اولین همایش ملی نوآوری در صنایع سبز
ISC
کد اختصاصی: ۰۲۲۳۰-۶۵۴۲۷
دانشگاه مازندران
صنایع سبز

سیستم های آبزی پروری مدار بسته (RAS) :فناوری سبز در خدمت آبزی پروری پایدار

مریم آخوندیان[۱]، شیرین جمشیدی[۲]

[۱] گروه زیست دریا، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (m.akhoundian@umz.ac.ir)
[۲] انستیتو بین المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،رشت، ایران

چکیده. صنعت آبزی پروری با نرخ رشد سالانه ۱/۱ درصد به عنوان یکی از سریع ترین صنایع در حال رشد در سطح جهان است. با این حال، وضعیت کنونی تغییرات آب و هوای جهانی چالشی را ایجاد کرده که گسترش افقی این صنعت را محدود می سازد. سیستم مداربسته (چرخشی) آبزی پروری (RAS) به عنوان یک راه حل کلیدی در این خصوص مطرح است. این سیستم ضمن استفاده موثر از منابع محدود، با تاکید بر حفظ آب، امنیت زیستی و راندمان تولید بالا، افزایش قابل توجهی در تولید ماهی ایجاد میکند. نوآوری های اخیر در RAS، مانند استفاده از راکتورهای نیترات زدایی، فناوری های تغلیظ لجن، و تصفیه با گاز ازن، در به حداقل رساندن مصرف آب، تخلیه پسماند و مصرف انرژی تحول شگرفی ایجاد کرده است..

واژه‌های کلیدی: آبزی پروری، سیستم مدار بسته (چرخشی)، نرخ رشد، نوآوری، فناوری سبز

۱. مقدمه

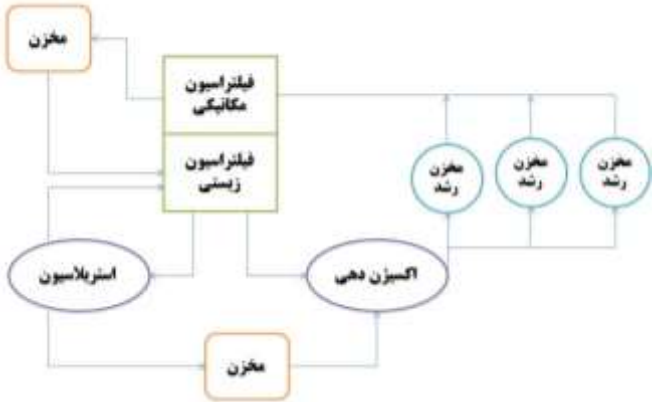
تقاضای فزاینده جهانی برای غذاهای دریایی، که ناشی از رشد جمعیت، تغییر ترجیحات غذایی، و محدودیت های ماهیگیری وحشی است، صنعت آبزی پروری را به عنوان یکی از پایه های اساسی امنیت غذایی مطرح کرده است که نقش محوری در تامین نیازهای غذایی جوامع انسانی دارد. صنعت آبزی پروری در بخش تولید مواد غذایی، سریع‌ترین رشد را در پنج دهه گذشته داشته و به طور چشمگیری افزایش یافته است، به طوری که بر اساس گزارش فائو[۱] در سال ۲۰۱۸، میزان تولید ماهی در این بخش به ۸۰ میلیون تن ماهی در سال رسیده است و پیش بینی می شود که تا سال ۲۰۳۰ به ۴۰ میلیون تن منابع غذایی دریایی بیشتر، برای حفظ سرانه مصرف فعلی نیاز داریم. برای تولید مواد غذایی بیشتر برای تغذیه ۹ میلیارد نفر، در همین مساحت زمین فعلی که در اختیار داریم، با در نظرگرفتن کاهش اثرات زیست محیطی صنعت آبزی پروری نیاز به استفاده از فناوری های افزایش تولید سازگار به محیط زیست ایجاد شده است (Godfray et al., 2010). با افزایش محبوبیت و مصرف محصولات آبزی، شیوه های متداول آبزی پروری به دلیل تأثیرات منفی بالقوه آنها بر محیط زیست، تحت نظارت شدید قرار گرفته است. مسائلی مانند آلودگی آب، تخلیه پساب‌های غنی از مواد مغذی به بدنه‌های آبی، خطر شیوع بیماری، تخریب زیستگاه و کاهش ذخایر ماهیان وحشی که به صورت پودر ماهی برای تغذیه ماهیان پرورشی مورد استفاده قرار میگیرند، بر ضرورت تغییر پارادایم به سمت شیوه های پایدارتر در صنعت آبزی پروری تاکید می کند. . امروزه ضمن تأکید بر نقش محوری آبزی پروری در پاسخگویی به این تقاضای مصرف کنندگان، پتانسیل صنعت آبزی پروری را برای کاهش فشار بر اکوسیستم های دریایی که تحت تأثیر صید بیش از حد منابع آبزیان قراردارند، مورد توجه ویژه قرار گرفته

