

سیستم‌های آبی‌پروری چرخشی

Recirculating aquaculture systems (RAS)

**دکتر رضا اسدی مدیر کل دفتر بهداشت و مدیریت بیماری‌های آبزیان
سازمان دامپزشکی کشور**

سیستم‌های آبی‌پروری چرخشی (RAS) تأسیساتی مستقر در خشکی هستند. در این سیستم، آب به طور مداوم تصفیه و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد و محیطی کنترل‌شده برای انواع گونه‌های آبی فراهم می‌کند. سیستم RAS در مقایسه با سیستم‌های سنتی روباز یا جریانی، مزایایی از جمله کاهش شدید مصرف آب، افزایش امنیت زیستی و حفظ تراکم بالای ذخیره‌سازی برای بهره‌وری بیشتر دارد. در استخرها یا سیستم‌های قفسی معمولی، تقریباً ۷۹ درصد از نیتروژن و ۸۳ درصد از فسفر خوراک به محیط اطراف منتقل می‌شود و این می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای باعث اتروفیکاسیون (ورود بیش از حد مواد مغذی مثل نیتروژن و فسفر به یک اکوسیستم آبی) و در نتیجه رشد انفجاری جلبک‌ها و کاهش شدید اکسیژن آب و زمینه بروز آلودگی در آبزیان گردد ولی در سیستم خود چرخشی فضولات، مواد دفعی و ضایعات در محل جمع‌آوری و تصفیه شده، در نتیجه تخلیه به محیط زیست به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

سیستم های آبی پرورشی چرخشی با افزایش تقاضای جهانی برای غذاهای دریایی و نیاز روزافزون به آبی پروری پایدار همسو است. از طرفی می تواند به تأمین تقاضاهای آینده ماهی دریک محدوده زیست محیطی ایمن کمک کند. پذیرش جهانی سیستم های چرخشی، به ویژه برای گونه های با ارزش بالا و در مناطقی با منابع آبی محدود و یا مقررات زیست محیطی سختگیرانه در حال افزایش است. در اروپا، تولید ناشی از سیستم های آبی پروری چرخشی از دهه ۱۹۸۰ تا اواسط دهه ۲۰۱۰ به سرعت گسترش یافت و در سال ۲۰۱۴ به حدود ۶۲۷۰۰ تن و در سال ۲۰۲۳ به حدود ۱/۱ میلیون تن رسید که نشان دهنده رشد پایدار این بخش است، اگرچه ارقام مربوط به سیستم چرخشی برای سال ۲۰۲۵ هنوز به طور کامل گزارش نشده است ولی بنظر میاد علی رغم افزایش تولید در واحد سطح، سود آن چندان زیاد نبوده است و بدلیل هزینه های بالای سرمایه و عملیات، جذب جهانی آن در بین کشورها هنوز محدود می باشد و این یک چالش اقتصادی بزرگ برای اجرای گسترده تر از این سیستم محسوب می شود.

با این وجود، در حال حاضر اقدام برای سیستم های چرخشی با هدف تولید و امنیت زیستی پایدار و با در نظر گرفتن بازارهای مصرف و صرف نظر از شرایط آب و هوا یا مکان انجام می شود. این موضوع نشان می دهد که فناوری RAS با تولید کنترل شده حتی در آب و هوای معتدل، دامنه جغرافیایی آبی پروری را گسترش می دهد. البته سیستم آبی پروری چرخشی همه چیز نیست و این سیستم همچنان ضایعات یا پساب جانبی می تواند تولید کند که نیاز به مدیریت مناسب دارد.

علی رغم اینکه تأسیسات مربوط به سیستم های آبی پروری چرخشی معمولاً گران است و هزینه های سرمایه گذاری بالایی نیاز دارد و از طرفی برای کنترل و مدیریت بایستی از نیروی کار ماهر استفاده کرد ولی در جهانی با جمعیت رو به رشد و نیازمند به افزایش تولید مواد غذایی و فراوانی مصرف کنندگان برای محصولات آبیان، تقاضا برای سیستم های آبی پروری چرخشی رو به افزایش است.

