2021, Vol.8, No.3, Pages 81 to 88
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ۳، ۱۴۰۰، صفحات ۸۱ تا ۸۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

A Review of Membrane Filtration and Its Efficiency in Improving Water Quality in Recirculating Aquaculture Systems (RAS)

A.R. Radkhah[1*], S. Eagderi[2], E. Sadeghinejad Masouleh[3]

1,2- PhD. student and Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. 3-Instructor of Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, Iran.

*(Corresponding Author Email: alirezaradkhah@ut.ac.ir)

Received: 30-05-2021 Revised: 04-07-2021
Accepted: 05-07-2021 Available Online: 06-12-2021

مروری بر فیلتراسیون غشایی و بررسی کارایی آن در بهبود کیفیت آب در سیستم‌های آبزی‌پروری مداربسته (RAS)

علیرضا رادخواه[1*]، سهیل ایگدری[2]، اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله[3]

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکترای بوم‌شناسی آبزیان و دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۳- مربی پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: alirezaradkhah@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

Abstract

Given that many commercial aquatic species of the country are bred in recirculating aquaculture systems (RASes), it is necessary to carefully evaluate and control the amount of water quality in these systems. Due to this issue, in the present study, the efficiency of membrane filtration in water treatment of RASes was investigated. First, general information about the membrane filtration process, including its types and benefits, was presented, and then, the importance of membrane filtration in removing contaminants and water treatment from aquaculture systems was discussed. Membrane filtration covers a wide range of filtration processes including reverse osmosis (RO), nanofiltration (NF), ultrafiltration (UF), and microfiltration (MF). Examination of the obtained sources showed that the membrane filtration has several advantages, the most important of which are the reduction of overall production costs, high flexibility, and high product quality. The solids in the aquaculture system come from uneaten food and feces produced by fish. These substances can cause the spread of microbial and pathogenic agents in aquatic environments. Application of different membrane filtration methods showed that these methods have significant efficiency in removing fine particles and organic matter from aquaculture effluents. Therefore, they can be used for sustainable management of water resources as well as water treatment in this sector.

Keywords: Membrane Filtration, Recirculating Aquaculture System (RAS), Water Quality, Solid Organic Matter.

چکیده

باتوجه‌به اینکه بخش قابل توجهی از آبزیان تجاری کشور در سیستم‌های مداربسته پرورش داده می‌شوند، ارزیابی و کنترل دقیق روی میزان کیفیت آب در این سیستم‌ها ضروری است. باتوجه‌به این مسئله، در پژوهش حاضر کارایی فیلتراسیون غشایی در تصفیه آب حاصل از سیستم‌های آبزی‌پروری مداربسته بررسی شد. در ابتدا اطلاعات کلی از فرآیند فیلتراسیون غشایی شامل انواع آن و مزایای آن‌ها ارائه شد و در ادامه، به اهمیت فیلتراسیون غشایی در حذف مواد آلاینده و تصفیه آب در سیستم‌های مداربسته آبزی‌پروری پرداخته شد. فیلتراسیون غشایی، طیف وسیعی از فرآیند فیلتراسیون شامل اسمز معکوس (RO)، نانوفیلتراسیون (NF)، اولترافیلتراسیون (UF) و میکروفیلتراسیون (MF) را شامل می‌شود. بررسی منابع به‌دست آمده نشان داد مهم‌ترین مزایای روش فیلتراسیون غشایی کاهش هزینه‌های کلی تولید، انعطاف‌پذیری بالا و کیفیت بالای محصول می‌باشد. براساس مرور منابع، مواد جامد موجود در سیستم پرورش آبزیان از غذای مصرف‌نشده و مدفوع تولید شده توسط ماهی حاصل می‌شود و می‌تواند عامل گسترش عوامل میکروبی و بیماری‌زا در محیط‌های آبی باشد. کاربرد روش‌های مختلف فیلتراسیون غشایی نشان داد این روش‌ها کارایی قابل توجهی در حذف ذرات ریز و مواد آلی از پساب‌های آبزی‌پروری دارند. از این‌رو، می‌توانند در جهت مدیریت پایدار ذخایر آبی و همچنین، تصفیه آب در این بخش استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: فیلتراسیون غشایی، سیستم پرورشی مداربسته (RAS)، کیفیت آب، مواد آلی جامد.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Radkhah A., Eagderi S. and Sadeghinejad Masouleh E. 2021. A Review of Membrane Filtration and Its Efficiency in Improving Water Quality in Recirculating Aquaculture Systems (RAS). Journal of Water and Sustainable Development, 8(3): 81-88. doi: 10.22067/jwsd.v8i3.2105.1050

مقدمه

آب علاوه‌بر اینکه به‌عنوان مایع حیات بشر شناخته می‌شود، اهمیت زیادی در صنایع مختلف از جمله آبزی‌پروری دارد. صنعت آبزی‌پروری یکی از بخش‌های مهم است که در طول سال‌های گذشته رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است (رادخواه و کریمی، ۱۳۹۳). امروزه جامعه بشری به تولیدات آبزی‌پروری نیازمند است، زیرا که این تولیدات حاوی مواد مغذی و ضروری بدن می‌باشند (Radkhah و Eagderi، ۲۰۲۱) و در واقع، نقش مهمی در امنیت غذایی بشر ایفا می‌کنند (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی گزارش‌های سازمان فائو (FAO) نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از تولیدات آبزی‌پروری، پرورش ماهیان است (رادخواه و ایگدری، ۱۳۹۸). ماهی منبع عمده‌ای از پروتئین در رژیم غذایی انسان است و از نظر اقتصادی ارزان قیمت است. بنابراین ماهی‌هایی که به‌عنوان غذا استفاده می‌شوند، باید سالم و عاری از هر گونه آلودگی یا سم باشند. بااین‌حال، آلودگی‌های ناشی از صنایع در بسیاری از پیکره‌های آبی همچون دریا، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها در حال فزونی است. بنابراین، در حال حاضر پرورش ماهی با احداث سیستم‌های آبزی‌پروری مداربسته (RAS)[1] گسترش یافته است (Chiam و Rosalam، ۲۰۱۱).

