوراک و میزان خلوص منبع کربن مصرفی توجه نمود (Khanjani *et al.*, 2022)

- محاسبه میزان کربن موجود در خوراک

خوراک ماهی دارای حدود ۱۰٪ رطوبت و ماده خشک خوراک ۹۰٪ می باشد. از سوی دیگر فرض بر این است که ماهی یا میگو، تنها ۳۰ درصد ازت موجود در خوراک را مصرف و ۷۰ درصد را بصورت مدفوع، ادرار، آمونیاک و یا مواد غذائی خورده نشده در محیط آب رها میکند. همچنین میزان کربن موجود در خوراک همواره ۵۰٪ در نظر گرفته می شود. در صورتیکه میزان مصرف خوراک با ۳۵٪ پروتئین خام، ۱۰۰۰ گرم باشد، محاسبه میزان ازت موجود در آن به شرح زیر است:

گرم ماده خشک خوراک ۹۰۰=۰/۹ × ۱۰۰۰

گرم خوراک وارد محیط آب شده است ۶۳۰= ۰/۷ × ۹۰۰

۳۱۵= ۵۰٪ × ۶۳۰ گرم کربن در خوراک وجود دارد

حال با توجه به اینکه ۶۳۰ گرم ماده آلی وارد محیط آب شده است و میزان پروتئین خوراک نیز ۳۵٪ می باشد، میزان ازت موجود در این خوراک بصورت زیر محاسبه می گردد: ۲۲۰/۵ = ۳۵٪ × ۶۳۰ ، بنابراین ۲۲۰/۵ گرم پروتئین وارد محیط آب شده است.

۳۵/۲۸= ۶/۲۵ ÷۲۲۰/۵ میزان ازت موجود در پروتئین فوق ۳۵/۲۸ خواهد بود. بر اساس داده های فوق، نسبت کربن به ازت خوراک حدود ۸/۹ است، درحالی که نسبت مورد نظر ۱۵ می باشد. برای رسیدن به این نسبت، باید عدد کربن باید ۱۵ برابر عدد ازت باشد. لذا ۳۵/۲۸ را در ۱۵ ضرب می کنیم که عددی معادل ۵۲۹/۲ خواهد بود. میزان ۳۱۵ گرم از این کربن قبلا توسط خوراک تامین شده است که با کسر آن از کل کربن مورد نیاز، عدد ۲۱۴/۲ گرم کربن بدست می آید. بر اساس میزان خلوص کربن در منبع کربن مورد استفاده، میتوان با یک تناسب ساده وزن کربن مورد نیاز را محاسبه کرد. اگر منبع کربن ملاس با خلوص ۵۰٪ در نظر گرفته شود، برای تامین ۲۱۴/۲ گرم کربن به میزان ۴۲۸/۴ گرم ملاس بازای هر

کیلو خوراک ۳۵٪ پروتئین نیاز خواهیم داشت که باید به آب استخر افزوده شود (Khanjani and Sharifinia, 2020)

بعد از انجام محاسبات فوق، بر اساس نظر کارشناس، مواد اولیه که بطور خلاصه شامل کود اوره ۴۶٪ و کود کامل، خوراک ماهی، ملاس، دولومیت، پروبیوتیک، کائولین، خاک رس و سبوس گندم است، به آب مخزن افزوده شوند. بهتر است مواد فوق قبل از ریخته شدن در مخزن، با آب مخلوط و خوب رقیق و خیسانده شوند. در ادامه بمدت یک هفته هوادهی انجام و بعد از آن، میزان آمونیاک کل، نیتریت و نیترات، اکسیژن و پی اچ و قلیائیت و حجم فلاک اندازه گیری و ثبت شده تا جهت رهاسازی ماهیان در مخزن تصمیمات لازم اخذ شود. این دوره ممکن است دو تا سه هفته زمان بر باشد. لذا باید تا بلوغ کامل فلاک، صبور بود. موقعی که حجم فلاک به ۵ تا ۱۰ سی سی در لیتر رسید، زمان مناسب رهاسازی ماهی فرا رسیده است. بهترین وزن رهاسازی تیلاپیا در مخزن ۵۰ تا ۸۰ گرم می باشد (Gallardo-Collí *et al*., 2020)

