طراحی و ساخت رآکتور زیستی جهت احیاء آب مزارع پرورش ماهی در دستگاه‌های مداربسته

ساهره بروایه[۱]، مهدی سعادت‌فرد[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
ایمیل نویسنده: Sahereborvaye0@gmail.com
۲. استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
ایمیل نویسنده: saadatfardmahdi@gmail.com

چکیده

مصرف آبزیان به‌عنوان منبع مهم و باارزش غذایی بالا در تأمین پروتئین حیوانی موردنیاز انسان توصیه می‌شود. استفاده از این ظرفیت برای رفع نیاز جمعیت روزافزون از یک‌سو و محدود بودن منابع طبیعی و عرصه‌های کشاورزی، صنعت آبزی‌پروری در کشور را موردتوجه قرارداده است. از سال‌ها پیش آلودگی نیترات در آب‌وخاک از نگرانی‌های اساسی در مسائل زیست‌محیطی دنیا بوده است. برخی از ترکیبات زیان‌آور در دستگاه‌های پرورش آبزیان، ترکیبات نیتروژن دار، آمونیاک، نیتریت و یون آمونیوم هستند. ترکیبات حاوی نیتروژن رهاشده در محیط‌زیست می‌تواند سبب بروز مشکلات جدی مانند یوتریفیکاسیون رودخانه‌ای و موجب بروز بیماری خطرناکی به نام مت هموگلوبین و سایر اختلالات در سلامتی انسان شود. یکی از اهداف مهم تصفیه‌ی فاضلاب، حذف نیتروژن است که از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام می‌شود. البته روش‌های بیولوژیکی حذف نیتروژن مؤثرتر و اقتصادی‌ترند. روش‌های متداولی برای کنترل گاز آمونیاک و احیاء کننده‌ی زیستی در دستگاه‌های مکانیزه به کار می‌رود. به‌طور مثال می‌توان به پرورش ماهی در کانال‌ها، استخرها و حوضچه‌های ذخیره آب کشاورزی، پرورش ماهی به روش‌های (نیمه متراکم، متراکم، فوق متراکم)، دستگاه‌های متداول (باز) و دستگاه‌های مداربسته (RAS) اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: *آبزی‌پروری، ترکیبات نیتروژن دار، آمونیاک، احیاء کننده زیستی*

*نویسنده مسئول: saadatfardmahdi@gmail.com

طراحی و ساخت رآکتور زیستی جهت احیاء آب مزارع پرورش ماهی در دستگاه‌های مداربسته

مقدمه

ازجمله ترکیبات زیان‌آور در حوضچه‌های پرورش ماهی می‌توان به ترکیبات نیتروژن دار، به‌ویژه آمونیاک و نیتریت اشاره‌کرده. آمونیاک در اثر شکسته شدن پروتئین‌ها در آبزیان وارد محیط آب می‌شود [1]. آمونیاک به‌راحتی در آب حل می‌شود و به‌صورت رابطه (۱) با یون آمونیوم در تعادل است [10].

$$NH_3 + H_2O <=> NH_4^+ + OH^- \quad (۱)$$

نسبت این دو به pH و دمای آب بستگی دارد. یون آمونیوم علاوه بر سمی بودن، قادر است اکسیژن محلول آب‌های پذیرنده را پایین آورده وحی‌ات موجودات آبزی را به خطر اندازد [3]. گاز آمونیاک بیشترین سمیت را نسبت به یون آمونیوم برای ماهیان دارد. به‌طور مثال غلظت کشنده آمونیاک در مدت‌زمان ۲۴ ساعت برای ماهی قزل‌آلا ۲۵ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک کل و این مقدار برای ماهی کپور در مدت‌زمان ۲۴ ساعت، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک کل می‌باشد [4].

معرفی روش‌های پرورش آبزیان

پرورش ماهی در کانال‌ها، استخرها و حوضچه‌های ذخیره آب کشاورزی

محدودیت منابع آب و زمین‌های مناسب جهت احداث انواع استخرهای پرورش ماهیان گرم آبی و سرد آبی از یک‌سو و نیاز این مزارع به منابع مالی کلان و سرمایه‌گذاری زیاد برای آن‌ها از سوی دیگر، کارشناسان امور را بر آن داشته است که سایر منابع و پتانسیل‌های موجود را نیز در جهت تولید آبزیان بکار گیرند. با توجه به فصلی بودن فعالیت‌های کشاورزی این سیستم با محدودیت زمان دسترسی به آب مواجه بوده و حداکثر دوره پرورش آن ۵ الی ۶ ماه در سال می‌باشد.