[1] Food and Agriculture Organization

است. از آنجایی که بخش آبزی‌پروری با این چالش ها دست و پنجه نرم می کند، نیاز به رویکردهای نوآورانه و سازگار با محیط زیست، برای اطمینان از توسعه پایدار و درازمدت صنعت آبزی‌پروری در دنیا وجود دارد. همین امر ضرورت ابداع و ارائه‌ی طیف متنوعی از نوآوری‌های پایدار در صنعت آبزی‌پروری را فراهم ساخته است؛ که این نوآوری‌ها ضمن کاهش نگرانی-های زیست محیطی، افزایش بهره‌وری منابع و تقویت رشد مسئولانه برای همسویی با فشارهای جهانی درخصوص توسعه‌ی پایدار این صنعت را دنبال می‌کنند. ابداع فناوری‌های سبز با توانایی حفظ شرایط بهینه و ثابت نگهداشتن کیفیت آب در طول دوره‌ی آبزی‌پروری، منجر به توجه بیشتر بخش تولید، به تأمین غذای جوامع انسانی از مزارع پرورش آبزیان شد. یکی از این فناوری‌ها که امروزه اهمیت قابل‌توجهی در صنعت آبزی‌پروری یافته، سیستم بازچرخشی[1] آبزی‌پروری (RAS) است که با مصرف منابع محدودی قابلیت تولید بیشتر آبزیان را فراهم ساخته و پایداری محیط را نیز تضمین می کند. . اساس این فناوری برپایه‌ی استفاده از مجموعه ای از سیستم های فیلتراسیون زیستی و مکانیکی برای بازیافت مجدد پساب مزارع پرورش ماهی از طریق مخازن جانبی است و بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی در مزارع از طریق این مخازن دوباره در سیستم تولید به گردش در می آید.. این سیستم همچنین می تواند از طریق اقداماتی برای جداسازی کامل محیط پرورش از محیط خارجی، سطح بالایی از امنیت زیستی را برای ماهیان پرورشی فراهم کند (Sugita et al., 2005). با در نظر گرفتن همه این موارد، نوشتار حاضر با هدف بیان مزایا، چالش ها و فرصت های آینده این فناوری سبز و نوین می باشد

۲. طراحی سیستم های مداربسته آبزی پروری

اصل اساسی در سیستم های مداربسته، چرخش مجدد جریان آب در مزارع پرورش ماهی از طریق بازچرخش آب در استخرها یا مخازن جانبی است. در این گردش مجدد، تمام آب یا بخشی از آن از مزرعه تخلیه شده و پس از تصفیه مجددا به سیستم پرورش ماهی بازگردانده می شود. یکی از پارامترهای کلیدی طراحی سیستم های مداربسته، نسبت آب بازیافتی به پساب (یعنی درصد آب بازیافت شده در آب ورودی به مخازن ماهی) است. یک سیستم مداربسته شامل چندین بخش کاربردی اصلی است: ۱. مخزن رشد، ۲. مخزن دستگاه حذف ذرات، ۳. فیلتر زیستی، ۴. بخش اکسیژن با هوادهی لوله U و ۵. پمپ گردش آب (شکل ۱). بسته به نوع گونه ماهی که باید پرورش داده شود، یک سیستم ترموستات برای نگهداری بهینه دمای آب باید نصب شود. به منظور کاهش بارهای آلی و باکتریایی نیز، از استریلیزاسیون با ازن و اشعه فرابنفش استفاده می شود.



شکل ۱. شکل شماتیک یک سیستم مداربسته پرورش ماهی

۳. مزایای سیستم های مداربسته آبزی پروری

مزیت اصلی RAS این است که می تواند هزینه های عملیاتی مستقیم خوراک، کنترل شکارچیان و انگل ها را کاهش دهد و به طور بالقوه وجود انگل ها را در آب مخازن پرورش محدود کند. علاوه بر این، RAS وابستگی سیستم پرورشی به آنتی‌بیوتیک‌ها را کاهش می‌دهد و باعث ایجاد مزیت بازاریابی بیشتر برای غذای دریایی ایمن و با کیفیت بالاتر می‌گردد.