گسترش روز افزون صنعت آبزی‌پروری و افزایش تراکم آبزیان از جمله ماهیان در سیستم‌های تولید موجب شده است بسیاری از این سیستم‌ها از نظر شاخص‌های کیفیت آب با مشکلات و معضلاتی مواجه شوند (رادخواه، ۱۳۹۸؛ رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹؛ رادخواه و صادقی‌نژاد ماسوله، ۱۴۰۰). از جمله مشکلاتی که در زمینه کیفیت آب ایجاد می‌شوند، می‌توان به افزایش بار مواد آلی (آمونیاک، نیترات، فسفات)، کاهش اسیدیته آب، کدر شدن آب و از همه مهمتر، شیوع انواع بیماری‌های میکروبی (با منشا باکتریایی، ویروسی و قارچی) اشاره نمود (رادخواه، ۱۳۹۳؛ رادخواه، ۱۳۹۸؛ رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹). از آنجایی‌که در صنعت آبزی‌پروری، حفظ کیفیت آب نقش اصلی را ایفا می‌کند، از این‌رو، ضروری است آب حاصل از سیستم‌های آبزی‌پروری تا حد امکان تصفیه شده و دوباره به چرخه تولید بازگردانده شود. شکل واقعی این پدیده در سیستم‌های مداربسته آبزی‌پروری مشاهده شده است. گردش دوباره آب در سیستم‌های آبزی‌پروری، اگرچه از دیدگاه صرفه‌جویی در مصرف آب قابل توجیه است، اما می‌تواند با چالش‌های مختلف محیط‌زیستی همراه باشد که نیازمند مدیریت صحیح است. تجمع ترکیباتی از قبیل ذرات کوچک و مواد آلی که توسط روش‌های سنتی تصفیه آب حذف نشده‌اند، باعث کاهش کیفیت آب می‌شود و ممکن است بر عملکرد و کیفیت ماهی تأثیر بگذارد (Nedberg، ۲۰۱۸).

مواد جامد موجود در سیستم پرورش آبزیان یک مشکل اساسی در رشد و سلامت ماهی به‌شمار می‌روند. منبع اصلی مواد جامد از مدفوع و مواد زائد حاصل از خوراک ماهی تأمین می‌شود (رادخواه، ۱۳۹۳). این مواد به شکل ذرات معلق و محلول وجود دارند. ذرات معلق اغلب از طریق رسوب به‌طور متعارف حذف می‌شوند. بااین‌حال، بخش عمده‌ای از مواد جامد که چگالی نزدیک به آب دارند، ته‌نشین نمی‌شوند و در آب معلق می‌مانند. مواد جامد معلق را می‌توان به‌طور موثر توسط فیلتر حذف نمود. مواد جامد معلق ۶۰ میکرومتر یا بیشتر، اغلب توسط میکرواسکرین حذف می‌شوند. بااین‌حال سیستم‌های معمول تصفیه، حذف ذرات ریز (کوچکتر از ۶۰ میکرومتر) را که بیشتر به تولید مواد محلول مانند آمونیاک-نیتروژن، کربن محلول و فسفر کمک می‌کنند، نادیده می‌گیرند (Chiam و Rosalam، ۲۰۱۱). از آنجایی‌که این ذرات ریز و محلول می‌تواند باعث تغذیه پاتوژن‌ها و یوتروفیکاسیون شود، ممکن است محتوای اکسیژن محلول در آب را کاهش دهد (Chiam و Rosalam، ۲۰۱۱). بنابراین، حذف کارآمد ذرات ریز برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب و حفظ سلامت آبزیان پرورشی یکی از نیازهای ضروری در این زمینه می‌باشد.

باتوجه‌به اینکه بخش قابل توجهی از آبزیان تجاری کشور در سیستم‌های مداربسته پرورش داده می‌شوند، لازم است ارزیابی دقیقی پیرامون کیفیت آب در این سیستم‌ها صورت گیرد. باتوجه‌به این مسئله، در پژوهش حاضر کارایی فیلتراسیون غشایی در تصفیه آب حاصل از سیستم‌های مداربسته مطالعه شد. شایان ذکر است در این مطالعه، ابتدا اطلاعات کلی از فرآیند فیلتراسیون غشایی شامل انواع آن و مزایای آن‌ها ارائه و در ادامه، اهمیت فیلتراسیون غشایی در حذف مواد آلاینده و تصفیه آب در سیستم‌های مداربسته آبزی‌پروری بررسی شد. باتوجه‌به اهمیت چرخه آب در سیستم‌های آبزی‌پروری و لزوم تزریق چندباره آن به سیستم تولید، ارائه اطلاعات در زمینه فیلتراسیون غشایی می‌تواند برای بهره‌برداری در پروژه‌های آبزی‌پروری استفاده شود.

