



بررسی کاربرد فناوری پیل سوختی میکروبی در تصفیه انواع فاضلاب‌های صنعتی و خانگی

۱. مینا سروری کروژده. دانشگاه حکیم سبزواری

minasarvary74@gmail.com

۲. دکتر مجتبی هادوی فر. دانشگاه حکیم سبزواری*

m.hadavifar@hsu.ac.ir

۳. دکتر نوشین بیرجندی، دانشگاه لرستان

birjandi.n@lu.ac.ir

۴. دکتر رویا مهرخواه. دانشگاه حکیم سبزواری

mehrkah.roya@mail.um.ac.ir

دکتر Qin Li دانشگاه Griffith

qin.li@griffith.edu.au

چکیده

امروزه به دلیل کمبود منابع و کاهش سوخت‌های فسیلی و از طرفی به خاطر افزایش چشمگیر تقاضا برای انرژی برق، جوامع بشری به دنبال راهی برای دستیابی به روش‌های نوین برای تولید برق هستند. فاضلاب به عنوان یکی از منابع آب، انرژی و مواد مغذی کوددهنده گیاهان شناخته شده است. با این وجود، فن‌آوری‌های فعلی تصفیه فاضلاب عمدتاً به دلیل مصرف بالای انرژی و هزینه بر بودن برای تبدیل و بازیافت فاضلاب، محدودیت‌هایی دارند. بنابراین هر اقدام بالقوه کاهش هزینه و انرژی برای تصفیه فاضلاب باید بررسی شود. سلول‌های سوختی میکروبی (MFCs) به طور بالقوه می‌توانند چنین صرفه‌جویی‌هایی را به همراه داشته باشند و به عنوان فناوری امیدوارکننده برای تصفیه فاضلاب در حال ظهور هستند. امکان تولید برق در یک MFC از انواع فاضلاب‌ها وجود دارد و در عین حال انجام تصفیه بیولوژیکی فاضلاب (حذف تقاضای اکسیژن شیمیایی، COD) نیز صورت می‌گیرد. اما برای دستیابی به این امر، نیاز به پیشرفت‌های قابل توجهی در درک ما از این فناوری است. اگر بتوان تولید برق در این سیستم‌ها را افزایش داد، فناوری MFC ممکن است روش جدیدی را برای جبران هزینه‌های عملیاتی تصفیه خانه فاضلاب ارائه دهد و تصفیه پیشرفته فاضلاب را برای کشورهای در حال توسعه و صنعتی مقرون به صرفه‌تر کند.

واژگان کلیدی: پیل سوختی میکروبی، فاضلاب، تولید الکتریسیته، میکروارگانیزم

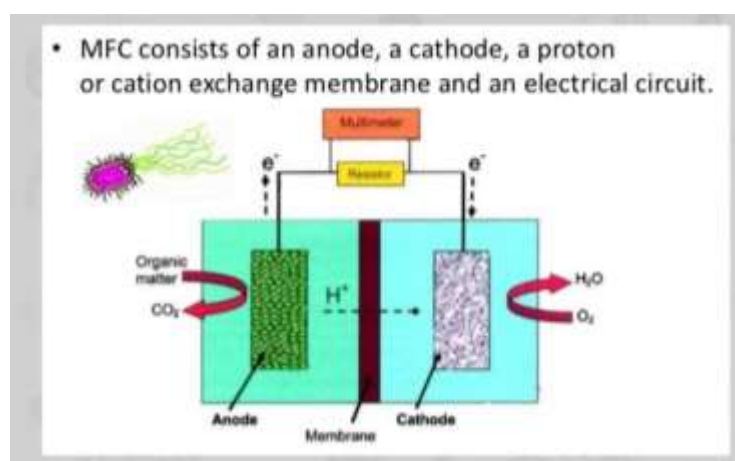
* دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، (نویسنده مسئول)،
mhadavifar@yahoo.com