[1] RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS

سیستم RAS قابل استفاده برای پرورش طیف وسیعی از گونه‌های آبزی، بدون توجه به نیازهای دمایی است و همچنین تولید امن گونه‌های غیر بومی را امکان‌پذیر می‌سازد. شرایط محیطی بهینه در سیستم های مداربسته برای پرورش برخی از گونه‌های دریایی با ارزش اقتصادی بالا، باعث افزایش چشمگیر ضریب تبدیل غذایی(FCR) می‌شود که سبب می‌گردد در ۵۰ درصد زمان لازم برای پرورش همان‌گونه در قفس‌های دریایی، به اندازه ی مناسب برای عرضه به بازار دست یابند. با توجه به کنترل شدید شرایط در این سیستم ها، شرایط کشت مناسب از نظر اپتیمم جریان آب، تراکم ذخایر و حفظ تعادل فیزیولوژیکی مطلوب ماهی فراهم می گردد. در سیستم RAS، حذف ضایعات متابولیک ماهی (به ویژه مدفوع، آمونیاک و دی اکسید کربن) با استفاده از فیلترهای مکانیکی و زیستی تسهیل شده و ضایعات خوراک و محصولات حاصل از تجزیه پسماند (ترکیبات آلی جامد و محلول) و حفظ دما و پارامترهای شیمیایی آب در محدوده قابل قبول و سازگار با محیط زیست می باشد(Murray et al., 2014)(۵). سیستم های مداربسته همچنین می توانند میزان تطبیق پذیری صنایع آبزی پروری را با نقشه های آمایش زمین در برنامه ریزی توسعه، از نظر مکان برای احداث مزارع پرورشی، نزدیکی به بازار و ساخت و ساز در سایت های صنعتی و تجاری افزایش دهد. با این حال، این سیستم ها هنوز باید در مجاورت منابع آب منبع راه اندازی شوند و در احداث آنها باید علاوه بر کیفیت منابع آب در دسترس، به چشم انداز محلی نیز توجه شود، زیرا مزارع RAS شبیه ساختمان های صنعتی هستند.

۴. چالش های فناوری مداربسته آبزی پروری

فقدان تخصص فنی و تجربه کافی در استفاده از سیستم مداربسته آبزی پروری یکی از نگرانی های اصلی برای تولید پایدار در صنعت آبزی پروری است (جدول ۱). متخصصان آبزی پروری در قفس یا مزارع سنتی لزوماً از دانش کافی برای راه اندازی RAS در مقیاس تجاری با توجه به متغیرهای کیفیت آب که نیاز به نظارت ۲۴ ساعته و برخط دارند، برخوردار نیستند. بازدهی اقتصادی اجرای یک پروژه RAS اغلب بر اساس فرضیات و متغیرهای مربوط به قیمت مورد انتظار بازار، امکان استفاده از جریان پساب، کیفیت محصول، تراکم بهینه و حداکثر تولید قابل‌استحصال، هزینه‌های انرژی و هزینه‌های مربوط به استهلاک سیستم تعیین می‌گردد. مثلا حفظ دمای بهینه آب برای گونه‌هایی مانند ماهی باس یا ماهی سیم، بر خلاف گونه‌هایی مانند سوف یا کفشک ماهی، در مناطق سردسیر به انرژی کمتری نیاز دارد، مشروط بر اینکه ساختمان‌های مزرعه پرورشی به درستی عایق‌بندی شوند (Moestrup et al., 2014). تولید یک گونه اقتصادی در این سیستم‌ها باید از نظر هزینه بتواند با همان محصول به صورت پرورشی در سیستم سنتی یا از طریق واردات رقابت کند.

۵. امنیت زیستی[1] و شیوع بیماری در سیستم های مداربسته آبزی پروری

امنیت زیستی عبارت است از محافظت موجودات زنده در برابر اجرام عفونی و در مزارع آبزی پروری به معنی حفاظت ماهیان در برابر عوامل عفونی (پاتوژن‌ها) شامل ویروس، باکتری، قارچ و انگل است و برای طراحی برنامه موثر آن نیاز به دانش پرورش آبزیان و مدیریت مزرعه و راه‌های انتقال بیماری‌ها می‌باشد .هدف اول برنامه امنیت زیستی، جلوگیری از ورود عوامل پاتوژن به محیط مزرعه است. یکی از مزایای اولیه فناوری سیتم های مداربسته این است که فرصتی را برای پرورش دهندگان فراهم می‌کند تا شیوع بیماری ها را کاهش دهد و در واقع برخی از بیماری‌ها را در مزارع آبزی‌پروری به‌طور کامل حذف کند. با این حال، در حالی‌که RAS می‌تواند شرایط بهینه را برای پرورش ماهی ایجاد کند، اجرای نامناسب این سیستم ها ممکن است به طور ناخواسته شرایط را برای شیوع بیماری یا تکثیر پاتوژن‌های فرصت‌طلب فراهم کند (Ebeling & Timmons , 2010). هنگامی که عوامل بیماری زا وارد RAS شدند، تأثیر بالقوه آنها بر استوک پرورشی می تواند به شدت تحت تأثیر کیفیت طراحی سیستم باشد، اما دانش و تجربه مدیر اجرای طرح مداربسته نیز به همان اندازه مهم است. نتایج ارزیابی که سال ۲۰۰۹ از مزارع مدار بسته پرورش ماهی قزل آلای به عمل آمد نشان داد که میزان رسوب دهی ضایعات بسیار بالا (۶۰٪) و متغیر است؛ زیرا مواد جامد معلق باقی مانده در سیستم به گردش در می آیند تا تجزیه می شوند و این امر منجر به تشکیل مناطق رسوبی در سایر بخش های سیستم مداربسته و کاهش کیفیت آب می شود. این مطالعه همچنین نشان داد راندمان