فیلتراسیون غشایی

در فیلتراسیون غشایی، یک غشا به‌عنوان یک مانع نیمه نفوذپذیر برای کنترل سرعت انتقال مولکول‌های مختلف بین دو فاز مایع عمل می‌کند (Takht Ravanchi و همکاران، ۲۰۰۹). فرآیندهای غشای تحت فشار بیشتر از فشار هیدرولیکی برای

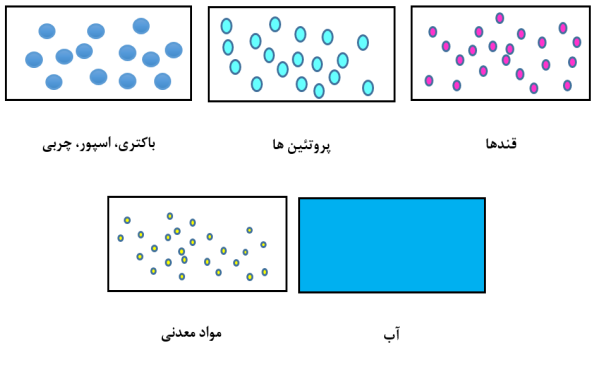
عبور مولکول‌های آب از غشا استفاده می‌کنند (Ezugbe و Rathilal، ۲۰۲۰). در این حالت، ذرات بزرگتر در آب حفظ شده و تجمع می‌یابند. امروزه بیشتر از فناوری غشا در تولید لبنیات، آب آشامیدنی و بیوتکنولوژی استفاده می‌شود (Dhineshkumar و Ramaswamy، ۲۰۱۷). استفاده از فناوری غشایی برای تصفیه فاضلاب‌هایی مانند فاضلاب روغنی، فاضلاب اسیدی، فاضلاب لبنیات و فاضلاب رنگرزی و نساجی بررسی شده است (Sun و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ezugbe و Rathilal، ۲۰۲۰). بااین‌حال، کاربرد فناوری غشایی در تصفیه فاضلاب حاصل از فعالیت‌های آبزی‌پروری محدود است.

• فرآیندهای فیلتراسیون غشایی تحت فشار

فیلتراسیون غشایی روشی برای جداسازی ذرات در محلول‌های مایع یا مخلوط‌های گازی است. این روش در طیف وسیعی از برنامه‌های صنعتی از فرآوری لبنیات تا تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود. غشای نیمه‌نفوذپذیر به‌عنوان سدی عمل می‌کند که ذرات بزرگتر را در خود نگه می‌دارد، در حالی‌که به مولکول‌های کوچکتر اجازه می‌دهد از طریق غشا به داخل نفوذ کنند. مولکول‌ها به‌طور طبیعی از مناطق با غلظت بالا به غلظت کم منتقل می‌شوند. با اعمال فشار خارجی، مولکول‌ها می‌توانند از مناطقی با غلظت کم به غلظت زیاد انتقال یابند. اختلاف فشار در هر دو طرف غشا باعث می‌شود نفوذ صورت گیرد و در نتیجه، محیط مایع از ذرات ریز تصفیه شود (Bodzek و همکاران، ۲۰۱۹).

• انواع فیلتراسیون غشایی

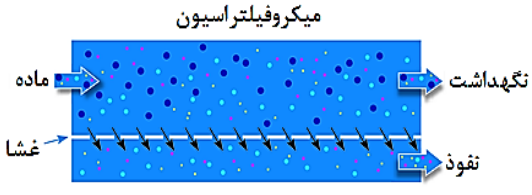
معمولاً چهار نوع اصلی فیلتراسیون غشایی تحت فشار وجود دارد که براساس اندازه ماده‌ای که برای جدا شدن از مایع مورد نیاز است، تعریف می‌شوند (شکل ۱). چهار نوع فیلتراسیون غشایی به‌ترتیب افزایش اندازه منافذ تحت عنوان اسمز معکوس[۲]، نانوفیلتراسیون[۳]، اولترافیلتراسیون[۴] و میکروفیلتراسیون[۵] شناخته می‌شوند.



شکل ۱- نوع مواد جدا شده در فیلتراسیون غشایی

۱- میکروفیلتراسیون

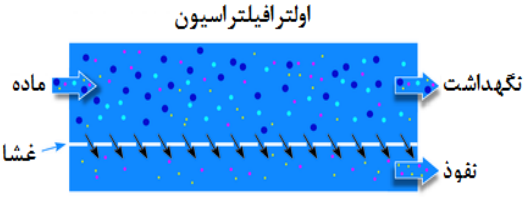
در قرن نوزدهم میکرو فیلتراسیون (MF) به‌عنوان یک فناوری جداسازی مبتنی بر غشا برای تصفیه پساب‌های مختلف و فاضلاب‌ها تکامل یافته است (Anis و همکاران، ۲۰۱۹). اندازه منافذ غشاهای میکروفیلتراسیوناز ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر می‌باشد (شکل ۲). این غشاها بیشتر برای حذف ذرات بزرگ، کلوئیدها و باکتری‌ها از مواد خوراکی استفاده می‌شوند. این روش به‌طور ویژه در صنایع غذایی و آشامیدنی برای تصفیه فاضلاب قبل از تخلیه آن به فاضلاب شهری بسیار کاربرد دارد (Synder Filtration، ۲۰۲۱).



شکل ۲- فرآیند میکروفیلتراسیون (Alfa Laval، ۲۰۲۱)

۲- اولترافیلتراسیون

اولترافیلتراسیون (UF) فرایندی است که شبیه میکروفیلتراسیون است، اما با اندازه منافذ کوچکتر از ۰/۰۱ تا ۰/۱ میکرومتر متغیر است (شکل ۳). غشاهای اولترافیلتراسیون قادر به عبور ویروس‌ها و پلی پپتیدها هستند (Synder Filtration، ۲۰۲۱). درحال‌حاضر، از اولترافیلتراسیون به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف از قبیل تهیه آب فوق‌العاده خالص در صنعت الکترونیک، بازیافت رنگ الکتروفورزیک، تولید نوشیدنی و آب میوه، صنعت داروسازی، صنعت پزشکی، تصفیه و بازیافت فاضلاب و غیره استفاده می‌شود (Jianxian و Hongqi، ۲۰۰۹؛ Li و همکاران، ۲۰۱۸).

