مجلهٔ ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی
دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱
ISSN- 2821-1111

روش‌های برداشت ذرات در مزارع پرورش ماهی

رضا نهاوندی[۱]، سعید تمدنی جهرمی[۲]، علی صادقی[۳]، ابراهیم مسعودی[۳]، سجاد پورمظفر[۴*]، محمد خلیل‌پذیر[۵]

۱- موسسهٔ تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، موسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.
۳- گروه شیلات، دانشکدهٔ شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گلستان. گرگان، ایران.
۴- ایستگاه تحقیقات نرمتنان خلیج‌فارس، پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، موسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران.
۵- پژوهشکدهٔ میگوی کشور، موسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران.

نویسندهٔ مسئول: sajjad5550@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۷

چکیده

غلظت زیاد ذرات اثر منفی روی رشد ماهی دارد و ممکن است به مرگ آن‌ها منجر شود. برخی انگل‌ها در آب نیز به‌اندازه‌ای هستند که برداشت آن‌ها با فیلتر معمولی ذرات میسر است؛ بنابراین آن‌ها را می‌توان قبل از رسیدن به مزرعه برداشت کرد یا با استفاده از یک فیلتر در خروجی آب می‌توان آن‌ها را قبل از رسیدن به پیکرهٔ آب پذیرنده برداشت نمود. یکی از دلایل برداشت ذرات از آب ورودی این است که عملکرد سایر تجهیزات تصفیهٔ آب می‌تواند تحت تأثیر منفی ذرات داخل آب قرار گیرند. مثالی در این زمینه، برنامه و تجهیزات گندزدایی است که لازم است مقدار ذرات در آن‌ها کم باشد. برای سامانهٔ استفادهٔ دوباره از آب، برداشت ذرات به‌طور ویژه به منظور جلوگیری از تجمع ذرات در سامانه و کاهش رشد ماهی‌ها اهمیت دارد. مقدار برداشت ذرات به طراحی و عملکرد فیلتر بستگی دارد. صرف‌نظر از روش انتخابی، ذرات بزرگ‌تر آسان‌تر برداشت

می‌شوند. قبل از اینکه جریان آب به واحد فیلتر برسد که ذرات در آنجا برداشت می‌شوند تا حد ممکن تصفیهٔ آب برای جلوگیری از شکسته شدن ذرات و کاهش اندازهٔ آن‌ها باید به‌آرامی انجام گیرد؛ بنابراین افزایش اندازهٔ فیلتر برای جمع‌آوری و استخراج ذرات ضروری است. در این تحقیق انواع فیلتراسیون موردمطالعه قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تصفیهٔ آب، ماهی، فیلتراسیون، ذرات

مقدمه

در آبزی‌پروری، برداشت ذرات از جریان آب در چند مکان ضروری است: آب ورودی به مزرعه، آب خروجی از مزرعه یا در زمان استفادهٔ دوباره از آب. آب ورودی برای جلوگیری از افزایش بیش از حد غلظت ذرات در حوضچهٔ پرورش ماهی تصفیه می‌شود (Bergheim *et al*., 2019). ذرات در آب در شکل‌ها و تعداد متفاوت یافت می‌شوند. چندین روش و تعاریف متعدد برای محتویات ذرات داخل آب وجود دارد. کل مواد جامد معلق (TSS) به مقدار ذرات متوقف شده به وسیلهٔ فیلتر فایبرگلاسی با اندازهٔ چشمهٔ ۰/۴۵ میکرومتر گفته می‌شود. کل مواد جامد (TS) نشان‌دهندهٔ کل مقدار ذرات داخل آب است. این مقدار به صورت مادهٔ خشک (DM) نیز بیان می‌شود (Bergheim *et al*., 2019). ذرات را می‌توان بر اساس اندازه نیز دسته‌بندی کرد. ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ میکرومتر به‌عنوان ذرات حل‌شدنی یا محلول، ذرات ۱-۰/۰۰۱ میکرومتر به‌عنوان کلوئیدی، ذرات ۱۰۰-۱ میکرومتر به‌عنوان فوق کلوئیدی و ذرات بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرومتر به‌عنوان ذرات ته‌نشین‌شونده دسته‌بندی می‌شوند. برخی مواد مغذی ممکن است کاملاً در آب حل شوند که بدان‌معنا است که آن‌ها را نمی‌توان با فیلتر معمولی ذرات برداشت و تنها با سایر روش‌های فیلتری نظیر جداسازی به کمک کف یا فیلتراسیون غشایی برداشت پذیرند. فیلترهای زیستی ممکن است برای برداشت مواد محلول نظیر آمونیوم یا نیترات استفاده شوند. در زمان برداشت ذرات از جریان آب به دلیل اتصال بخشی از مواد مغذی به ذرات، کاهشی در تخلیهٔ مواد مغذی رخ می‌دهد. همچنین کاهشی در تعداد موجودات ریز دیده می‌شود چون برخی از آن‌ها به سطح ذرات می‌چسبند.