اولین همایش ملی
پارک‌های ملی و مناطق تحت حفاظت

مقدمه

انرژی زیست توده و چوب هزاران سال قبل از انقلاب صنعتی به اقتصاد جهان کمک می‌کرد. از آن زمان، سوخت‌های فسیلی برای نزدیک به یک قرن جایگزین زیست توده شده‌اند. اما امروزه رشد تصاعدی جمعیت جهان، تقاضا برای غذا و انرژی در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است و فشار بی‌سابقه‌ای بر سیستم زنجیره غذایی و همچنین اکوسیستم جهان وارد کرده است (Tan *et al.*, 2021). از سویی دیگر، آب پاک و امنیت انرژی یکی از دغدغه‌های اصلی در دنیای امروز محسوب می‌شود. قابل ذکر است که تولید انرژی از منابع فسیلی با انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیطی مرتبط است. علاوه بر این، منابع فسیلی به دلیل محدودیت، وابستگی به کشورهای صادرکننده نفت را افزایش می‌دهند. در حال حاضر، کارهای تحقیقاتی متعددی با تمرکز بر توسعه فناوری‌های تولید انرژی پایدار در حال انجام است و توسعه منابع انرژی جایگزین که تجدیدپذیر و خودپایدار هستند و ردپای کربن آزاد را صفر می‌کنند، ضروری است. چنین منابع انرژی شامل انرژی زیستی، خورشیدی، بادی و سایر منابع انرژی تجدیدپذیر است. تولید انرژی زیستی از طریق تصفیه پسماندها علاقه قابل توجهی را برانگیخته و رویکرد جدیدی را برای استفاده ارائه کرده است و از طرفی استخراج انرژی از پسماند و فاضلاب می‌تواند راه‌حلی برای رسوب فزاینده زباله و بحران انرژی باشد. (Samsudeen *et al.*, 2019; Pandit, Savla and Jung, 2020). فاضلاب مهم‌ترین عامل آلودگی آب به شمار می‌رود و از طرفی دیگر در صورت تصفیه کافی، می‌شود که یکی از منابع جایگزین آب تازه باشد. (Ahmadi, Tajrishi and Abrishamch, 2005).



شکل ۱: پیل سوختی میکروبی



اولین همایش ملی
پارک‌های ملی و مناطق تحت حفاظت

اساساً فاضلاب به گندابی حاوی مجموعه‌ای از آلاینده‌های بیماری‌زا گفته می‌شود که منشأ آن می‌تواند منابعی چون پسماندهای خانگی، سازمانی، مؤسسات تجاری و صنعتی باشند، و غالباً با آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی ناشی از بارش همراه می‌شوند. (Nourbakhsh *et al.*, 2018). فناوری پیل سوختی میکروبی (MFC) از جمله فناوری‌های تجدیدپذیر و پایداری است که زباله‌های آلی و معدنی را برای تولید برق مصرف می‌کند و در دهه‌های اخیر به طور مداوم در حال توسعه بوده است. MFC ها از انرژی متابولیک باکتری‌ها برای تولید الکتریسیته استفاده می‌کنند، در حالی که باکتری‌ها به عنوان یک کاتالیزور زیستی برای اکسید کردن مواد آلی و معدنی و تولید الکترون و پروتون عمل می‌کنند. پروتون‌ها از طریق غشای تبادل پروتون (PEM) به محفظه کاتد منتقل می‌شوند و الکترون‌ها از طریق یک مدار خارجی به گیرنده الکترون پایانی در محفظه کاتد منتقل می‌شوند و در محفظه کاتدی، یک واکنش کاهش اکسیژن با ترکیب الکترون‌ها و پروتون‌ها رخ می‌دهد و آب و بیوالکتریک تولید می‌کند. (W. Wang *et al.*, 2020; Tan *et al.*, 2021)

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، با استفاده از روش کتابخانه‌ای از بین پایگاه داده‌های معتبر چهار آخرین مقالات بروز دریافت شده و با مطالعه این تحقیقات این تحقیق گردآوری شده است و روش تحقیق این مقاله توصیفی است.

نتایج و بحث

زمینه‌های پیشرفت پیل سوختی

محفظه آند

از بین تمام اجزای MFC، الکتروآند نقشی حیاتی در تولید انرژی و حذف آلاینده‌ها ایفا می‌کند. چرا که در تماس مستقیم با باکتری‌ها است و مسئول سرعت انتقال الکترون از باکتری‌های الکترواکتیو به سطح آند است. در حال حاضر، مواد و هزینه الکتروآند از چالش‌های نوظهور در تحقیقات MFC است. انتخاب مواد برای ساخت الکتروآند برای MFC ها می‌تواند بر چندین پارامتر عملکرد مانند اکسیداسیون بستر آلی، نرخ انتقال الکترون و چسبندگی میکروبی تأثیر بگذارد. کیفیت آند و خواص آن مستقیماً بر تولید انرژی تأثیر می‌گذارد. (Yaqoob, 2020)

