

(مقاله مروری)

فناوری های نوین و مدیریت سیستم های پرورش در آبی پروری میگومسلم شریفی نیا^{۱*}، مهرزاد کشاورزی فرد^۱، محمدحسین خانجانی^۲، وحید یگانه^۱، علی قوام پور^۱

moslem.sharifinia@yahoo.com

۱- پژوهشکده میگوی کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر،

ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، کرمان، ایران

چکیده

در سال های اخیر صنعت پرورش میگو یکی از بخش های مؤثر در ارزآوری بوده و از چندین دهه گذشته به سرعت به یک صنعت پویا و رو به رشد تبدیل شده است. کاهش ذخایر میگوها و ماهیانی که به طوری تجاری صید و بهره برداری می شوند از یک سو و رشد روز افزون جمعیت از سوی دیگر، سبب افزایش تقاضا به منابع پروتئینی دریایی شده است. در چنین شرایطی بالا بردن بازده تولیدات آبی پروری، یکی از اهداف مهم صنعت آبی پروری است. با استفاده از فناوری های نوین بدست آمده تا سال ۲۰۱۹ میلادی، امروزه می توان تراکم و میزان تولید را در واحدهای تولیدی افزایش داد. از جمله ی این فناوری ها، اجرای سیستم های مداربسته آبی پروری نوین و سیستم بیوفلاک (توده زیستی) می باشند که در سراسر دنیا در حال رشد و توسعه است. بنابراین ارائه راهکارهای مفید مهندسی آبی پروری جهت استفاده در صنعت پرورش میگو و بکارگیری فناوری های نوین در این صنعت بسیار حائز اهمیت می باشد. در پژوهش حاضر سیستم های مختلف پرورش میگو شامل گسترده، نیمه متراکم، متراکم و فوق متراکم مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین به بررسی چالش های سیستم بیوفلاک به عنوان سیستم نوین در آبی پروری میگو و چشم اندازهای پیش روی صنعت پرورش میگو پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: آبی پروری، بیوفلاک، فناوری های نوین، صنعت میگو

تاریخ دریافت مقاله : ۹۹/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۸/۰۱

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، تولید غذا یکی از دغدغه های دولتمردان است، صنعت آبی پروری یکی از صنایع تولید غذا می باشد، که نقش مهمی در تامین منابع پروتئین سفید دارد [۱].

تولید آبزیان از طریق صید و صیادی و آبی پروری امکان پذیر است. کاهش ذخایر میگوها و ماهیانی که به طوری تجاری صید و بهره برداری می شوند و از سوی دیگر، رشد روز افزون جمعیت سبب افزایش تقاضا به منابع پروتئینی دریایی شده است [۳-۱]. علاوه بر این، تمرکز فزاینده بر روی نیاز به استفاده از آبزیان در برنامه ی غذایی بدلیل بالا بودن ارزش غذایی آنها نیز منجر به افزایش دوچندان این تقاضا شده است. در چنین شرایطی بالا بردن بازده تولیدات آبی پروری، یکی از اهداف مهم صنعت آبی-پروری است [۱].

با استفاده از اختراعات، ابداعات، پژوهش ها و فناوری های نوین بدست آمده تا سال ۲۰۱۹ میلادی، امروزه می توان تراکم و میزان تولید را در واحدهای تولیدی افزایش داد. از جمله ی این فناوریها، اجرای سیستم های مداربسته ی آبی پروری نوین و سیستم بیوفلاک (توده زیستی) می-باشند که در سراسر دنیا در حال رشد و توسعه است و بدست آوردن دانش تولید در این سیستم ها می تواند برای پرورش دهندگان صنعت میگو بسیار هیجان انگیز و پر جزیه و در عین حال پر درآمد باشد [۱]. پیش بینی می-شود، در صورت استفاده از فناوری های مقرون به صرفه و اقتصادی در صنعت پرورش میگو، در سال های آتی توسعه بیشتر این صنعت را شاهد خواهیم بود. بسیاری معتقدند که پرورش میگو مسیر درستی را در پیش گرفته است به گونه ای که در طول ۴۰ سال گذشته پرورش دهندگان و مهندسان متخصص، پایداری صنعت پرورش میگو را بهبود بخشیده اند. این پیشرفت ها در حوزه آبی پروری با عنوان "بهترین راهکار" شناخته می شوند [۴]. کشورهایمانند تایلند به طور ویژه در زمینه پرورش میگو کمک شایانی به آبی پروری پایدار کرده اند. در کشور تایلند اغلب مزارع میگو ابعاد کوچک و متوسط داشته و عمدتاً توسط خانواده ها اداره می شوند. ارایه بهترین روش ها و راهکارهای آبی پروری به خانواده های پرورش دهنده کمک می کند تا ثبات اقتصادی داشته باشند و آبی پروری پایدار را بهبود بخشند [۴].

سیستم های پرورش میگو

پرورش میگو بسته به سطح مدیریت پرورشی، سرمایه-گذاری اولیه، میزان استفاده از فناوری های نوین، هزینه های کارگری و نیروهای متخصص، به چهار روش گسترده، نیمه-متراکم، متراکم و فوق متراکم انجام می گیرد (جدول ۱). میزان تغذیه دستی میگوها، تراکم میگوهای پرورشی، هزینه های سرمایه گذاری و استفاده از فناوری های نوین در روش گسترده حداقل و در روش فوق متراکم حداکثر است. روش تولید نیمه متراکم، معمول-ترین روش تولید میگو در کشورهای آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی شامل چین، تایلند، هند و ... محسوب می شود. در ایران در گذشته و همچنین در حال حاضر نیز اغلب پرورش دهندگان میگو از این روش استفاده می کنند و استخرها هم بر اساس این روش طراحی شده اند. این روش، بر تغذیه ترکیبی میگوها با غذای مصنوعی و غذای طبیعی استخرها مبتنی است. استخرها در این روش بصورت خاکی احداث می شوند و مساحت این استخرها بین ۱ تا ۵ هکتار و تامین آب استخرها، اغلب بوسیله پمپاژ از دریا با استفاده از جزر و مد یا کانال متصل به دریا صورت می گیرد [۴].

تراکم ذخیره سازی بین ۰۰۰،۴۰۰ تا ۵۰۰،۰۰۰ پست لارو در هر هکتار است و میگوها بطور معمول در مدت زمان حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز به وزن ۱۵ تا ۲۰ گرم می-رسند. طراحی بر مبنای هوادهی در استخرها با نصب هواده، انجام می شود. میانگین تولید در این استخرها ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلوگرم در هر هکتار است که می توان با استفاده از هوادهی، با مدیریت بالا و ساخت زهکش مرکزی در کف استخر و استفاده از پروبیوتیک ها میزان تولید را تا حد یک تن در هکتار مازاد بر تولید طبیعی افزایش داد [۴].