- محاسبه C:N بر اساس آمونیاک کل در طول دوره پرورش

در ابتدا افزودن کربن بر اساس محاسبه میزان کربن و ازت موجود در خوراک مصرفی صورت می گیرد. در طول دوره پرورش با بلوغ فلاک، میزان افزودن کربن باید بر اساس میزان آمونیاک کل در سیستم پرورش باشد. در زمانی که میزان آمونیاک کل از ۱ میلیگرم در لیتر فراتر رود، بر اساس محاسبه زیر افزودن منبع کربن ضرورت دارد:

اگر میزان آمونیاک کل حدود ۱/۵ میلیگرم در لیتر و حجم آب موجود در مخزن ۱۵۰۰۰ لیتر باشد:

۲۲/۵=۱۵۰۰۰ × ۱/۵ گرم آمونیاک کل در کل استخر

اگر C:N (۶:۱) مد نظر باشد،یعنی میزان کربن باید ۶ برابر ازت باشد و لذا باید عدد ازت در ۶ ضرب شود

۱۳۵= ۶× ۲۲/۵ گرم کربن مورد نیاز است

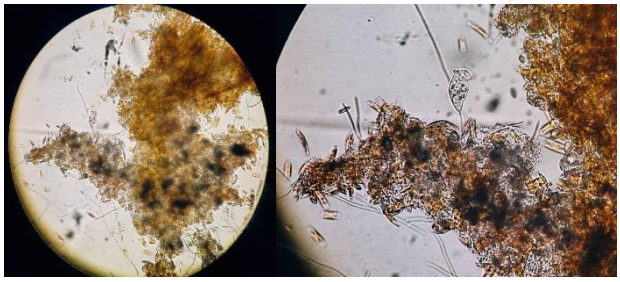
اگر از ملاس با خلوص ۵۰٪ کربن به عنوان منبع کربن استفاده شود:

۲۷۵= ۲ × ۱۳۵گرم ملاس باید در آب استخر ریخته شود

جنبه های مدیریتی سیستم بیوفلاک

کنترل ذرات جامد معلق که مرتبط با اکسیژن محلول، دی اکسیدکربن، پی اچ، ازت غیرآلی است در جلوگیری از گرفتگی آبشش ها، کاهش سطح اکسیژن محلول، افزایش سطح دی اکسید کربن، نوسانات پی اچ ضروری است و در صورت عدم کنترل، در طول مدت حداکثر یکساعت، سیستم کارائی خود را از دست داده و منجر به تلفات همه ماهیان خواهد شد.

با توسعه فلاک، تراکم باکتری های رشته ای بصورت ناگهانی افزایش یافته و کنترل ذرات جامد معلق را مختل میکند. میتوان گفت بزرگترین چالش سیستم بیوفلاک، کنترل ذرات جامد معلق است. حد مجاز این ذرات ۱۰۰۰-۵۰۰ میلیگرم در لیتر است. با افزایش میزان مواد جامد معلق، علاوه بر افزایش کدورت، میزان اکسیژن محلول نیز کاهش خواهد یافت. کاهش مزمن اکسیژن محلول در طول دوره پرورش سبب کاهش رشد، افزایش طول دوره پرورش و افزایش میزان ضریب تبدیل غذا خواهد شد.