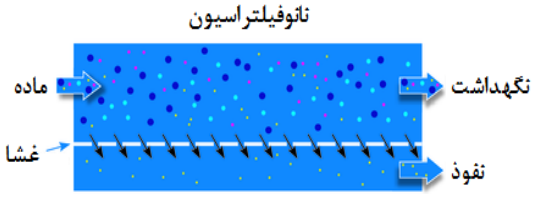


شکل ۳- روش اولترافیلتراسیون (Alfa Laval، ۲۰۲۱)

۳- نانوفیلتراسیون

غشاهای نانوفیلتراسیون (NF) از این نظر که شامل یک لایه کامپوزیت فیلم نازک (کمتر از یک میکرومتر) در بالای یک لایه متخلخل (۵۰ تا ۱۵۰ میکرومتر) برای انتخاب یون کوچک هستند، مشابه غشاهای اسمز معکوس هستند (Synder

Filtration، ۲۰۲۱). غشاهای نانوفیلتراسیون مانع عبور نمک‌های چندظرفیتی و املاح بدون بار می‌باشند، در حالی‌که به برخی نمک‌های تک‌ظرفیتی اجازه عبور می‌دهند (شکل ۴). این نوع از غشاهای فیلتراسیون می‌توانند در فشارهای کمتری نسبت به غشاهای اسمز معکوس عمل کنند (Synder Filtration، ۲۰۲۱).

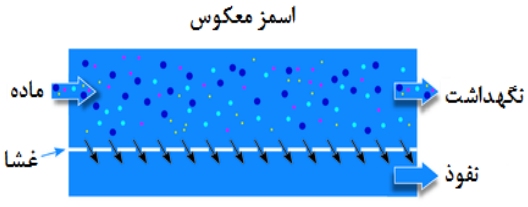


شکل ۴- نانوفیلتراسیون (Alfa Laval، ۲۰۲۱)

۴- اسمز معکوس

غشاهای اسمز معکوس (RO) در مقایسه با غشاهای نانوفیلتراسیون، متراکم‌تر هستند و مانع عبور کلیه یون‌های تک ظرفیتی می‌شوند. این در حالی است که غشاهای اسمز معکوس به مولکول‌های آب اجازه می‌دهند از غشا عبور کنند (شکل ۵). این نوع از غشاها قادر هستند ویروس‌ها و باکتری‌های موجود در محلول‌های خوراکی را حذف کنند. نمک‌زدایی آب دریا و تصفیه آب صنعتی از کاربردهای معمول فیلتراسیون اسمز معکوس می‌باشد. از آنجایی‌که فشار عملیاتی برای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون بسیار بیشتر از فشار میکروفیلتراسیون (MF) و اولترافیلتراسیون (UF) است، بازده کلی آن‌ها نیز نسبت به غشاهای MF و UF تااندازه‌ای کمتر است. تراکم غشایی پدیده‌ای است که در فرآیندهای غشایی تحت فشار رخ می‌دهد. حد بالای فشار برای غشای فوق فیلتراسیون و میکروفیلتراسیون ۱۲۰ پاسکال است، درحالی‌که حد بالا برای غشاهای نانوفیلتراسیون ۶۰۰ پاسکال است. هنگامی‌که غشا تا حد مشخصی فشرده شد، شار نفوذ شروع به تثبیت و نوسان کمتری می‌کند (Synder Filtration، ۲۰۲۱).

تغییر شکل ناشی از تراکم غشایی بیشتر به‌طور ویژه برای غشاهای ورق‌تختِ برگشت‌ناپذیر است. اگر هیچ تراکم غشایی رخ ندهد، شار با فشار ارتباط خطی دارد. علاوه‌برآن، میزان تراکم نیز متناسب با افزایش فشار و دما است. تراکم بیشتر در اسمز معکوس اتفاق می‌افتد، زیراکه فشارهای وارد شده تااندازه‌ای زیاد هستند. فشارهای عملیاتی در بعضی از برنامه‌ها ممکن است به بیش از ۱۰۰۰ پاسکال برسند. غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون در مقایسه با غشای اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون اندازه منافذ بسیار کوچکتری دارند، از این‌رو، در فشارهای بالاتر، بازده بیشتری خواهند داشت. بااین‌حال، باتوجه‌به فشار وارد شده، ممکن است فشرده‌سازی در فرآیندهای اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون نیز رخ دهد (Synder Filtration، ۲۰۲۱).



شکل ۵- روش اسمز معکوس (Alfa Laval، ۲۰۲۱)

• مزایای فیلتراسیون غشایی

فرآیندهای فیلتراسیون غشایی به‌دلیل مزایای مختلفی که دارند، در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این مزایا قابلیت اطمینان، سازگاری و هزینه‌های عملیاتی می‌باشد.

- **کاهش هزینه‌های کلی تولید:** یکی از مزایای فیلتراسیون غشایی ارزان بودن این روش در مقایسه با بسیاری از فناوری‌های جایگزین دیگر است. در این روش، هزینه‌های نصب و انرژی کمتر است. فیلتراسیون غشایی شامل پروسه کوتاه‌تری است و دستیابی به درجه خلوص بیشتر و بازده کلی بالاتر را امکان‌پذیر می‌کند (Hube و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه‌براین، از آنجایی‌که فیلتراسیون غشایی منجر به ایجاد فیلتر کیک[۶] نمی‌شود، هزینه‌ای در رابطه با حذف و دفع مواد وجود ندارد (Alfa Laval، ۲۰۲۱)

- **انعطاف‌پذیری بالا:** از فیلتراسیون غشایی می‌توان برای محصولات خوراکی با طیف وسیعی از ویسکوزیته‌های مختلف استفاده کرد. طیف گسترده‌ای از محصولات مختلف حاصل از فیلتراسیون غشایی نشان می‌دهد این تکنیک بهترین راه‌حل ممکن است. این روش همچنین هزینه‌های غیرضروری انرژی را کاهش می‌دهد (Hube و همکاران، ۲۰۲۰).

