2020, Vol.7, No.1, Pages 71 to 78
Journal of Water and Sustainable Development

سال هفتم، شماره ۱، ۱۳۹۹، صفحات ۷۱ تا ۷۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Investigation of Membrane Bioreactor (MBR) as an Effective Method in Wastewater Treatment

E. Movahed[1*], A. Rahnavard[2]

1,2-PhD Student in Environment Pollution & Assistant Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Iran.

*(Corresponding Author Email: E.movahed86@yahoo.com)

Received: 17-02-2019
Accepted: 28-11-2019

بررسی بیوراکتور غشایی (RBM) به‌عنوان روشی کارا در تصفیه فاضلاب

الهام موحد[1*]، آپتین راهنورد[2]

۱ و۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری آلودگی‌های محیط‌زیست و استادیار گروه محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن.

*(نویسنده مسئول، Email: E.movahed86@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۷

Abstract

Nowadays, due to strict laws to prevent environmental pollution as well as the importance of recycling and reuse of effluent, the use of processes that can treat wastewater with high efficiency has received special attention. One of the biological and widely used mechanism of domestic and industrial sewage treatment is activated sludge which microorganisms break down organic matter in the sewage while consuming oxygen. The advantages of this method are simple design, simple guidance, optimal efficiency in organic matter removal and less sensitivity to seasonal variations in temperature. After demonstrating the proper performance of the activated sludge in the treatment of variety of sewages, various adjustments and changes were made to adapt this process to different requirements. The disadvantages of conventional activated sludge method are the need to relatively high electrical and mechanical equipment, operational problems, the need for relatively high space for the construction of the wastewater treatment plant and low efficiency in the separation of all suspended organic matter. Membrane bioreactor (MBR) is a method to solve the problems of activated sludge especially reducing the steps of the purification process (removal of sedimentation and disinfection) and increasing the efficiency of reducing organic pollutants. Despite the use of an active sludge reactor, the separation of sludge from water is done by a membrane microfiltration system. This system has been highly efficient for domestic and industrial wastewater treatment and has received special attention in recent years.

Keywords: Microfiltration, Ultrafiltration, Membrane process.

چکیده

امروزه باتوجه‌به قوانین سخت‌گیرانه جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و همچنین اهمیت بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب، استفاده از فرآیندهایی که قادر باشند فاضلاب را با کارایی بالا تصفیه نمایند، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. یکی از مکانیسم‌های بیولوژیکی و پر کاربرد تصفیه فاضلاب خانگی و صنعتی، لجن فعال است. میکروارگانیزم‌ها ضمن مصرف اکسیژن، مواد آلی موجود در فاضلاب را تجزیه می‌نمایند. از مزایای این روش طراحی آسان، راهبری ساده، راندمان مطلوب در حذف مواد آلی و حساسیت کمتر در برابر تغییرات دمایی فصلی است. پس از اثبات کارایی مناسب لجن فعال در تصفیه انواع فاضلاب‌ها برای سازگار کردن این فرآیند با نیازمندی‌های متفاوت، اصلاحات و تغییرات مختلفی بر روی آن انجام شد. از معایب روش لجن فعال متعارف، نیاز به تجهیزات برقی و مکانیکی نسبتاً زیاد، مشکلات بهره برداری، نیاز به فضای نسبتا زیاد برای احداث تصفیه‌خانه و راندمان پایین در جداسازی تمام مواد آلی معلق معمولی می‌باشد. روش بیوراکتور غشایی (MBR)[1]، روشی برای رفع مشکلات لجن فعال به‌ویژه کاهش مراحل فرایند تصفیه (حذف ته‌نشینی و گندزدایی) و افزایش راندمان کاهش آلاینده آلی است که علی‌رغم استفاده از راکتور لجن فعال، مرحله جداسازی لجن از آب توسط یک سیستم میکروفیلتراسیون غشایی انجام می‌شود. این سیستم برای تصفیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی کارایی بالایی داشته و سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به آن شده است.

واژه‌های کلیدی: میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، فرآیند غشایی.

DOI: 10.22067/jwsd.v7i1.79236

مقدمه

باتوجه‌به وجود قوانین سخت‌گیرانه در مورد کیفیت پساب‌ها و همچنین مشوق‌ها و کمک‌های تخصیص یافته از طرف دولت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌ها روزبه‌روز بر اهمیت روش‌های نوین تصفیه فاضلاب افزوده می‌شود. همچنین امروزه به‌دلیل گستردگی منابع آب آشامیدنی و جلوگیری از آلودگی آنها، تصفیه فاضلاب امروی ضروری است. از سوی دیگر باتوجه‌به پدیده خشکسالی دهه اخیر کشور، بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب اهمیت بسیاری دارد. ازاین‌رو امروزه استفاده از فرآیندهایی که قادر باشد فاضلاب را تصفیه و به کیفیت مناسب برای بازچرخانی برساند، مورد توجه سازمان‌ها و شرکت‌های دولتی و خصوصی قرار گرفته است. یکی از مکانیسم‌های تصفیه فاضلاب، تصفیه بیولوژیکی است، در این روش از موجودات زنده برای تصفیه استفاده می‌شود و یک مکانیسم مؤثر برای حذف مواد آلاینده آلی، مواد جامد معلق یا مواد محلول درپساب است. سیستم‌های لجن فعال، برکه تثبیت و راکتور بیولوژیکی غشایی (MBR) نمونه‌ای از روش‌های بیولوژیکی هوازی می‌باشد (Judd، ۲۰۱۰).