شکل ۱: ذرات فلاک و زئوپلانکتون های موجود در آن

آمونیاک کل، نیتریت و نیترات از دیگر پارامترهائی است که باید همواره کنترل گردد. اگر آمونیاک افزایش یافت

باید با افزودن کربن و در صورت امکان استفاده از خوراک با سطح پروتئین پائین تر نسبت به کنترل ان اقدام نمود. افزایش نیتریت معمولا با کاهش سطح اکسیژن محلول و تجمع لجن و ایجاد شرایط بی هوازی در بخش هائی از استخر همراه است. لذا افزایش هوادهی و چرخش آب و افزودن میزان مناسب کربن باید در دستور کار قرار گیرد. در صورت کاهش توده زنده میکروبی افزودن میزان مناسب کربن ضروریست و اگر حجم فلاک بالاتر از میزان مجاز باشد باید تعویض آب صورت پذیرد (Robles-Porchas *et al*., 2020)

پارامترهای زیر در مدیریت بیوفلاک بسیار مهم اند و از چالش های کار با این سیستم می باشند:

دمای آب: دمای بهینه برای عملکرد صحیح سیستم ۳۰-۲۷ درجه سانتیگراد است. دماهای پائین تر از ۲۵ درجه سبب اختلال در رشد و توسعه باکتری ها و در نتیجه افزایش میزان بار آمونیاکی سیستم خواهد شد. میتوان از سیستم های گرمایش مرکزی آب در مواقع ضروری برای افزایش و ثبات دمای آب استفاده کرد.

پی اچ: پی اچ مطلوب سیستم بیوفلاک ۸-۶/۸ است. مقادیر پائین تر سبب بروز مشکل در فرآیند نیتریفیکاسیون می گردد. برای تعدیل پی اچ میتوان از دولومیت یا آهک کشاورزی استفاده کرد.

مواد جامد معلق (TSS): میزان مطلوب آن ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر است. مقادیر بالاتر سبب کاهش نفوذ نور، افزایش ضریب تبدیل خوراک، افزایش طول دوره پرورش و در نهایت کاهش بازده اقتصادی کار خواهد شد. مدیریت پرورش و اگاهی از نحوه کار با سیستم بیوفلاک در کنترل مواد جامد معلق بسیار مهم است. از چالش های مهم این سیستم می باشد و تنها راه حل کاهش آن تعویض آب است. البته باید به این نکته توجه داشت تعویض زیاد آب سبب حذف باکتری ها و در نهایت کاهش قابلیت سیستم در حذف آمونیاک خواهد شد (Robles-Porchas *et al*., 2020)

نیتریت: مقادیر بالای ۱ میلی گرم در لیتر برای آبزیان به شدت سمی است. نیتریت بالا حاکی از تجمع لجن زیاد در کف استخر و ایجاد منطقه بی هوازی می باشد. از دلایل رسوب لجن عدم چرخش مناسب آب و سکون آن در برخی مناطق استخر است. در صورت افزایش میزان نیتریت، هوادهی و ایجاد چرخش قوی تر در آب استخر باید صورت پذیرد. راه حل آخر، تعویض آب از کف و حذف لجن می باشد. همچنین مدیریت تغذیه، میزان پروتئین جیره، قلیائیت آب نقش مهمی در کنترل نیتریت آب دارد.

نیترات: میزان مجاز آن ۵- ۲/. میلیگرم در لیتر آب است. در آب های شور تا میزان ۵۰ میلیگرم در لیتر آب کشنده نیست. در صورت افزایش میزان نیترات، باید نسبت به تعویض آب اقدام نمود

آمونیاک کل: مقادیر پائین تر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر نشان از عملکرد مطلوب سیستم دارد. در صورت افزایش آمونیاک کل به بالای ۱ میلی گرم در لیتر، باید بر اساس نسبت کربن به ازت مد نظر، منبع کربن به آب استخر افزوده گردد. منبع کربن باید در طول روز به آب افزوده گردد. افزودن یکباره آن به آب استخر، سبب افت شدید اکسیژن محلول و افزایش ناگهانی ذرات جامد معلق خواهد شد. این امر تعویض آب را اجتناب ناپذیر کرده و در نهایت مدیریت سیستم را با چالش مواجه می کند.

