

● نامه به سردبیر

تکنولوژی سلول‌های نمک زدای میکروبی راهکاری برای تصفیه فاضلابهای شور

ولی علی پور^۱، *ویدا پسرکلو^۲، لیلا رضائی^۳

کلمات کلیدی: فاضلاب، آلودگی شیمیایی آب، اسمز، سلول‌های نمک زدای میکروبی

(سال بیستم، شماره اول، بهار ۱۳۹۷، مسلسل ۶۲)
تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۹

فصلنامه علمی پژوهشی ابن سینا / اداره بهداشت، امداد و درمان نهجا
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۸

۱. استادیار، بندرعباس، ایران، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط
۲. کارشناس ارشد مهندسی آب و فاضلاب، تهران، ایران، اداره بهداشت و درمان نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران (*مؤلف مسئول)
pesarakloovida@gmail.com
۳. دانشجوی دکتری تخصصی آلودگی محیط زیست، قشم، ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قشم

مقدمه

در دنیا حدود ۲/۴ میلیارد نفر از مشکلات ناشی از کمبود آب و بیماری‌های منتقله توسط آب رنج می‌برند. تصفیه آب‌های شور و آبهای آلوده و حتی تصفیه فاضلاب جهت دستیابی به آب سالم یکی از چالش‌های مهم در سیاست‌گذاریها شده است. روشهای مختلف تصفیه، نمک زدایی و یا شیرین کردن آبها علاوه بر هزینه تأسیسات اولیه و راهبردی در بحث تأمین انرژی و هزینه‌های مربوط به آن حایز اهمیت هستند. با این حال در بسیاری از جوامع به دلیل هزینه‌های بالای مربوط به تصفیه فاضلاب‌های نیمه شور و شور که عمدتاً در بخش پیش تصفیه مصرف می‌شوند، رویکرد جدی به شیرین سازی این قبیل فاضلاب‌ها وجود نداشته است. سلول‌های نمک‌زدای میکروبی (MDC)^۱ فن آوری تازه توسعه یافته که با ادغام سلول سوخت میکروبی (MFC)^۲ و سیستم الکترودیالیز فاضلاب را تصفیه می‌نماید [۱].

یک واحد MDC به طور معمول از دو محفظه آند و کاتد و یک محفظه آب نمک‌زدایی تشکیل شده است که در وسط دو محفظه اول قرار دارد. محفظه آند مسئول تجزیه مواد آلی و تولید برق است و محفظه میانی مسئول حذف نمک از آب شور است. در حالی که محفظه کاتد باعث ایجاد جریان الکتریکی و جریان برق است [۱]، در آند باکتریها مواد آلی را به H^+ و CO_2 تجزیه می‌کنند و الکترون‌ها از طریق مدار با سیم‌هایی از جنس مس در خارج از سیستم به سمت کاتد حرکت می‌کنند. الکترون گیرنده نهایی در کاتد معمولاً O_2 است که با H^+ که در یک فرایند کاهشی تولید مولکول آب می‌کند. این فرایند می‌تواند بیش از ۹۹٪ نمک آب شور محفظه میانی را حذف کند و در حین این نمک زدایی انرژی بیشتر از انرژی خارجی مورد نیاز به سیستم را تولید نماید [۲].

میزان غلظت نمک در محفظه میانی نمک‌زدا و

1. microbial desalination cell
2. microbial fuel cell

محفظه‌های کاتدی و آندی می‌تواند تأثیر در عملکرد سیستم داشته باشد. در حالت ایده آل، غلظت نمک در محفظه نمک‌زدایی باید به طور قابل توجهی بالاتر از الکترولیت باشد در غلظت‌های پایین‌تر امکان این وجود دارد پدیده شیب غلظت معکوس از سمت الکترولیت‌ها به محفظه نمک زدا رخ دهد [۳].