مزایای مهم این سیستم عبارت است از:

_ استفاده بهینه از آب کشاورزی

_ استخرهای ذخیره که در آن‌ها ماهی پرورش داده می‌شود، کود ملایمی را برای زمین‌های کشاورزی تأمین می‌کنند

_ کمک به اقتصاد خانوار کشاورز

پرورش ماهی به روش نیمه متراکم، متراکم، فوق متراکم

روش نیمه متراکم

متداول‌ترین روش پرورش گرم آبیان در جهان، روش نیمه متراکم است. در این روش ۶۰ تا ۹۰ درصد غذا به‌صورت طبیعی و مابقی آن به‌صورت دستی تأمین می‌شود. تعداد بچه ماهی ۳۵۰۰ الی ۴۵۰۰ قطعه در هکتار و میزان برداشت بین ۳ الی ۶ تن می‌باشد. در این روش احتمال ابتلا به بیماری‌ها نسبت به روش متراکم بسیار کمتراست. پرورش ماهی در استخرهای گرم آبی شمال کشور، نمونه‌ای ازاین گونه سیستم‌ها می‌باشد.

روش متراکم

در این روش، تراکم بسیار بالا می‌باشد و جهت تولید در استخرهای کوچک‌تر انجام می‌گیرد. در روش متراکم ۵۰ الی ۶۰ درصد غذا به‌صورت طبیعی و مابقی به‌صورت دستی به استخر وارد می‌شود (دادن غذای دستی در این روش ضروری است). نیازمند به مدیریت دقیق‌تر نسبت به سایر سیستم‌ها می‌باشد و میزان برداشت در این روش حدود ۸ - ۵ تن در هکتار است.

روش فوق متراکم

در سیستم فوق متراکم، آب پس از عبور از حوضچه‌های پرورش ماهی طی فرآیندی تصفیه‌شده و مجدداً مورداستفاده قرار می‌گیرد. این سیستم معمولاً در مکان‌هایی که ازلحاظ تأمین منابع آبی و همچنین زمین محدودیت دارند، بکار برده می‌شود. در چنین سیستم‌هایی در هر ۵۰ مترمربع می‌توان انتظار نگهداری و پرورش ۲۵ تن ماهی را داشت.

دستگاه‌های باز

منظور از دستگاه‌های متداول (باز) آبزی‌پروری، مزارعی است که آب از یک‌سو واردشده و پس از استفاده توسط آبزیان مزرعه، از سوی دیگر خارج می‌گردد. در دستگاه‌های باز هیچ‌گونه کنترلی بر شرایط محیطی نداشته و از شرایط طبیعی برای پرورش تبعیت می‌کند (مانند طول روز، دمای آب‌وهوا، فشار جو، غلظت گازهای محلول در آب و سایر عوامل و برگ خریدهایی که به‌صورت طبیعی در طول زمان دچار تغییرات می‌شود).

دستگاه‌های مداربسته (RAS)[1]

سیستم آبزی‌پروری مداربسته (RAS) می‌تواند به‌عنوان سیستم آبزی‌پروری که مشتمل بر تصفیه و مصرف مجدد آب با کمتر از ۱۰٪ حجم کل آب جایگزین در هرروز، تعریف شود. یا سیستم آبزی‌پروری مداربسته به معنای استفاده مجدد از یک حجم آبی از طریق تصفیه مستمر و انتقال به موجودات پرورشی می‌باشد. به‌طورکلی سیستم آبزی‌پروری مداربسته شامل اجزای تصفیه مکانیکی یا بیولوژیکی، پمپ و مخازن دربرگیرنده می‌شود که ممکن است تعدادی از عناصر تصفیه آبی اضافی را در برگیرد. این تجهیزات کیفیت آب را بهبود بخشیده و عناصر کنترل بیماری را درون سیستم فراهم می‌کند. دستگاه‌های مداربسته درگذشته بیشتر برای تولید ماهیان باارزش و با بازارپسندی بالا ازجمله ماهیان تزئینی و ... به کار می‌رفت. ولی این سیستم‌ها امروزه برای تولید مولدین، بچه ماهیان و انواع ماهیان آب شیرین، شور، سردآبی و گرم‌آبی به کار می‌روند [13].