خواص آب

برای انتخاب درست فیلتر، دانستن خصوصیات دقیق آبی که باید فیلتر شود ضروری است. خصوصیات آب ورودی از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. این خصوصیات درصورتی‌که آب از دریاچه، رودخانه، آب زیرزمینی یا آب دریا باشد فرق می‌کند، بنابراین قبل از انتخاب فیلتر، نمونه‌گیری برای تعیین خصوصیات آب ضروری است. حجم پساب حاصل از مزارع پرورش ماهی به‌طورمعمول بیشتر و غلظت مواد تخلیه‌شده خیلی کمتر از فاضلاب‌های شهری واردشده به یک تأسیسات تصفیهٔ آب است. بااین‌وجود، این شاخص‌ها قابل‌مقایسه با آب تخلیه‌شده از تأسیسات تصفیهٔ آب شهری‌اند، یعنی آبی که خالص‌سازی شده است؛ بنابراین ملزومات طراحی و ساخت تأسیسات تصفیهٔ پساب در مزرعهٔ پرورش ماهی با تأسیسات تصفیهٔ فاضلاب شهری فرق می‌کند. ازاین‌رو تجهیزات و فناوری خالص‌سازی مورداستفاده در تصفیهٔ فاضلاب شهری را نمی‌توان به‌طور مستقیم به شرایط مزارع پرورش ماهی انتقال داد حتی اگر اصول پایهٔ این کار مشابه باشد (Boyd and Tucker, 2016). همچنین دانش صنعت فرآوری را می‌توان وارد حوزهٔ پرورش ماهی کرد. ترکیب آب خروجی مزارع پرورش ماهی به چند عامل ازجمله گونه، نرخ رشد، ترکیب و مصرف غذا، ضریب تبدیل غذایی و حجم آب بستگی دارد. ازاین‌رو گام اول در کاهش تخلیهٔ پساب از مزرعهٔ پرورش ماهی بدون استفاده از فیلتر، داشتن تغذیهٔ بهینه است به‌طوری‌که غذا به‌طور کامل توسط موجودات آبزی مصرف شود. همچنین مدیریت بهینهٔ مزرعه برای داشتن کیفیت و کمیت مناسب آب و غذادهی به روش بهینه مؤثر است. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که اندازهٔ ذرات غالب در آب خروجی مزارع پرورش ماهی کمتر از ۴۰-۳۰ میکرومتر است. ذرات کوچک فراوان فقط بخش محدودی از حجم کل ذرات تخلیه‌شده را تشکیل می‌دهند. ازآنجاکه در زمان بارگیری پساب‌ها در پیکرهٔ آبی پذیرنده، حجم ذرات خیلی مهم‌تر از تعداد ذرات است، برداشت کمی از ذرات بزرگ اهمیت بیشتری دارد

(Davidson and Summerfelt, 2018). بااین‌وجود، در سامانه‌های استفادهٔ دوباره از آب، ذرات کوچک به طور معمول غالب‌اند چون برداشت ذرات بزرگ‌تر آسان‌تر است. چگالی مدفوع حاصل از مزارع پرورش ماهی متغیر است. تراکم‌های گزارش‌شده بیشتر از ۱ است که به معنای ته‌نشینی مدفوع در آب است. در مطالعه‌ای مدفوع دست‌نخورده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بسته به اندازهٔ ماهی، میانگین سرعت ته‌نشینی ۲/۵-۱ متر در دقیقه داشت.

انواع روش‌های برداشت ذرات در مزارع پرورش ماهی

چندین روش برای برداشت ذرات از جریان آب وجود دارد و این روش‌ها را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱- فیلتراسیون مکانیکی، صاف کردن یا ریز غربالگری نیز نامیده می‌شوند

۲- فیلتراسیون عمقی، فیلتراسیون شنی یا فیلتراسیون کامل هم گفته می‌شود

۳- فیلترهای رسوبی یا گرانشی

۴- سامانه‌های تصفیهٔ توأم

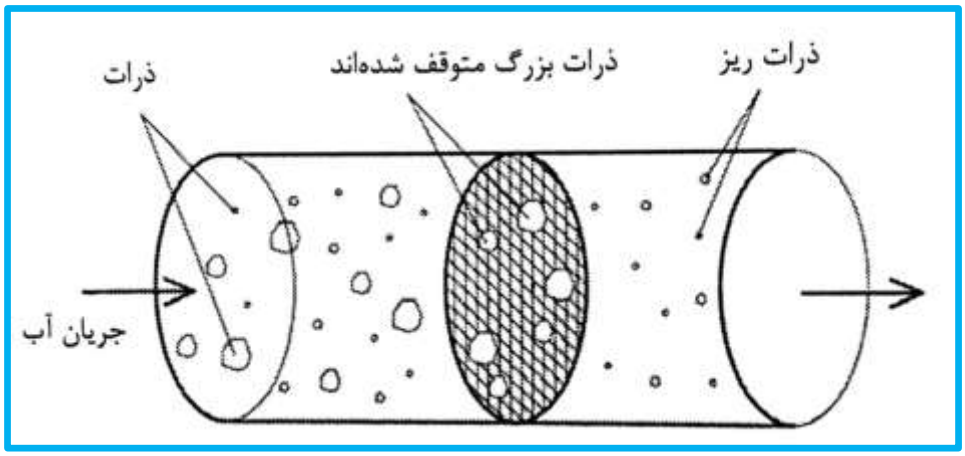
۵- فیلتراسیون غشایی

۱- فیلترها و ریز غربال‌های مکانیکی

فیلتر مکانیکی سدی است که در جریان آب برای جمع‌آوری ذرات و اشیای درشت‌تر نصب می‌شود و اجازه می‌دهد که آب عبور کند. مبنای یک فیلتر مکانیکی جداسازی ذرات از آب در یک صفحهٔ صافی است که می‌تواند یک غربال یا یک قفسهٔ میله‌ای باشد. ذرات درشت‌تر از منافذ غربال یا فاصله بین میله‌ها در قفسه متوقف خواهند شد. ساده‌ترین نوع فیلترهای مکانیکی غربال ساکن (استاتیک)، صفحهٔ شبکه‌ای یا منفذ دار یا یک قفسهٔ میله‌ای است که در جریان آب قرار می‌گیرد. غربال که سوراخ یا چشمه‌های با اندازهٔ مشخص دارد، ذرات درشت‌تر از اندازهٔ چشمهٔ داخل آب را متوقف می‌کند. این ذرات روی سطح غربال گیر می‌افتند. بعد از مدتی به‌تدریج غربال مسدود می‌گردد و در این حالت عبور آب از میان غربال متوقف می‌شود. این امر موجب سرریز شدن آب می‌شود. این حالت در قفسه‌های میله‌ای نیز دیده می‌شود (Veerapen *et al.*, 2014). معمولاً قفسه‌های میله‌ای برای برداشت ذرات و اشیای درشت‌تر (۱۵ m<) استفاده می‌شود درحالی‌که غربال‌ها را می‌توان برای اشیای ریزتر به‌کار برد (Colt, 2015). در زمان استفاده از یک غربال برای جلوگیری از مسدود شدن، ذرات باید از سطح غربال برداشت شوند. یکی از راه‌های برداشت ذرات، برداشت دستی غربال از آب و تمیز کردن آن است. این روش خیلی پرزحمت است و فقط در موارد خاص انجام می‌گیرد. برداشت برگ‌ها از آب در پاییز و برداشتن سایر اشیای درشت شناور از ورود به لولهٔ ورودی، نمونه‌ای از این نوع فیلتر است. هدف اصلی در زمان ساخت یک فیلتر یا غربال مکانیکی برای برداشت ذرات ریزتر، یافتن روشی برای جلوگیری از مسدودشدن است. این بدان‌معنا است که فیلتر باید خودپالا باشد (Boyd and Tucker, 2016).