- **کیفیت بالای محصول:** فیلتراسیون غشایی یک فناوری پاک است. فرآیند جداسازی فقط براساس اندازه مولکولی انجام می‌شود و استفاده از مواد افزودنی را غیرضروری می‌کند (Ostojčić و همکاران، ۲۰۲۰). این امر منجر به تولید یک محصول نهایی با کیفیت مطلوب می‌شود که در نهایت، علاوه‌بر رعایت حقوق مصرف‌کنندگان از دیدگاه محیط‌زیستی نیز اهمیت دارد.

• کاربرد فیلتراسیون غشایی در تصفیه آب سیستم‌های آبزی‌پروری

در سیستم‌های آبزی‌پروری استفاده از فناوری‌های تصفیه آب

مانند فیلتراسیون غشایی با اهداف مختلفی صورت می‌گیرد که مهمترین آن‌ها کاهش مصرف آب، حذف مواد سمی برای ماهیان (بهویژه نیتریت و آمونیوم یا آمونیاک) و حذف ذرات معلق به‌منظور جلوگیری از رشد زیست‌توده میکروبی می‌باشد (Gemende و همکاران، ۲۰۰۸؛ Gerbeth و Gemende، ۲۰۲۱). سیستم‌های آبزی‌پروری مداربسته (RASes) به‌طور گسترده به‌عنوان سیستم‌های پایدار برای تأمین تقاضای روزافزون ماهیان و محصولات دریایی در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته‌اند. بااین‌حال، عملکرد کارآمد سیستم مداربسته به تهویه مداوم آب برای مدیریت ضایعات تشکیل شده در مخازن پرورشی، حذف مواد سمی مانند آمونیاک و حفظ غلظت‌های مناسب اکسیژن محلول وابسته است (Gemende و همکاران، ۲۰۰۸). باتوجه‌به استفاده مداوم از آب بازیافتی، در سیستم‌های پرورشی مداربسته به‌طورکلی فرآیندهای تصفیه پیچیده است (Roger و Viadero، ۲۰۰۳).

مدیریت مواد جامد

پسماندهای جامد موجود در سیستم مداربسته مستقیم یا غیرمستقیم از خوراک اضافه شده به سیستم تولید می‌شوند. این پسماندها به‌عنوان باقی‌مانده خوراک مصرف نشده، متابولیت‌های ماهی و یا میکروارگانیسم‌هایی که در سیستم رشد می‌کنند، وجود دارند (رادخواه، ۱۳۹۳). بررسی مطالعات انجام شده نشان داده است، ارتباط مستقیمی بین بارگذاری مواد آلی جامد و بیماری‌های باکتریایی ماهیان و آلودگی آمیبی آبشش وجود دارد (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹). در نتیجه، اقدامات موثر در مدیریت جامدات برای عملکرد کارآمد RAS لازم است.

تجمع مواد جامد آلی در سیستم RAS، میزان اکسیژن محلول موجود برای تنفس ماهی را کاهش می‌دهد و به‌عنوان یک عامل اصلی تراکم قابل تولید ماهی را محدود می‌کند. همچنین، مواد جامد آلی به‌عنوان سایت‌های میزبان برای عوامل بیماری‌زای فرصت‌طلب عمل می‌کنند. از این‌رو، این مواد می‌توانند اثرات سو بیشتری بر بهره‌وری سیستمRAS داشته باشند.

فرآیندهای معمولی تصفیه مانند ته‌نشینی در حذف مواد جامد بزرگ در سیستم RAS موثر هستند. بااین‌حال، مواد آلی ریز با قطر کمتر از ۲۰ تا ۲۵ میکرومتر، در اکثر موارد از تصفیه معمولی عبور می‌کنند و با گذشت زمان در سیستم تجمع می‌یابند. یک روش مناسب برای مدیریت تجمع مواد جامد و ریز در سیستم RAS ، جداسازی به‌واسطه غشای تحت فشار است. در این روش، ذرات معلق بزرگتر از منافذ غشا عبور نمی‌کنند و به دام می‌افتند، در حالی‌که آب و مواد تشکیل‌دهنده محلول آزادانه از غشا عبور می‌کنند (Roger و Viadero، ۲۰۰۳).

سیستم‌های مداربسته و فیلتراسیون

در سیستم‌های مداربسته (RAS)، پساب مخازن پرورشی به‌واسطه فرآیندهای متداول تصفیه که شامل حذف مواد جامد از سیستم می‌باشد، خارج می‌شوند. بااین‌حال، مواد ریز با قطر ۲۰ تا ۲۵ میکرومتر به‌طور موثر در فرآیندهای تصفیه معمولی حذف نمی‌شوند، در نتیجه نابودی کیفیت آب کشیده می‌شوند (Roger و Viadero، ۲۰۰۳). میکروفیلتراسیون یک فناوری جداسازی تحت فشار است که در آن از یک غشای نیمه‌نفوذپذیر برای انتخاب ذرات با قطر بیش از ۰/۰۵ تا ۱۰ میکرون استفاده می‌شود، درحالی‌که اجازه می‌دهد مواد تشکیل‌دهنده کوچکتر، از جمله آب و اجزای محلول، آزادانه از غشا عبور کنند (Bodzek و همکاران، ۲۰۱۹). در فیلتراسیون جریان متقابل، محلول خوراک (آب حاوی مواد جامد ریز) به موازات سطح غشا عبور می‌کند و باعث نفوذ آب بدون مواد جامد و نگهداری مواد جامد غلیظ می‌شود. مهمترین مزیت فیلتراسیون جریان متقاطع، کاهش تجمع مواد جامد در سطح غشا است که باعث کاهش گرفتگی منافذ غشا می‌شود. به‌طورکلی، در شرایطی که غلظت ضایعات کم و تلاطم هیدرولیکی بالا باشد، میزان حجم تولید آب تمیز در واحد سطح غشا که معروف به "شار نفوذ" می‌باشد، متناسب با نیروی محرک، فشار غشایی است. بااین‌وجود، با جمع شدن جامدات در سطح غشا، به‌دلیل تشکیل یک لایه مرزی غلظت در سطح غشا، شار از فشار غشایی مستقل می‌شود (Roger و Viadero، ۲۰۰۳).