مزایای استفاده از دستگاه‌های مداربسته:

_ استفاده از غذای طبیعی و صرفه‌جویی در هزینه تغذیه

_ کاهش ابتلا به بیماری و بهبود عملکرد سیستم ایمنی بدن ماهی

_ کاهش زمان به وزن رساندن ماهی برای عرضه به بازار

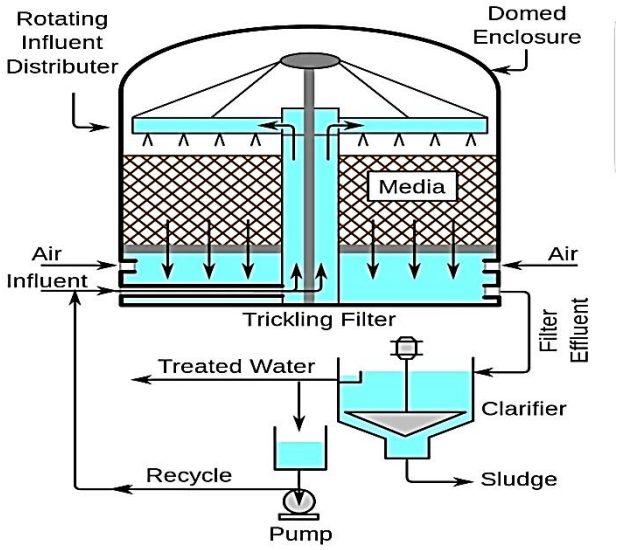
_ کاهش هزینه پرورش

1. Recirculating aquaculture system

بیوفیلتراسیون

بیوفیلتراسیون روشی برای تصفیه آلودگی‌های هوا و آب می‌باشد که در آن از موجودات زنده برای تبدیل آلاینده‌ها استفاده می‌شود. بیوفیلترها، رآکتورهایی با بستر پرشده می‌باشند که میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده روی بستر واقع‌شده‌اند. استفاده از بیوفیلتر برای کنترل انتشار ترکیبات آلی فرار یک تکنولوژی ابداعی و جدید است که در دهه گذشته مقبولیت یافته است. اساساً جریانی از گاز آلوده که دارای غلظت کمی از مواد قابل‌تجزیه بیولوژیک و ترکیبات نسبتاً محلول در آب باشد، جهت بیوفیلتراسیون مناسب است. در صنعت پروش آبزیان از این فیلترها برای تصفیه آب‌های بازگردانی شده که قبلاً استفاده‌شده‌اند، بهره برده می‌شود تا با این کار از مصرف بیش‌ازحد آب در این صنایع جلوگیری شود. آب در صنایع آبزی‌پروری دارای آمونیاک بالایی است که با استفاده از سیستم بیولوژیکی آمونیاک به مواد با سمیت کمتری تبدیل می‌شود. به این فرآیند، نیتروفیکاسیون گویند. در طراحی بیوفیلترها سعی می‌شود بسترها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که حداکثر سطح را برای رشد باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم فراهم سازند [7].

در این فرایند باکتری‌های گونه نیتروزوموناس و در ادامه نیتروباکترها نقش دارند. همچنین در اثر این فرآیند یون هیدروژن ایجاد می‌گردد که pH محیط را کاهش می‌دهد، بنابراین برای بهره‌گیری ازاین‌روش باید از بافر در محیط واکنش استفاده گردد. یکی از مهم‌ترین معایب کاربرد این سیستم‌های مداربسته کنونی، بالا بودن سرمایه‌گذاری در آن‌هاست و این مسئله‌ها را محدود ساخته است. بیوفیلترها از بخش‌های خیلی مهم و هزینه‌بر این سیستم‌ها هستند، به‌طوری‌که انتخاب نوع بیوفیلتر، در موفقیت تکنیکی و اقتصادی سیستم مداربسته بسیار حائز اهمیت است.