پرورش گسترده

این روش پرورش بیشتر در کشورهای آمریکای لاتین یافت می شود، پرورش به روش گسترده میگوی پا سفید غربی در مناطق جزرومدی پایه گذاری شده است که در آنها از پمپ کردن آب یا هوادهی استفاده نمی شود (بعضاً حداقل پمپ کردن آب ممکن است استفاده شود). استخرها شکل نامنظم دارند و معمولاً مساحت ۵ تا ۱۰ هکتار (تا ۳۰ هکتار) و عمق ۰/۷ تا ۱/۲ متر دارند. در

بهبود کیفیت آب استفاده می‌کنند. استخرها معمولاً کوچک (۱/۱ تا ۱ هکتار) و به شکل مربع یا گرد هستند، عمق آب معمولاً بالای ۱/۵ متر است. تراکم‌های ذخیره سازی بین ۳۰ تا ۶۰۰ قطعه میگو در مترمربع متغیر است. هوادهی شدید برای چرخش آب و اکسیژن دهی ضروری است. غذادهی با جیره های مصنوعی و روزانه در ۴ تا ۵ وعده صورت می‌گیرد. میزان ضریب تبدیل غذایی ۱/۴ تا ۱/۸ می‌باشد. به هر حال لازم است که غذادهی، کیفیت و تعویض آب، هوادهی و شکوفایی جلبکی به خوبی مراقبت و مدیریت گردد. تولید محصول ۷۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار (حداکثر ۳۰ تا ۳۵ تن در هکتار) در هر برداشت است، که در مناطقی که شرایط مساعد دارند می‌توان در سال ۲ تا ۳ برداشت داشت [۵،۶]. در کشور ایران با توجه به مناطق مستعد در سواحل جنوبی زمینه برای پرورش میگو فراهم شده است و پرورش بصورت متراکم انجام می‌گیرد.

پرورش فوق متراکم

در سال‌های اخیر در ایالات متحده امریکا پرورش میگوی پاسفید غربی در سیستم‌های پرورشی کانال‌های جاری داخل گلخانه ای بدون تعویض آب (فقط جایگزینی آب تبخیر شده) یا استفاده مجدد از آب، و ذخیره سازی با پست لاروهای عاری از بیماری، مورد توجه محققین قرار گرفته است و تحقیقات آنها روی آن متمرکز شده است. بنابراین آنها تاثیر سوء بر زیست‌مندان دیگر ندارند، سازگار با محیط زیست هستند، اثرات اکولوژی کوچکی دارند و می‌تواند تولیدشان مقرون به صرفه باشد و میگوی با کیفیت خوب تولید کنند. یک کانال آبراهه‌ای با سطح ۲۸۲ متر مربع با تراکم ۴۰۰ تا ۴۵۰ قطعه میگوی نوجوان ۰/۵ تا ۲ گرمی ذخیره سازی می‌شود و به مدت ۳ تا ۵ ماه پرورش می‌یابد که می‌تواند تولیدی برابر با ۲۸ تا ۶۸ تن در هکتار در هر برداشت با یک نسبت رشد ۱/۵ گرم در هفته، بازماندگی ۵۵ تا ۹۱ درصد، میانگین وزن ۱۶ تا ۲۶ گرم و ضریب تبدیل غذایی ۱/۵ تا ۲/۶ داشته باشد [۵،۶].

مدل های توسعه پرورش میگو در جدول ۲ ارائه شده است.

گذشته بذر میگوها (پست لاروهای لازم جهت کشت) در خلال جزرومد از دریا صید شده و مورد استفاده قرار می‌گرفت. از دهه ۱۹۸۰ به بعد پست لاروهای حاصل از تکثیر مصنوعی با تراکم ۴ تا ۱۰ قطعه میگو در مترمربع در این روش پرورش ذخیره سازی می‌شدند. تغذیه اصلی میگو در این روش از غذای طبیعی استخر پرورش است که با کوددهی تقویت شده اند و حداکثر روزی یکبار با جیره غذایی فرموله شده با درصد پروتئین پایین غذادهی می‌شود. با وجود تراکم ذخیره سازی پایین، بعد از ۵ - ۴ ماه، میگوهای کوچک با وزن ۱۱ تا ۱۲ گرم برداشت می‌شوند. محصول در روش های پرورش گسترده، ۱۵۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هر هکتار در هر برداشت با ۱ تا ۲ بار برداشت در سال است [۵،۶].

پرورش نیمه متراکم

استخرهای نیمه متراکم (۱ تا ۵ هکتار) با پست لاروهای تولید شده در هجری در تراکم‌های ۱۰ تا ۳۰ قطعه در مترمربع ذخیره سازی می‌شوند. این سیستم ها در آمریکای لاتین متداول است. تعویض آب منظم بوسیله پمپ کردن صورت می‌گیرد، عمق استخر ۱ تا ۱/۲ متر است و هوادهی کمی نیز صورت می‌گیرد. میگو از غذای طبیعی که بوسیله کوددهی تولید شده، تغذیه می‌کند و همچنین روزی ۲ تا ۳ بار با غذاهای فرموله شده غذادهی می‌شوند. میزان تولید در استخرهای نیمه متراکم ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در هر برداشت است که در بعضی از مناطق مساعد می‌توان سالی دوبار کار پرورش را انجام داد [۵،۶].

پرورش متراکم

مزارع پرورش متراکم معمولاً در مناطق غیر جزرومدی جایی که استخرها می‌توانند کاملاً زهکشی شده، خشک شوند و قبل از هر ذخیره سازی تعمیر بشوند، و بطور روزافزونی در مناطق دور از دریا در مناطق ضعیفتر از لحاظ کشاورزی و شوری آب پایین احداث می‌شوند. این سیستم پرورش عموماً در آسیا و در بعضی از مزارع آمریکای لاتین وجود دارد که سعی می‌کنند تولید را افزایش دهند. استخرهای پرورش اغلب خاکی هستند، اما بعضاً از استخرهای بتنی نیز برای کم کردن فرسایش و

جدول (۱) مقایسه سیستم های مختلف پرورشی میگو [۵،۶].

نوع سیستم	شرح	وضعیت توسعه
گسترده	تولید ۵۰ تا ۳۰۰ کیلو در هکتار در سال، مساحت ۱۰۰۰ مترمربع تا ۱۰ هکتار	سنتی
نیمه متراکم (خفیف)	تولید ۰/۸ تا ۲ تن در هکتار در سال، مساحت ۱۰۰۰ مترمربع تا ۱۰ هکتار	در حال کاهش
نیمه متراکم	تولید ۲ تا ۵ تن در هکتار در سال، مساحت ۱ تا ۱۰ هکتار	در حال افزایش
نیمه متراکم (شدید)	تولید ۶ تا ۸ تن در هکتار در سال، مساحت ۰/۵ تا ۴ هکتار	با توسعه اندک
متراکم	تولید ۸ تا ۱۲ تن در هکتار در سال، مساحت ۰/۵ تا ۲ هکتار	در حال افزایش
فوق متراکم	تولید ۱۵ تا ۳۰ تن در هکتار در سال، مساحت ۰/۲۵ تا ۱ هکتار، آبگیری با پمپاژ با و یا بدون چرخش آب، هوادهی: مداوم، غذادهی فقط غذای مصنوعی	در حال افزایش

جدول (۲) مدل های توسعه پرورش میگو [۵،۶].