یکی از زیرمجموعه‌های روش تصفیه بیولوژیک، سیستم‌های تصفیه هوازی با رشد معلق می‌باشد که در آن میکروارگانیسم‌های فاضلاب به حالت معلق در سیستم باقی می‌ماند و اغلب به‌صورت هوازی فعالیت می‌کنند. فرایند لجن فعال و فرایندهای اصلاح شده از رایج‌ترین فرایندهای رشد معلق هوازی مورد استفاده برای تصفیه ثانویه فاضلاب می‌باشد. این فرآیند از حدود ۱۰۰ سال پیش به‌طور موثر و گسترده‌ای برای تصفیه انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌کار گرفته شده است. در این روش شرایط لازم برای حیات و فعالیت یک توده بیولوژیکی ناشی از اجتماع میکروارگانیزم‌ها و به‌خصوص باکتری‌ها فراهم می‌شود. میکروارگانیزم‌ها ضمن مصرف اکسیژن، مواد آلی موجود در فاضلاب را تجزیه می‌نمایند. ازاین‌رو در این فرآیند برای پیشبرد روند تصفیه فاضلاب، ضروری است تمام شرایط برای رشد و تکثیر هر چه بهتر آنها فراهم شود. ازجمله مزایای این روش طراحی آسان، راهبری ساده، بازدهی مناسب در حذف مواد آلی و حساسیت کمتر در برابر تغییرات دمایی فصلی می‌باشد. پس از اثبات کارایی بسیار بالا فرآیند لجن فعال در تصفیه انواع فاضلاب، به دلیل غیرکاربردی بودن این روش برای هر نوع شرایط بهره‌برداری، اصلاحات و تغییرات مختلفی برروی فرآیند انجام گرفته و انواع مختلفی از فرآیند لجن فعال به‌کار گرفته شد. این تغییرات برای سازگار کردن این فرآیند با نیازمندی‌های مختلف از سیستم تصفیه می‌باشد. امروزه از این فرآیند حتی برای تصفیه انواع فاضلاب‌های صنعتی که قابلیت تصفیه بیولوژیکی دارند، استفاده می‌شود. شکل‌های مختلفی از فرآیند لجن فعال که به این منظور ایجاد شده‌اند شامل: لجن فعال متعارف، هوادهی گسترده، راکتور ناپیوسته متوالی (SBR)، تثبیت تماسی و بیوراکتور غشایی (MBR) می‌باشد.

از معایب روش لجن فعال معمولی: ۱- نیاز به تجهیزات برقی و مکانیکی نسبتا زیاد، ۲- مشکلات بهره‌برداری، ۳- نیاز به فضای نسبتا زیاد برای احداث تصفیه‌خانه باتوجه‌به ماهیت فرایند، ۳- راندمان پایین در جداسازی تمام مواد آلی معلق (لجن) می‌باشد. یکی از روش‌هایی که بر اساس لجن فعال و برای رفع مشکلات این روش به‌ویژه کاهش مراحل فرایند تصفیه (حذف ته‌نشینی و گندزدایی) و نیز به‌دست آوردن راندمان بسیار بالا در کاهش مواد آلاینده آلی ابداع و توسعه پیدا کرد، روش بیوراکتور غشایی است. این فرآیند شامل یک راکتور بیولوژیکی شبیه فرآیند لجن فعال است، با این تفاوت که عملیات جداسازی لجن از آب توسط یک سیستم میکروفیلتراسیون (غشا) انجام می‌شود. شکل (۱) نمونه‌ای از بیوراکتور غشایی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب می‌باشد. این فرآیند از اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی در تکنولوژی و کاربرد آن پیشرفت گسترده‌ای داشت و به‌خصوص برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مقرون به‌صرفه‌تر و در سال‌های اخیر میزان استفاده از آن افزایش یافته است. اولین نصب سیستم و راه‌اندازی تجاری بیوراکتور غشایی در دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی با پیکربندی بر اساس جریان جانبی توسط شرکت Dorr-Oliver ساخته شد. این سیستم از ورق‌های مسطح با فیلتراسیون صفحه‌ای تشکیل شده بود و در معرض فشار بالا با مقدار ۳/۵ بار در ورودی عمل می‌کرد و دارای نرخ پایین جریان و بازده متوسط نفوذپذیری بود. بنابراین نصب و راه‌اندازی اولین سیستم بزرگ بیوراکتور غشایی در مقیاس کامل برای تصفیه فاضلاب کارخانه جنرال موتور در منسفیلد ایالات متحده در اوایل سال ۱۹۹۰ انجام شد (Devendra Dohare و همکاران، ۲۰۱۴). یاماموتو و همکارانش در سال ۱۹۸۹ بیوراکتور غوطه‌ور را در فرآیندی که مدول غشایی در مخلوط مایع تحت فشار مکش قرار داشت ابداع کردند (Naghizade و همکاران، ۲۰۰۸). Guo و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از سیستم بیوراکتور غشایی توانستند تا ۶۰٪ نیترات و فسفات را حذف نمایند. Rodriguez و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از سیستم ترکیبی غشایی مقدار آلاینده‌های نیتروژنی و فسفری را تا ۷۰٪ حذف کردند. Izadi و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی کارایی بیوراکتور غشایی با بستر ثابت (FBMBR) در حذف آلاینده‌های پساب بازیافت کاغذ، کارایی بالای این سیستم در حذف آلاینده‌های فاضلاب را نشان دادند. Wu و همکاران (۲۰۲۰) یک غشا جدید برای ارتقا کیفی و رفع ایراد گرفتگی غشا در سیستم فتوبیوراکتور غشایی (MPBR)تولید کردند و کارایی بالای غشا جدید استفاده شده در این سیستم را نشان دادند.