تحقیقات فراوانی در رابطه با محفظه آند صورت گرفته است. به عنوان مثال:



اولین همایش ملی
پارک‌های ملی و مناطق تحت حفاظت

در پژوهش مشکور و همکاران یک الکتروود آند نانوکامپوزیت زیستی متخلخل با بستر سلولز باکتریایی و فاز پراکنده پلی آنیلین به صورت هیدروژل ساخته شد. برای سنتز این الکتروود از روش پلیمریزاسیون اکسایشی شیمیایی درجا در ۴ غلظت گوناگون از مونومر آنیلین بر روی سلولز باکتریایی استفاده شد. عملکرد آند یاد شده در پیل سوختی میکروبی در حضور مخلوطی از میکروارگانیسم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقاومت الکترودهای ساخته شده و توان و جریان تولیدی پیل در حضور این الکترودها اندازه گیری شد. در بیشترین غلظت به کار رفته از مونومر آنیلین در فرآیند ساخت الکتروود دانسیته توان 375 mW/m^3 و دانسیته جریان 603 mA/m^2 به دست آمد. (Mashkour, Rahimnejad and Mashkour, 2018)

Hu و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک الکتروکاتالیست آند جدید، نانوذرات کاربید آهن پراکنده در کربن گرافیتی متخلخل را گزارش کردند که اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی نشان داد که نانو $\text{Fe}_3\text{C}@ \text{PGC}$ سنتز شده، فعالیت الکتروکاتالیستی برجسته‌ای را در جهت انتقال بار بین باکتری‌ها و آند از خود نشان می‌دهد. (Hu et al., 2019)

در سال ۲۰۲۱ Arkatkar و همکاران ایزوله باکتری سودوموناس آئروژینوزا BR را برای فعالیت الکتروشیمیایی آن در مناطق مختلف درون محفظه آند پیل سوختی میکروبی مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش محفظه آند را به سه منطقه تقسیم کردند چرا که معتقد بودند آگاهی از فعالیت ناحیه‌ای می‌تواند در سیستم‌های MFC یکپارچه قابل اجرا باشد که در آن عمل هدفمند میکروب‌ها می‌تواند یک مزیت اضافی باشد (Arkatkar, Mungray and Sharma, 2021).

محفظه کاتد

در محفظه کاتد، حضور داشتن پروتون، غلظت و گونه‌های اکسنده، ساختار الکتروود و عملکرد کاتالیزور روی عملکرد و کارایی آن تاثیر دارد و تحقیقات فراوانی در رابطه با این محفظه صورت گرفته است. (معصومی، مجتبی؛ مناقبی، مژگان و عسگری ۱۳۹۰). به عنوان مثال:

Das و همکاران در سال ۲۰۲۰ در تحقیق خود، CuZn را به عنوان کاتالیزور کاتدی کم‌هزینه در MFC‌های مقیاس آزمایشگاهی و میدانی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که MFC در مقیاس آزمایشگاهی با CuZn به عنوان کاتالیزور کاتدی، چهار برابر چگالی توان بالاتری را در مقایسه با MFC کنترل مقیاس آزمایشگاهی که بدون کاتالیزور کاتدی کار می‌کرد، نشان داد. MFC در مقیاس میدانی با CuZn به عنوان کاتالیزور کاتدی نیز ۶۴ برابر چگالی توان بالاتری را در مقایسه با MFC کنترل نشان داد. بنابراین، کاربرد آن به عنوان کاتالیزور کاتدی در MFC‌های مقیاس آزمایشگاهی و میدانی را تضمین می‌کند (Das, Das and Ghangrekar, 2020).



اولین همایش ملی
پارک‌های ملی و مناطق تحت حفاظت

Kakarlı و همکاران در سال ۲۰۱۴ در تحقیق خود نشان دادند که جلبک فوتواتوتروف *Scenedismus obliquus* می‌تواند روی سطح الکتروکاتد بچسبد و تولید اکسیژن برای پیل سوختی میکروبی کند و غلظت اکسیژن توسط هوادهی جلبک در محفظه کاتد از ۰ به ۱۵,۷ میلی گرم در لیتر افزایش دهد. و در عرض ۱۲ ساعت، تولید ولتاژ ۰,۴۷ ولت با ۱۰۰۰ ولتاژ مقاومت خارجی به دست آمد (Kakarlı and Min, 2014).