نوع فعالیت و کشورهای در حال اجرا	شرح فعالیت	وضعیت
خانوادگی، هند، اندونزی، بنگلادش، ویتنام و...	در اندازه های خرد و هزاران مزرعه، استفاده از برنج زارها و اراضی کشاورزی، بصورت سنتی در آسیا، عرضه در بازار داخلی و بدون بهم پیوستگی	قابل اجرا در کشورهایی که موافق با پرورش سنتی هستند
روستایی، هند، اندونزی، چین و...	ساختار فAMILI و لیکن نه چندان شدید، استخرهای ۵۰۰۰ مترمربعی، صید از طریق جمع آوری و با کنترل و تعویض آب کم بهم پیوسته	اخیرا مدل های جدیدتر در حال افزایش است
نیمه صنعتی، امریکای جنوبی، کالودونیا، برزیل، ایران	مزارع با اندازه متوسط و نیمه متراکم خفیف (در حال کاهش)، در حال توسعه به سمت متراکم، کنترل و تعویض آب کم، بهم پیوسته و یا مستقل	قابل اجرا در کشورهایی که دارای ساختار پرورش سنتی نبوده با بخش های بهم پیوسته
صنعتی، امریکای مرکزی، ماداگاسکار، موزامبیک، آسیا	مزارع با اندازه بزرگ، نیمه متراکم و متراکم تا فوق متراکم، کنترل کیفیت و مدیریت مستقل	تماما" با مدیریت مستقل و گرایش شدید به کنترل کیفیت

سیستم های مختلف پرورش متراکم میگو (IMNV) و موارد دیگر، به جهت جلوگیری از شیوع بیماری و انتشار بیماری های ویروسی منجر به تغییر در طراحی و عملکرد برخی از مزارع میگو شد [۷]. اخیراً، شیوع WSSV در مزارع پرورش میگوی سفید هندی (*Penaeus indicus*) عربستان سعودی شواهد بیشتری را مبنی بر نیاز به بالا بردن سطح امنیت زیستی ارائه داده است. از سال ۲۰۰۹، شیوع یک بیماری جدید

سیستم های مختلف پرورش متراکم میگو

قبل از اواسط دهه ۱۹۹۰، عمده ترین بیماری های موثر در صنعت پرورش میگو دارای منشأ باکتریایی بودند. اما در آسیا و از اواخر سال ۱۹۹۴ ظهور انواع مختلف بیماری های مهم ویروسی مانند ویروس سندرم سفید (WSSV)، ویروس سر زرد (YHV)، ویروس مایونکروز عفونی

- 1 White Spot Syndrome Virus
- 2 Yellowhead Disease

3 Infectious Myonecrosis Virus

تصفیه آب مزارع پرورشی قبل از استفاده کردند. هنگامی که مدیریت جدید در سال ۲۰۰۶ به وجود آمد، سیستم تک حوضچه‌ای دوباره با اصول مهندسی جدید طراحی شدند. که در سیستم جدید مخازن نگهداری آب با مقیاس ۲۰ درصد در قسمت اصلی کانال تأمین آب احداث شدند. اجرای این سیستم باعث احیای عملیات تولید و منجر به تولید پایدار، استفاده از حداقل میزان تعویض آب و فقط استفاده از آب تصفیه شده موجود در استخرهای ذخیره جهت استفاده در استخرهای پرورشی شد. با این حال، این سیستم هیچ سیستم تصفیه فاضلابی برای پساب‌هایی که در هنگام بهره برداری و برداشت از حوضچه‌های پرورشی خارج می‌شدند، نداشت.

حوضچه مجزا با سیستم تصفیه پساب

در این سیستم پساب مزارع پرورش میگو قبل از ورود به دریا در دو مرحله شامل حوضچه آرامش و کانال‌های خطی عملیات تصفیه صورت می‌گرفت و سپس به دریا وارد می‌شدند (شکل ۲).

سیستم آبی پروری باز چرخشی

در این سیستم هر مزرعه شامل ۴۰ تا ۶۰ حوضچه مربع شکل، استخرهای نیم هکتاری با مخازن نگهداری و استخرهای تصفیه فاضلاب، از جمله کانال‌های چرخشی متصل شده به استخرهای پرورشی که به حوضچه‌های رسوبی می‌ریزند. سطح آب حوضچه‌ها نگهداری/استخرهای رسوبگذاری ۲۰-۲۵ درصد از حوضچه‌های تولید است. پس از شیوع بیماری‌ها سیستم‌های پرورشی با حداقل یا عدم تبادل آب در دوره‌های مشخصی از چرخه پرورش دوباره طراحی شدند (شکل ۳).

باکتریایی، سندرم نکروز حاد هپاتوپانکراتیک (AHPNS)^(۱) - که در چین آغاز شده و به ویتنام، مالزی و تایلند و بعداً به مکزیک در سال ۲۰۱۳ و آمریکای مرکزی در سال ۲۰۱۵ رسیده است - باعث متحمل شدن میلیارد ها دلار زیان شده است. شیوع بیماری‌های دیگر در برزیل در سال ۲۰۱۶ و WSSV در اوایل سال ۲۰۱۷ در استرالیا در مزارع میگوی ببری سیاه (*Penaeus monodon*) شواهد بیشتری در مورد نیاز به تغییر سیستم‌های تولید میگو را ارائه می‌دهد [۷].

به دلیل بیماری‌های ویروسی و باکتریایی تاثیرگذار بر صنعت میگو، سالها پیش کشورهای مختلف آسیایی برای پیشگیری و کنترل بیماری شروع به توسعه و استفاده از فناوری‌های تولید آبی پروری با استفاده از سیستم‌های بیوفلاک و چرخشی یا تصفیه آب ورودی برای عملیات پرورش و تصفیه فاضلاب به عنوان امنیت زیستی کرده‌اند. در اینجا نمونه‌هایی از سیستم‌های مختلف آبی پروری بیوفلاک و چرخشی که در آسیا در دو دهه گذشته مورد استفاده قرار گرفته اند، ارائه خواهند شد [۷].

حوضچه مجزا با مدیریت کانال مشترک

اساساً این نوع مزارع بر پایه حوضچه‌های مجزا و یک سیستم مدیریت کانال مشترک طراحی و ساخته شده اند (شکل ۱). حوضچه‌ها بصورت ردیفی با کانال‌های تأمین آب و تخلیه پساب در طرفین قرار گرفته اند. کانال‌های اصلی پساب نه تنها برای تخلیه آبهای زهکشی از استخرهای پرورشی ساخته شده اند، بلکه برای قایق‌های سرعتی و باربری نیز به عنوان آبراه برای اهداف مدیریت لجستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. منبع تأمین آب به طور مستقیم از منطقه ساحلی می‌باشد، در حالی که فاضلاب در رودخانه‌های بزرگ بالادست مجاور مزارع تخلیه می‌شود. عملیات تولید با استفاده از این کانال‌ها و سیستم حوضچه مجزا برای تولید میگوهای ببری سیاه تا ظهور پاتوژن‌های ویروسی، به خصوص WSSV در اواسط دهه ۱۹۹۰ موفقیت آمیز بود [۸].