شکل ۱- نمونه‌ای از بیوراکتور غشایی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب

افزایش جمعیت و مصرف روز افزون منابع منجر به تولید ضایعات و پساب بیشتری توسط بشر شده است. به‌طوری‌که پساب ها و چگونگی دفع آنها از چالش‌های بشر در عصر جدید می‌باشد. بنابراین تصفیه پساب ها به طریقی که خود منجر به معضل جدیدی نشود سال هاست که مورد تحقیق و پژوهش قرار دارد (Suzuki و همکاران، ۱۹۹۷).

باتوجه‌به کاستی در روش‌های موجود و هزینه‌بر بودن آنها، در این تحقیق روشی جدید با هزینه پایین و کارایی بالاتر جهت حذف ترکیبات فسفر و نیتروژن‌دار برای تصفیه فاضلاب خانگی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

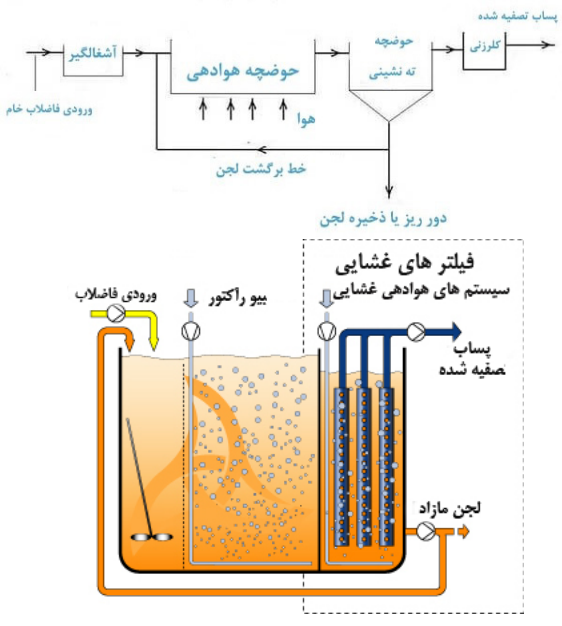
کاربرد ریزجلبک‌ها برای تصفیه پساب‌ها دارای مزایای متعددی است که از مهمترین آنها می‌توان به عدم ایجاد خطرات زیست‌محیطی با تکیه بر اصول اکوسیستم‌های طبیعی، فناوری ساده، کارایی بالا، عدم ایجاد آلودگی ثانویه در صورت استفاده از توده زیستی تولیدی و توانایی ریزجلبک‌ها در بازچرخش موثر مواد مغذی (نیتروژن، فسفر و سایر آلاینده‌ها) موجود در پساب ثانویه اشاره کرد (قرنجیک و همکاران، ۱۳۸۱؛ Sayadi و همکاران، ۲۰۱۱).

در این پژوهش از مزیت میکروجلبک به‌عنوان مصرف‌کننده آلاینده‌ها به‌عنوان بیوکاتالیست و مکمل روش بیوراکتور غشایی استفاده می‌شود. در واقع به‌طور همزمان از سیستم میکروجلبک به‌منظور تصفیه تکمیلی فاضلاب شهری استفاده خواهد شد و زیست‌توده تولید می‌شود. طی فرایند رشد جلبک‌ها، مواد مغذی فسفات و نیترات غنی شده است و از آن در مصارفی مانند خوراک دام، مواد دارویی و آرایشی و رنگدانه می‌توان استفاده نمود.

باتوجه‌به اهمیت استفاده روش‌های جدید تصفیه فاضلاب به‌خصوص در مناطق شهری و صنعتی با فضای کم و نیاز به راندمان بالا در کشور و ضرورت آگاهی از ویژگی‌های روش‌های مذکور، در ادامه سازوکار تصفیه، معایب، مزایا و عملکرد بیوراکتور غشایی بحث خواهد شد.