Izadi و همکاران در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ انجام دادند به دنبال یک کاتالیزور پایدار برای واکنش کاهش اکسیژن بودند و برای این منظور از باکتری‌های اکسیدکننده‌ی آهن استفاده کردند تا عملکرد آن‌ها را مورد بررسی قرار دهند و توانستند به حداکثر چگالی توان ۱/۱ وات بر متر مربع دست پیدا کنند (Izadi et al., 2019).

S. Arun و همکاران در سال ۲۰۲۰ روی سلول سوختی مبتنی بر ریز جلبک‌ها تحقیق کردند و متوجه شدند که این سیستم برای حذف نیتروژن، فسفر و دی‌اکسیدکربن کارآمد هست. این گروه تحقیقاتی برای تأمین اکسیژن محلول مورد نیاز در محفظه کاتد از ریزجلبک‌ها استفاده کردند و پی بردند که دیگر نیازی به تأمین اکسیژن از خارج محفظه نیست. ولی اشکال عمده کارها این بود که برداشت از محفظه کاتد نیاز به یک پیش تصفیه در مفهوم پالایشگاه زیستی داشت (Arun et al., 2020).

Hongying Wang و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای افزایش ظرفیت تولید انرژی و افزایش فعالیت واکنش کاهش اکسیژن از MIL-53(Fe) به عنوان کاتالیزور در سلول‌های سوختی میکروبی استفاده کردند و به ولتاژ خروجی ۰/۳۷ ولت برای یک هفته دست پیدا کردند و متوجه شدند که MIL-53(Fe) یک کاتالیزور الکتروشیمیایی عالی است که به طور قابل توجهی توانایی کاهش اکسیژن کاتالیزوری را افزایش می‌دهد و توان خروجی را بالا می‌برد (H. Wang et al., 2020).

نوع میکروارگانیسم

پیل‌های سوختی میکروبی از نظر مکانیزم انتقال الکترون به دسته‌های با واسطه و بدون واسطه تقسیم می‌شوند. پیل‌های سوختی میکروبی با واسطه از لحاظ الکتروشیمیایی غیرفعال هستند و انتقال الکترون توسط واسطه‌هایی انجام می‌شود. بدین صورت که مولکول‌های واسطه، الکترون را از میکروارگانیسم‌ها دریافت کرده و آن‌ها را در سطح الکتروکاتد تخلیه می‌کنند. ولی معمولاً این واسطه‌ها هزینه بر و سمی هستند و باعث ایجاد مشکل می‌شوند. در پیل‌های سوختی میکروبی بدون واسطه، باکتری‌هایی فعال الکتروشیمیایی برای انتقال الکترون نقش دارند. آن‌ها با استفاده از پیلی و سیتوکروم‌های غشایی، الکترون‌ها را مستقیماً به الکتروکاتد تحویل می‌دهند و نیازی به واسطه ندارند (Kiaeeenajad et al., 2020).



اولین همایش ملی پارک‌های ملی و مناطق تحت حفاظت

محسنی و همکاران در تحقیق خود اقدام به جداسازی باکتری شوانلا اگزوالکتروژنیک از رسوبات بستر دریای مازندران کردند تا توانایی آن در تولید الکتریسیته در پیل سوختی میکروبی رو مورد بررسی قرار دهند و به این نتیجه دست یافتند که این باکتری توانایی تولید الکتریسیته را دارد و به بیشترین چگالی توان $140/817 \text{ mW/m}^2$ در تحقیق خود دست یافتند (Mohseni, 2017).

محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۸ اقدام به ارزیابی اثر متیل رد و لاکتات به عنوان واسطه‌ی انتقال الکترون و منبع کربن ساده کردند و نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که عملکرد الکتروشیمیایی پیل سوختی میکروبی دارای متیل رد با دانسیته‌ی توان $7/54 \text{ mW/m}^2$ سطح کاربردی الکتروود آندی اختلاف معناداری با پیل سوختی بدون واسطه با دانسیته توان $0/46 \text{ mW/m}^2$ دارد و پیل دارای متیل رد و لاکتات دانسیته‌ی توان $4/44 \pm 1/41 \text{ mW/m}^2$ را نشان داد. و به این مهم دست یافتند که افزودن سینتیک خارجی متیل رد باعث افزایش عملکرد الکتروشیمیایی پیل سوختی می‌شود (Mohammadi, Zarrini and Ahadzadeh, 2019).