چندین روش را می‌توان برای خودپالا شدن غربال به‌کار گرفت. روش‌های تمیز کردن عمومی شامل شست‌وشوی معکوس، مکش یا لرزش (ارتعاش). اگر از لرزش مکانیکی استفاده شود، رشته‌های بافته‌شدهٔ فیلتر تکان داده می‌شود و ذرات به دام‌افتاده در اثر نیروی جاذبه سقوط می‌کنند. اگر چنین روشی استفاده شود رشته‌های بافته‌شدهٔ غربال باید با زاویه‌ای نسبت به سطح افقی نصب شود. اگرچه این روش معمولاً در آبزی‌پروری استفاده نمی‌شود. ساده‌ترین روش تمیز کردن فیلتر، شست‌وشوی معکوس غربال است. در زمان استفاده از شست‌وشوی معکوس یا مکش تا حد امکان داشتن مساحت زیادی از غربال تمیزشده در آب مطلوب است. از غربال تا زمانی که مسدود گردد استفاده می‌شود سپس برای تمیز کردن برداشته

می‌شوند و پارچهٔ غربال جدید و تمیز جایگزین می‌شود. این فرایند نباید به‌قدری سریع باشد که بازده کاهش یابد یا شکسته شدن مکانیکی رخ دهد. یک مورد رایج در آبزی‌پروری غربال دوار است که کمی در بالا و کمی در پایین سطح آب می‌چرخد. زمانی که غربال بالای سطح آب است چشمه‌ها در غربال با شست‌وشوی معکوس با هوا یا آب تمیز می‌شوند درعین‌حال آب شست‌وشوی معکوس را که حاوی ذرات برداشت‌شده از غربال است می‌توان جمع‌آوری کرد. صاف کردن یا ریز غربالگری مؤثرترین روش تمیز کردن در واحد سطح هستند و در آبزی‌پروری به‌طور ویژه برای برداشت ذرات به نسبت درشت مؤثر است. همچنین افت فشار جریان آبی که از غربال عبور می‌کند خیلی کم است (Colt, 2015).



شکل ۱. غربال ساکن (استاتیک)

۲- فیلتراسیون عمقی

فیلتراسیون عمقی که فیلتراسیون شنی یا فیلتراسیون کامل نیز گفته می‌شود وسیله‌ای است برای برداشت ذرات در زمانی‌که آب با فشار از میان یک لایه از مواد دانه‌ای متشکل از ذرات با اندازه و عمق‌های متفاوت عبور داده می‌شود. این لایهٔ فیلتراسیون بسته به هدف فیلتر آب می‌تواند شنی یا سایر مواد دانه‌ای باشد. ازآنجاکه معمولاً از شن استفاده می‌شود اغلب فیلتر را فیلتر شنی می‌نامند. لایه متراکم نیست اما حاوی تعدادی کانال یا سوراخ است که بین ذراتی ایجاد می‌شود که محیط فیلتر را تشکیل می‌دهند (Veerapen *et al.*, 2014). زمانی که آبی که حاوی ذرات است از میان محیط فیلتر عبور می‌کند ذرات درشت‌تر از اندازهٔ خاص طی چند سازوکار به دام می‌افتند:

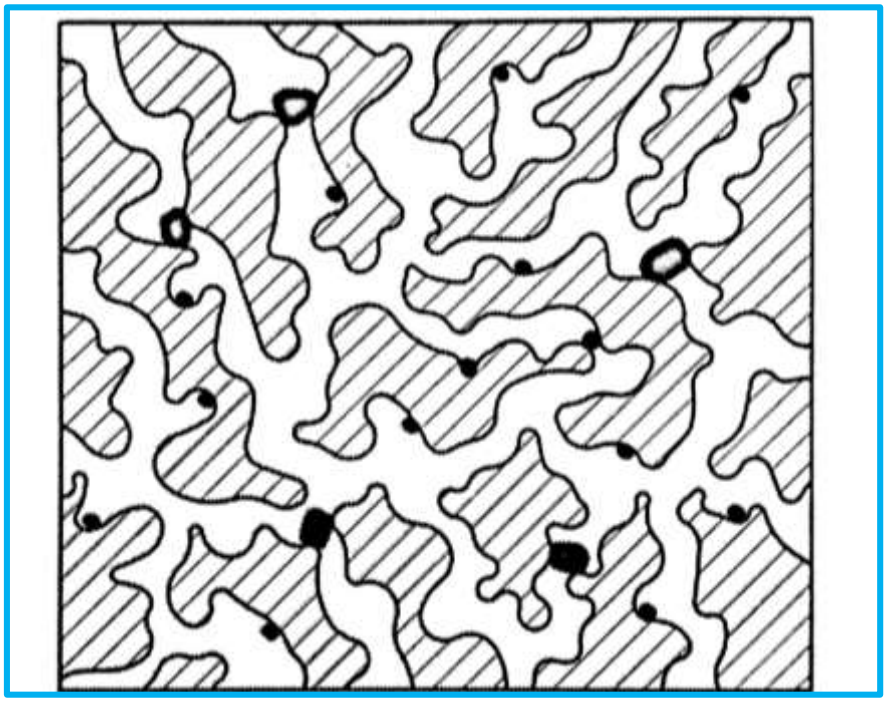
۱- ذرات ممکن است برای عبور از میان کانال‌ها (صافی) خیلی درشت باشند