بیوراکتورهای غشایی

فرایند لجن فعال جهت حذف میکروارگانیسم‌های اضافی و ترکیبات جامد ایجاد شده نیازمند مراحل ته‌نشینی و زلال‌سازی است. این فرایندها زمان‌بر می‌باشند وترکیبات جامد را به‌صورت کامل حذف نمی‌کنند. در صورتی‌که این فرایندها بهترین عملکرد را داشته باشند، باز هم مقادیری از ترکیبات جامد (چیزی در حدود ۵ میلی‌گرم در هر لیتر) به‌صورت معلق در آب باقی خواهد ماند. در اواخر دهه ۶۰ میلادی و زمانی‌که غشاهای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون به‌صورت تجاری در دسترس قرار گرفتند، شرکت Inc Olivier-Dorr فرایند مبتنی بر لجن فعال جدیدی را معرفی نمود و در آن به‌جای استفاده از زلال‌سازها و حوضچه‌های ته‌نشینی از یک نوع غشاهای پلیمری استفاده می‌کرد. این فرایند که در آن زمان از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نبود، بعدها تحت عنوان فرایند/فناوری بیوراکتور غشایی نام‌گذاری شد. بیوراکتورهای غشایی با پیشرفت‌های چشم‌گیری که در چند دهه اخیر تجربه کرده‌اند، امروزه بسیار شناخته شده است. این بیوراکتورها به‌منظور تصفیه فاضلاب‌های شهری یا پساب‌های صنعتی به‌صورت گسترده استفاده می‌شود. این فرایند در کنار کاهش زمان فرایند تصفیه (تا حدود ۱۰ ساعت در مقایسه با فرایند لجن فعال) و حذف نیاز به زلال‌ساز، از غشاهای میکرو و اولترافیلتراسیون بهره می‌برد. همچنین به اعمال فشار کم (انرژی کم) نیاز دارد و قادر است تمام توده‌های میکروب و باکتریایی را از آب جدا نمایند. به‌این‌ترتیب ظرفیت گندزدایی بسیار بالایی را برای سیستم به ارمغان می‌آورند. همچنین به دلیل حذف حوضچه‌های ته‌نشینی و زلال‌سازی مساحت کمتری برای سامانه‌های بیوراکتور غشایی در مقایسه با سایر روش‌های مشابه مورد نیاز است. راکتورهای غشایی زیستی شامل یک راکتور بیولوژیکی با بیومس معلق و یک جداکننده جامد با فیلترهای غشایی از نوع میکرو فیلتراسیون و اولترافیلتراسیون است و مختصرا بیوراکتور غشایی نامیده می‌شود. برای تصفیه با سیستم بیوراکتورها، ممکن است با رشد هوازی یا بی‌هوازی معلق از زیست‌توده‌های فعال استفاده شوند. هدف از ترکیب یک راکتور و یک میکروفیلتراسیون استفاده به‌عنوان یک مجموعه فرآیندی کارآ جهت تصفیه فاضلاب می‌باشد (شکل ۲) (Bornare و همکاران، ۲۰۱۴). در این سیستم‌ها فیلتراسیون غشایی جایگزین فرآیندهای ته‌نشینی، فیلتر شنی و گندزدایی به‌کار رفته در روش‌های مرسوم لجن فعال می‌باشد. این سیستم‌ها به‌طور گسترده آزمایش شده‌اند و نتایج بر اثربخشی حذف آلاینده‌های آلی و معدنی بوده است. از جمله مزایای راکتورهای غشایی سهولت کنترل فعالیت‌های بیولوژیکی، پساب خروجی با کیفیت بالا و عاری از باکتری و پاتوژن‌ها، نیاز به فضای کم و تحمل نرخ بارگذاری بالا می‌باشد (Quadros و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۲- فرآیند لجن فعال متعارف (بالا) و
فرایند بیوراکتور غشایی (پایین)

• ساختار بیوراکتور غشایی

تفاوت اصلی بین بیوراکتور غشایی و کارخانه‌های تصفیه سنتی فاضلاب که از لجن فعال برای گام نهایی تصفیه استفاده می‌کردند، استفاده از غشا برای جداسازی جامدات و تصفیه فاضلاب می‌باشد. بیوراکتورهای غشایی می‌توانند در هر دو نوع رشد متصل و معلق توسعه پیدا کنند و علاوه‌بر این بیوراکتورهای غشایی هیبریدی در سال‌های اخیر پیشرفت چشمگیری داشتند (Devendra Dohare و همکاران، ۲۰۱۴).

بیوراکتورهای غشایی از دو بخش عمده بیولوژیکی و مدول غشایی تشکیل می‌شود. در واحد بیولوژیکی تشکیل شده در بیوراکتور، میکروارگانیزم‌های قرار داده شده تجزیه بیولوژیکی ترکیبات را به عهده دارند و در مدول غشایی عمل جداسازی فیزیکی ترکیبات از آب انجام می‌شود (Wenten، ۲۰۰۹).

به‌طورکلی سیستم‌های بیوراکتور غشایی در دو نوع پیکربندی می‌شوند:

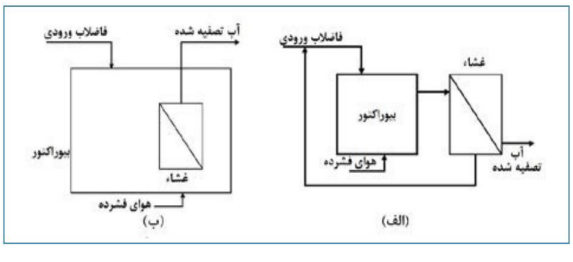
۱- بیوراکتور غشایی مستغرق[۲]

بیوراکتور غشایی مستغرق،سیستم‌های بیوراکتور غشایی غوطه‌ور نامیده می‌شوند و در این نوع از پیکربندی، مدول غشایی در داخل راکتور قرار می‌گیرد. نیروی محرکه اصلی آن فشار بوده و در سراسر غشا اعمال می‌شود. در فرآیندهای هوازی از دیفیوزر قرار داده شده در پایین غشا برای تمیز کاری سطح فیلتراسیون استفاده می‌شود و در درازمدت جهت شستشوی شیمیایی کاربرد دارد (Amar و همکاران، ۲۰۰۷).