در یک بازتعریف دیگر می توان گفت سیستم های آبی پروری چرخشی (RAS) در آکواریوم های خانگی و همچنین برای تولید آبزیان با تبادل آب محدود و استفاده از بیوفیلتراسیون برای کاهش سمیت آمونیاک استفاده می شوند. البته انواع دیگر فیلتراسیون و کنترل های محیطی نیز برای حفظ کیفیت آب و فراهم کردن زیستگاه مناسب برای آبزیان در سیستم چرخشی ضروری هستند. برای حفظ کیفیت آب در عملیات پرورش متراکم، از مجموعه ای از فرآیندهای تصفیه استفاده می شود. این مراحل اغلب به ترتیب و پشت سر هم انجام می شوند. در ابتداء آب پس از خروج از مخزن نگهداری آبزیان از ذرات جامد پاکسازی، سپس وارد یک بیوفیلتر شده، بعد از آن فرآیند گاززدایی و اکسیژن رسانی انجام می شود. هر یک از این فرآیندها را می توان با استفاده از روش ها و تجهیزات مختلف انجام داد.

سیستم های چرخشی برای تبدیل آمونیاک دفع شده به نیترات، به بیوفیلتراسیون متکی هستند. آمونیاک یک محصول زائد متابولیسم ماهی است و غلظت های بالای آن برای اکثر ماهی ها آسیب رسان است باکتری های نیتریفیکاسیون، شیمیو اتوتروف هایی هستند که آمونیاک را به نیتريت (NO_2^-) و سپس نیترات (NO_3^-) تبدیل می کنند. این باکتری ها شامل باکتری های جنس های نیتروباکتر، نیتروکوکوس، نیتروspirilla و نیتروspina هستند. اگرچه نیتريت معمولاً به همان سرعتی که تولید می شود به نیترات تبدیل می شود ولی عدم اکسیداسیون بیولوژیکی نیتريت منجر به افزایش سطح نیتريت می شود و این می تواند برای ماهی سمی باشد. سطوح بالای نیتريت نشان دهنده شکست بیوفیلتر است. نیترات محصول نهایی نیتریفیکاسیون است و کمترین سمیت را در بین ترکیبات نیتروژن دارد.

حذف ذرات جامدات

علاوه بر تصفیه فضولات مایع دفع شده توسط ماهی، فضولات و ذرات جامد نیز باید پاکسازی شوند، حذف ذرات جامدات رشد باکتری ها، نیاز به اکسیژن و بروز بیماری را کاهش می دهد. ساده ترین روش برای حذف فضولات جامد، ایجاد حوضچه ته نشینی است که در آن سرعت نسبی

آب کم است و ذرات می‌توانند در کف مخزن ته‌نشین شوند البته این روش برای سیستم‌های چرخشی که از فضای کمی برخوردار هستند مناسب نمی‌باشد و حذف ذرات جامد در RAS معمولاً توسط یک فیلتر شنی یا فیلتر ذرات انجام می‌شود. روش رایج دیگر استفاده از یک فیلتر درام مکانیکی است که در آن آب از روی یک صفحه درام چرخان عبور می‌کند و به صورت دوره‌ای توسط نازل‌های اسپری تحت فشار تمیز می‌شود و پساب حاصل تصفیه یا به فاضلاب ارسال می‌شود.

اکسیژن رسانی

اکسیژن رسانی مجدد به آب سیستم، بخش مهمی برای دستیابی به تراکم تولید بالا است. آبریان برای متابولیسم غذا و رشد، به اکسیژن نیاز دارند. سطح اکسیژن محلول را می‌توان از طریق دو روش، هوادهی و اکسیژن رسانی افزایش داد. در هوادهی، هوا از طریق یک دستگاه که حباب‌های کوچکی در ستون آب ایجاد می‌کند، پمپ می‌شود و این منجر به ایجاد سطح بالایی از اکسیژن قابل حل در آب می‌شود. در اکسیژن رسانی مستقیم که روش بهتری است آب با پمپاژ اکسیژن خالص، اکسیژنه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه و بررسی نیاز اکسیژن وجود دارد و این نیاز باید با تجهیزات اکسیژن رسانی یا هوادهی برآورده شود

کنترل pH

pH باید به دقت و مستمر کنترل و پایش شود. در اولین مرحله نیتریفیکاسیون در بیوفیلتر، pH سیستم کاهش می‌یابد. نگه داشتن pH در محدوده مناسب (۵-۹ برای سیستم‌های آب شیرین) برای حفظ سلامت ماهی و بیوفیلتر بسیار مهم است. pH معمولاً با افزودن مواد قلیایی به شکل آهک (CaCO_3) یا هیدروکسید سدیم (NaOH) کنترل می‌شود. pH پایین منجر به سطوح بالای دی اکسید کربن محلول (CO_2) می‌شود که می‌تواند برای ماهی سمی باشد