۲- ذرات ممکن است روی فیلتر رسوب کند (به دلیل لخته شدن و چسبیدن)

۳- ممکن است به‌وسیلهٔ نیروهای شیمیایی یا فیزیکی که آن‌ها را به بدنهٔ فیلتر جذب می‌کنند جذب سطحی شوند

این فرایند در لایهٔ بالایی محیط فیلتر رخ می‌دهد چون ذرات برای عبور از کانال‌ها یا منافذ در محیط فیلتر درشت‌اند به دام می‌افتند و در ادامه این کانال‌ها و منافذ مسدود می‌شوند. باوجوداین، شایان توجه است که اندکی از ذرات درشت می‌توانند سطح کانال‌های محیط را مسدود کنند و این امر به کاهش چشمگیر ظرفیت فیلتر منجر می‌شود. افت فشار افزایش می‌یابد و فیلتر به‌سرعت مسدود می‌شود؛ بنابراین این امر به سرعت آب کم برای عبور از محیط فیلتر نیاز دارد که بدان‌معنا است که بار هیدرولیک روی سطح فیلتر باید کم باشد. زمانی که کانال‌ها داخل فیلتر پر از ذرات شدند افت فشار زیاد خواهد شد. حداکثر اندازهٔ ذراتی که از میان یک فیلتر عمقی عبور خواهند کرد به اندازهٔ دانهٔ محیط فیلتر بستگی دارد. اگر اندازهٔ دانه کوچک

باشد فیلتر به‌آسانی مسدود خواهد شد. دبی آبی که از محیط فیلتر عبور می‌کند و سرعت مسدود شدن نه‌فقط به اندازهٔ دانهٔ محیط فیلتر بستگی دارد بلکه به ویژگی‌های ذرات داخل آبی که باید فیلتر شود وابسته است. عملکرد یک فیلتر عمقی به هر دو نوع فیلتر و دستورالعمل اجرایی بستگی دارد و همچنین به‌طور جالب‌توجهی به ویژگی‌های مواد فیلتر وابسته است. فیلترهای عمقی را می‌توان بر اساس جهت جریانی که از محیط فیلتر عبور می‌کند دسته‌بندی کرد. در فیلتر با جریان رو به بالا آب به سمت بالا از میان محیط فیلتر جریان می‌یابد درحالی‌که فیلتر با جریان رو به پایین آب در جهت پایین جریان می‌یابد. نوع دوم رایج‌تر است. در این روش فیلتراسیون مناسبی حاصل می‌شود اما محیط فیلتر بعد از مدتی مسدود می‌شود (Veerapen *et a.l*, 2014). در یک فیلتر با جریان رو به بالا همین امر اتفاق می‌افتد. همچنین در صورت وجود فشار آب زیاد و گرفتگی بیش از حد، پساب از یک یا چند مکان در فیلتر عبور می‌کند. در این مورد تقریباً تمام آب از میان فیلتر از طریق این مناطق عبور خواهند کرد و عملاً تصفیه رخ نخواهدداد. یک فیلتر عمقی باید به ابزار شست‌وشوی معکوس مجهز باشد یا تمیز کردن دستی منظم محیط فیلتر ضروری است. برای حفظ ظرفیت یک فیلتر، شست‌وشوی معکوس ضروری است. حتی زمانی که این امر انجام شود ظرفیت هیدرولیکی این نوع فیلتر برای مثال از ریز غربال‌های دوار کمتر است. زمانی که شست‌وشوی معکوس انجام می‌شود فیلتر باید متوقف شود، آب در جهت مخالف محیط فیلتر فرستاده می‌شود ازاین‌رو برداشت ذراتی که رسوب کرده‌اند انجام می‌گیرد (Colt, 2015). این آب شست‌وشوی معکوس به‌طور مستقیم به خروجی مزرعه فرستاده می‌شود.