پس از شیوع بیماری‌ها بیشتر مزارع در کشورهای پرورش دهنده میگو، از جمله اندونزی، شروع به اصلاح طراحی استخرهای خود از جمله تعبیه مخازن نگهداری آب برای



شکل (۱) حوضچه مجزا با مدیریت کانال مشترک [۸].



شکل (۲) حوضچه مجزا با سیستم تصفیه پساب [۷].



شکل (۳) سیستم آبی پروری بازچرخشی [۹].

دارای ۲۲۶ حوضچه خاکی بود که بیشتر آنها ۰/۸ هکتار وسعت داشتند که در ردیف‌هایی با کانالهای ورودی و خروجی در طرفهای مخالف مرتب شده بودند. دو مخزن بزرگ، آب دریا تصفیه شده را تأمین می‌کردند، در حالی

حوضچه مجزا با مخازن نگهداری و سیستم تصفیه پساب طرح اولیه این مزرعه یک سیستم پرورش حوضچه‌ای بود که دارای یک کانال وسیع آب رسانی بود. این مزرعه

با تولیدات بیشتر، بهره‌برداری زیادتری از منابع طبیعی (آب و زمین) را مدنظر قرار ندهد. دوم اینکه توسعه سیستم‌های آبی‌پروری پایدار و بدون اثرات زیان‌آور بر محیط زیست مورد توجه قرار گیرد. اصل سوم ابداع روش‌های جدیدی است که میزان سوددهی را در جهت حمایت اقتصادی از پرورش دهندگان افزایش دهد. از آن جایی که توسعه صنعت آبی‌پروری آلودگی‌های زیست محیطی را در سال‌های اخیر به دنبال داشته است، توجه به مدیریت علمی و تشویق سیستم‌های پرورشی سازگار با محیط‌زیست ضروری است. استفاده از فناوری‌های جدید مانند پرورش متراکم آبزیان در سیستم‌های مدار بسته نقش بسزایی در کاهش مصرف آب و بالا بردن راندمان تولید داشته است. در حال حاضر سیستم‌های آبی‌پروری مدار بسته به دلیل امنیت زیستی بیشتر و مزایای زیست محیطی، جلوگیری از ورود پساب زیاد به محیط زیست و خطراتی نظیر ورود عوامل بیماری‌زا و گونه‌های بیگانه به سیستم پرورش با اقبال زیادی مواجه شده است. با توجه به پتانسیل‌های بالقوه در خصوص اراضی مستعد پرورش میگو در سواحل جنوبی و شمالی کشور و نیز شرایط اقتصادی و اجتماعی خصوصاً ارزآوری و اشتغال‌زایی صنعت تکثیر و پرورش میگو لازم است که محققین کشور تکنیک‌ها و فناوری‌های نوین را در این صنعت بکار گیرند تا از این طریق بتوانند ضمن تولید بالا و تامین بخشی از مواد پروتئینی داخل، با صدور این محصول ارزآوری بالایی را برای کشور ایجاد نمایند [۱، ۱۱].

که استخرهای رسوبی قبل از تخلیه فاضلاب به دریا، آن را تیمار می‌کردند. دروازه‌های تأمین کننده اصلی آب بر روی دروازه‌های کانال آبیاری با تخته‌های چوبی بنا شده بودند تا آب به کانال‌های منبع ثانویه برسد. درهای خروجی استخرهای پرورشی از تخته‌های چوبی معمولی برای عملکرد جریان حوضچه استفاده می‌کردند. در سیستم هیچ زهکشی مرکزی وجود نداشت (شکل ۴). در اوایل سال ۲۰۱۰، این مزرعه از یک ردیف استخرهای منفرد به یک سیستم ماژولار بیوسکیور با کف پوش پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE^۱) و با مخازن ذخیره برای تصفیه آب تغییر یافت. دو تا از سیستم‌ها به طور کامل با HDPE روکش شده بودند، و بقیه سیستم‌ها فقط بر روی دایک‌های داخلی حوضچه خود روکشی شده بودند. این مزرعه هنوز دارای ۲۲۶ مزرعه است، اما هر مزرعه جدید شامل ۲۰ حوضچه ۰/۸ هکتاری و دو حوضچه پرورشی به ترتیب ۰/۴ تا ۰/۶ هکتار است. در هر مزرعه چهار حوضچه ۰/۸ هکتاری در کنار کانال‌های اصلی تامین آب به مخازن ذخیره تغییر یافته است. تمام دروازه‌های ورودی و تخلیه برای اطمینان از عدم وجود نشتی، برای ایجاد ایمنی زیستی بالاتر بازسازی شدند. برای حذف لجن در طی عملیات پرورش و افزایش ظرفیت حمل استخرها، سیستم تخلیه مرکزی نصب شد.

سیستم آبی‌پروری چرخشی

در این سیستم تمام پساب‌های خروجی به یک حوضه اصلی جهت تیمار (تصفیه) هدایت می‌شوند تا برای استفاده مجدد یا تخلیه به محیط مورد استفاده قرار گیرند. سیستم تصفیه شامل چهار مرحله است: کانال‌های بزرگ اول و دوم تصفیه حاوی ماهی و صدف، حوضچه سوم حاوی جلبک دریایی برای بیوفیلتر کردن ذرات معلق و نیتریفیکاسیون پساب، در حالی که در حوضچه‌های چهارم، هوادهی و درمان شیمیایی با کلر (آهک) انجام می‌شود (شکل ۵).

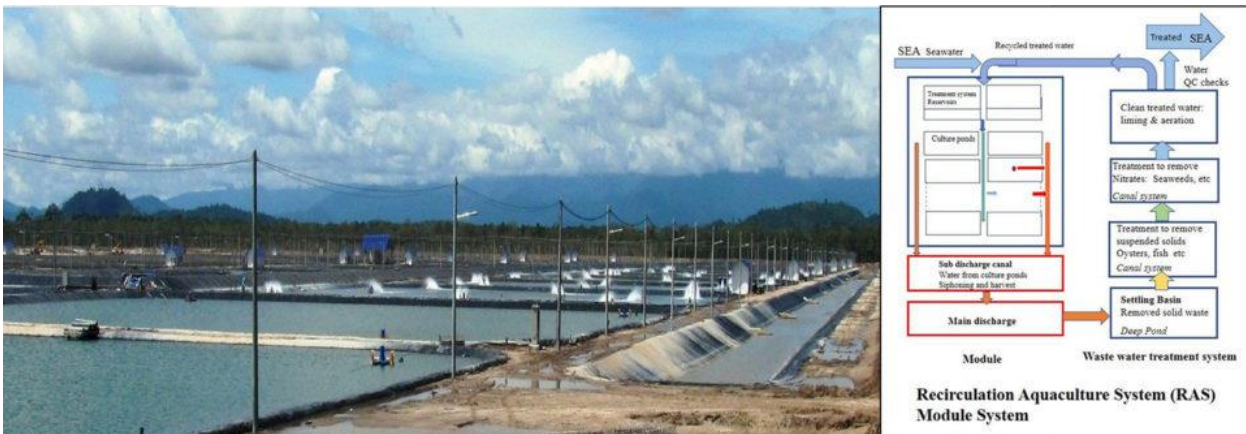
تکنولوژی بیوفلاک و سیستم بدون تعویض آب^۲

برای گسترش تولیدات آبی‌پروری باید سه اصل عمده را مدنظر قرار داد. اول اینکه توسعه آبی‌پروری باید همزمان

1 High Density Poly Ethylene
2 Zero water-exchange system



شکل (۴) حوضچه مجزا با مخازن نگهداری و سیستم تصفیه پساب [۱۰].