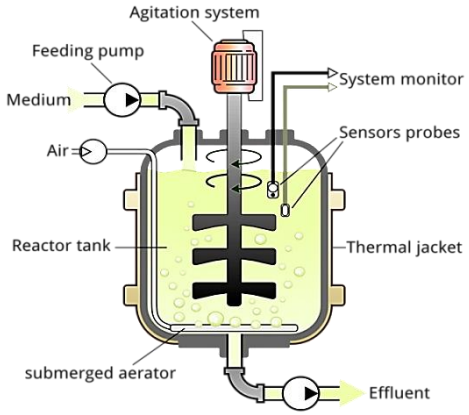


شکل ۱. بیوفیلتراسیون

احیاکننده زیستی (بیورآکتور)

بیورآکتور یک محیط کنترل‌پذیر را فراهم می‌کند که الزامات بیولوژیکی، بیوشیمیایی و بیومکانیکی را برای تولید محصول فراهم می‌کند. همان‌طور که بیورآکتور به دنبال ایجاد یک محصول بیولوژیک مطلوب است، باید از نظارت دقیق بر پارامترهای واکنش مانند انتقال جرم داخلی و خارجی، انتقال گرما، سرعت و غیره مطمئن شد. طراحی بیورآکتور پیشرفته و صحیح با

ویژگی‌های عملکرد منحصربه‌فرد در تولید محصولات بیوتکنولوژی مفید از دستگاه‌های سلولی طبیعی و ژنتیکی تغییریافته ضروری است [8]. آب از مخزن ماهی از یک انتها وارد بیورآکتور شده، از میان لوله‌هایی جریان می‌یابد و از یک لوله در سمت دیگر خارج می‌شود. در طول راه، مواد جامد ته‌نشین شده و باکتری‌های تعبیه‌شده در لوله‌ها، نیتروژن و آمونیاک را که یک آلاینده است حذف می‌کنند. این فرآیند باید به‌گونه‌ای انجام شود که بیورآکتور دچار گرفتگی با مواد جامد نشود. شرایط بیورآکتور مثل میزان جریان گازها (برای مثال هوا، اکسیژن، نیتروژن، دی‌اکسید کربن، دما، pH، میزان اکسیژن حل‌شده (سرعت تلاطم / میزان گردش آبزیان)، تولید حباب و ... نیازمند نظارت و کنترل دقیق می‌باشد [5].



شکل ۲. بیورآکتور

کنترل pH

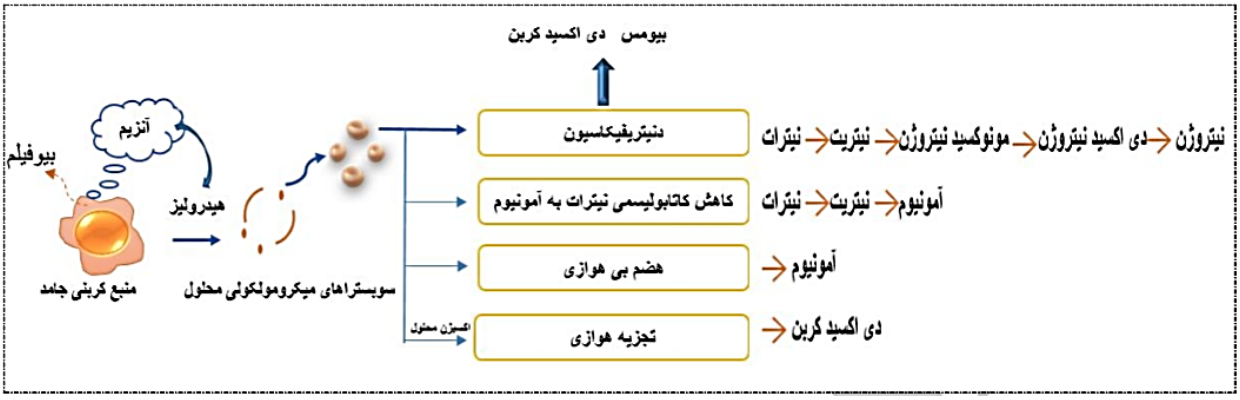
فیلتر بیولوژیک، آمونیاکی که در سیستم آبزی‌پروری مداربسته (RAS) تولید می‌شود را اکسیده می‌کند. این اکسیداسیون یک فرآیند دو مرحله‌ای است که در آن باکتری نیتروزوموناس[1] آمونیاک را به نیتریت اکسید و باکتری نیتریت را به نیترات اکسید می‌کند. درازای هر گرم نیتروژن آمونیاکی اکسیدشده ۴/۵۷ گرم اکسیژن و ۷/۱۴ میلی‌گرم قلیاییت مانند $CACO_3$ موردنیاز است. اگر قلیاییت استفاده‌شده در سیستم آبزی‌پروری مداربسته (RAS) جایگزین نشود، میزان pH آب کاهش می‌یابد. یک روش جایگزین خصلت قلیایی مصرف‌شده، اضافه کردن سدیم بی‌کربنات به سیستم به میزان بالای ۲۵۰ گرم درازای هر کیلوگرم از مواد غذایی واردشده در RAS می‌باشد [15].