اکسیژن محلول: حداقل اکسیژن محلول ۵ میلی گرم در لیتر باید باشد. تعداد ماهی در استخر، مدیریت تراکم و برنامه تولید، میزان منبع کربن و نحوه افزودن آن به آب در میزان اکسیژن محلول آب موثر اند. در طراحی و نصب سیستم باید به تناسب قدرت پمپ های هوادهی با حجم آب استخر ها و میزان اکسیژن مورد نیاز در زمان حداکثر تراکم توجه ویژه نمود و این کار باید افراد متخصص و کاربلد صورت پذیرد. بعد از نصب و راه اندازی، در صورت ناتوانی پمپ ها در تامین اکسیژن، افزودن یا تغییر پمپ ها هزینه های زیادی به سرمایه گذار تحمیل میکند.

نیاز به انرژی : یکی از محدودیت های چالش برانگیز در سیستم بیوفلاک، هزینه بالای انرژی آن است. نیاز به ده ها پمپ آب و هواده برای ایجاد دوران و جریان در آب استخر و تامین اکسیژن مورد نیاز آبزی و سیستم، نیازمند انرژی برق است. لذا این سیستم در آبزی پروری خرد غیر

اقتصادی تلقی می گردد. هرگونه نقص فنی و خرابی در سیستم هوادهی و پمپاژ، سبب تلفات آبزیان پرورشی و مرگ سیستم در مدت زمان اندکی خواهد شد. از دیگر چالش های بیوفلاک، توسعه مواد بودار مانند *Geosmin* و *2-Methylisoborneol* است بازارپسندی آبزیان تولیدی در سیستم بیوفلاک را کاهش میدهند. پیشنهاد میگرد قبل از صید، چند روزی آبیان پرورشی در معرض آب تازه با هوادهی فراوان قرار گیرند که البته این راهکار هزینه بر و در برخی موارد غیر ممکن است. تحقیقاتی در این زمینه در حال انجام است. نتیجه این تحقیقات که البته هنوز به اتمام نرسیده است، استفاده از میکروارگانیزم های خانواده *Bacillaceae* به عنوان بیورآکتور در سیستم بیوفلاک است. عملکرد این میکروارگانیزم ها سبب غیرفعال سازی مواد موثر در ایجاد بو وطعم نامطلوب در گوشت آبزی پرورشی میگردد (El-Sayed, 2021)

حجم فلاک: مواد جامد ته نشین یا حجم فلاک، توسط قیف ایمهوف اندازه گیری می گردد. میزان آن باید بین ۵ تا ۵۰ میلی لیتر در لیتر آب باشد. معمولا در بچه ماهی ۲۰-۵ میلی لیتر و در ماهی پرواری ۵۰-۲۵ میلی لیتر قابل قبول است. اگر حجم فلاک زیر ۵ است، باید با افزودن منبع کربن با توجه به نسبت کربن به ازت مد نظر، نسبت به توسعه فلاک اقدام نمود. اگر حجم آن بالای ۵۰ باشد، تعویض آب تنها راه حل است (Preena *et al*., 2021). عدم توجه به این موضوع، سبب افزایش حجم مصرف اکسیژن، کاهش شدید و ناگهانی اکسیژن محلول آب و انسداد آبشش ماهیان و بروز تلفات خواهد شد (شکل ۲).