شکل (۵) سیستم آبی پروری چرخشی [۷].

مقیاس بزرگ در آسیا، آمریکای لاتین و مرکزی و همچنین در کشت گلخانه با مقیاس کوچک در ایالات متحده آمریکا، کره جنوبی، برزیل، ایتالیا، چین، تایلند، اندونزی و مالزی توسعه یافته است. در سیستم بیوفلاک هوادهای قوی جهت تزریق و تامین اکسیژن و معلق کردن ذرات آلی و فلاکه‌ها و توسعه جوامع میکروبی هتروتروفیک در استخر، بکارگیری می‌شود. یک توده بیوفلاک معمولاً شامل مخلوطی ناهمگن از میکروارگانیسم‌ها، باکتریهای رشته‌ای، کلوئیدها، ذرات آلی و غیرآلی، پلیمرهای آلی، کاتیونها و سلولهای مرده است که اندازه آن میتواند به بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر برسد. این فلاکه‌ها دارای شکل‌های نامنظم، محدوده گسترده‌ای از اندازه ذرات و همچنین به راحتی قابل تراکم، بسیار متخلخل و نفوذپذیر می‌باشند [۱۲-۱۴، ۱].

اصول تکنولوژی بیوفلاک

تکنولوژی بیوفلاک برای اولین بار در موسسه تحقیقات فرانسه برای بهره برداری از دریا (مرکز اقیانوس آرام) با گونه‌های مختلف پنهان شده شامل میگوی موزی، سفید غربی، خنجری و ببری سیاه انجام گردید. مطالعات متعدد رویکرد جامعی از تکنولوژی بیوفلاک و روابط متقابل بین قسمت‌های مختلف از جمله آب و باکتری، فیزیولوژی و تغذیه میگو را ارائه داد. در سالهای ۱۹۸۰ و آغاز ۱۹۹۰ موسسه آبی‌پروری دریایی ایالات متحده آمریکا تکنیک بیوفلاک را برای تیلاپیا و میگوی سفید غربی استفاده کردند. با توجه به کاربرد تجاری تکنولوژی بیوفلاک، در سال ۱۹۸۸ در تاهیتی مزارع مختلف با استفاده از تانکهای بتونی ۱۰۰۰ مترمربعی و تعویض آب محدود، تولید بالای (۲۰ تا ۲۵ تن/هکتار) را ثبت کردند. امروزه، بیوفلاک بطور موفقیت آمیزی در مزارع میگو با

جوانان)، لزوم افزایش تولید در واحد سطح و بالا بردن تراکم فعلی، گذر از روش های سنتی و بکارگیری تکنیک-های نوین در پرورش آبزیان امری ضروری و مهم می باشد. در صورت ادامه روند موجود، مزارع سنتی توان رقابت با پرورش دهندگان خارجی را از دست می دهند و ممکن است با مشکلات عدیده ای چون بیماری، ناکارآمدی اقتصادی و در نهایت ورشکستگی مواجه شوند. راهکار غلبه بر مشکلات موجود استفاده از تکنولوژی های نوین (در جهت افزایش کیفیت لارو و غذای مصرفی)، استفاده از گونه های بومی و سیستم هایی با تخلیه پساب کمتر چون بیوفلاک است. متوسط برداشت میگوی پرورشی در کشور حدود ۳ تا ۴ تن در هکتار است و این در حالیست که در کشورهایی که از این سیستم استفاده می کنند میزان برداشت را به بیش از ۲۰ تن در هکتار رسانده اند. در کشور ما ایران تا کنون از این تکنولوژی در مقیاس تجاری استفاده نشده است. با توجه به مزایای ذکر شده در مورد فناوری بیوفلاک، بکارگیری آن را در کشور برای پرورش میگو ضروری می نماید.

راهکارهای مفید مهندسی آبی پروری جهت

استفاده در صنعت پرورش میگو

ایجاد سالن پرورش دوره نوزادگاهی

پرورش دهندگان میگو در مزارع دارای نرسری خارجی نظارت بیشتری بر مراحل لاروی میگو ها دارند. پیش از اینکه نرسری های خارجی توسعه یابد، پرورش دهنده میگوهای جوان را مستقیماً در حوضچه های پرورش رها نموده و اگر یک بیماری وارد مزرعه می شد، آبی پروران به سرعت تمامی محصول خود را از دست می دادند. با استفاده از نرسری خارجی، پرورش دهنده قادر به مراقبت از میگوهای جوان بوده و این امر موجب کاهش بیماری در مزرعه و بهبود عملکرد پرورش می شود. میگوها در ۴۰ روز نخست زندگی آسیب پذیرند و آبی پروران با نگهداری آنها بیرون از حوضچه های بزرگ قادر به جلوگیری از گسترش میکروب های موجود در محیط اطرافشان هستند. این راهکار مفید موجب افزایش میزان بازماندگی میگو، پایداری مزارع و درآمد آبی پروران می شود. این عمل از اساسی ترین راهکارها برای افزایش محصول میگو است و آبی پرورانی که در مزرعه خود از نرسری خارجی بهره