حذف مواد جامد

دینیتریفیکاسیون فاز جامد یک فناوری نوظهور است که در سال‌های اخیر موردتوجه قرارگرفته است. در آن از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان منبع کربنی و حامل بیوفیلم برای میکروارگانیسم‌های نیترات زدا استفاده می‌شود. آرایش پلیمرهای زیستی طبیعی و مصنوعی متشکل از خرده چوب‌ها، خاک اره، کاه، پنبه، چوب ذرت، جلبک دریایی، پوست درخت، پلی هیدروکسی آلکانوئات[2] (PHA)، پلی کپرولاکتون[3] (PCL)، پلی بوتیلن سوکسینات[4] (PBS) و پلی لاکتیک اسید[5]

1. Nitrosomunas
2. polyhydroxyalkanoate
3. polycaprolactone
4. polybotlinsoxinate
5. Polylakticeacide

(PLA)هستند که با توجه به عملکرد خوب، هزینه کم و مقادیر زیاد در دسترس، به‌طور گسترده‌ای در دینیتریفیکاسیون استفاده می‌شوند. خرده چوب و پلی کپرولاکتون به ترتیب از محبوب‌ترین پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مصنوعی استفاده‌شده در دینتیریفیکاسیون شناخته‌شده‌اند. این روش راهکاری امیدوارکننده برای حذف نیترات از آب و فاضلاب است. گودینی و همکارانش نشان دادند کربن گرانولی فعال بستر مناسبی برای دینیتریفیکاسیون است و غلظت نیتریت و نیترات خروجی این سیستم نیز در حد استاندارد آب آشامیدنی است و بیش از ۹۸ درصد نیترات با زمان ماند و غلظت ورودی مشخص، حذف‌شده است [6]. در مطالعه میرقربانی و همکارانش، حذف نیترات از آب‌های زیرزمینی در زمان‌های ماند مختلف در رآکتور ستونی با جریان زیاد با استفاده از فیلتر شنی انجام شد در این تحقیق راندمان حذف آمونیاک بیش از ۹۰ درصد برآورد گردید [11].



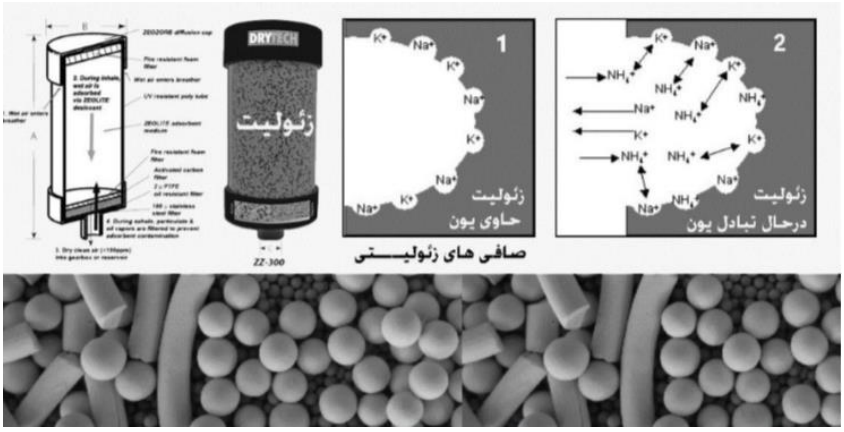
شکل. نمودار شماتیک از دینیتریفیکاسیون فاز جامد [14]