[1] Biosecurity

بیوفیلتراسیون نیز به دلیل عدم کنترل دما، متغیر است. وجود مواد جامد معلق بیش از حد در آب، ممکن است چرخه N_2 را مختل کند و مستقیماً منجر به بروز سمیت نیتریت و مرگ و میر گسترده در مزرعه شود(Schwartz et al., 2000). تجمع مواد مغذی و مواد آلی معلق در آب حاصل از پسماند خوراک و مدفوع ماهیان می‌تواند محیطی مساعد برای طیف متنوعی از باکتری‌ها، تک یاخته‌ها، میکرومتازواها، داینوفلاژل‌ها و قارچ‌های بیماریزا ایجاد کند که می‌توانند کیفیت آب و متعاقباً راندمان سیستم پرورش را کاهش دهند(Moestrup et al., 2014). شایع ترین انگل ها درسیستم مداربسته چندین گونه تک یاخته مژه دار هستند، به عنوان مثال. *Trichodina* spp.، *Apiosoma* sp.، *Ambiphrya* sp.، *Epistylis* sp.، *Chilodonella piscicola* و *Icthyobodo necator*. سایر انگل های پیچیده تر در مزارع پرورش ماهی قزل آلا عبارتند از *Spironucleus salmonis* (Diplomonadida)، *Gyrodactylus derjavinoides* (کرم پهن مونوژنه آ) و *Displostomum spathaceum* (دی‌ژنه‌آ). Jørgensen و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که این انگل ها از طریق بچه ماهیان انگشت قد تهیه شده از حوضچه های خاکی سنتی به مزارع RAS وارد شدند. در دانمارک و اروپا، در مزارع مختلف RAS آلوده به *Luciella masanensis*، با وجود تصفیه آب با اسید پراستیک و کلرامینT، مرگ و میر ماهی به طور چشمگیری افزایش یافت.

برخی از گونه‌های جلبکی مستعد شکوفایی مضر مستقیماً انگلی هستند، در حالی که گونه‌های دیگر می‌توانند از طریق انتشار سموم مضر در RAS یا در منابع آب سیستم، روی ذخایر آبزیان پرورشی تأثیر بگذارند. تنوع شیمیایی و ساختاری گسترده در سموم جلبکی، همراه با تفاوت در قدرت ذاتی و قابلیت آنها در تبدیلات زیستی[1]، چالش های بسیاری را در تشخیص این ترکیبات به دنبال دارد (Yanong, 2004). فناوری که قادر به تشخیص HAB[2] ها یا محصولات سمی باشد، یکی از کلیدهای کلیدهای ضروری برای توسعه سیستم های مدار بسته آبزی پروری است، که پرورش‌دهندگان را قادر می‌سازد زیست‌توده بالایی از آبزیان را در تراکم‌های اقتصادی تولید کنند. علاوه بر این، تصفیه آب خام قبل از ورود به تاسیسات RAS یک جزء حیاتی از طراحی RAS در مزارعیست که بالقوه در معرض وقوع شکوفایی جلبکی مضر هستند.

جدول ۱. پارامترهای اصلی برای طراحی سیتم های مداربسته آبزی پروری(۵)