به علت مشکلات مربوط به گرفتگی و لایروبی غشا، کاربرد بیوراکتورهای غشایی غوطه‌ور به بیوراکتورهای غشایی هوازی محدود شده است. در بیوراکتورهای غشایی هوازی، لایروبی هوا به کمک هوادهی و به‌منظور محدود کردن تشکیل کیک روی سطح غشا و کاهش دفعات تمیز کردن نیاز است (Mehrnia و همکاران، ۲۰۱۱). در شکل (۳) نمایی از مقطع بیوراکتور غشایی غوطه‌ور ترسیم شده است.

۲- بیوراکتور غشایی خارجی[۳]

گروه دوم پیکربندی این سیستم‌ها، شامل سیستم بیوراکتور غشایی خارجی می‌شود. این سیستم‌ها شامل چرخشی از مخلوط مایع بین راکتور و ماژول غشایی است که در بیرون محفظه راکتور قرار دارد و معمولا غشا آن از نوع مسطح پلیمری می‌باشد (Wenten، ۲۰۰۹). هر دو پوسته داخلی و خارجی غشا در این پیکربندی استفاده می‌شود. نیروی محرکه فشاری به‌وسیله سرعت بالای جریان متقاطع در امتداد صفحات غشا ایجاد می‌شود (Amar و همکاران، ۲۰۰۷). در فرآیند بیوراکتور غشایی از نوع جریان جانبی ابتدا خوراک وارد بیوراکتور می‌شود و پس از خروج از آن وارد غشاهایی که در مسیر تعبیه شده، می‌شود. در این حالت فاز تراوش شده به‌عنوان آب مطلوب می‌باشد و فاز باقی‌مانده مجددا به راکتور بازگردانده می‌شود. در شکل (۳) شماتیک بیوراکتور غشایی خارجی و غوطه‌ور ترسیم شده است.



شکل ۳- بیوراکتور غشایی خارجی و غوطه‌ور

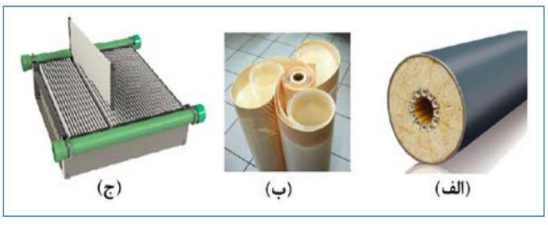
• انواع ساختار غشاهای مورد استفاده در سیستم بیوراکتور غشایی

سه ساختار اصلی سیستم‌های بیوراکتور غشایی که بیش از همه استفاده می‌شوند عبارتند از (شکل ۴):

- ماژول‌های غوطه‌ور الیاف توخالی
- ماژول‌های غوطه‌ور قاب و صفحه‌ای
- ماژول‌های جریان جانبی و لوله‌ای

در صنایع مختلف از غشاهای الیاف توخالی به سبب مزایای متعدد آن در سیستم‌های غشا غوطه‌ور، به شدت استقبال شده است. سطح زیاد این نوع از غشاها امکان بهره‌مندی از جریان بالای مورد نیاز را فراهم می‌کند. علاوه‌بر این در بین الیاف به‌منظور جلوگیری جرم گرفتگی با طراحی ماژول‌های مناسب

به‌راحتی می‌توان هوادهی را انجام داد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که غشا الیاف توخالی غوطه‌ور به جهات مختلف مزایای متعددی دارد و باتوجه‌به توانایی شرکت در زمینه ساخت ماژول‌های الیاف توخالی، تولید این ماژول‌ها پر اهمیت می‌شود (Amar و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۴- انواع ساختار غشایی (الف: جانبی و لوله ای، ب: الیاف توخالی، ج: قاب و صفحه ای)

• مزایای فرآیندهای غشایی

۱. نگهداری تمام مواد معلق جامد و بیشتر مواد حل شده به‌صورت انتخابی در بیوراکتور (Drew و همکاران، ۲۰۰۵).
۲. توانایی نگهداری تمام باکتری‌ها و ویروس‌ها
۳. امکان کنترل جمعیت میکروبی و انعطاف‌پذیری آن در طی فرآیند
۴. غلظت بالای ذرات معلق مخلوط مایع
۵. قابلیت تصفیه فاضلاب در فضای کم
۶. کاهش چشمگیر پارامترهای میکروبی در خروجی
۷. زمان ماند کم (Amaral Filho و همکاران، ۲۰۱۶؛ پژوم شریعتی و همکاران، ۱۳۸۳)
۸. دامنه عملکرد فرآیندهای غشایی شامل انواع اندازه ذرات، از ذرات مولکولی تا ذرات قابل رویت با چشم غیرمسلح می‌باشد، بنابراین گستردگی این فرآیند به لحاظ کاری بسیار زیاد خواهد بود.
۹. ازآنجاییکه در این نوع جداسازی به تغییرات فازی نیاز نیست، انرژی مورد نیاز بسیار کم خواهد بود.
۱۰. فرآیند غشایی فرآیند بسیار ساده‌ای است، چون فاقد قطعات متحرک است.
۱۱. غشاها خاصیت انتخاب‌پذیری دارد.
۱۲. انواع بسیار پلیمرها و مواد غیرآلی می‌توانند به‌عنوان غشا به‌کار روند، بنابراین می‌توان انتخاب نوع غشا را به نحوه مشخص و مناسبی کنترل نمود.
۱۳. در مقایسه با سایر تجهیزات جداسازی، جای کمتری اشغال می‌کنند، هزینه سرمایه‌گذاری کمتری دارند، از نظر عملیاتی ساده‌تر است و هزینه نگهداری و کنترل آنها کمتر است.
۱۴. ضخامت غشا بسیار کم است و لذا انتقال جرم در طول آن با سرعت انجام می‌شود.
۱۵. در دمای معمولی انجام می‌شوند، بنابراین می‌توان از آنها در محلول‌های حساس به گرما به‌خصوص در صنایع غذایی، دارویی و بیوتکنولوژی به‌راحتی استفاده نمود.
۱۶. بسیاری از جداسازی‌هایی که با استفاده از غشا انجام می‌شود، با هیچ یک از سایر روش‌ها قابل دستیابی نیست (Buzatu و Lavric، ۲۰۱۱).
۱۷. حذف کامل جامدات
۱۸. ضد عفونی کردن پساب تصفیه شده
۱۹. جداسازی زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند لجن
۲۰. قابلیت بارگذاری بیشتر و زمان ماند لجن طولانی‌تر
۲۱. تولید لجن به مقدار کمتر و یا حتی صفر
۲۲. فعال شدن سریع سیستم
۲۳. مصرف انرژی کمتر (Jelic و همکاران، ۲۰۱۲).