مدل‌های MDC شامل موارد ذیل است:

(۱) MDC با استفاده از کاتد هوا: هوا قادر به کاهش شوری از آب به میزان ۶۳٪ در یک سیکل با استفاده از الکترون کربن و کاتالیزور پلاتینیوم بود [۴]. روش دیگر، استفاده از تترا متیل اکسی فنیل پورپرین کبالت و کربن فعال بود. نیز می‌تواند بدین صورت که تترا متیل اکسی فنیل پورپرین کبالت به عنوان یک کاتالیزور عمل می‌کند در حالی که کربن فعال با افزایش بیشتر در سطح، عملکرد MDC را بهبود بخشد. استفاده از اکسیژن اتمسفر به عنوان پذیرنده الکترون همچنین از نظر پایداری آن در محیط زیست و اثرات سمی ناچیز در مقایسه با دیگر مواد شیمیایی است. یکی از معایب این روش این است که کینتیک احیاء در آن بسیار آرام است و در شرایط محیط نسبت به استفاده از دیگر کاتالیزورها بسیار کند صورت می‌پذیرد. لذا ضروری است که از کاتالیزورهایی مثل پلاتینیوم برای احیای اکسیژن استفاده گردد [۳].

(۲) MDC با استفاده از کاتد زیستی: در محفظه کاتدی میکروارگانیسم‌ها به عنوان کاتالیزورهای زنده باعث کاهش عدد اکسیداسیون می‌گردند [۵]. استفاده از کاتد زیستی به عنوان کاتالیزور در MDC به صورت فزاینده‌ای به دلیل خود بازسازی و پایداری قابل قبول است [۶]. کاتد زیستی اجازه می‌دهد که باکتریها در بیوفیلم کاتد به عنوان کاتالیزور عمل می‌کنند و با کاهش اکسیداسیون واکنش، به نوبه خود باعث افزایش راندمان نمک‌زدا می‌گردند [۷]. علاوه بر این، اگر بیوفیلم رشد متراکم‌تری داشته باشد، پتانسیل بیشتری در آند خواهد داشت و قدرت تولید آب فاقد نمک بیشتر می‌گردد [۸]. اگر کاتد زیستی شرایط بهینه عمل کند با کاهش زمان راه‌اندازی برای MDC کمک به بهبود عملکرد سیستم

می‌نماید [۹].

۳) ساختار MDC سری: عملکرد نمک زدایی در MDC همچنین می‌تواند با استفاده از تعبیه غشاهای تبادل یونی، بین محفظه‌های آند و کاتد افزایش یافته و اجازه می‌دهد آب شور از طریق یک سری از MDC جریان یابد و باعث حذف نمک بیشتری از آب شور گردد [۳].

۴) MDC با جریان برگشتی: پس از یک سیکل کارکرد نمک‌زدا مقدار pH در آنولیت می‌تواند به کم‌تر از ۴.۱ برسد که محیط برای میکروارگانیسم‌ها کاملاً اسیدی است [۱۰]. از سوی دیگر، مقدار pH در کاتولیت می‌تواند به بالاتر از ۱۰ برسد که ممکن است به کاهش قابل توجهی ولتاژ در سلول منجر شود. روش خلاقانه حل این مشکل، برگشت دوباره آنولیت جهت خنثی سازی بار به داخل سلول است. این روش را سلولهای نمک‌زدای برگشتی نامیده‌اند. چرخش آنولیت و کاتولیت دارای اثر مثبت بر تولید برق و عملکرد بهتر سلول نمک‌زدا است [۷].

۵) سلول نمک‌زدای الکترولیزی و تولید شیمیایی: مجموعه ترکیبی از الکترودیالیز و سلول الکترولیز میکروبی، سلولهای نمک‌زدای الکترولیز میکروبی (MEDC)^۱ نامیده می‌شوند [۱۱]. وجود محفظه تولید اسید و غشاء دو قطبی در MEDC سلولهای الکترولیز نمک‌زدا، سلول تولید مواد شیمیایی (MEDCC)^۲ را تشکیل می‌دهد که می‌تواند به طور همزمان نمک‌زدایی از آب دریا را انجام دهد [۱۲]. راندمان حذف نمک در MEDCC به طور معمول حدود ۱/۴ برابر میزان یک سلول معمولی است زمانی که تنها از یک سلول نمک‌زدا استفاده می‌شود [۱۳].