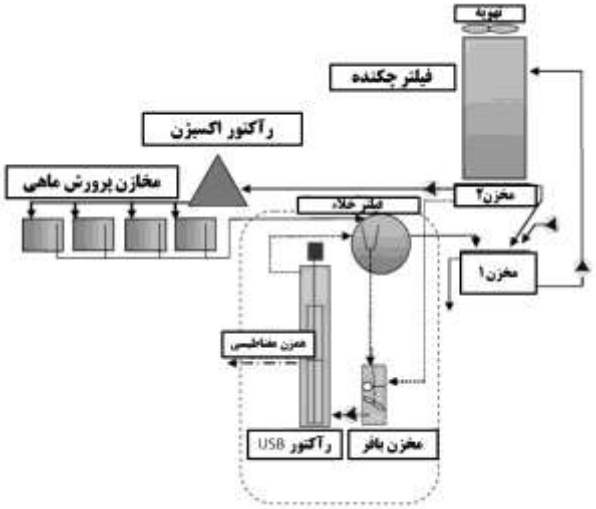
پارامتر	توضیحات
شوری	این به نیازهای گونه بستگی دارد، اما سیستم های دریایی ذاتاً شیمی آب پیچیده تر و بیوفیلتراسیون کارآمدتری دارند.
زیست توده و نرخ خوراک	اطلاعات در مورد تغییرات زیست توده و مقدار خوراک وارد شده به سیستم در هر روز به طور کلی مهمترین عامل برای ارزیابی سیستم است.
تراکم ذخایر (استوک) ماهی	این پارامتر بسیار به نوع و اندازه گونه های انتخاب شده، پارامترهای کیفیت آب، ابعاد مخزن و شاید دینامیک جریان آب بستگی دارد. تراکم بالاتر استوک به طور کلی به معنی استفاده کارآمدتر از حجم مخزن و امکانات کلی سیستم آبزی پروری است.
برنامه تولید	استفاده از پروتکل های متعدد در سیستم پرورشی شامل برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری و برداشت در RAS به منظور بهینه‌سازی استفاده از منابع و حفظ زیست توده پایدار است.
نرخ جریان آب	این پارامتر باید متناسب با زیست توده محاسبه شود که برای تأمین یک منبع ثابت آب در دقیقه به ازای هر کیلوگرم از استوک(ماهی) است. در نظر گرفتن سرعت آب در رابطه با طول بدن ماهی می تواند یک پارامتر مفید در طراحی سیستم باشد.
سیستم تغذیه	این پارامتر بر اساس حجم و نرخ خوراک مورد نیاز تعیین می گردد
امنیت زیستی	یک ارزیابی خطر باید انجام شود که عواملی مانند گونه‌ها، عوامل بیماری‌زای بالقوه، حساسیت گونه پرورشی به بیماری، محل و مسیرهای احتمالی آلودگی را دربرگیرد. این پارامتر برای تصمیم گیری در مورد گندزدایی و سایر اقدامات ایمنی زیستی در طراحی سیستم، ضروری است.
اهداف کیفیت آب	پارامترهای معمولی شامل جامدات معلق، اکسیژن محلول و دی اکسید کربن، آمونیاک، نیتریت و نیترات، pH ،

[1] Biotransformation
[2] Harmful Algal Blooms

	شوری و دما، باید در مرحله طراحی تنظیم شوند تا به راه اندازی الزامات عملکرد بهینه تجهیزات تصفیه درسیستم کمک کنند.
نظارت و کنترل	الزامات پایش سیستم پاسخ مناسب به وقوع شرایط خارج از انتظار بر اساس طراحی معیارها و اهداف تعیین شده برای کیفیت آب، همراه با ارزیابی خطر نقاط احتمالی خرابی سیستم، از پارامترهای اصلی در طراحی سیستم های مداربسته آبزی پروری است.
تصفیه و دفع زباله	اصلی ترین ضایعات دفعی سیستم مداربسته شامل مواد جامد آلی است که اغلب قبل از دفع نیاز به آبگیری و سایر مراحل تصفیه دارند.

۶. پیشرفت های نوین در فناوری سیستم های مداربسته آبزی پروری

در سیستم های مداربسته سنتی، عمدتاً از فیلترهای حذف مکانیکی ضایعات و فیلترهای زیستی برای تصفیه پساب استفاده می‌شود که تأثیر زیست محیطی کمتری (ایجاد پرغذایی[1] در بوم سامانه های آبی طبیعی) نسبت به سیستم‌های جریان دارد. پیشرفت های اخیر در RAS مانند استفاده از راکتورهای نیترات زدایی، فن آوری های غلیظ کننده ی لجن و تصفیه با گاز ازن، منجر به حداقل استفاده از منابع آب، کمترین تخلیه ضایعات و حداکثر صرفه جویی درمصرف انرژی می شود. علاوه بر این، آب تخلیه شده را می توان به راحتی مجدداً به عنوان کود در صنایع کشاورزی سازگار با محیط زیست استفاده کرد (شکل۲). یکی دیگر از پیشرفت های سیستم مداربسته پرورش، استفاده از فناوری های تغلیظ لجن برای کاهش حجم پسماندهای جامد در سیستم های مداربسته آبزی پروری است. لجن حاصل از ته نشینی ثانویه معمولا دارای ۱ تا ۲ درصد جامدات است. با استفاده از تغلیظ ثقلی لجن، این میزان به ۴ تا ۵ درصد افزایش یافته و به این ترتیب حجم لجن کاهش می یابد. بنابراین انتقال و دفع لجن به تجهیزات کوچکتری نیازمند است. فنآوری های تغلیظ لجن شامل سیستم‌های تسمه-فیلتر[2] (بِلت یا تسمه، نواری پلاستیکی و دارای منافذ می باشد که بر روی غلتک حرکت می کند) و فیلترهای کیسه ای از الیاف مصنوعی یا سیلیکون رابر است. استفاده از فیلترهای کیسه ای پس از آبگیری به مدت یک هفته، منجر به تبدیل ضایعات جامد به ماده خشک تا ۱۰ درصد حجم اولیه می شود. اگرچه این فرآیند نسبت به RAS سنتی گران‌تر است، اما مزیت حذف قابل‌توجه فسفر از پساب‌های آبزی پروری را دارد که منجر به تولید پایدار آبزی پروری می‌شود (Rishel & Ebling, 2006).