لطفی و همکاران در سال ۱۳۹۷ تمرکز خود را بر روی ارزیابی راندمان حذف COD قرار دادند و از سیستم دو محفظه‌ی بی‌واسطه استفاده کردند و مخمر به کار برده شده ساکارومایسس سرویسیه بود. بیشینه الکتریسیته‌ی ثبت شده در این تحقیق mW/m^2 ۷۷/۶۸ و بیشترین مقدار حذف COD نیز برابر با ۹۱/۱۴ درصد به دست آمد (Lotfi, Younesi and Bahramifar, 2018).

سوبسترا

در سیستم پیل سوختی میکروبی گستره وسیعی از مواد آلی از هیدروکربنات‌های ساده مانند گلوکز تا ترکیبات پیچیده مانند فاضلاب خانگی، فاضلاب دامداری‌ها، فاضلاب صنایع آبجو سازی و شکلات‌سازی به عنوان پیش ماده به کار می‌روند (Kiaeenajad et al., 2020).

به دلیل اینکه در سال‌های اخیر، طیف وسیعی از فاضلاب‌ها در فناوری پیل سوختی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و به دلیل وسعت مطالب، ما صرفاً دو دسته‌ی فاضلاب‌های خانگی و صنعتی را مورد بررسی قرار داده‌ایم.

الف) فاضلاب خانگی

فاضلاب یک معضل و مشکل جدی برای کل مناطق جهان از روستاهای کوچک گرفته تا شهرهای بزرگ است. به عنوان مثال در مالزی، مردم تقریباً ۹۹ درصد از آب‌های سطحی را برای مقاصد مختلف خانگی استفاده می‌کنند. در مقابل، ۱ درصد از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌کنند و کل منابع آب داخلی در مالزی تقریباً ۵۸۰ کیلومتر مکعب در سال است (Yaqoob et al., 2020).

روش‌های متداول تصفیه هوازی فاضلاب‌های خانگی، نه تنها مستلزم هزینه‌های گزاف است، بلکه انرژی بسیاری هم صرف عملیاتی کردن آن‌ها می‌شود (Nourbakhsh et al., 2018).



اولین همایش ملی
پارک‌های ملی و مناطق تحت حفاظت

(ب) فاضلاب صنعتی

از آنجایی که آب مهم‌ترین و اساسی‌ترین عنصر در تمامی کارخانجات است، بخش صنعت نقش مهمی در آلودگی آب‌ها و کاهش ذخایر آبی دارد و همین‌طور این بخش، بیشترین پتانسیل را برای کاهش مصرف و اجرای برنامه‌های مدیریت آب و فاضلاب را دارا است (Ahmadi, Tajrishi and Abrishamch, 2005).

از جمله صنایعی که مصرف آب آن بالاست، می‌توان به صنعت نوشابه‌سازی اشاره کرد که میزان آب مصرفی در این صنعت ۷ متر مکعب به ازای هر متر مکعب نوشابه‌ی تولیدی است. بار آلی اکسیژن خواهی شیمیایی در این فاضلاب بسیار بالاست (Yari et al., 2005).

برای بررسی راحت داده‌ها، مطالب به صورت جدول آورده شده است.

جدول ۱: دسته بندی فاضلاب‌های بررسی شده در پیل سوختی میکروبی

نوع فاضلاب	ماکزیمم ولتاژ، دانسیته توان تولیدی یا جریان الکتریکی	منبع
خانگی	۱ ولت - $248 \mu A$	(Jafari and Sedighi Khavidak, 2018)
خانگی	422 mW/m^2	(Ahn and Logan, 2010)
خانگی	$72 \pm 1 \text{ mW/m}^2$	(Min and Logan, 2004)
صنعتی	$91/6 \text{ mW/m}^2$, 635 mA/m^2 , 60 mV	(Rashadi et al., 2021)
صنعتی	$36/86 \text{ mW/m}^2$ و 425 mv	(Dianati Tilaki et al., 2022)
صنعتی	1078 mA/m^2 و 186 mW/m^2	(Fatemi et al., 2015)
صنعتی	$49/76 \text{ mW/m}^2$ و 60 mV	(Birjandi et al., 2016)

با توجه به بررسی‌های گسترده تو زمینه پیل‌های سوختی میکروبی، چشم‌انداز آینده‌ی این فناوری بسیار روشن است چرا که این سیستم قابلیت تصفیه‌ی فاضلاب‌های مختلف سمی و حاوی فلزات سنگین را دارا می‌باشد و در عین حال می‌تواند چشم‌اندازی روشن برای تولید انرژی زیستی و سبز باشد و یکی از دغدغه‌های مهم بشر را حل نماید.