کنترل دما

گونه‌های آب گرم مانند تیلاپیا و باراموندی آب ۲۴ درجه سانتیگراد یا گرمتر را ترجیح می‌دهند، در حالی که گونه‌های آب سرد مانند قزل‌آلا و ماهی آزاد دمای آب زیر ۱۶ درجه سانتیگراد را ترجیح می‌دهند. دما همچنین نقش مهمی در غلظت اکسیژن محلول (DO) ایفا می‌کند، به طوری که دمای بالاتر آب، مقادیر کمتری برای اشباع DO دارد. دما از طریق استفاده از بخاری‌های غوطه‌ور، پمپ‌های حرارتی، چیلرها و مبدل‌های حرارتی کنترل می‌شود. هر چهار مورد می‌توانند برای حفظ عملکرد سیستم در دمای مطلوب برای به حداکثر رساندن تولید ماهی مورد استفاده قرار گیرند.

امنیت زیستی

شیوع بیماری در ذخیره سازی با تراکم بالا که معمولاً در سیستم های آبی پروری چرخشی فشرده وجود دارد، بیشتر اتفاق می افتد . با رعایت اصول امنیت زیستی از جمله ایزوله کردن آب ، تجهیزات ، پرسنل به میزان بسیار زیادی از بروز بیماری می توان جلوگیری کرد همچنین با استفاده از اشعه ماوراء بنفش (UV) یا ازن، می توان تعداد ویروس ها و باکتری های موجود در آب سیستم را کاهش داد . این فرآیندها میزان شیوع بیماری ها را که معمولاً بر روی ماهی های تحت استرس رخ می دهند، کاهش می دهد

مزایای سیستم آبی پروری چرخشی:

- محیط کاملاً کنترل شده برای آبزیان - بهره وری بسیار زیاد آب - استفاده کارآمد از زمین -
- استراتژی مطلوب تغذیه - سورتینگ و برداشت آسان ماهی - افزایش چشمگیر امنیت زیستی -
- کنترل بیماری ها - حفاظت از محیط زیست - انعطاف پذیری مکان بطوریکه می توان دور از مناطق ساحلی و در خشکی و یا نزدیک به بازارها احداث نمود

محدودیت‌های سیستم آبی‌پروری چرخشی:

محدودیت‌هایی در رابطه با زیرساخت‌ها، خوراک و کارکنان وجود دارد از جمله :

نیاز به برق و انرژی مستمر - منبع آب خوب، ترجیحاً چاه - کیفیت خوب خوراک ، ترجیحاً جیره‌های اکستروود شده با پروتئین و چربی بالا با قابلیت هضم بالا - نیروی کار فنی ماهر که قادر به کار در محیطی با فناوری متوسط باشند

بطور خلاصه یک سیستم RAS معمولی شامل : حذف ذرات جامدات -فیلتراسیون بیولوژیکی -هوادهی و اکسیژن رسانی - سیستم‌های UV یا ازن - استفاده مجدد و جایگزینی آب (درصد کمی معمولاً ۵ تا ۱۰ درصد از آب روزانه جایگزین می‌شود تا محتوای مواد معدنی متعادل شود و کیفیت آب حفظ شود.) می باشد

مدیریت فضولات آبزیان در سیستم آبی‌پروری چرخشی

یکی از مهمترین جنبه‌های فناوری سیستم آبی‌پروری چرخشی، مدیریت مؤثر فضولات آبزیان است. فضولات جامد، از جمله مدفوع و غذای خورده نشده، باید به طور مداوم حذف شوند تا از افت کیفیت آب جلوگیری شود. تبدیل آمونیاک به نیترات یکی دیگر از عملکردهای حیاتی است که از طریق یک بیوفیلتر با نگهداری مناسب حاصل می‌شود. مدیریت صحیح ترکیبات نیتروژن، از جمله نیترات، نیتريت و آمونیاک، برای محافظت از سلامت ماهی و جلوگیری از تجمع سموم ضروری است.

سلامت ماهی و تراکم ذخیره‌سازی

از آنجا بیکه RAS در یک محیط آبی کنترل شده عمل می‌کند، امکان مدیریت دقیق تراکم ذخیره‌سازی، دمای آب و کنترل بیماری را فراهم می‌کند. سلامت ماهی به طور مداوم از طریق حسگرهای خودکار و بررسی‌های دستی پایش می‌شود. این شرایط باعث رشد سریع‌تر آبزیان گردیده و تلفات ناشی از شیوع بیماری‌ها را کاهش می‌دهد.