شکل ۲: اندازه گیری حجم فلاک با استفاده از قیف ایمهوف در اشکذر، یزد

مدیریت پرورش تیلاپیا در سیستم بیوفلاک

در ابتدا هدف گذاری میزان تولید در هر متر مکعب آب باید مشخص گردد. اگر هدف تولید ۲۰ کیلوگرم بیومس نهائی در متر مکعب است باید تعداد ماهی و وزن نهائی برای فروش را در ابتدای دوره مشخص کرد. تعداد مناسب ماهی در هر متر مکعب آب سبب رشد سریع، وزن نهائی مناسب و عدم بروز استرس در ماهیان خواهد شد. درحالی که تعداد زیاد ماهی در هر مخزن سبب افزایش ضریب

تبدیل خوراک، وزن کم در زمان فروش، کاهش میزان اکسیژن محلول و افزایش هزینه هوادهی و ملاس و مداوای آب خواهد شد. مخزن و حجم آن در مدیریت پرورش بسیار موثر است. (شکل ۳)

شکل ۳: مخزن گرد جهت پرورش تیلاپیا در سیستم بیوفلاک در اشکذر، یزد

مدیریت تغذیه تیلاپیا در سیستم بیوفلاک

در سیستم سنتی پرورش ماهی، پسماند خوراک در آب رها و به متالولیت های سمی تبدیل می شود که آلودگی آب را در پی دارد. این در حالیست که در سیستم بیوفلاک، ماهی بطور مستمر تغذیه شده و پسماند خوراک و فضولات ماهی توسط باکتری ها تجزیه و به بیومس میکروبی یا همان فلاک تبدیل و مجددا توسط ماهی مصرف می گردد. این بیومس حاوری انواع میکروب های فراسودمند، قارچ، جلبک و زئوپلانکتون بوده و ماده خشک آن حاوی ۵۰-۲۵ درصد پروتئین و ۱۵-۵ درصد چربی است و غذای مناسبی برای تیلاپیا می باشد. در مزرعه، با نظر کارشناس، میزان غذای روزانه بر اساس وزن و تعداد و درصد غذادهی مشخص و در اختیار ماهی قرار میگیرد. جدول ۱ به عنوان راهنمای اولیه مفید است اما پرورش دهندگان باید بر اساس شرایط مزرعه خود، اشتهای ماهی، حجم فلاک در استخرها، میزان آمونیاک کل و نیتریت و نیترات و نسبت کربن به ازت مدنظر، ضرایب و جیره روزانه هر مخزن را مشخص نمایند (Khanjani et al., 2022)

جدول۱: جدول غذادهی ماهی تیلاپیا در سیستم بیوفلاک

وزن ماهی (گرم)	درصد غذادهی (وزن بدن)	سایز خوراک (mm)	درصد پروتئین خوراک
۵-۱	۶	۰/۸ – ۰/۵	۳۸
۲۰-۶	۵	۱	۳۲
۵۰-۲۱	۵	۱/۵	۳۰
۱۰۰-۵۱	۴	۲	۲۸
۳۰۰-۱۰۱	۳/۵	۴-۳	۲۸
۴۰۰-۳۰۱	۲/۵	۴	۲۴
۶۰۰-۴۰۱	۲	۴	۲۴
۱۰۰۰-۶۰۰	۱	۴	۲۰

توصیه ترویجی و جمع بندی

با مدیریت صحیح بر سیستم بیوفلاک، میتوان به تولید ۲۵ کیلوگرم در متر مکعب رسید شکل (۴). سیستم بیوفلاک یک سیستم پایدار و دوستدار محیط زیست است که با حداقل تعویض آب، میتواند پرورش متراکم برخی آبزیان را امکان پذیر نماید. بدلیل وجود فلاک، بخشی از نیازهای غذائی آبزی تامین و هزینه خوراک بدلیل استفاده کمتر، کاهش میابد. جهت راه اندازی سیستم بیوفلاک، ابتدا باید نسبت به آنالیز منبع آب اقدام نمود. طراحی سازه بسیار مهم است و محاسبات مربوط به میزان انرژی مورد نیاز، میزان اکسیژن مورد نیاز و تعداد و قدرت هواده ها جهت تامین آن با دقت انجام گیرد. برای راه اندازی سیستم نیاز به دانش فنی در زمینه هیدروشیمی آب، بیولوژی ماهی، تغذیه و مدیریت غذادهی، چرخه ازت در آب و درک کافی از نحوه عملکرد باکتری هاست. لذا میتوان گفت روش بیوفلاک، علی رغم جذابیت کار، بسیار پیچیده و علمی است. افراد علاقمند به کار با این روش، باید دانش فنی و تجربه کافی در این زمینه را داشته باشند و یا از کارشناسان مجرب در این کار بهره گیرند. به طور کلی در صورت داشتن شرایط مناسب سیستم های گلخانه ای مجهز به فناوری بیوفلاک می توان موجبات افزایش تولید اقتصادی ماهیان نظیر تیلاپیا فراهم کرد.