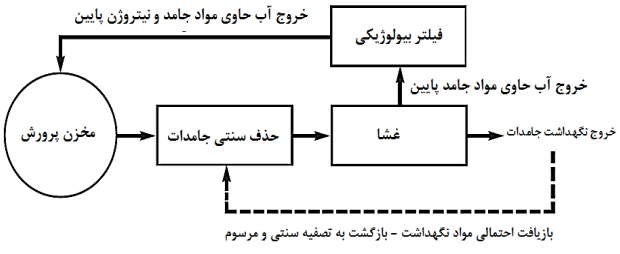
میکروفیلتراسیون در سیستم‌های RAS

• عملکرد تصفیه

پیش‌بینی عملکرد سیستم میکروفیلتراسیون به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محلول مورد نظر وابسته است. گزارش Viadero وNoblet (۲۰۰۲) درباره استفاده از میکروفیلتراسیون در سیستم RAS نشان داد، غشایی با اندازه منافذ ۰/۰۵ میکرومتر برای حذف بیش از ۹۴ درصد کل مواد جامد معلق مناسب است. براساس نتایج حاصل از گزارشViadero و Noblet (۲۰۰۲)، نفوذ شار از درون سیستم میکروفیلتراسیون با دمای آب افزایش می‌یابد. افزایش نفوذ شار به‌واسطه کاهش گرانروی آب با افزایش دما صورت گرفت. همچنین، نفوذ شار با فشار غشایی تا یک حد محدود نیز افزایش می‌یابد. براساس مطالعات انجام شده، بازده روش میکروفیلتراسیون در حذف مواد جامد محلول، نیتروژن کل و فسفر کل ضعیف بود، زیراکه منافذ غشای میکروفیلتراسیون برای ممانعت از عبور مواد محلول به‌اندازه کافی کوچک نیستند.

• اجرای فرآیند

براساس ملاحظات اقتصادی، میکروفیلتراسیون نمی‌تواند در برابر سایر فناوری‌ها مانند فیلترهای میکرواسکرین دوار برای تصفیه مستقیم آب در سیستم RAS رقابت کند. اگرچه سایر فرآیندهای متداول تصفیه در شفاف‌سازی مقادیر زیادی آب موثر هستند، اما قادر به حذف ذرات ریز نیستند. در این شرایط، فیلتراسیون غشایی می‌تواند به‌عنوان یک مرحله اضافه برای کنترل تجمع جامدات ریز در سیستم RAS استفاده شود (Roger و Viadero، ۲۰۰۳). در شکل (۶)، نمایی از کاربرد فیلتراسیون غشایی در تصفیه آب ارائه شده است.



شکل ۶- نمای شماتیکی از اجرای میکروفیلتراسیون در سیستم‌های RAS (Roger و Viadero، ۲۰۰۳)

در چنین استراتژی، حذف ذرات معلق بزرگ تحت تأثیر فرآیندهای متداول قرار می‌گیرد. سپس، مواد جامد کوچک با استفاده از فیلتراسیون غشایی حذف می‌شوند. این آرایش باعث کاهش تقاضای اکسیژن مرتبط با مواد آلی درشت و ریز می‌شود (Roger و Viadero، ۲۰۰۳). در نتیجه، فرصت تجمع ارگانیسم‌های بیماری‌زا در سیستم‌های مداربسته را کاهش می‌دهد. علاوه‌براین، نرخ رسوب و بارگذاری در بیوفیلتر را از طریق حذف مواد جامد درشت و ریز می‌توان کاهش داد، در نتیجه فرآیند تصفیه سریعتر و بیشتر صورت می‌گیرد (Ezugbe و Rathilal، ۲۰۲۰).

کاربرد فناوری غشایی در سیستم‌های پرورشی مختلف

• سیستم پرورش آزادماهی

استفاده از فیلتراسیون غشایی در سیستم‌های پرورشی مداربسته (RAS) می‌تواند کیفیت آب را بهبود بخشد. در نتیجه، احتمال مرگ‌ومیر ماهی‌ها به‌دلیل حضور عوامل میکروبی را کاهش می‌دهد (Bonisławska و همکاران، ۲۰۱۶). Fletcher (۲۰۲۰) به بررسی کاربرد فیلتراسیون غشایی در سیستم پرورشی مداربسته در آزادماهی پرداخت. وی بیان کرد، چالش اصلی در سیستم‌های RAS تجمع ذرات آلی معلق می‌باشد که به‌دلیل ناکارآمدی سیستم‌های تصفیه قبلی امکان حذف آن‌ها وجود نداشته است. مواد آلی بیشتر منبع تعیین‌کننده برای حضور باکتری‌های هتروتروف در سیستم هستند. Fletcher (۲۰۲۰) عنوان کرد استفاده از یک روش مناسب به‌منظور حذف ذرات آلی معلق شکوفایی کمتر باکتری‌های فرصت‌طلب و پویایی جامعه آبزی را به همراه دارد. تحقیقات انجام شده نشان دادند غشاها باعث افزایش سرعت رشد و کاهش مرگ‌ومیر در پرورش لارو ماهیان دریایی می‌شوند. بااین‌حال، فرضیه محققین این بود که فیلتراسیون غشایی در سیستم RAS با پایینتر و یکنواخت نگهداشتن ذرات آلی، پایداری را افزایش می‌دهد (Fossmark و همکاران، ۲۰۲۰؛ Fletcher، ۲۰۲۰). پایین نگه‌داشتن مواد آلی در سیستم‌های مداربسته به‌ویژه سیستم‌هایی که با میزان بالای تراکم آبزیان مواجه هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد.