چند نوع روش کنترل گاز آمونیاک در پرورش آبزیان

استفاده از زئولیت[1]

استفاده از مواد افزایش‌دهنده کیفیت آب به‌عنوان بخشی از مدیریت آب در آبزی‌پروری از دیر باز مطرح بوده است. مواد کیفیت دهنده آب زئولیت می‌باشد. زئولیت‌ها درواقع کانی‌هایی از جنس سیلیکات آلومینیوم با ساختار چهاروجهی (چهار اتم اکسیژن حول یک اتم سیلیسیوم) هستند[4]. در ساختمان زئولیت‌ها حفرات و کانال‌های ریزی وجود دارد که به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم آن‌ها آب می‌باشد. وجود این ساختمان در زئولیت به آن‌ها اجازه می‌دهد تبادل کاتیونی را با ظرفیت بین ۲/۱۶ تا ۴/۷۳ میلی اکی والان بر گرم داشته باشد [9]. در آزمایشی که به همین منظور انجام‌شده است زئولیت علاوه برجذب آمونیاک آب، سختی کل آب (مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم) را نیز کاهش داده است و بعد از ۹۶ ساعت میزان زئولیت اشباع‌شده کار آیی خود را ازدست‌داده است. در ضمن هرچه ذرات زئولیت ریزتر باشند میزان آمونیاک بیشتری جذب زئولیت می‌شود [4]. زئولیت‌ها در داخل بستر صافی یا ستون بسته قرارداده می‌شود. پسآب از بالای ستون واردشده و به‌طرف پایین در داخل زئولیت‌ها حرکت می‌کند. وقتی ظرفیت تعویض یون زئولیت تمام شد، با شستشوی ستون زئولیت‌ها مواد ترسیب شده از آن‌ها جدا می‌شوند. ستون زئولیت مواد جامد با این عمل زئولیت‌ها دوباره اصلاح و احیا خواهند شد. غلظت بالای مواد جامد معلق در پساب می‌تواند بستر زئولیت تعویض یون را مسدود سازد و باعث کاهش تأثیر آن شود (شکل ۳).

1. Zeolite



شکل۳. صافی‌های زئولیتی

صافی‌های بستر روان

در این روش مقدار زیادی شن و ماسه به‌طور معلق در داخل استوانه‌ای قرار می‌گیرد. آب با جریان کافی از زیر استوانه وارد و از بالای استوانه پسآب خارج می‌شود (شکل۴). برای معلق نگه‌داشتن شن‌ها در داخل استوانه، فشار زیاد پسآب ضروری است. باکتری‌ها به دلیل ریز بودن، روی دانه‌های شن که سطح وسیعی را اشغال کرده، رشد می‌کنند و به تصفیه آب می‌پردازند. در این فیلتر، باکتری‌ها اکسیژن موردنیاز خود را از طریق آب تأمین می‌نمایند و ازاین‌رو بایستی جریان آب فشار لازم را داشته و از اکسیژن نیز غنی باشد. در تکثیر و پرورش آبزیان این صافی‌ها فقط برای حذف آمونیاک توصیه‌شده‌اند، زیرا آن‌ها ظرفیت گرفتن ذرات جامد را ندارند [2]. مطالعات انجام‌شده در دانشگاه ایالتی لوئیزیانا نشان داد صافی‌های با بستر روان با استفاده از مصالح ماسه به قطر ۱/۱۹ الی ۲/۳۸ میلی‌متر تقریباً دارای ظرفیت ۱۰ برابر صافی‌های متشکل از مصالح سنگ‌آهک با قطر۱۴/۳ الی ۲۵/۴ میلی‌متر هستند.