شکل ۴: صید ماهی پرورش یافته در سیستم بیوفلاک، اشکذر استان یزد

منابع

Abakari, G., Wu, X., He, X., Fan, L. & Luo, G. 2022. Bacteria in biofloc technology aquaculture systems: roles and mediating factors. *Reviews in Aquaculture,* 14**,** 1260-1284.

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture,* 176**,** 227-235.

Avnimelech, Y. & Kochba, M. 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15N tracing. *Aquaculture,* 287**,** 163-168.

El-Sayed, A.-F. M. 2021. Use of biofloc technology in shrimp aquaculture: a comprehensive review, with emphasis on the last decade. *Reviews in Aquaculture,* 13**,** 676-705.

Gallardo-Collí, A., Pérez-Fuentes, M., Pérez-Rostro, C. I. & Hernández-Vergara, M. P. 2020. Compensatory growth of Nile tilapia Oreochromis niloticus, L .subjected to cyclic periods of feed restriction and feeding in a biofloc system. *Aquaculture Research,* 51**,** 1813-1823.

Khanjani, M. H. & Sharifinia, M. 2020. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*.۱۸۵۰-۱۸۳۶ ,۱۲ ,

Khanjani, M. H., Sharifinia, M. & Hajirezaee, S. 2022. Recent progress towards the application of biofloc technology for tilapia farming. *Aquaculture,* 552**,** 738021.

Preena, P. G., Rejish Kumar, V. J. & Singh, I. S. B. 2021. Nitrification and denitrification in recirculating aquaculture systems: the processes and players. *Reviews in Aquaculture,* 13**,** 2053-2075.

Robles-Porchas, G. R., Gollas-Galván, T., Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R., Miranda-Baeza, A. & Vargas-Albores, F. 2020 .The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture,* 12**,** 2228-2249.

Zhao, Y., Xue, B., Bi, C., Ren, X. & Liu, Y. 2022. Influence mechanisms of macro-infrastructure on micro-environments in the recirculating aquaculture system and biofloc technology system. *Reviews in Aquaculture,* n/a

Trainings of biofloc system preparation in simple language

Ghaedi,A.,[1*]; Sarsangi,H.,[2]; Alimahmoudi.,[3]; Mohamadi,M.,[2] ; Akhavan.,M[2]

[1]Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
[2]National research center for saltwater aquatics, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bafq, Iran
[3] Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

Received: August2021 Accepted: August2022

Abstract
The growing worldwide population has led to an increase in food query and aquaculture is one of the production sectors to supply feed required by the world. It is thought the aquaculture should be maintainable. However, the expansion of a sustainable aquaculture commerce has been hindered by the restricted accessibility of natural resources as well as its undesirable impact on the surrounding environment. The prime goal of aquaculture expansion must be to produce more product deprived of significantly increasing the usage of the basic natural resources of water and the land. The second goal is to develop sustainable aquaculture system that will not destruct the environment. The third goal is to build up systems providing an equitable cost/benefit ratio to support economic and social sustainability. Thus, there is a crucial need to search for better aquaculture production systems. All these three fundamentals for sustainable aquaculture development can be met by biofloc technology.

Keywords: Biofloc, Tilapia, Total Ammonia, C:N ratio

*Corresponding author: a.ghaedi@areeo.ac.ir