میکروارگانسیمها در فلاک دو نقش عمده را بر عهده دارند: حفظ کیفیت آب با جذب ترکیبات نیتروژن در استخر و دیگری تولید پروتئین میکروبی و نقش تغذیه ای که سبب کاهش ضریب تبدیل غذایی و کاهش هزینه های غذا است. ذرات معلق آلی و ارگانسیم های متصل به آن در زنجیره غذایی میکروبی به عنوان منابع غذایی بالقوه برای آبزیان پیشنهاد شده اند. تنوع جوامع میکروبی در فلاک عملکردهایی از قبیل معدنی کردن مواد آلی زائد، بهبود مصرف و استفاده از پروتئین و کاهش فرصت برای غالب شدن سویه های بیماریزا در استخر دارد. در تکنولوژی بیوفلاک، باکتری های هتروتروفیک و جلبکها تحت عنوان فلاک در شرایط کنترل شده در استخر رشد می کنند. بیومس میکروبی روی غذای خورده نشده، مواد دفعی ماهی و تولیدات غیر آلی نیتروژنی رشد می کنند. عامل محرک اصلی برای رشد متراکم باکتریهای هتروتروف مصرف کربن آلی است. سیستم بیوفلاک یک منبع طبیعی غنی از پروتئین- چربی قابل دسترس در هر ساعت از شبانه روز می باشد. در ستون آب تعامل پیچیده- ای بین ماده آلی و طیف وسیعی از میکروارگانسیمها مانند فیتوپلانکتون ها، باکتری های آزاد و متصل و فیلتر فیدرهایی مانند روتیفرها، مژه داران، تاژکداران تک یاخته و کپه پودها برقرار است. این تولیدات طبیعی نقش مهمی را در بازیافت مواد مغذی و حفظ کیفیت آب ایفا می کنند. نقش اصلی را در سیستم بیوفلاک باکتریهای شوره گذار و باکتریهای هتروتروف (گونه های باسیلوس با فرایند آسیمیلاسیون و گونه های سودوموناس با فرایند دنیتروسیکاسیون) دارند. در این سیستم باکتری نیتروژموناس آمونیاک را به نیتريت و باکتری نیتروباکتر، نیتريت را به نیترات تبدیل می کنند. شرایط مناسب برای فعالیت این باکتریها به این صورت است که مقدار زیادی غذای قابل دسترس برای باکتری وجود داشته باشد (استخر دارای مواد آلی ته نشین شده کافی باشد) و تانک یا استخر بطور کامل (۲۴ ساعت در روز) هوادهی شود [۱۲-۱۴، ۱۵-۱۸].

در کشور ما به دلیل وجود مزارع گسترده میگوی سفید غربی در سواحل شمالی و جنوبی کشور، بیوتکنیک تکثیر و تولید انبوه پست لارو آسان، نیاز به ایجاد اشتغال در مناطق جنوبی و شمالی (با توجه به بحث قاچاق و مشکلات اجتماعی مرتبط با عدم وجود اشتغال برای

می‌برند، بسیار موفقتر بوده و مخاطرات احتمالی را به شدت کاهش می‌دهند.

تکنولوژی سیستم تخلیه مرکزی

آبزی‌پروران به منظور جلوگیری از بیماری، متوجه اهمیت حفظ محیطی پاک و سالم برای پرورش شده‌اند. سیستم‌های تخلیه مرکزی رسوبات و مواد دفعی را از بستر حوضچه پرورش پاک می‌کنند. کارگران مزرعه به منظور حذف مواد زائد چندین بار در روز سیستم تخلیه مرکزی را فعال نموده تا محیطی مناسب پرورش ایجاد نمایند. این تکنولوژی موجب حفظ کیفیت آب، بهبود بازماندگی و افزایش پایداری مزرعه می‌گردد. مزارع دارای تخلیه مرکزی نسبت به مزارع سنتی موفق‌تر و پایدارتر هستند [۱۹، ۱۸].

افزایش امنیت زیستی^۱

با توجه به گسترش بیماری‌های میگو و تأثیر آن‌ها بر صنعت میگوی پرورشی، ایمنی زیستی به یکی از ارکان اساسی عملیات پرورش در هر مزرعه‌ای تبدیل شده است. در واقع به مجموعه روش‌هایی که در مراکز تکثیر و پرورش اعمال می‌گردد تا آبزیان پرورشی را از ابتلا، شیوع و انتقال بیماری و یا هر نوع شرایط نامطلوب بهداشتی مصون نگهدارد ایمنی زیستی اطلاق می‌شود. بطور کلی مزارع آبزی پروری را می‌توان به روش‌های ساختاری و یا فنی تحت پوشش ایمنی زیستی قرار داد. ایجاد موانعی همچون فنس و توری در اطراف مزرعه و یا احداث حوضچه ضد عفونی در ورودی مزارع پرورش از جمله تمهیدات ساختاری در مزرعه به شمار می‌رود و معمولاً به نحوی ساخته می‌شوند که قابل شستشو و ضد عفونی بوده و نیز دسترسی به محیط مزرعه و موجودات پرورشی جز از طریق آنها امکانپذیر نباشد. اما علاوه بر موارد ذکر شده برخی موارد که به دلیل افزایش هزینه‌های تولید و یا بعضاً بواسطه عدم معرفی صحیح چندان مورد استقبال آبزی‌پروران واقع نشده است که این موارد شامل تریتمنت و فراوری آب، استفاده از منابع آبی پشتیبان (استخرهای ذخیره) و حوضچه‌های تبخیر می‌باشند. تورهای ضد خرنج و ضد پرنده سیستم‌های محافظتی

هستند که مزارع پرورش میگو را از ورود گونه‌های شکارچی حفظ می‌نماید. خرنج‌های موجود در آبراه‌های محلی می‌توانند زیرساخت‌های حوضچه پرورش را از بین ببرند، حامل بیماری باشند و در نهایت موجب برداشت اضطراری میگو قبل از رسیدن به سایز مطلوب شوند. علاوه بر این، پرنده‌گان آبزی محلی می‌توانند میگو را شکار کنند. افزایش امنیت زیستی مزارع میگو موجب بهبود سلامت میگو، کاهش شانس آسیب‌رسانی شکارچیان و کاهش تخریب زیرساخت‌های حوضچه پرورش می‌شود. مزارع دارای سیستم محافظتی قادر به بهبود نرخ بازماندگی و افزایش میزان برداشت نهایی هستند [۲۰].

بکارگیری هواده‌های مدرن

سیستم هواده‌ی مزارع میگو معمولاً شامل هواده‌های چرخان یا خطوط اکسیژن است که میزان اکسیژن محلول در آب حوضچه پرورش را افزایش می‌دهد. این تجهیزات برای مزارع پرورش میگو بسیار ضروری است زیرا ما را قادر می‌سازد تا میگوی بیشتر با شرایط متراکم‌تر و کارآمدتر پرورش دهیم. استخرهای با سطوح بالای اکسیژن محلول موجب کاهش استرس میگو، کاهش خطر بیماری و افزایش نرخ رشد می‌شوند. علاوه بر این، حوضچه‌هایی که از سیستم تخلیه مرکزی استفاده می‌کنند، از هواده‌های پارویی چرخان استفاده کرده تا ضایعات موجود در بستر در مرکز استخر تجمع یافته و توسط سیستم تخلیه خارج گردد. هواده‌ها موجب تقویت سلامت و رشد میگو می‌شوند [۲۱].

پوشش کف استخر

استفاده از پوشش باعث کاهش فرسایش ساختار مزارع میگو می‌شود. این مسئله در مزارعی که سیستم‌های هواده‌ی آب را به گردش در می‌آورند بسیار چشمگیر خواهد بود. لازم به ذکر است حوضچه‌هایی که به طور کامل عایق بندی شده باشند موجب کاهش نفوذ آب به بستر و همچنین کاهش مقدار آب مورد نیاز برای پرورش میگو می‌شوند. با این حال، پرورش دهندگان در استفاده از حوضچه‌های نیمه پوشیده یا کاملاً پوشیده نظرات متفاوتی دارند. استخرهای کاملاً پوشیده، میزان نفوذ آب

پرورش میگو در میزان تولید و پیشگیری از بیماریها دارد [۲۳].