شکل۲. شکل شماتیک یک سیستم مداربسته نوین مجهز به راکتور نیترات زدایی. جریان آب از مخازن پرورش ماهی به فیلتر خلاء- مخزن۱- فیلتر چکنده-مخزن ۲ عبور کرده و مجددا به مخزن پرورش ماهی بازمیگردد. یک جریان موازی نیز در راکتور نیترات زدایی که تنها از کربن مدفوع ماهیان به عنوان منبع انرژی استفاده میکند، از فیلتر خلاء به مخزن بافر - راکتور نیترات زدایی (USB) رفته و به فیلتر خلاء باز میگردد.

[1] Eutrophication
[2] Belt-Filter

نرخ جایگزینی آب در سیستم های مداربسته آبزی پروری رایج سنتی ۱-۰/۱ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم غذای ماهی می باشد (Eding & Kamstra, 2002). در سالهای اخیر، استفاده از راکتورهای نیترات زدایی لجن با موفقیت کاهش نیاز به جایگزینی آب در سیستم های مداربسته همراه بوده است. این راکتورهای لجن با جریان بالارونده (صعودی)[1] از نظر ماهیت بدون اکسیژن و با ضایعات آلی موجود در مدفوع و پسماند ذرات غذایی کار می کنند، که این مواد توسط باکتری های نیترات زدای موجود در بستر لجن هضم می شوند. ضایعات آلی و بیوفلاک ها (توده های باکتریایی) از پایین وارد راکتور می شوند و این رآکتورها به گونه ای طراحی شده اند که سرعت جریان به سمت بالا کمتر از سرعت ته نشینی برای تشکیل بستر لجن در بخش پایینی باشد. در مقایسه با سیستم های مداربسته سنتی، این فناوری پیشرفته، مصرف آب، میزان NO_3 و تولید ضایعات آلی در آب را کاهش می‌دهد، قلیاییت آب را افزایش داده و یک pH محیطی خنثی برای پرورش ماهی فراهم میکند. علاوه بر این در یک مطالعه ی مقایسه ای (جدول ۲) مشخص شد که، در سیستم های مداربسته مجهز به فناوری نیترات زدایی، هزینه تولید در هرکیلوگرم ماهی برداشت شده، تقریباً ۱۰٪ کمتر از سیستم های RAS سنتی بوده است (Eding et al., 2009). استفاده ی موفقیت‌آمیز از ترکیب دو روش استفاده از گاز ازن و اشعه فرابنفش، برای کنترل کامل تعداد باکتری های هتروتروف و کلی فرم در سیستم های مداربسته مبتنی بر آب شیرین در مطالعات متعددی تأیید شده است (Sharrer & Summerfelt, 2003).

جدول ۲. مقایسه شاخص های پایداری زیست محیطی برای یک مزرعه ی پرورش پرتراکم (۱۰۰۰ تن در سال) ماهی تیلاپیا با سیستم مداربسته سنتی و سیستم مداربسته مجهز به فناوری نیترات زدایی(Eding et al., 2009).

پارامترهای مقایسه شده	سیستم مداربسته سنتی	سیستم مداربسته مجهز به راکتور نیترات زدایی
استفاده از منابع		
بچه ماهی انگشت قد (Kg)	۱/۲	۱/۲
غذا (Kg/Kg)	۱/۲۲	۱/۲۲
الکتریسیتی(kWh/kg)	۱/۸	۲/۲
آب (L/kg)	۲۳۸	۳۸
بیوکربنات (g/kg)	۲۵۲	۱۰۷
تخلیه پسماند		
N_2 جامد (g/kg)	۸/۵	۲/۶
N_2 محلول (g/kg)	۳۷/۴	۵/۹
P جامد (g/kg)	۴/۵	۷/۲
P محلول (g/kg)	۳/۸	۱/۳
COD جامد (g/kg)	۱۸۹	۸۴
COD محلول (g/kg)	۴۰	۹
TOD جامد (g/kg)	۲۲۷	۹۵
TOD محلول (g/kg)	۴۸	۱۱
TDS (g/kg)	۶۲	۲۸