شکل٤. نمای شماتیک بستر روان

تجزیه‌کننده‌های فراصوتی[1]

امواج فراصوت شکلی از امواج مکانیکی دارای فرکانس بالاتر از حد شنوایی انسان می‌باشد. گوش انسان قادر است امواج بین حدود ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز را بشنود. محدوده امواج فراصوت بیش از ۲۰ کیلوهرتز می‌باشد. از امواج فراصوت قوی می‌توان در اکسیداسیون و غیرفعال کردن آنزیم‌ها، از بین بردن میکروارگانیسم‌ها و غیره استفاده کرد. در پژوهشی که به این منظور انجام‌شده است مشخص گردید با استفاده از امواج فراصوت با فرکانس پایین می‌توان واکنش اکسیداسیون را تسریع کرد. مهم‌ترین دلیل تأثیر امواج فراصوت با شدت بالا، پدیده‌ای به نام کاویتاسیون می‌باشد. طبق تعریف کاویتاسیون عبارت است از تشکیل، رشد و متلاشی شدن حباب‌های کوچک در مایع در اثر ایجاد فشار منفی زیاد. امواج فراصوت نظیر همه امواج متشکل از چرخه‌های انقباض و انبساط هستند. افزایش شدت موج سبب افزایش فاصله مولکولی و خارج شدن یک مولکول از دایره ارتباطی مولکول مجاورش و ایجاد حباب می‌گردد. مرحله بعدی در چرخه کاویتاسیون متلاشی شدن آن و آزاد شدن انرژی و ظهور اثرات مکانیکی پدیده فوق می‌شود. هر حباب به‌منزله میکرو رآکتوری عمل می‌کند که متلاشی شدن آن سبب تولید دمایی حدود ۵۰۰۰ درجه سلسیوس و فشاری معادل ۲۰۰۰ اتمسفر می‌شود و پس‌ازآن سرد شدن فوق‌العاده سریع اتفاق می‌افتد. این عمل در آب باعث تولید رادیکال‌های H^+ و OH^- و درنهایت منجر به ایجاد H_2O_2 می‌شود. رادیکال‌ها با سایر مواد موجود در حباب مثل یون آمونیوم واکنش داده و آن را اکسید می‌کنند [12].

نتیجه‌گیری

در یک سیستم مداربسته که آب مورداستفاده ماهیان ازنظر اکسیژن فقیر شده و مواد سمی و فضولات آن زیاد شده است، با حذف مواد معلق توسط میکرو فیلتر و تبدیل آمونیوم تولیدشده به نیتریت و نیترات زیر حد مجاز توسط بیوفیلترها و تزریق اکسیژن مایع خالص به‌وسیله رآکتورها آب احیاء می‌شود و مجدداً مورداستفاده قرار می‌گیرد. علائم اولیه افزایش آمونیاک در آب بروز تفاوتی در رفتار و ساختار ماهی است که شامل خم شدن عضلات تنه، تحریکات عصبی، پرخونی آب‌شش‌ها، عدم تعادل، شنای ناموزون، کاهش رشد و درنهایت مرگ ماهی می‌شود. لزوم یافتن روش‌های تشخیص و پیشگیری که مطابق با امکانات موجود کشور باشد، کمک شایانی به رفع این عارضه خواهد کرد. روش‌های متداولی برای کنترل گاز آمونیاک در دستگاه‌های مکانیزه به کار می‌رود. اصطلاح تصفیه زیستی در یک مفهوم گسترده به فنون تصفیه که در آن از موجودات زنده ریز جهت حذف یک ماده از محلول مایع استفاده‌شده اطلاق می‌گردد. از دیگر روش‌های کنترل مکانیزه گاز آمونیاک می‌توان به صافی‌های زئولیتی، صافی‌های بستر روان و تجزیه‌کننده‌های فراصوتی اشاره کرد. زئولیت‌ها درواقع کانی‌هایی از جنس سیلیکات آلومینیوم با ساختار چهاروجهی هستند. در ساختمان زئولیت‌ها حفرات و کانال‌های ریزی وجود دارد که به میزان ۲۰ – ۱۰ درصد حجم آن‌ها آب می‌باشد. در بین زئولیت‌های طبیعی تنها ۸ نوع به‌وفور در رسوبات به میزان اقتصادی یافت می‌شوند. به‌طورکلی بازدهی صافی‌ها به عوامل متعدد شیمیایی، فیزیکی و زیستی ازجمله میزان pH، قلیائیت آمونیاک و نیتریت، اکسیژن، مواد جامد، شوری، انتشار گاز، دما، عمق صافی، مساحت سطح مقطع، بارگذاری هیدرولیکی، مصالح صافی، نسبت تخلخل صافی، مساحت سطح مخصوص، ضخامت لایه‌نازک، نور و تراکم توده زنده بستگی دارد. با توجه به هدف موردنظر از به‌کارگیری صافی و ویژگی‌های مصرف انرژی، هزینه اولیه، هزینه مصرفی، ظرفیت و عملکرد می‌توان با توجه به ویژگی‌های هر یک از انواع صافی‌ها بهترین را انتخاب و مورداستفاده قرارداد.