منابع و مراجع مورد استفاده

معصومی، م.، مناقبی، م.، عسگری، ز.، ۱۳۹۰. تولید جریان الکتریسیته از فاضلاب توسط پیل‌های سوختی میکروبی. دومین همایش ملی مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی.

Ahmadi, M., Tajrishi, M. and Abrishamch, A. (2005) 'Technical and Economic Comparison of Conventional



Wastewater Treatment Systems in the Sugar Industries in Iran', *Journal of Water and Wastewater and Wastewater*, 16(1), pp. 54–61.

Ahn, Y. and Logan, B. (2010) 'Effectiveness of domestic wastewater treatment using microbial fuel cells at ambient and mesophilic temperatures', *Bioresour Technol.*, 101(2), pp. 469–475.

Arkatkar, A., Mungray, A.K. and Sharma, P. (2021) 'Study of electrochemical activity zone of *Pseudomonas aeruginosa* in microbial fuel cell', *Process Biochemistry*, 101, pp. 213–217.

Arun, S. et al. (2020) 'Algae based microbial fuel cells for wastewater treatment and recovery of value-added products', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132.

Birjandi, N. et al. (2016) 'Electricity generation through degradation of organic matters in medicinal herbs wastewater using bio-electro-Fenton system', *Journal of Environmental management*, 180, 390–400.

Das, I., Das, S. and Ghangrekar, M. (2020) 'Application of bimetallic low-cost CuZn as oxygen reduction cathode catalyst in lab-scale and field-scale microbial fuel cell', *Chemical Physics Letters* [Preprint]. Available at:

Dianati Tilaki, R.A. et al. (2022) 'Removal of Phenol and Electricity Generation in Microbial Fuel Cell by Using Microbial Seeds from Wastewater of Oil Refinery', *Journal of Civil and Environmental Engineering University of Tabriz*, 52(3), pp. 21–27.

Fatemi, sakine et al. (2015) 'Investigation of bioelectricity production in dual chamber microbial fuel cell by mixed culture as active biocatalyst', *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(4), pp. 546–554.

Hu, M. et al. (2019) 'Nano-Fe₃C@PGC as a novel low-cost anode electrocatalyst for superior performance microbial fuel cells', *Biosensors and Bioelectronics*, 142, p. 111594.

Izadi, P. et al. (2019) 'High performing gas diffusion biocathode for microbial fuel cells using acidophilic iron-oxidizing bacteria', *Frontiers in Energy Research*, 7.

Jafari, M. and Sedighi Khavidak, S. (2018) 'Microbial fuel cell: a strategy for bioremediation and energy production', *Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), pp. 37–43.

Kakarla, R. and Min, B. (2014) 'Photoautotrophic microalgae *Scenedesmus obliquus* attached on a cathode as oxygen producers for microbial fuel cell (MFC) operation', *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, pp. 10275–10283.

Kiaeenajad, A. et al. (2020) 'Design and Construction of a Microbial Fuel Cell for Electricity Generation from Municipal Wastewater Using Industrial Vinassee as Substrate', *mdsrjns*, 20(9), pp. 2403–2412.

Lotfi, M., Younesi, H. and Bahramifar, N. (2018) 'Wastewater treatment using dual-chamber microbial fuel cell with *saccharomyces cerevisiae*', *Journal of Water and Wastewater*, 29(4), pp. 101–108.

Mashkour, Mehrdad, Rahimnejad, M. and Mashkour, Mahdi (2018) 'Improving the Performance of Microbial Fuel Cell by Fabrication of a Cellulosic Nano-Biocomposite as Anode Electrode', *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran*, 37(1), pp. 105–112.

Min, B. and Logan, B. (2004) 'Continuous Electricity Generation from Domestic Wastewater and Organic Substrates in a Flat Plate Microbial Fuel Cell', *Environmental science & technology*, 38, pp. 5809–5814.