۶) MDC خازنی: در MDC معمولی، میزان حذف نمک از آب شور به غلظت‌ها در محفظه‌های آند و کاتد و به افزایش غلظت نمک در آنولیت و کاتولیت بستگی دارد. این عامل مانع از استفاده مجدد از آنولیت و کاتولیت در سلولهای نمک‌زدا

می‌گردد و به همین دلیل باید به طور مرتب جایگزین شده است. علاوه بر این، تجمع این یون‌ها ممکن است هنگام استفاده مجدد از آب اهمیت داشته باشد و در آن میزان کل جامدات محلول (TDS)^۳ کنترل شده است [۱۴]. برای جلوگیری از این مشکل، مخزن سلول نمک‌زدایی میکروبی، مخزن حذف نمک و جمع‌آوری آن به عنوان جزئی از سیستم در نظر گرفته می‌شود [۵].

۷) MDC با جریان رو به بالا (UMDC)^۴: یک واحد لوله‌ای متشکل از دو محفظه است که توسط غشاهای تعویض یونی از هم جدا شده‌اند. محفظه درونی محفظه آندی با دانه‌های گرافیت پر شده است. این گرانول‌ها افزایش سطح برای واکنش‌های اکسیداسیون را تأمین می‌نمایند. دو میله گرافیت نیز داخل گرافیت‌های گرانول که انتقال الکترون‌ها را ممکن می‌کند، قرار داده شده است. این مجموعه توسط یک غشاء تعویض یونی محصور شده است. محفظه بیرونی شامل محدوده نمک‌زدایی و حاوی آب شور است. سپس با یک غشا تبادل یونی کاتیونی مهار گردیده است. از آنجا که این لوله‌ها حالت الکترودها را دارند، افزایش سطح برای نمک‌زدایی بیشتر را ایجاد می‌کند. کاتالیز قابل استفاده در UMDC ترکیبی از پلاتینیوم و کربن است که در اطراف راکتور لایه را به عنوان کاتد ایجاد می‌کند و نیاز به محفظه کاتد در این مورد وجود ندارد [۱۱].

۸) MDC اسمزی: اسمز مستقیم یک تکنیک در نمک‌زدایی آب است که در آن آب خالص بین دو محیط محلول یکی آب مکش شده و دیگری آب رانش شده، ایجاد می‌گردد. برای ادغام FO^۵ در MDC و MFC، به جای غشاهای تبادل یونی^۶ تلاش زیادی انجام پذیرفته است [۱۵]. یکی از اقداماتی که در جهت بهبود این سلول‌ها انجام شده،

3. Total dissolved solids

4. Upflow MDC

5. forward osmosis

6. Ion-exchange membranes (IEMs)

1. microbial electrolysis and desalination cell

2. microbial electrolysis desalination and chemical-production cell

مختلف قرار می‌گیرد. مزایای اصلی استفاده از MDCs جداگانه عبارتند از: سهولت کنترل جریان‌ها و اینکه در صورتی که قطعات آسیب دیده در سیستم نیاز به تعمیر و یا تعویض دارند با سهولت انجام می‌پذیرد [۱۶]. بنابراین، سیستم MDC جدا گانه در مقایسه با واحد MDC معمولی قابلیت انعطاف بیشتری در عمل داشته و در بهره‌برداری بسیار کار آمدتر هستند [۱۷].

(۱۱) MDC به همراه رزین تبادل یونی: از آنجا که این رزین تبادل یونی رسانایی بالایی دارند، از آنها به راحتی می‌توان در آبهای کم شور جهت کاهش مقاومت اهمی و افزایش راندمان سلولهای نمک‌زدا و کاهش مصرف انرژی در سیستم استفاده نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

MDC فن‌آوری‌های در راهی هستند که می‌تواند مصرف برق را به حداقل برساند و باعث افزایش راندمان نمک‌زدایی به عنوان واحد پیش نمک‌زدا گردند. سیستم MDC می‌تواند به عنوان یک پیش تصفیه نمک‌زدا استفاده شود و به طور قابل توجهی می‌توانند به کاهش غلظت نمک منجر گردند و یا می‌توان آن را به عنوان یک فرایند مستقل برای تصفیه خارج از مرکز فاضلاب طراحی نمود.