• معایب فرآیندهای غشایی (Drews و همکاران، ۲۰۰۵)

۱. جرم گرفتگی، مقاومت اضافه در مسیر جریان اگر به راحتی قابل رفع نباشد، این روش را برای عملیات نامناسب خواهد کرد (Aslam و همکاران، ۲۰۱۷؛ Pierre و همکاران، ۲۰۰۶).
۲. تغییر سرعت جریان محصول بر اثر تغییر غلظت خوراک
۳. کم بودن تجربه و همچنین شرکت‌های مرتبط در زمینه فرآیندهای غشایی در مقایسه با سایر فرآیندها
۴. باتوجه‌به اینکه در این نوع جداسازی نیاز به خوراک با فشار بسیار بالا داریم، لذا هزینه‌های ثابت و عملیاتی برای دستیابی به این منظور در این بخش از فرآیند بسیار بالا است.
۵. آزمایشات نشان دادند تراوش‌پذیری بالا و انتخاب‌پذیری زیاد به ندرت با هم فراهم می‌شوند و این یکی از مشکلات طراحی فرآیندهای غشایی می‌باشد (Murco و همکاران، ۲۰۱۲).

• عملکرد بیولوژیکی MBR

سیستم‌های بیوراکتورهای غشایی جایگزین مناسبی برای لجن فعال متعارف می‌باشد و از این طریق باعث بهبودی جداسازی لجن و پساب خروجی می‌شوند.
سیستم‌های MBR قادر به تولید پسابی با کیفیت عالی: (N = ۲/۲ mg/L و P = ۰/۱۵ mg/L) گندزدایی کامل باکتری‌ها، کاهش قابل ملاحظه ویروس‌ها، حذف فلزات سنگین، حذف درصد زیادی از میکروآلاینده‌های آلی مانند آفت کش‌ها و PAHs می‌باشد (Aileen و Kim، ۲۰۰۷).
غشا موجود در MBR از خروج جامدات بیولوژیکی و جامدات محلول با وزن ملکولی بالا، از بیوراکتور جلوگیری می‌کند و تقریباً تمام مواد آلی در داخل MBR به آب و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. در سیستم‌های MBR هیچ‌گونه وسیله متحرکی وجود ندارد و هوادهی سیستم با استفاده از هوادهی دیفیوزری انجام می‌شود.

مزایای استفاده از سیستم MBR موارد ذیل می‌باشد:
۱- تأمین اکسیژن محلول به‌منظور تجزیه کامل مواد آلی،
۲- ایجاد نیروی حرکتی به‌منظور حرکت مارپیچی فاضلاب در نتیجه افزایش زمان تماس و افزایش تجزیه میکروبی،
۳- حذف جامدات موجود در سیستم بدون شستشوی معکوس و حذف لجن،
۴- عدم تولید بوهای نامطلوب با جایگزینی جداسازی جامدات به‌وسیله ته‌نشینی ثقلی در حوضچه ته‌نشینی ثانویه با جداسازی غشایی.

در این سیستم مشکلاتی از قبیل حجیم شدگی رشته‌ای لجن، ته‌نشینی لخته و جداسازی جامدات برطرف شده وجود دارد و غلظتMLSS حوضچه هوادهی توسط بارگذاری جامدات در حوضچه ته‌نشینی ثانویه کنترل نمی‌شود. سیستم‌های MBR می‌توانند در غلظت‌های MLSS بسیار بالاتر از فرآیندهای لجن فعال متداول (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ mg/L) بهره‌برداری شوند. اگرچه غلظت‌های بالای MLSS در فرآیند MBR گزارش شده است، اما به نظر می‌رسد غلظت‌های MLSS بین ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ mg/L هزینه کمتر باشد. میزان فلاکس غشا که عبارت است از میزان جرم یا حجم عبوری از سطح غشا، یك پارامتر مهم طراحی و بهره‌برداری است که بر اقتصاد فرآیند تأثیر می‌گذارد و هر چه غلظت ۲ طرف غشا (برحسب m/L MLSS) بالاتر باشد، میزان فلاکس کمتر خواهد بود. هر چه کاربرد MBR بیشتر شود، اطلاعات بیشتری در مورد میزان فلاکس غشا در طولانی مدت و طول عمر غشا در دسترس قرار می‌گیرد (Metcalf، ۲۰۰۳). در این روش غشا با ایجاد یک سد کامل در برابر عبور جامدات معلق، معایب مخزن ته‌نشینی بر طرف می‌شود و خروجی باکیفیت بالاتری نسبت به لجن فعال تولید می‌کند (جدول ۱) (Visvanathan، ۲۰۰۰).