• سیستم پرورش آزادماهی اقیانوس اطلس (*Salmo salar*)

Nedberg (۲۰۱۸) به بررسی چگونگی استفاده از فیلتر غشایی برای حذف ذرات در سیستم RAS به‌منظور توسعه کیفیت آب و عملکرد آزادماهی اقیانوس اطلس پرداخت. این محقق دو سیستم RAS در مقیاس آزمایشی را مقایسه نمود. یک سیستم با استفاده از اجزای معمولی تصفیه آب (cRAS) عمل می‌کرد و دیگری شامل یک غشای فیلترکننده (mRAS) بود. در این مطالعه، پارامترهای کیفیت آب (دما، اکسیژن، شوری، دی‌اکسید کربن، pH، نیتروژن کل، آمونیاک، نیتریت، نیترات، کدورت و مواد جامد معلق) و پارامترهای رشد ماهی (وزن، طول، شاخص‌های ایمنی و هماتولوژی) در طول ۱۸ هفته اندازه‌گیری شد و نتایج حاصل از cRAS و mRAS مقایسه شدند. تفاوت مشاهده شده در کیفیت آب ناشی از فیلتراسیون غشایی، در درجه اول به‌دلیل افزایش حذف ذرات و افزایش دمای آب به‌دلیل تولید گرمای ناشی از کار با غشا کدورت کمتری نشان داد. همچنین، در این سیستم سطح اکسیژن محلول و دی‌اکسید کربن نیز متفاوت بود و رشد بیشتر در mRAS رخ داده بود که حاصل دمای بالاتر آب بود (Nedberg، ۲۰۱۸). بیشترین اختلاف در عملکرد رشد ماهی مشاهده شد. Nedberg (۲۰۱۸) بیان کرد فیلتراسیون غشایی می‌تواند گزینه مناسبی در سیستم RAS برای حذف ذرات باشد.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

مطالعه حاضر نشان داد فیلتراسیون غشایی طیف وسیعی از فرآیند فیلتراسیون شامل اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون را شامل می‌شود. بررسی منابع به‌دست آمده نشان داد روش فیلتراسیون غشایی مزایای مختلفی دارند، از جمله مهمترین آن‌ها کاهش هزینه‌های کلی

تولید، انعطاف‌پذیری بالا و کیفیت بالای محصول می‌باشد. براساس مرور منابع، مواد جامد موجود در سیستم پرورش آبزیان از غذای مصرف نشده و مدفوع تولید شده توسط ماهی حاصل می‌شود. جامدات بزرگتر از ۶۰ میکرومتر به‌طور متداول توسط میکرواسکرین‌ها حذف می‌شوند. بااین‌حال، تحقیق در مورد مدیریت ذرات ریز (<۶۰ میکرومتر) و کنترل تولید آمونیاک محلول به بررسی بیشتر نیاز دارد که این امر می‌تواند با استفاده از روش‌های فیلتراسیون غشایی تحقق یابد (Kurama و همکاران، ۲۰۰۲؛ Hurtado و Cancino-Madariaga، ۲۰۱۴).

توجیه اقتصادی استفاده از فیلتراسیون غشایی در سیستم‌های آبزی‌پروری به‌ویژه سیستم‌های مداربسته دریایی هنوز به ارزیابی‌های بیشتر نیاز دارد. به‌طورکلی، این مطالعه نشان داد فیلتراسیون غشایی کاربرد بالقوه‌ای در حذف مواد آلی و ذرات ریز جامد از سیستم‌های پرورشی مداربسته دارد. این کاربرد می‌تواند در بخش‌های مختلف آبزی‌پروری شامل پرورش لارو ماهیان بررسی شودانتظار می‌رود یافته‌های ارائه شده در این مطالعه بتواند در جهت مدیریت پایدار ذخایر آبی و تصفیه آب در بخش‌های مختلف صنعت از جمله بخش آبزی‌پروری مورد استفاده مدیران و کارشناسان مسئول قرار گیرد.

پی‌نوشت

1-Recirculating Aquaculture Systems
2-Reverse Osmosis
3-Nanofiltration
4-Ultrafiltration
5-Microfiltration
6-Filter Cake

منابع

رادخواه، ع.ر. ۱۳۹۳. حذف آمونیاك از سیستم‌های پرورش ماهی با استفاده از باکتری‌های نیتریفیکاتور. اولین همایش آبزی‌پروری نوین- چالش‌ها و فرصت‌ها. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

رادخواه، ع.ر. و کریمی، ع. ۱۳۹۳. احیای ذخایر ماهیان خاویاری با رویکرد پرورش در قفس. اولین همایش آبزی‌پروری نوین- چالش‌ها و فرصت‌ها. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

رادخواه، ع.ر.، ایگدری، س. و صادقی نژاد ماسوله ا. ۱۳۹۹. بررسی خواص ضدمیکروبی نانوذرات نقره (AgNPs) به‌منظور کنترل بیماری‌ها و مدیریت بهداشت در سیستم‌های آبزی‌پروری. مجله آبزیان زینتی، ۷(۱): ۱۷-۱۵.

رادخواه، ع.ر. و ایگدری، س. ۱۳۹۸. بررسی خصوصیات زیست‌شناختی و پتانسیل‌های پرورشی برخی از گونه‌های جراح ماهی (خانواده: Acanthuridae) ساکن خلیج فارس جهت بهره‌برداری در صنعت پرورش ماهیان زینتی. مجله آبزیان زینتی، ۶(۴): ۱-۱۱.