اصولاً، مدیریت لجن در دو فاز جداگانه یکی در حین پرورش میگو و دیگری بعد از برداشت میگو اعمال می-شود. این عمل با استفاده از استراتژی کامل و با بهره گیری از ۴ رویکرد اساسی کنترل، فرآوری، دور یختن و مصرف مجدد صورت می گیرد و انجام آن با استفاده از تکنیک های مدیریتی از یک مزرعه به مزرعه دیگر و بسته به سلیقه پرسنلی، توانایی مالی، شایستگی و نوع مدیریت در مزارع پرورشی متفاوت می باشد [۲۳].

دستورالعمل مدیریت رسوبات در حین دوره پرورش میگو

موارد ذیل به عنوان راهنمای کلی در مدیریت رسوبات برای پرورش دهندگان میگو است و این امر، کمک سازمانهای دولتی مرتبط با موضوع را نیز می طلبد [۲۳].

- تمام مزارع تولید میگو (با توجه به انداز و یا ظرفیت تولید) بایستی دارای مکان مشخص و با مساحت معین برای نگهداری ضایعات حاصله قبل از برنامه ریزی برای هر فعالیت تولیدی باشند.
- محل نگهداری ضایعات بایستی در هر سیکل تولیدی با در نظر گرفتن شرایط محلی، محیطی و الزامات دولتی تنظیم شود.
- مزارعی که از رویکرد مدیریتی نگهداری ضایعات استفاده می نمایند بایستی از سیستم مدیریتی اضافی برای کاهش حجم رسوب و بهبود کیفیت رسوبات در هنگام کار اعمال نمایند.
- مزارعی که از رویکرد مدیریتی برداشت لجن استفاده می نمایند بایستی از سیستم مدیریتی صحیح ضایعات قبل از خروج آن از محیط مزرعه اعمال نمایند.
- استفاده از مواد شیمیایی و دارو ها برای مدیریت لجن تا حد امکان پرهیز شود.

دستورالعمل مدیریت رسوبات بعد از برداشت میگو

- لجن حاصله از پرورش میگو نبایستی مستقیماً به محیط زیست وارد و یا تخلیه شود.
- در مزرعه بایستی مکان و مساحت مشخصی برای نگهداری لجن حاصله پیش بینی شود.

به زمین را کاهش می دهند، اما حوضچه های نیمه پوشیده امکان تغذیه میگو از غذا های زنده و جلبک های وابسته به بستر را فراهم می کند که این امر موجب کاهش مقدار خوراک مورد نیاز برای رشد میگو می شود. با این حال تمامی پرورش دهندگان موافقند که استفاده از پوشش بستر باعث کاهش فرسایش دیواره ها، کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری و بهبود طول عمر حوضچه ها می شود [۲۲].

تکنیک های قابل استفاده در مدیریت رسوبات استخرهای پرورش میگو

به مواد زائد حاصله از پرورش میگو که در طول دوره پرورش میگو در کف استخر جمع می شود لجن و یا رسوبات می نامند. این مواد به شکل جامد، نیمه جامد، مایع و گاز ناشی از مواد غذایی مصرف نشده، پوسته میگو، لاشه میگو، مدفوع، مواد مترشحه میگو و رسوبات حاصله از فرسایش خاک می باشند که در کف استخر تجمع می یابند. لجن حاوی مقدار زیادی مواد آلی، نیترژن و فسفر (بیش از خاک های نرمال) و همچنین دارای نیاز اکسیژن بیولوژیکی و شیمیایی الا بوده که حاکی از بالا بودن میزان بار مواد غذایی در آن می باشد. بنابراین انجام فرآوری ویژه قبل از دور انداختن و مصرف آن ضروری می باشد. لجن اثرات متعددی بر رشد، بقاء و کیفیت آب پرورش میگو دارد. برداشت لجن از کف استخر به طور قابل ملاحظه ای بر کاهش غلظت مواد آلی غذایی در آب و در نتیجه در کاهش میزان فیتوپلانکتون و حاصلخیزی استخر تاثیر دارد. تجمع لجن در کف استخر نه تنها باعث افزایش نیاز اکسیژنی در رسوبات می شود بلکه در ایجاد شرایط بی هوازی در استخر و تولید گازهای مضر نظیر هیدروژن سولفید و... نیز اثر گذار است. رسوبات موجود در استخر موجب مصرف اکسیژن محلول در آب استخر شده و از این طریق میزان اکسیژن کف استخر که محل زیست میگو می باشد کاهش یافته و از این طریق موجب استرس و همچنین حساسیت بیشتر آنها به بیماری می شود. علاوه بر آن گازهای حاصله از شرایط بی هوازی در استخر موجب بی اشتهایی میگو و به تبع آن افزایش ضریب تبدیل غذایی و فساد بیشتر آب از نظر کیفی می شود. بنابراین مدیریت لجن استخر، نقش مهم و حیاتی در زمان

شیوع بیماری و انتشار آن به سایر تاسیسات می‌باشد. با این حال، فناوری آبی پروری چرخشی با موفقیت به کار گرفته شده است. سیستم های بیوفلاک تولید ثابت و پایداری را ارائه می دهند زیرا آنها از سیستم خود گندزایی در استخرهای پرورش ماهی یا میگو با تبادل آب صفر حمایت می کنند. سیستم های بیوفلاک خطر ابتلا به بیماری میگو را کاهش می دهند، زیرا در این سیستم نرخ پایین تبادل آب باعث جلوگیری از ورود عوامل بیماری زا و افزایش ایمنی زیستی می شود. همچنین در این سیستم ها هوادهی مداوم باعث ایجاد شرایط ثابت در کیفیت آب به لحاظ میزان اکسیژن و pH می گردد. علاوه بر این یک اجتماع میکروبی متنوع و پایدار باعث تحریک سیستم ایمنی غیر اختصاصی میگوهای پرورشی می شود و توسعه گونه های فرصت طلب مانند ویبریوز را محدود می کند و حذف منظم لجن جمع شده غلظت بیوفلاک را تا حد متوسط کنترل می کند.

سیستم های آبی پروری چرخشی دوباره از آب استفاده می کنند و از فیلترهای مکانیکی و بیولوژیکی استفاده می کنند. در تعویض آب صفر همه آب و لجن فاضلاب در مزارع موجود است، اما تصفیه فاضلاب اغلب پرهزینه می باشد. همچنین، استفاده محدود از آب، حذف مواد مغذی دفع شده توسط حیوانات فرآورده را بسیار آسان تر و ارزاتر می کند، زیرا حجم آب تخلیه شده بسیار کمتر از مقدار تخلیه شده از مزارع پرورش سنتی میگو می باشد. بنابر مواد ذکر شده سیستم های بیوفلاک با تعویض آب محدود می توانند یک روش سازگار با محیط زیست برای تولید میگو در سطح مناسب تجاری باشند و مواد مغذی موجود در مزرعه میگو را می توان به عنوان کود در اراضی کشاورزی و یا به عنوان پایه ای برای تولید بیوگاز مورد استفاده قرار داد.