جدول ۱- مقایسه کیفیت پساب بین لجن فعال و بیوراکتورهای غشایی

پارامتر	پساب بیوراکتور غشایی	پساب لجن فعال متعارف
	میلی‌گرم بر لیتر (٪)	میلی‌گرم بر لیتر (٪)
SS	<۲ (۹۹)	۲۵ (۷۳/۲)
BOD_5	۴ (۹۵/۸)	۱۹ (۸۲/۳)
COD	۲۷ (۸۸/۵)	۶۶ (۷۷/۲)
TN	۹/۲ (۷۳/۷)	۱۵/۹ (۵۴/۵)
TP	۲/۴ (۳۶/۱)	۳/۴ (۸/۶)

• سازندگان غشاهای MBR

شرکت ژاپنی Toraywater به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از هلدینگ بین‌المللی Toray شناخته شده است و یکی از شرکت‌های معتبر در حوزه محصولات و فناوری‌های تصفیه آب و فاضلاب به‌شمار می‌آید. از جمله حوزه‌های اصلی فعالیت این شرکت، طراحی و ساخت غشاهای مختلف می‌باشد. یک دسته از محصولات تجاری این شرکت با نام تجاری MEMBRAY در بازار شناخته می‌شوند، در بر گیرنده چند سری از غشاهایی است که در بیوراکتورهای غشایی استفاده می‌شود. شرکت BASF، شرکتی بزرگ است و در این حوزه اقدام به طراحی و ساخت غشاهای ارتقا یافته به‌وسیله فناوری نانو نموده است. غشاهای اولترافیلتراسیون با برند تجاری Multibore که حق اختراع آنها توسط این شرکت به ثبت رسیده است از جنس پلیمرهایی بر پایه پلی‌اترسولفون ساخته می‌شوند. شرکت Water GE به‌عنوان زیر مجموعه‌ای از شرکت مادر Electrics General در صنعت آب فعالیت دارد و محصولات مختلفی در این حوزه به بازار عرضه می‌نماید. یکی از این محصولات که با نام تجاری ZeeWeed ۵۰۰ در بازار به فرش می‌رسد، غشاهای مبتنی بر الیاف توخالی جهت ساخت بیورا کتورهای غشایی است. در کنار شرکت‌های خارجی که در حوزه ساخت بیوراکتورهای غشایی مبتنی بر غشاهای ارتقا یافته به وسیله فناوری نانو فعالیت می‌کنند، در داخل کشور نیز اقداماتی در این حوزه صورت پذیرفته است. یکی از شرکت‌های فعال داخلی، شرکت دانش بنیان ایفا پژوهش است که در سال ۱۳۸۲ تأسیس شده و به‌صورت ویژه در حوزه بیوراکتورهای غشایی فعالیت می‌کند.

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به سخت‌گیرانه‌تر شدن استانداردهای آلودگی و استفاده مجدد از پساب در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم‌های MBR در دنیا گسترش یافته است. مطالعات نشان داده است، استفاده از این سیستم به‌خصوص برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مقرون به‌صرفه‌تر بوده و در سال‌های اخیر میزان استفاده از آن افزایش یافته است. باتوجه‌به اهمیت استفاده روش‌های جدید تصفیه فاضلاب به‌خصوص در مناطق شهری و صنعتی با فضای کم و نیاز به راندمان بالا در ایران، آگاهی از ویژگی‌های این روش‌ها (مانند سازوکار تصفیه) و بررسی معایب و مزایای آن اهمیت بالایی دارد.

از جمله مزایای بیوراکتور غشایی: ۱- فشردگی و نیاز به فضای کمتر، ۲- تولید لجن کمتر و ۳- کیفیت پساب عالی از نظر مواد عالی و میکروارگانیسم‌ها و ۴- قابلیت نصب آسان می‌باشد.
با در نظرگرفتن مواردی مانند هزینه‌های تعویض غشا، کنترل گرفتگی آن و افزایش هزینه انرژی، در مجموع MBR روشی با قابلیت بالا و مقرون‌به‌صرفه برای تصفیه فاضلاب در مناطق شهری و صنعتی کشور و با هدف دستیابی به پساب با کیفیت عالی معرفی می‌شود.

پی‌نوشت

1- Membrane Bioreactor
2- Submerged bioreactor
3- External bioreactor

منابع

پژوم شریعتی، ف.، ذکایی، ف. و یغمایی س. ۱۳۸۳. نگرشی بر بیوراکتورهای غشایی جهت استفاده در تصفیه پساب‌ها به روش بیولوژیك. دانشگاه امیرکبیر. دانشکده مهندسی شیمی. تهران.