ملاحظات اقتصادی و گسترش سیستم آبی پروری چرخشی

گرچه مزارع RAS به سرمایه‌گذاری بالایی نیاز دارند لیکن مزایای اقتصادی بلندمدت آن شامل موارد زیر است :

- ۱- نزدیکی به بازارهای مصرف و کاهش هزینه‌های لجستیک.
- ۲- چرخه‌های تولید و حجم برداشت قابل پیش‌بینی.
- ۳- موقعیتیابی برتر بازار برای ماهی‌های تولیدی و پایدار از نظر زیست‌محیطی.

ادغام سیستم‌های اکواپونیک و چرخشی

در مدل‌های اقتصادی ، سیستم‌های آبی پروری چرخشی اغلب با فرایندها و سیستم‌های دیگری همانند سیستم اکواپونیک ترکیب می‌شوند.

در مدل‌های اکواپونیک، پرورش ماهی را با کشت هیدروپونیک گیاهان ترکیب می‌کنند و در این سیستم فضولات ناشی از ماهی بعنوان منبع اولیه مواد مغذی برای محصولات بوده لذا نیاز به کودهای مصنوعی کاهش می‌یابد. بنابراین ترکیب دو سیستم استفاده کلی از منابع و میزان پایداری را افزایش می‌دهد.

با توسعه مداوم، امنیت زیستی قوی و کاهش اثرات زیست‌محیطی، چنین سیستم‌هایی در حال تعریف مجدد آینده آبی پروری هستند.

یکی از هیجان‌انگیزترین روندها در تحقیقات اخیر سیستم آبی پروری چرخشی ، ادغام ریز جلبک‌ها و سایر موجودات زنده برای ایجاد سیستم‌های چند غذایی است که ضایعات را به عنوان ورودی برای تولید بیشتر بازیافت می‌کنند و هدف از آن ، ایجاد حلقه مواد مغذی با استفاده از ضایعات مشتق شده از ماهی مانند مواد مغذی معدنی، CO_2 و مواد آلی برای رشد جلبک یا گیاهان است و در نهایت می‌توان آنها را به عنوان خوراک، سوخت زیستی یا سایر محصولات ارزشمند برداشت کرد و همزمان کیفیت آب را از طریق اکسیژن‌رسانی و ... بهبود بخشید.

کاربردهای هوش مصنوعی در سیستم آبی پروری چرخشی

در حال حاضر هوش مصنوعی بخشی جدایی ناپذیر از سیستم های مدرن آبی پروری چرخشی بشمار می رود . با استفاده از فناوری هوش مصنوعی ، امکان پایش و نظارت بر رفتار آبزیان در زمان واقعی، بهینه سازی تغذیه، تنظیم کیفیت آب و تشخیص زودهنگام ناهنجاری های سیستم فراهم می گردد . از آنجاییکه سیستم آبی پروری چرخشی یک محیط بسته و بسیار قابل کنترل بوده لذا حجم زیادی از داده ها از حسگرها، دوربین ها و سایر دستگاه های پایش و مراقبت تولید می شود و این اطلاعات و داده ها برای کشاورزی هوشمند بسیار مناسب و ضروری می باشد .

چشم انداز آینده

موفقیت در نوآوری های آبی پروری با تأثیر آنها بر عملکرد تولید و سودآوری سنجیده می شود. شاخص های کلیدی شامل نرخ رشد، راندمان خوراک، بقاء و بازده اقتصادی هستند . تحقیقات روی RAS نشان می دهد که تغذیه دقیق و محیط های کنترل شده اغلب رشد را تسریع و چرخه های تولید را کوتاه می کنند

با وجود پیشرفت سریع در طراحی و مدیریت سیستم آبی پروری چرخشی ، چالش های متعددی همچنان باقی مانده است. برای تثبیت کامل RAS به عنوان یک مدل آبی پروری پایدار و رقابتی، باید به این موانع رسیدگی شود. محدودیت های فعلی را می توان در حوزه های فنی، اقتصادی و بیولوژیکی دسته بندی کرد. بایستی مهم ترین موانع و اولویت های تحقیق و توسعه آینده را شناسایی نمود.

امروزه ، آمار و اطلاعات ، پیشرفت های عمده ایی در سیستم های آبی پروری چرخشی (RAS) را نشان می دهند. پیشرفت های مهندسی در طراحی مخازن، هیدرودینامیک و فیلتراسیون کم مصرف، نوآوری های مدیریت مواد مغذی و پسماند ، کارایی را افزایش داده و امکان ذخیره سازی تراکم بالا را بدون به خطر انداختن سلامت و رفاه آبزیان فراهم می کند.