از آنجایی که ایجاد فن‌آوری MDC به منظور بهبود عملکرد کلی و کاهش مصرف انرژی در تصفیه خانه بوده است، با طراحی ساده چیدمان و با اضافه کردن واحدهای نمک‌زدا به هم می‌توان در راندمان آنها افزایش ایجاد کرد.

به منظور افزایش راندمان نمک‌زدایی از آب شور می‌توان این سیستم را به عنوان یک پیش تصفیه مناسب برای شیرین‌سازی فاضلاب‌های شور به روش اسمز معکوس به کار برد. به علاوه، این امکان وجود دارد که با ترکیب سه واحد از سلولهای نمک‌زدای میکروبی آنها را به عنوان یک واحد پیش تصفیه جهت روش شیرین‌سازی تقطیر سریع چند مرحله‌ای

ساخت MDC یا MFC اسمزی است. غشاء FO اجازه می‌دهد تا آب از غشا عبور کند اما عبور یونها در قسمت میانی سیستم را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد. در این مورد، نمک‌ها حذف نمی‌شوند بلکه غلظت آنها افزایش می‌یابد. استفاده از جایگزین غشاءهای تبادل یونی با غشاء FO بیشتر در MFC کاربرد دارند.

(۹) غشاء و فرآیندهای غشایی دو قطبی MDC: یکی دیگر از روشهای اصلاح شده، MDC با غشاء دو قطبی است. غشای دو قطبی شامل لایه‌های آنیون و کاتیون با قدرت نفوذ انتخابی هستند که با فشار یا حرارت یا چسب با هم به صورت لایه‌ای فشرده شده‌اند. این غشاءها با فرآیندهای نفوذ غشایی عملکرد MDC را به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش دادند. این غشاءها قابلیت نفوذپذیری انتخابی دارند و می‌توانند به یونهای دارای یک مشخصه اجازه عبور دهند. آب کم، افت ولتاژ، تقسیم و مقاومت الکتریکی و مدت زمان طولانی عمر از مزایای این غشاءها است. با افزایش ظرفیت تبادل یونی در یک غشاء دو قطبی نمک‌زدایی از ۵۰٪ به ۶۳٪ افزایش می‌یابد [۴]. در مقایسه با غشاهای آندی و کاتدی غشاء دو قطبی بیشتر به مواد آلی و بیولوژیک حساس هستند و نیز در برخی سیستم‌ها آند مستقیماً در معرض فاضلاب است. از طرف دیگر، CEM هم توسط رسوب فسفات‌ها یا رسوب مواد معدنی دیگر مانند کلسیم و منیزیم به صورت فلس‌دار و ناصاف تغییر شکل می‌دهند [۱]. در MDC، غشاءهای دو قطبی بعد از محفظه آند نصب می‌گردند. در نتیجه این نمک‌زداها در چهار محفظه تعبیه می‌گردد [۹].

(۱۰) MDC سری جدا از هم: یکی از بزرگترین مشکلات MDCها زمان خارج شدن قسمتی از سیستم از مدار جهت تغییر یا نگهداری و یا تعمیر است. برای غلبه بر این مشکل، یک سیستم MDC جداگانه طراحی شده که در آن آند و کاتد در یک محلول نمکی قرار داده شده به جای اینکه در اتاق‌های

(MSF) ^۱ مورد استفاده قرار داد و بدین ترتیب ۵۰٪ از آب شور نمک‌زدایی می‌شوند. اثرات اصلی زیست محیطی ناشی از دو روش فوق در تصفیه خانه‌ها پس از عملیات تصفیه از طریق تخلیه پساب حاوی آب نمک به دریا بوده و همچنین کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

به طور کلی می‌توان گفت که MDC فن‌آوری جدیدی برای تصفیه فاضلاب و نمک‌زدایی از آب دریا هستند و قادر به حداقل رساندن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و به طور همزمان افزایش کارایی و راندمان تصفیه خانه‌ها گردند.