شکل ۲. فیلتراسیون در یک فیلتر عمقی، لکه‌های سیاه ذرات به دام افتاده‌اند

۳- فیلترهای رسوبی یا گرانشی

حوضچه‌های رسوب‌گیر

فیلترهای رسوبی روش ساده‌ای برای برداشت ذرات داخل آب است. مبنای استفاده از این روش این است که ذرات چگالی بیشتری نسبت به آب دارند (۱/۰۵- ۱/۲ در مقایسه با ۱ برای آب شیرین)، بنابراین آن‌ها ته‌نشین می‌شوند. این پدیده را می‌توان به‌آسانی درزمانی که آب حاوی ذرات معلق برای مدتی ساکن باشد مشاهده کرد. تفاوت در چگالی نسبی بین ذرات و آب سرعت فرآیند جداسازی را کنترل می‌کند. الگوی جریان در حوضچهٔ رسوب‌گیر مورداستفاده در مزارع پرورش ماهی به‌طورمعمول افقی است. باوجوداین ممکن است فیلتر رسوبی با یک الگوی جریان عمودی نیز انجام گیرد و چنین فیلترهایی طراحی برج مانند دارند. آب به‌کندی در جهت بالا جریان می‌یابد و نیروی گرانش ذرات را به‌سرعت بیشتر ته‌نشین می‌کند. به‌طور ویژه فیلترهای طراحی‌شده نظیر فیلترهای جداساز تیغه‌ای برای بهبود شرایط فیلتر رسوبی و همچنین نیازهای سرمایه‌گذاری استفاده می‌شوند (Veerapen *et a.l*, 2014). ارسال آب روی لایهٔ زیستی می‌تواند رسوب ذرات و بازدهٔ فیلتراسیون را بهبود دهد. ذرات ریز به این لایهٔ زیستی جذب می‌شوند و رسوب می‌کنند. عیب بزرگ مربوط به فیلترهای رسوب‌گیر این است که ذرات رسوب‌کرده در جریان آب باقی می‌مانند ازاین‌رو این احتمال وجود دارد که مواد مغذی از ذرات نشت پیدا کنند به‌ویژه فسفر که اتصال ضعیفی به ذرات دارد. علاوه بر این ذرات رسوب‌کرده ممکن است دوباره معلق شوند، حتی اگر ذرات به‌طور منظم از حوضچه برداشت شود. به همین دلیل باید عمق مناسبی برای حوضچهٔ رسوب‌گیر در نظر گرفت. برداشت مداوم ذرات رسوب‌کرده از حوضچه ازنظر اقتصادی غیرممکن است. باوجوداین، برای بهینه‌سازی عملکرد حوضچه، برداشت ذرات رسوب‌کرده باید به‌طور منظم انجام شود. این کار را می‌توان به روش‌های گوناگون برای مثال با استفاده از پمپ مکش انجام داد. برای جلوگیری از دوباره معلق‌شدن ذرات و عبور مستقیم مواد مغذی به خروجی، حداقل نگه‌داشتن اختلاط لجن و آب اهمیت دارد. داشتن دو حوضچهٔ رسوب‌گیر خیلی رایج است به‌طوری‌که از یکی می‌توان استفاده کرد و درعین‌حال می‌توان دیگری را تمیز کرد. در مقایسه با ریز غربال، حوضچه‌های رسوب‌گیر به مساحت خیلی زیاد نیاز دارد که این مورد می‌تواند عیب این روش محسوب شود. باوجوداین اگر محیط اطراف و شرایط زمین مناسب باشد حوضچه‌های رسوب‌گیر ساده و ساخت‌وساز آن ارزان است.

نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که نرخ برداشت ذرات ریز در حوضچه‌های رسوب‌گیر کاهش می‌یابد. برداشت ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرومتر با استفاده از حوضچه‌های رسوب‌گیر خیلی مشکل است. تصفیهٔ مقادیر TSS آب ورودی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و رسیدن به نتیجهٔ (برداشت) مقادیر کمتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر مشکل است. برای تصفیهٔ این مقادیر به روش‌های ویژه نظیر افزودن پلیمرها یا استفاده از لایهٔ زیستی برای جذب ذرات نیاز است (Kucera, 2015).

۴- سامانه‌های تصفیهٔ توأم

فناوری تصفیهٔ فاضلاب مبتنی بر طبیعت شامل چندین روش است که می‌توانند به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی استفاده شوند. دو سامانهٔ اصلی را می‌توان برای تصفیهٔ پساب حاصل از مزارع پرورش ماهی مبتنی بر زمین دسته‌بندی کرد؛ فیلتراسیون زمینی و آبگیر ساخته‌شده. سامانه‌های فیلتراسیون زمینی را می‌توان به استخرهای باز یا حفرات و شیارهای زیرسطحی تقسیم کرد. در یک سامانه از فیلتراسیون خاک به مثابهٔ محیط فیلتر استفاده می‌شود. آب در بالای بستر فیلتر و شیارهای میان خاک پخش می‌شود، در آن فیلتراسیون جذب سطحی / رسوب و تجزیهٔ زیستی مهم‌ترین فرایندها محسوب می‌شوند. مواد مغذی، مواد آلی و موجودات ریز برداشت خواهند شد. اگر خاک محلی مناسب باشد به‌طورمعمول به‌عنوان محیط فیلتراسیون استفاده می‌شود و ازاین‌رو تصفیه در محل نیز نامیده می‌شود. باوجوداین، خاک (مثلاً شن) یا سایر محیط‌های خلل و فرج دار مانند دانه‌های رس منبسط‌شده را می‌توان به محل اضافه کرد (Davidson and Summerfelt, 2018).

مشکل اصلی فیلتراسیون زمین برای تصفیهٔ پساب حاصل از آبزی‌پروری مقدار زیاد آبی است که باید تصفیه شود و ظرفیت هیدرولیکی کم سامانه‌های مبتنی بر خاک است. حتی اگر با استفاده از محیط خلل و فرج دار مناسب تا حدی تصفیهٔ آب حاصل شود مساحت موردنیاز زیاد است. مقادیر معمول برای فاضلاب خانگی در زمان استفاده از شیارهای زیرسطحی حدود ۱۰۰۰۰ لیتر در مترمربع در روز و تا حدی بیشتر در استخرهای باز است. پساب حاصل از مراکز آبزی‌پروری به‌خوبی مطالعه نشده است و فقدان اطلاعات آماری در این زمینه مشاهده می‌شود. ازآنجاکه غلظت آلاینده‌ها کمتر است میزان بار ممکن است تا حدی بالاتر باشد، اما اگر سامانه دچار بار اضافی شود عملکرد سامانه کمتر از حالت بهینه می‌شود و میزان تصفیه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی در آب‌وهوای سرد با میانگین دمایی ۱/۲ درجهٔ سانتی‌گراد به شرح زیر بود: ۷۰ درصد برداشت نیتروژن، ۹۹ درصد برداشت فسفر، ۷۰ درصد برداشت تقاضای شیمیایی اکسیژن (COD) و نزدیک صد در صد برداشت کلی اشکال مدفوع. جریان معمول ۷۵۰ مترمکعب در روز در حوضچهٔ باز به وسعت ۲۰۰۰ مترمربع بود اما در طول ذوب برف تا ۳۵۰۰ مترمکعب در روز افزایش یافت. آبگیرهای ساخته‌شده به‌منظور انواع آب‌های آلوده نظیر فاضلاب خانگی و صنعتی استفاده می‌شوند و همچنین برای تصفیهٔ پساب حاصل از آبزی‌پروری کاربرد دارند. آب خروجی به داخل آبگیرها جریان می‌یابد. این آبگیرهای حاوی گیاهان سازگار با آبگیر و محیط خاکی خلل‌وفرج دارند. گیاهان مواد مغذی موجود در آب خروجی را جذب و مصرف می‌کنند. علاوه بر این ریشه‌های گیاهان محیطی را ایجاد می‌کنند که فرآیند تصفیه را بهبود می‌بخشند. با ارسال آب خروجی از مرکز تکثیر آزادماهیان به استخر مرتبط با آبگیر ساخته‌شده نرخ برداشت زیر حاصل شد: ۹۸ درصد مواد جامد، ۸۴ درصد آمونیاک و ۹۰ درصد مواد آلی زیست تجزیه‌پذیر. هر دو سامانه‌های زمینی و آبگیر ساخته‌شده علاوه بر برداشت مواد مغذی و آلی، موجودات ریز را نیز غیرفعال می‌کنند. عیب بزرگ این سامانه‌ها ظرفیت هیدرولیکی کم در رابطه با مقادیر آب در آبزی‌پروری است. در این سامانه‌ها هدف بازیافت آب و مواد مغذی است به‌طوری‌که برای مثال آبگیر را می‌توان برداشت و محصول را استفاده کرد.