---

1. Ultrasonic

تشکر و قدردانی

تشکر و تقدیر از عزیزانی که لطفشان را به من ارزانی داشتند، از زحماتشان بی‌نهایت تشکر می‌کنم.

منابع

۱. اسماعیلی ساری، ع. ۱۳۸۳. هیدروشیمی بنیان آبزی‌پروری، انتشارات اصلانی، ص ۲۴۹.

۲. پیغان، ر. ۱۳۷۸. بررسی تجربی مسمومیت حاد با آمونیاک در کپور معمولی براساس تغییرات هیستوپاتولوژیک و آنزیم‌های سرمی و امکان پیشگیری آن با زئولیت. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.

۳. جعفری باری، م. ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبزیان. معاونت تکثیر و پرورش آبزیان. اداره کل آموزش و ترویج. ص ۵۰۴.

۴. دیانتی، ر. و زرولی، م. ۱۳۹۱. بررسی کار آیی زئولیتکلینوتیپلولایت در حذف آمونیوم از آب‌های آلوده. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. ص ۲۵۰_۲۵۶.

5. Chen, Z.Q, Wen, Q.X, Wang, J.L, Li, F. Simultaneous removal of carbon and nitrogen from municipal-type synthetic wastewater using net-like rotating biological contactor (NRBC). Process Biochem. 2006; 41 (12): 2468–2472.
6. Godini H, Rezayi A, Biranvand F, Jahanbani F. Removal of nitrate from water by using a Consortium of denitrifiers stabilized on active carbon in a floating bed reactor, 2012. Lorestan [Persian].
7. Gutierrez-Wing, M.T., Malone, R.F. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. Aquacultural Engineering, 34, 163–171.
8. Ji, M.-K., Kabra, A.N., Salama, E.-S., Roh, H.-S., Kim, J.R., Lee, D.S., Jeon, B.-H., 2014. Effect of mine wastewater on nutrient removal and lipid production by a green microalga Micratinium reisseri from concentrated municipal wastewater. Bioresour.
9. Keith, F., 1981. The Encyclopedia of Mineralogy, Vol. IVB. Hutchinson Ross. Stroudsburg, Penn., 794 pp.
10. Kowalski E. and Macke J. 2011. Cycling an Aquarium for Aquatic Animals.
11. Mir bagheri S.A, Amir soleymani A, Bazaz zadeh R. Treatment of nitrate-contaminated ground water by denitrification using heterotrophic and autotrophic bacteria (Case Study for Groundwater Refinery of Tehran). Second International Symposium on Environmental Engineering, Tehran, Industrial University of Khajeh Nasir. 2009 [Persian].
12. Ozturk , E. and Bal , N. 2015. Evaluation of ammonia nitrogen removal efficiencyn from aqueous solutions by ultrasonic irradiation in short sonication periods. Ultrasonics Sonochemistry. 26 : 422-427.
13. Summerfelt, S.T., Davidson, J.W., Waldrop, T.B., Tsukuda, S.M., Bebak Williams, J., 2004a. A partial reuse system for coldwater aquaculture. Aquaculture Engineering, 31, 157–181.
14. Wang J, Chu L. Biological nitrate removal from water and wastewater by solid-phase denitrification process. Biotechnology Advances.2016.
15. Wheaton, F.W., Timmons, M.D, Ebeling, J.H., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J., 2002. Recirculating Aquaculture Systems, 2nd Edition, NRAC Publications No 01-002, USA.