References

1. Luo H, Xu P, Jenkins PE, Ren Z. Ionic composition and transport mechanisms in microbial desalination cells. *Journal of membrane science*. 2012; 409-410:16-23.
2. Forrestal C, Xu P, Jenkins PE, Ren Z. Microbial desalination cell with capacitive adsorption for ion migration control. *Bioresource technology*. 2012; 120:332-336.
3. Gnanaswar Gude V, Kokabian B, Gadhamshetty V. Beneficial bioelectrochemical systems for energy, water, and biomass production. *Journal of microbial & biochemical technology*. 2013; S6:1-14.
4. Mehanna M, Saito T, Yan J, Hickner M, Cao X, Huang X, et al. Using microbial desalination cells to reduce water salinity prior to reverse osmosis. *Energy & environmental science*. 2010; 3(8):1114-1120.
5. Walter XA, Greenman J, Ieropoulos IA. Oxygenic phototrophic biofilms for improved cathode performance in microbial fuel cells. *Algal research*. 2013; 2(3):183-187.
6. Huang L, Chai X, Chen G, Logan BE. Effect of set potential on hexavalent chromium reduction and electricity generation from biocathode microbial fuel cells. *Environmental science & technology*. 2011; 45(11):5025-5031.
7. Wen Q, Zhang H, Chen Z, Li Y, Nan J, Feng Y. Using bacterial catalyst in the cathode of microbial desalination cell to improve wastewater treatment and desalination. *Bioresource technology*. 2012; 125:108-113.
8. Kim, Byung Hong; Chang, In Seop; Moon, Hyunsoo. Microbial fuel cell-type biochemical oxygen demand sensor. In: Grimes CA, Dickey EC, Pishko MV, editors. *Encyclopedia of sensors (10-Volume Set)*. Washington, DC: American Scientific Publishers; 2006.
9. Kim Y, Logan BE. Microbial desalination cells for energy production and desalination. *Desalination*. 2013; 308:122-130.
10. Qu Y, Feng Y, Liu J, He W, Shi X, Yang Q, et al. Salt removal using multiple microbial desalination cells under continuous flow conditions. *Desalination*. 2013; 317:17-22.
11. Jacobson KS, Drew DM, He Z. Efficient salt removal in a continuously operated upflow microbial desalination cell with an air cathode. *Bioresource technology*. 2011; 102(1):376-380.
12. Chen S, Luo H, Liu G, Zhang R, Wang H, Qin B, et al. Integrated utilization of seawater using a five-chamber bioelectrochemical system. *Journal of membrane science*. 2013; 444:16-21.
13. Chen S, Liu G, Zhang R, Qin B, Luo Y, Hou Y. Improved performance of the microbial electrolysis desalination and chemical-production cell using the stack structure. *Bioresource technology*. 2012; 116:507-511.
14. Forrestal C, Xu P, Ren Z. Sustainable desalination using a microbial capacitive desalination cell. *Energy & environmental science*. 2012; 5(5):7161-7167.
15. Zhang B, He Z. Improving water desalination by hydraulically coupling an osmotic microbial fuel cell with a microbial desalination cell. *Journal of membrane science*. 2013; 441:18-24.
16. Chen X, Liang P, Wei Z, Zhang X, Huang X. Sustainable water desalination and electricity generation in a separator coupled stacked microbial desalination cell with buffer free electrolyte circulation. *Bioresource technology*. 2012; 119:88-93.
17. Morel A, Zuo K, Xia X, Wei J, Luo X, Liang P, et al. Microbial desalination cells packed with ion-exchange resin to enhance water desalination rate. *Bioresource technology*. 2012; 118:43-48.

The technology of Microbial Desalination Cells (MBC) approach to saline wastewater purification

Alipour V¹, *Pesarakloo V², Rezaii L³

Keywords: Wastewater, Water Pollutants/Chemical, Osmosis, Microbial desalination cell

I

1. Assistant professor, Department of environmental health engineering, Hormozgan University of Medical Sciences, Hormozgan, Iran

2. MSc in water and wastewater engineering Department of Health, Islamic Republic of Iran Air Force, Tehran, Iran
(*Corresponding Author)
pesarakloovida@gmail.com

3. PhD student of environmental pollution, Islamic Azad University Qeshm Branch, Qeshm, Iran