۵- فیلتراسیون غشایی

۵-۱ پیشینه و استفاده

فیلتراسیون غشایی یا جداسازی غشایی روش خیلی جدید برای تصفیهٔ آب محسوب می‌شود. علاقه به استفاده از جداسازی به‌وسیلهٔ غشاء در حال افزایش است و این علاقه در تصفیهٔ آب آشامیدنی و فاضلاب دیده می‌شود. استفاده از انواعی از این فیلتراسیون به‌سرعت در جهان در حال رشد است. روشی که می‌توان برای برداشت مواد ذره‌ای و محلول با منشأ آلی و معدنی اعم از مواد میکروبیولوژیکی استفاده کرد. در مقایسه با روش‌های جداسازی دیگر، جداسازی غشایی چندین مزیت دارد:

۱- روشی برای جداسازی در اندازهٔ یونی است
۲- مواد شیمیایی نیاز نیست (فناوری سبز)
۳- نیازی به انتقال (تغییر) فاز محیط پرهزینه ندارد
۴- از نظر مکانی کارا و مؤثر است
۵- به‌آسانی می‌توان مقیاس آن را افزایش داد
۶- سامانه می‌تواند خودکار باشد

درمجموع، این نوع فیلتراسیون سامانه‌ای ساده با اجزا و قطعات حمل‌پذیر کم است. به دلیل عملکرد آن‌ها، جداسازی غشایی می‌تواند جایگزینی برای طیفی از روش‌های جداسازی مانند رسوب‌گیری، شناورسازی، فیلتراسیون عمقی، غربالگری، استخراج و تقطیر باشد. از این فیلتراسیون می‌توان به‌عنوان گام اول ضدعفونی نیز استفاده کرد. اگر اندازهٔ منافذ غشاء به‌اندازهٔ کافی ریز باشد اجازه عبور به موجودات ریز داده نمی‌شود. جداسازی غشایی به نظارت محدود نیاز دارد و کار و نگهداری آن آسان است.

صنعت آبزی‌پروری به‌تازگی به استفاده از این روش علاقه‌مند شده است. از این روش برای تصفیهٔ آب ورودی و سامانه‌های آبزی‌پروری مداربسته استفاده شده است. این امر با تلاش زیاد در زمینهٔ تحقیق و توسعهٔ فیلتراسیون غشایی مرتبط است. اگر از فیلتراسیون غشایی استفاده شود برای جلوگیری از عبور موجودات ریز، اندازهٔ منافذ باید کمتر از ۱ نانومتر باشد (Judd and Judd, 2017). بااین‌وجود هدف اصلی در زمان استفاده از فیلتر غشایی، توقف موجودات ریز نیست بلکه هدف اصلی برداشت ناخالصی‌ها است.