قرنجیک، ب. م.، کیانمهر، ه. و حسینی، م.ر. ۱۳۸۷. برآورد میزان زیتوده جلبک‌های دریایی منطقه بین جزر و مدی دریای عمان (سواحل استان سیستان و بلوچستان). مجله علمی شیلات ایران، ۱۷(۴): ۱۰۱-۱۱۰.

ABDEL-KADER A. M. 2007. A review of Membrane Bioreactor (MBR) technology and their applications in the wastewater treatment systems. In Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11 Sharm El-Sheikh, Egypt, 269-278.

Aileen N.L. and Kim S. 2007. A mini-review of modeling studies on membrane bioreactor (MBR) treatment for municipal wastewaters, Desalination Journal, 212: 261–281.

Amar C. F. L., East C.L., Gray J., Iturriza-Gomara M., Maclure E.A and McLauchlin J. 2007. Detection by PCR of eight groups of enteric pathogens in 4,627 faecal samples: re-examination of the English case-control infectious intestinal disease study (1993–1996). European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, 26: 311–323.

Amaral Filho J., Azevedo A., Etchepare R. and Rubio J. 2016. Removal of sulfate ions by dissolved air flotation (DAF) following precipitation and flocculation. International Journal of Mineral Processing, 149: 1-8.

Aslam M., Gharfi A., Lesage G., Heran M. and Kim J. 2017. Membrane bioreactors for wastewater treatment: A review of mechanical cleaning by scouring agents to control membrane fouling. Chemical Engineering Journal, 307: 897-913.

Bornare V., Kalyanraman R. and Sonde R. 2014. Chapter 10— Application of anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for low-strength wastewater treatment and energy generation, in: V.V.R.M. Bhandari (Ed.), Ind. Wastewater Treat. Recycl. Reuse, ButterworthHeinemann, Oxford, 399–434.

Buzatu P. and Lavric V. 2010, Submerged Membrane Bioreactor for WastewaterTreatment: Optimal Operating Strategy, Chemical Engineering Transactions, 21: 1039-1044.

Devendra Dohare E.r. and Rohit Trivedi E.r. 2014. A Review on Membrane Bioreactors: An Emerging Technology for Industrial Wastewater Treatment. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(12): 226-236.

Drews A., Evenblij H. and Rosenberger S., 2005. "Potential and drawbacks of microbiology-membrane interaction in membrane bioreactors". Environmental Progress, 24(4): 426-433.

Guo X.M., Trably E., Latrille E., Carrere H. and Steyer J.-P. 2010. Hydrogen production from agricultural

waste by dark fermentation: a review. international journal of hydrogen energy, 35(19): 10660-10673.

Izadi, A., Hosseini M., NajafpourDarzi G,. NabiBidhendib G.R. and PajoumShariati F. 2019. "Performance of an integrated fixed bed membrane bioreactor (FBMBR) applied to pollutant removal from paper-recycling wastewater." Water Resources and Industry, 21(100111):1-8.

Judd S. 2010. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and

Tejero I. 2014. Comparison between a fixed bed hybrid membrane bioreactor and a conventional membrane bioreactor for municipal wastewater treatment: a pilot-scale study. Bioresource technology, 152: 212-219.

Suzuki H., Yoneyama Y. and Tanaka T. 1997. Acidification during anaerobic treatment of brewery wastewater. Water science and technology, 35(8): 265-274.

Sayadi M.H., Ghatnekar S.D. and Kavian M.F. 2011. Algae a promising alternative for biofuel. Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences, 1(2): 112-124.

Visvanathan C., Aim R. B. and Parameshwaran K. 2000. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. Critical reviews in environmental science and technology, 30(1): 1-48.

Wenten I.G. 2009. Performance of newly configured submerged membrane bioreactor for aerobic industrial wastewater treatment. Reaktor, 12(3): 137-145.

Wu W., Zhang X., Qin L., Li X., Meng Q., Shen C. and Zhang G. 2020. Enhanced MPBR with polyvinylpyrrolidone-graphene oxide/PVDF hollow fiber membrane for efficient ammonia nitrogen wastewater treatment and high-density Chlorella cultivation. Chemical Engineering Journal, 379(122368): 1-12.

wastewater treatment. Elsevier .

Jelic A., Cruz-Morató C., Marco-Urrea E., Sarrà M., Perez S., Vicent T. and Barcelo D. 2012. Degradation of carbamazepine by Trametes versicolor in an air pulsed fluidized bed bioreactor and identification of intermediates. Water research, 46(4): 955-964.

Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse" Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc.

Mafirad S., Mehrnia M.R., Azami H. and Sarrafzadeh M.H. 2011. Effects of biofilm formation on membrane performance in submerged membrane bioreactors. Biofouling, 27(5): 477-485

Naghizadeh A., Mahvi A., Vaezi F. and Naddafi K. 2008. Evaluation of hollow fiber membrane bioreactor efficiency for municipal wastewater treatment. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, 5(4): 257-268.

Le-Clech P., Chen V., Fane T.A.G .2006. "Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment". Journal of Membrane Science, 284(1-2): 17–53.

Quadros S., João Rosa M., Alegre H. and Silva C. 2010. A performance indicators system for urban wastewater treatment plants. Water Science and Technology, 62(10): 2398-2407.

Rodríguez-Hernández L., Esteban-García A.L. and