۷. رویکرد نوین "پرورش یکپارچه[2]" در سیستم های مداربسته آبزی پروری

[1] Upflow Sludge Reactors
[2] "Integrated" RAS Culture

اخیرا، استفاده از تالاب ها و حوضچه های پرورش جلبک به عنوان واحد تصفیه آب در کنار سیستم های مداربسته آبزی پروری مورد توجه قرار گرفته است. پساب ها و پسماندهای آلی آزاد شده از RAS در مقایسه با زباله های خانگی و شهری غلظت کمتری دارند و تالاب های دارای پوشش گیاهی، خاک و مجموعه های میکروبی مرتبط با آنها می توانند برای تصفیه این پساب ها با تمرکز در یک محدوده ی خاص مورد استفاده قرار گیرند. گزارش شده است که انواعی از تالاب های افقی زیرسطحی به طور گسترده در آبزی پروری استفاده می شود و می تواند مقدار BOD و پسماندهای آلی را به طور مؤثری کاهش دهد. تالاب های مصنوعی که به صورت عمودی ساخته می شوند نیز قادرند با چرخش عمودی آب سبب افزایش راندمان حذف نیتروژن در فرایند نیترات زدایی از پساب شوند. گونه های گیاهی موجود در تالاب ها به حذف مواد آلی وN_2 کمک می کنند در حالی که رسوبات به حذف فسفر کمک می کنند (Cheng et al., 2009). مزیت اصلی پرورش یکپارچه شامل افزایش تولید ماهی در مترمکعب و کاهش بیشتر ضایعات آلی است. نتایج یک مطالعه نشان می دهد که ٪۶۴ ذرات معلق، ٪۹۲ NO_2 و ٪۸۱ NO_3 موجود در پساب سیستم مداربسته، با ساخت تالاب افقی زیرسطحی توأم با فیلتراسیون حذف شدند (Sindilariu et al., 2009). تصفیه آب مبتنی بر ریزجلبک نیز از روش هایی است که در رویکرد آبزی پروری یکپارچه، برای حذف COD و BOD، مواد مغذی، فلزات سنگین و پاتوژن ها و هضم زیست توده جلبکی –باکتریایی به صورت بی هوازی استفاده می شود (Muñoz & Guieysse, 2006). در فرانسه، از ترکیب حوضچه های جلبکی – برای تصفیه پساب ثانویه به منظور کاهش تخلیه مواد مغذی از سیستم- با سیستم مداربسته در پرورش ماهی باس دریایی استفاده شد و مشاهده شد که استفاده از آب تصفیه شده در حوضچه های جلبکی در سیستم مداربسته آبزی پروری سبب افزایش درصد بقای ماهیان نسبت به سیستم مداربسته سنتی دارد (Metaxa et al., 2006).

۸. چشم انداز آینده در سیستم های مداربسته آبزی پروری

تغییرات آب و هوایی، کمبود آب شیرین و شیوع ناگهانی بیماری‌ها، مسائلی هستند که تهدیدی جدی برای صنعت آبزی پروری آینده به شمار می‌روند. جمعیت جهان با سرعت ۱/۱ درصد در سال در حال رشد است و انتظار می‌رود تا پایان سال ۲۰۳۰ به ۸/۵ میلیارد نفر برسد. فائو افزایش ۱/۸ درصدی در مصرف سرانه ماهی به عنوان خوراک انسانی تا سال ۲۰۳۰ را پیش بینی کرده است. همچنین انتظار می‌رود که میزان صید دریایی در طول دوره زمانی به دلیل صید بیش از حد کاهش یابد. جنبه اقتصادی اجرای سیستم های مداربسته آبزی پروری اصلی ترین پارامتری است که پیش از اجرای آن در مقیاس تجاری باید مورد توجه قرار گیرد. طبق مطالعه انجام شده توسط Badiola و همکاران.(۲۰۱۲)، بیش از هشت سال طول می کشد تا بازگشت سرمایه در بیش از ۸۰ درصد موارد صورت پذیرد (Badiola et al., 2012). تلاش برای به حداقل رساندن هزینه تولید و هزینه های عملیاتی برای ایجاد انگیزه اقتصادی در استفاده از سیستم های مداربسته آبزی پروری مورد نیاز است. استفاده موثر از محصولات با ارزش افزوده و توسعه منابع انرژی جدید جایگزین انرژی های فسیلی، ایده های کلیدی در مواجهه با چالش های آینده در این سیستم ها و ایجاد اقتصاد آبی پایدار هستند.