۵-۲ فیلتراسیون غشایی چیست؟

به‌طور ساده یک غشاء سد نازکی مانند پارچهٔ صافی یا محیط منفذ دار است که مایع یا گاز خالص از میان آن‌ها عبور کرده و درعین‌حال ناخالصی‌ها به دلیل اندازهٔ منفذ، از عبور از میان این غشاء بازمی‌مانند؛ بنابراین غشاها نیمه‌تراوا یا انتخابی‌اند و برخی مواد از میان آن‌ها عبور می‌کنند درحالی‌که برخی دیگر عبور نمی‌کنند و برگشت داده می‌شوند. غشاء یا فیلتر غربالی معمولی با درام‌فیلتر که ماکروفیلتراسیون نیز نامیده می‌شود اشتراکاتی دارد (درام‌فیلتر نوعی فیلتر مکانیکی است که در استخرهای پرورش ماهی مورداستفاده قرار می‌گیرد که آب خروجی از استخر وارد این فیلتر شده و از سوی دیگر آب تمیز خارج می‌شود. هدف کلی از استفاده از درام‌فیلتر، استفادهٔ مجدد از آب و افزایش تراکم ماهی در استخرهای پرورشی است) (Kucera, 2015). فقط در اندازهٔ چشمه یا منافذ بین آن‌ها تفاوت وجود دارد. در یک غشاء منافذ خیلی ریزتر از ماکروفیلتراسیون است به‌طوری‌که ناخالصی‌های ریزتر برداشت می‌شوند. حتی اگر فرایند فیلتراسیون غشایی روی سطح رخ دهد یک غشاء باید تا حدی ارتفاع یا ضخامت برای حفظ قدرت داشته باشد؛ بنابراین تشابهاتی بین غشاء و فیلترهای عمقی وجود دارد. تفاوت بین یک غشاء و یک فیلتر عمقی در اندازهٔ منافذ آن‌هاست که در غشاء خیلی ریزتر تا سطح مولکولی‌اند. فیلتراسیون غشایی یک روش جداسازی کاملاً فیزیکی محسوب می‌شود. این روش بر پایداری حرارتی و ساختار شیمیایی مانند سایر روش‌های جداسازی اثر نمی‌گذارد. جداسازی ناخالصی‌ها به‌وسیلهٔ یک غشاء ممکن است به دلیل عوامل گوناگون مانند شکل، بار الکترواستاتیک، نفوذ، برهم‌کنش‌های فیزیکی‌وشیمیایی و قابلیت تحرک صورت گیرد. سازوکاری که اجازه می‌دهد مواد نشت‌کننده (مایع یا گاز تصفیه‌شده) از غشاء عبور کنند تفاوت فشار یا اسمز (تفاوت غلظت) یا ترکیبی از این دو است. این روش، روش جداسازی غشایی است که در آبزی‌پروری خیلی استفاده می‌شود. تفاوت فشار در غشاء، فشار تراغشایی یعنی تفاوت فشاری که مواد نشت‌کننده را از میان غشاء عبور می‌دهد نامیده می‌شود؛ بنابراین جداسازی به کمک فشار را می‌توان برای تمام انواع سیال/ گاز برای برداشت انواع ناخالصی‌ها در اندازه‌های مختلف به کار برد. عمل فرآیندهای غشایی بیش از فشار تراغشایی قابل‌قبول ممکن است سبب آسیب غشاء یا سامانه شود (Kucera, 2015). رایج‌ترین روش برای به‌کارگیری سامانه‌های جداسازی غشایی به کمک فشار، افزایش فشار مایع یا گاز برای تصفیه با یک پمپ/ کمپرسور است به‌طوری‌که مایع یا گاز با فشار از میان غشاء عبور داده‌می‌شود. باوجوداین، جداسازی غشایی به کمک فشار با به‌کارگیری خلأ (وکیوم) در سمت محصول غشاء نیز اجرایی است به‌طوری‌که مواد نشت‌کنندهٔ تصفیه‌شده از میان غشاء مکیده می‌شود (Kucera, 2015). این روش جدیدی محسوب می‌شود. اگر غشاء غوطه‌ور باشد، سامانه ممکن است به‌روش دسته‌ای یا پیوسته عمل کند. اگر سامانه به روش پیوسته اجرا شود از مواد تغلیظ‌شده می‌توان استفادهٔ دوباره کرد. برای اهداف آبزی‌پروری جریان پیوسته با بازیافت آب غلیظ معمول‌ترین روش محسوب می‌شود. برخی اصطلاحات ویژه در فیلتراسیون غشایی استفاده می‌شود. مایع/ گاز خالص عبور داده‌شده از غشاء مایع/ گاز نشت‌کننده یا محصول نامیده می‌شود، درحالی‌که موادی که عبور نمی‌کنند فضولات یا مواد تغلیظ‌شده گفته می‌شود. جریان ورودی گاز یا مایع خوراک نامیده می‌شود. در مورد آبزی‌پروری، جریان تراغشایی یا جریان نشت‌کننده یا محصول مقدار آب زلال و شفافی است که از میان غشاء در واحد زمان در واحد سطح (معمولاً لیتر در دقیقه در مترمربع) عبور می‌کند. عوامل مهم برای جریان تغلیظ ناخالصی در خوراک و فشار تراغشایی خواهد بود. به‌طورمعمول باگذشت زمان فشار تراغشایی کاهش خواهد یافت ازاین‌رو حفظ مداوم فشار تراغشایی

جریان را افزایش خواهد داد. دما نیز به دلیل اینکه معمولاً نفوذ با افزایش دما زیاد، ویسکوزیته کاهش و جریان افزایش می‌یابد اهمیت دارد. ترکیب خوراک نیز به دلیل اثرات روی گرفتگی غشاء بااهمیت است (Sharrer *et al*, 2017).

بنابراین سامانهٔ کامل جداسازی غشایی به کمک فشار را می‌توان به چهار بخش اصلی تقسیم کرد:

۱- غشاء ۲- واحد (مدول) ۳- قفسه ۴- سامانهٔ لوله‌کشی

فیلتراسیون در سطح غشاء انجام می‌گیرد. برای رسیدن به مساحت بیشتر، جمع‌کردن غشاهای منفرد با هم و مرتب کردن آن‌ها در ظرف تحت فشار لوله‌ای معمول است. این بخش مدول نام دارد. چندین مدول در یک قفسه سرهم می‌شوند و سامانهٔ لوله‌کشی اجازه می‌دهد تا جریان آب بین مدول‌ها در قفسه و شست‌وشوی معکوس غشاها جریان یابد. مدول‌ها واحدهای از پیش‌ساخته است و از تولیدکننده تهیه می‌شود و ممکن است حاوی ساختار غشایی متفاوت باشند (Sharrer and Hankins, 2016). قبل از ورود به مدول، مایع/ گاز با پمپ/ کمپرسور تحت فشار قرار می‌گیرد. یک واحد فیلتراسیون غشایی ممکن است واجد یک مدول منفرد باشد اما داشتن تعدادی مدول در حالت موازی و درنهایت در یک مجموعه واقع در قفسه با واحد تحت فشار یکسان برای ایجاد فشار تراغشایی ضروری معمول است. همچنین این بخش مجهز به واحد شست‌وشوی معکوس/ تمیزکاری است. یک سامانه ممکن است از چند قفسه تشکیل شده باشد. در زمان استفاده از فشار کاهش یافته (خلأ) در سمت مواد نشت‌کننده، اجزا تا حدی متفاوت‌اند چون فشار مدول ضروری نیست و غشاهای منفرد ممکن است به‌طور مستقیم در یک حوضچهٔ خوراک غوطه‌ور شوند. در این مورد چندین غشاء در یک قفسه سرهم و سامانهٔ لوله‌کشی برای کاهش فشار جانبی تعبیه می‌شود.