Mohammadi, S., Zarrini, G. and Ahadzadeh, I. (2019) 'Evaluation of Methyl Red and Lactate as a Mediator and a Simple Carbon Source on Electrochemical Performance of Urmia lake Sediment Microbial Fuel Cell', *Biological Journal of Microorganism*, 8(29), pp. 1–10.



Mohseni, M. (2017) 'Electricity production in two-chamber microbial fuel cells using exoelectrogenic *Shewanella* sp. isolated from sediments of the Caspian Sea', *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(2), pp. 174–187.

Nourbakhsh, F. et al. (2018) 'Microbial Fuel Cell Technology in the Treatment of Industrial, and Municipal Wastewater', *Iranian Chemical Engineering Journal*, 17(99), pp. 54–73.

Pandit, S., Savla, N. and Jung, S. (2020) 'Recent advancements in scaling up microbial fuel cells', in *Integrated Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment*, pp. 349–368.

Rashadi, F. et al. (2021) 'Application of dual chamber microbial fuel cell with aeration cathode for bioelectricity generation and simultaneous industrial wastewater treatment', *ijhe*, 14(3), pp. 473–486.

Samsudeen, N. et al. (2019) 'Bioelectricity production from kitchen wastewater using microbial fuel cell with photosynthetic algal cathode', *Bioresource Technology*, 295, p. 122226.

Tan, W.H. et al. (2021) 'Microbial Fuel Cell Technology—A Critical Review on Scale-Up Issues', *Processes*, 9(6).

Wang, H. et al. (2020) 'Enhanced bioelectrochemical performance caused by porous metal-organic framework MIL-53(Fe) as the catalyst in microbial fuel cells', *Process Biochemistry*, 99, pp. 147–153.

Wang, W. et al. (2020) 'Operation mechanism of constructed wetland-microbial fuel cells for wastewater treatment and electricity generation: A review', *Bioresource Technology*, 314, p. 123808.

Yaqoob, A.A. (2020) 'Development and modification of materials to build cost-effective anodes for microbial fuel cells (MFCs): An overview', *Biochemical Engineering Journal*, 164.

Yaqoob, A.A. et al. (2020) 'Outlook on the Role of Microbial Fuel Cells in Remediation of Environmental Pollutants with Electricity Generation', *Catalysts*, 10, p. 819.

Yari, A.R. et al. (2005) 'The Efficiency of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) in Soft Drink Industry Wastewater Treatment', *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*, 16(3), pp. 31–38.

Investing the application of microbial fuel cell technology in the treatment of all types of industrial and domestic wastewater

Abstract

Today, due to the lack of resources and the reduction of fossil fuels, and on the other hand due to the significant increase in the demand for electrical energy, human societies are looking for a way to achieve new methods for electricity production. Wastewater is known as one of the sources of water, energy and nutrients for fertilizing



plants. However, current wastewater treatment technologies have limitations mainly due to high energy consumption and high cost for wastewater conversion and recycling. Therefore, any potential cost and energy reduction measures for wastewater treatment should be investigated. Microbial fuel cells (MFCs) can potentially provide such savings and are emerging as a promising technology for wastewater treatment. It is possible to generate electricity in an MFC from a variety of wastewaters while performing biological wastewater treatment. (removal of chemical oxygen demand, COD) is also done. But to achieve this, significant advances in our understanding of this technology are required. If the power generation in these systems can be scaled up, MFC technology may provide a new way to offset wastewater treatment plant operating costs and make advanced wastewater treatment more affordable for developing and industrialized countries.

Keywords : Microbial fuel cell, Citric acid, Bioenergy, Wastewater treatment.

Investing the application of microbial fuel cell technology in the treatment of all types of industrial and domestic wastewater

Sarvary korojkeh, M., Department of Environment, Hakim Sabzevari University.
minasarvary74@gmail.com

Dr. Hadavifar, M., Department of Environment, Hakim Sabzevari University.
m.hadavifar@hsu.ac.ir

Dr. Noushin, B., Department of Environmental Science, Lorestan University
birjandi.n@lu.ac.ir

Dr. Mehrkhah, R., Department of Environment, Hakim Sabzevari University
mehrkhah.roya@mail.um.ac.ir

Dr. Li, Q., Professor School of Engineering and Built Environment - Civil and
Environmental Engineering, Griffith University
qin.li@griffith.edu.au