- فرآوری اولیه نظیر لای گیری اولیه (ته نشینی) و خشک نمودن آن قبل از رهاسازی و خروج آن بایستی صورت گیرد.
- یک درجه معینی از فرآوری بایستی برای لجن قبل از خروج و بیرون ریختن آن بر اساس شرایط و وضعیت لجن کیفیت، حجم و ویژگی استخر از نظر دریافت برخی از پروبیوتیک ها و درمان آنتی بیوتیکی و یا یا اینکه استخر مواجه با مشکلات بیماری بوده است یا نه به کار گرفته شود.
- از ریختن هر گونه رسوبات اعم از لجن خشک و تر در محیط آب شیرین بایستی پرهیز شود.
- محل تخلیه و فرار دادن لجن به هیچ وجه نبایستی نزدیک منابع آب شیرین باشد.
- تا آنجایی که ممکن است بایستی رسوبات حاصله باز یافت و مجدد بهره گیری شود [۲۳].

چشم اندازها

بسیاری از سیستم های تولیدی توسط پرورش دهندگان میگو آسیایی استفاده می شوند، از سیستم حوضچه مجزا گرفته تا سیستم های چرخشی بزرگتر، اما بسیاری از آنها هنوز نتوانسته اند تأثیرات زیست محیطی حاصل از پساب های خروجی خود را کاهش دهند. سرمایه گذاران و آبی پروران میگو در مقیاس کوچک باید از سایر سیستم های تولیدی موجود آگاهی داشته باشند تا بتوانند انتخابی را انجام دهند و صنعت کشاورزی میگو باید راهی برای جلوگیری بهتر از این تأثیرات پیدا کند. وضعیت مشابهی در استخرهای ذخیره مولدین، هچری ها و نرسری ها، به لحاظ عدم تصفیه مناسب فاضلاب تولید شده در طول عملیات آنها وجود دارد. تأثیرات زیست محیطی فاضلاب های تخلیه شده از این تاسیسات نیز موضوع مهمی در

منابع

- impacts of desalination plants. *Global Change Biology*. 10.1111/gcb.14808(ja).
- [3] Sharifinia, M., Daliri, M., Kamrani, E., 2019b. *Estuaries and Coastal Zones in the Northern Persian Gulf (Iran), Coasts and Estuaries*. Elsevier, pp. 57-68.
- [4] Lekang, O.-I., 2013. *Aquaculture engineering*. John Wiley & Sons.
- [1] Khanjani, M., Sharifinia, M., 2020. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>.
- [2] Sharifinia, M., Afshari Bahmanbeigloo, Z., Smith Jr, W.O., Yap, C.K., Keshavarzifard, M., 2019a. Prevention is better than cure: Persian Gulf biodiversity vulnerability to the

- عملکرد رشد و بقاء پست لاروهای میگوی سفید غربی (Litopenaeus vannamei Boone, 1931) با استفاده از تکنولوژی بیوفلوک. مجله علمی شیلات ایران، ۲۴: ۲۸ - ۱۳.
- [۱۶] خانجانی، م.ح.، سجادی، م.م.، علیزاده، م.، سوری نژاد، ا. ۱۳۹۵. تولید و ارزیابی بیوفلوک به منظور به کارگیری در سیستم پرورشی بدون تعویض آب. نشریه توسعه آبی پروری، ۱۰: ۴۱ - ۳۳.
- [۱۷] خانجانی، م.ح.، علیزاده، م.، رفیعی پور، ا. ۱۳۹۵. توسعه آبی پروری پایدار با استفاده از فناوری توده سازی زیستی. بهره برداری و پرورش آبزیان، ۵: ۷۲ - ۴۵.
- [18] Taw, N., Poh, Y., Ling, T., Thanabatr, C., Salleh, K., 2011. Malaysian shrimp farm redesign successfully combines biosecurity, biofloc technology. *Global Aquaculture Advocate*, 74-75.
- [19] Menasveta, P., 2002. Improved shrimp growout systems for disease prevention and environmental sustainability in Asia. *Reviews in Fisheries Science* 10(3-4), 391-402.
- [20] Lightner, D.V., 2005. Biosecurity in shrimp farming: pathogen exclusion through use of SPF stock and routine surveillance. *Journal of the World Aquaculture Society* 36(3), 229-248.
- [21] Itano, T., Inagaki, T., Nakamura, C., Hashimoto, R., Negoro, N., Hyodo, J., Honda, S., 2019. Water circulation induced by mechanical aerators in a rectangular vessel for shrimp aquaculture. *Aquacultural Engineering* 85, 106-113.
- [22] Effendy, I., Al Deen, S., Chithambaran, S., 2016. Semi Intensive and Semi Biofloc Methods for the Culture of Indian White Prawn, Fenneropenaeus indicus in High-density Polyethylene Liner Ponds. *HAYATI Journal of Biosciences* 23(3), 106-110.
- [23] Latt, U.W., 2002. Shrimp pond waste management. *Aquaculture Asia* 7(3), 11-48.
- [5] Kungvankij, P., Chua, T.-E., Pudadera Jr, B., Corre, K., Borlongan, E., Tiro Jr, L., Potestas, I., Talean, G., 1986. *Shrimp culture: pond design, operation and management*.
- [6] Treece, G.D., Fox, J.M., 1999. *Design, operation and training manual for an intensive culture shrimp hatchery*. DIANE Publishing.
- [7] Taw, N., 2017. A look at various intensive shrimp farming systems in Asia. *Global Aquaculture Advocate Magazine*.
- [8] Taw, N., Fuat, J., Tarigan, N., Sidabutar, K., 2008. Partial harvest/biofloc sistem promising for Pacific white shrimp. *Global Aquaculture Advocate Magazine*, 84-86.
- [9] Taw, N., 2005. Shrimp farming in Indonesia evolving industry responds to varied issues. *Global Aquaculture Advocate Magazine*, 65-67.
- [10] Khanjani, M., Alizadeh, M., Sharifinia, M., 2020. Rearing of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system: The effects of different food sources and salinity levels. *Aquaculture Nutrition* <https://doi.org/10.1111/anu.12994>.
- [11] Ahmad, I., Babitha Rani, A.M., Verma, A.K., Maqsood, M., 2017. Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture International* 25(3), 1215-1226.
- [12] Avnimelech, Y., 2009. *Biofloc technology: a practical guide book*. World Aquaculture Society.
- [13] Emerenciano, M., Gaxiola, G., Cuzon, G., 2013. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass now-cultivation and utilization*, 301-328.
- [۱۴] خانجانی، م.ح. ۱۳۹۸. تأثیر سطوح مختلف شوری و منابع کربن در سیستم تولید توده زیستی (Biofloc). مجله علمی شیلات ایران: دوره ۲۸، شماره ۴؛ ۷۹-۶۹.
- [۱۵] خانجانی، م.ح.، سجادی، م.م.، علیزاده، م.، سوری نژاد، ا. ۱۳۹۴. تأثیر نسبت‌های مختلف غذادهی بر کیفیت آب،