رادخواه، ع.ر. ۱۳۹۸. گسترش بیماری‌های انگلی به‌عنوان تهدیدی جدی برای صنعت پرورش ماهیان زینتی: بررسی میزان شیوع انگل آرگولوس (Argulus) در ماهیان زینتی ایران. مجله آبزیان زینتی، ۶(۳): ۱۳-۲۲.

رادخواه، ع.ر. و صادقی‌نژاد ماسوله، ا. ۱۴۰۰. بررسی تاثیر عوامل فیزیکوشیمیایی آب بر زیست‌فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانوذرات فلزی در اکوسیستم‌های آبزی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۸(۲): ۷۱-۹۰.

Alfa Laval B.W. 2021. Alfa Laval Global Website. What is membrane filtration? Available at: https://www.alfalaval.com/products/separation/membranes/what-is-membrane-filtration. (visited 29 May 2021).

Anis S.F., Hashaikeh R. and Hilal N.2019. Microfiltration membrane processes: A review of research trends over the past decade. Journal of Water Process Engineering, 32: 100941.

Bodzek M., Konieczny K. and Rajca M. 2019. Membranes in water and wastewater disinfection–review. Archives of Environmental Protection, 45(1): 3-18.

Bonisławska M., Nedzarek A., Drost A., Rybczyk A. and Tórz A., 2016. The application of ceramic membranes for treating effluent water from closed-circuit fish farming. Archives of Environmental Protection, 42(2): 59-66.

Chiam C-k. and Rosalam S. 2011. Purification of aquacultural water: conventional and new membrane-based techniques. Separation and Purification Reviews, 40(2): 126-160.

Dhineshkumar V. and Ramasamy D. 2017. Review on membrane technology applications in food and dairy processing. Journal of Applied Biotechnology and Bioengineering, 3(5): 399-407.

Ezugbe E.O. and Rathilal S. 2020. Membrane Tech-

Li X., Jiang L. and Li H. 2018. Application of ultrafiltration technology in water treatment. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 186: 012009.

Nedberg H.G.A. 2018. The effects of membrane filtration in a recirculating aquaculture system on water quality and fish performance of Atlantic salmon (Salmo salar). Available at: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2504408.(visited April 14, 2021).

Ostojčić M., Brkić S., Tišma M., Zelić B. and Budžaki S. 2020. Membrane filtration as an environmentally friendly method for crude biodiesel purification. Kemija u Industriji, 69(3-4): 175–181.

Radkhah A.R. and Eagderi S. 2021. Book review: Lobsters: Biology, Fisheries and Aquaculture, 2019. E. V. Radhakrishnan, Bruce F. Phillips and Gopalakrishnan Achamveetil (eds). Current Science, 12(10): 1640-1642.

Roger C. and Viadero Jr. 2003. Membrane filtration: Emerging technology removes fine solids from recirculating systems. Available at: https://www.aquaculturealliance.org/advocate/membrane-filtration-emerging-technology-removes-fine-solids-from-recirculating-systems. (visited 1 June 2003).

Sun X., Wang C., Li Y., Wang W. and Wei J. 2015. Treatment of phenolic wastewater by combined UF and NF/RO processes. Desalination, 355: 68–74.

Synder Filtration. 2021. Pressure-Driven Membrane Filtration Processes. Available at: https://synderfiltration.com/learning-center/articles/introduction-to-membranes/pressure-driven-membrane-filtration-processes. (visited 29 May 2021).

Takht Ravanchi M., Kaghazchi T. and Kargari A. 2009. Application of membrane separation processes in petrochemical industry: A review. Desalination, 235: 199–244.

Viadero R.C. and Noblet J.A. 2002. Membrane filtration for removal of fine solids from aquaculture process water. Aquacultural Engineering, 26: 151–169.

nologies in Wastewater Treatment: A Review. Journal of Membranes, 10: 1-28.

Fletcher R. 2020. Membrane filters prove promising in salmon RAS. Available at: https://thefishsite.com/articles/membrane-filters-prove-promising-in-salmon-ras. (visited 7 May 2020).

Fossmark R.O., Vadstein O., Rosten T.W., Bakke I., Košeto D., Bugten A.V., Helberg G.A., Nesje J., Jørgensen N.O.J., Raspati G., Azrague K., Østerhus S.W. and Attramadal K.J.K. 2020. Effects of reduced organic matter loading through membrane filtration on the microbial community dynamics in recirculating aquaculture systems (RAS) with Atlantic salmon parr (Salmo salar). Journal of Aquaculture, 524: 735268.

Gemende B., Gerbeth A., Pausch N. and Bresinsky A.V. 2008. Tests for the application of membrane technology in a new method for intensive aquaculture. Desalination, 224(1–3): 57-63.

Gerbeth A. and Gemende B. 2021. Membrane technology for process water cleaning in aquaculture - chances and challenges. Available at: http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc_2012/Presentations/Membrane.pdf. (visited 30 May 2021)

Hube S., Eskafi M., Hrafnkelsdóttir K.F., Bjarnadóttir B., Bjarnadóttir M.A., Axelsdóttir S. and Wu B. 2020. Direct membrane filtration for wastewater treatment and resource recovery: A review. Science of The Total Environment, 710: 136375

Hurtado C.F. and Cancino-Madariaga B. 2014. Ammonia retention capacity of nanofiltration and reverse osmosis membranes in a non steady state system, to be use in recirculation aquaculture systems (RAS). Aquacultural Engineering, 58: 29-34.

Jianxian Z. and Hongqi Y. 2009. Ultrafiltration technology and its application. Journal of Industrial Water and Wastewater, 2: 1-5.

Kurama H., Poetzschke J. and Haseneder R. 2002. The application of membrane filtration for the removal of ammonium ions from potable water. Water Research, 36(11): 2905-2909.