۵-۳- نمونه‌هایی از نتایج فیلترهای غشایی مورداستفاده در آبزی‌پروری

در سامانهٔ آبزی‌پروری مداربسته با استفاده از ریز غربال‌های معمولی با اندازهٔ چشمهٔ ۴۰-۳۰ میکرومتر و فیلترهای نیتریفیکاسیون، تجمع ذرات ریز وجود دارد و به‌صورت افزایش کدورت دیده می‌شود. این ذرات را می‌توان با فیلترهای غشایی برداشت کرد. با استفاده از غشاهای میکروفیلتراسیون انتها بسته، Wang و همکاران (۲۰۱۶) در زمان استفاده از روش تصفیهٔ مصنوعی آب در آبزی‌پروری بهترین نتیجه را در بیشتر از ۹۴ درصد عبور نکردن TSS و ۷۶ درصد پس‌زنی BOD یافتند. آن‌ها نشان دادند که در زمان استفاده از فیلتراسیون جریان متقاطع با منافذ ۰/۰۵ میکرومتری و غشاء فیبر توخالی، تراوش محتویات نشت‌کننده با دما و فشار تراغشایی تا حد محدودی افزایش یافت اما مستقل از فشار بود. همچنین آن‌ها به این جمع‌بندی رسیدند که فیلتراسیون غشایی جایگزین اقتصادی برای برداشت مواد جامد درشت به‌وسیله ریز غربال‌های معمولی نیست چون همان‌طور که انتظار می‌رود فیلتراسیون غشایی برای برداشت ناخالصی‌های ریزتر مناسب‌ترند.

Cancino و همکاران (۲۰۱۷) از فیلتراسیون غشایی با فشار بسیار کم برای برداشت آمونیاک استفاده کردند. آن‌ها به ترتیب به ۸۷/۷ و ۹۶/۵ درصد برداشت آمونیاک و فسفر کل با فشار تراغشایی ۸-۴ بار دست‌یافتند. همچنین گزارش‌های دیگر از استفادهٔ فیلترهای غشایی برای برداشت آمونیاک وجود دارد و هر دو فیلتر نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس استفاده‌شده‌اند. برداشت خیلی خوب آمونیاک ۱۰۰-۹۰ درصد نرخ برداشت با فشار کاری ۲۵-۱۵ بار به‌دست‌آمده است. از مزایای نانوفیلتراسیون، نیاز کم‌تر به فشار است. چندین آزمایش با استفاده از فیلترهای غشایی برای تصفیهٔ آب شست‌وشوی معکوس حاصل از درام‌فیلتر در مزارع مداربسته انجام شده است. این آزمایش‌ها همراه با سامانهٔ افزایش برداشت فسفر انجام شد. این محققان نشان دادند که تقریباً خروج کامل TSS و باکتری‌ها و برداشت BOD مرتبط و نیتروژن کل بیشتر از ۹۵ درصد، برداشت فسفر کل ۹۶-۶۵ درصد و شوری از ۰ تا ۳۲ گرم در هزار بود. بر اساس یافته‌های آن‌ها، این محققان پیشنهاد کردند که محتویات نشت‌کننده (آب تصفیه‌شده) از فیلترهای غشایی را می‌توان به مزارع بازگرداند و این ممکن است به‌طور ویژه در مزارعی مفید باشد که تا حد زیادی استفاده دوباره از آب دارند (Sharrer *et al.*, 2017).

توصیهٔ ترویجی

در این مطالعه، روش‌های متنوعی به منظور حذف ذرات و مواد محلول در استخرهای پروش ماهی معرفی گردید. این سسیتم‌ها بایستی براساس نیاز و اهداف مد نظر طراحی و به کارگیری شوند. با توجه به بحران آب در کشور، استفاده از سیستم‌های نوین آبزی‌پروری و فیلتراسیون با کمترین اثر منفی امری اجتناب ناپذیر خواهد بود.

منابع

1- Bergheim, A., Schumann, M. and Brinker, A., 2019. Water pollution from fish farms. *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*, pp.1-10.
2- Boyd, C.E. and Tucker, C.S., 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management Kluwer Academic Publishers. *Boston, MA*, *700*(2), pp.265-273.
3- Cancino-Madariaga, B., Hurtado, C.F. and Ruby, R., 2011. Effect of pressure and pH in ammonium retention for nanofiltration and reverse osmosis membranes to be used in recirculation aquaculture systems (RAS). *Aquacultural engineering*, *45*(3), pp.103-108.
4- Colt, J., 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, *34*(3), pp.143-156.
5- Davidson, J. and Summerfelt, S.T., 2005. Solids removal from a coldwater recirculating system—comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquacultural Engineering*, *33*(1), pp.47-61.
6- Judd, S. and Judd, C., 2017. The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. *Aquaculture*, *29*(2), pp.165-174.
7- Kucera, J. 2015. Reverse Osmosis: Design, Processes, and Applications for Engineers. *Nanotoxicol*, *9*(3), pp.154-161.
8- Sharrer, M.J., Tal, Y., Ferrier, D., Hankins, J.A. and Summerfelt, S.T., 2007. Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system. *Aquacultural engineering*, *36*(2), pp.159-176.
9- Sharrer, M.J. and Summerfelt, S.T., 2010. Evaluation of a membrane biological reactor for reclaiming water, alkalinity, salts, phosphorus, and protein contained in a high-strength aquacultural wastewater. *Bioresource technology*, *101*(12), pp.4322-4330.
10- Veerapen, J.P., Lowry, B.J. and Couturier, M.F., 2005. Design methodology for the swirl separator. *Aquacultural Engineering*, *33*(1), pp.21-45.
11- Wang, J., Zhang, X., Chen, Y., Sommerfeld, M. and Hu, Q., 2008. Toxicity assessment of manufactured nanomaterials using the unicellular green alga Chlamydomonas reinhardtii. *Chemosphere*, *73*(7), pp.1121-1128.