۹. نتیجه گیری

علیرغم چندین مزیت، این سیستم بیشتر به دلیل عدم تخصص، سرمایه گذاری اولیه بالاتر و هزینه عملیاتی بالای استفاده از فیلترهای زیستی، هنوز به عنوان یک فناوری سبز جایگزین روش های سنتی آبزی پروری، توسعه کافی نیافته است. استفاده از سیستم‌های RAS اغلب، محدود به کشورهای توسعه‌یافته است که در حال حاضر برای مدیریت تولید مولدین یا نوزادان ماهی استفاده می شود. تحقیقات برای به حداقل رساندن هزینه عملیاتی و یافتن گونه های مناسب برای تولید توسط دانشمندان در حال انجام است. برای درک سیستم های پرورش یکپارچه و تعامل اجزای مختلف این سیستم ها برای رویارویی با چالش‌های آینده، تحقیقات کامل و اطلاعات بیشتری مورد نیاز است.

مراجع

1. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818.
2. Sugita, H., Nakamura, H., & Shimada, T. (2005). Microbial communities associated with filter materials in recirculating aquaculture systems of freshwater fish. *Aquaculture*, 243(1-4), 403-409.
3. Murray, F., Bostock, J., & Fletcher, D. (2014). Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application.
4. Moestrup, Ø., Hansen, G., Daugbjerg, N., Lundholm, N., Overton, J., Vestergård, M., ... & Hansen, P. J. (2014). The dinoflagellates Pfiesteria shumwayae and Luciella masanensis cause fish kills in recirculation fish farms in Denmark. *Harmful Algae*, 32, 33-39.
5. Jørgensen, T. R., Larsen, T. B., & Buchmann, K. (2009). Parasite infections in recirculated rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) farms. *Aquaculture*, 289(1-2), 91-94.
6. Yanong, R. P. (2003). Fish health management considerations in recirculating aquaculture systems–part 2: pathogens. *Circular*, 121, 1-8.
7. Yoshimizu, M., Takizawa, H., & Kimura, T. (1986). UV susceptibility of some fish pathogenic viruses. *Fish Pathology*, 21(1), 47-52.
8. Eding, E., Verdegem, M., Martins, C., Schlaman, G., Heinsbroek, L., Laarhoven, B., ... & Bierbooms, V. (2009). Tilapia farming using recirculating aquaculture systems (RAS)–case study in the Netherlands. Handbook for Sustainable Aquaculture. Project no. COLL-CT-2006-030384. Retrieved June 22, 2009, from http://www. sustainaqua. org.
9. Sharrer, M. J., & Summerfelt, S. T. (2007). Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 37(2), 180-191.
10. Cheng, X. Y., Chen, W. Y., Gu, B. H., Liu, X. C., Chen, F., Chen, Z. H., ... & Chen, Y. J. (2009). Morphology, ecology, and contaminant removal efficiency of eight wetland plants with differing root systems. *Hydrobiologia*, 623, 77-85.
11. Sindilariu, P. D., Brinker, A., & Reiter, R. (2009). Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. *Aquacultural Engineering*, 41(2), 127-135.
12. Muñoz, R., & Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. *Water research*, 40(15), 2799-2815.
13. Metaxa, E., Deviller, G., Pagand, P., Alliaume, C., Casellas, C., & Blancheton, J. P. (2006). High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system: Water purification and fish health. *Aquaculture*, 252(1), 92-101.
14. Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
15. Summerfelt, S. T., Sharrer, M. J., Tsukuda, S. M., & Gearheart, M. (2009). Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation. *Aquacultural Engineering*, 40(1), 17-27.

الزامات اخلاقی نگارش مقاله

نویسنده/ ارسال کننده مقاله خانم مریم آخوندیان متعهد می‌شود:

– مقاله ارسالی حاصل کار پژوهشی ایشان (و همکاران) بوده و در مواردی که از دستاوردهای تحقیقاتی دیگران استفاده شده، مطابق ضوابط و رویه معمول، مشخصات منابع مورد استفاده درج شده است.

– مقاله ارسالی (یا ترجمه آن) و مقاله‌ای با همپوشانی قابل توجه با این مقاله قبلاً در هیچ مجله و یا کنفرانسی ارائه نشده و به طور همزمان نیز در حال ارزیابی در مجله یا کنفرانس دیگری نیست.

– همه نویسندگان مقاله از کلیه محتویات علمی و نیز ترتیب قرارگیری نام و مشخصات و وابستگی شغلی خود در مقاله آگاهی و رضایت کامل دارند.

– چنانچه هر زمان خلاف موارد فوق و یا بروز هرگونه تقلب یا تخلف پژوهشی در رابطه با این مقاله اثبات شود، عواقب ناشی از آن متوجه نویسنده مقاله است و دبیرخانه کنفرانس مجاز است با ایشان (و همکاران) مطابق با ضوابط و مقررات رفتار نموده و هیچ‌گونه ادعایی قابل قبول نخواهد بود.

محل امضا