سلول های سوختی میکروبی(MFCs)

نگار محمدپور و سعید امین زاده*

تهران، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، پژوهشکده زیست فناوری صنعت و محیط زیست، گروه مهندسی زیست فرایند

چکیده

با توجه به اکوسیستم و تغییرات آب و هوایی، تحقیقات به سمت انرژی های تجدید پذیر بیشتر جلب شده است؛ سلول های سوختی میکروبی به عنوان یک راه حل برای مبارزه با اتکای صرف به سوختهای فسیلی و آلوده کننده ی محیط زیست، در یک مسیر بالقوه برای کاوش، جهت تولید برق به شمار می‌روند. محدودیت‌های موجود در زمینه ی پیشرفت MFCs عبارت اند از: مواد الکترود گران قیمت، تولید کم برق، ناتوانی در توسعه ی آن در مقیاس صنعتی است. امروزه استفاده از مواد الکترود پیشرفته (نانو مواد) برای پیشبرد زمینه الکترومیکروبیولوژی وعده داده شده است. سلول های سوختی میکروبی یک دستگاه جدید با عملکرد خاص برای تولید انرژی و کاهش آلودگی های زیستی هستند، ویژگی ها و فعالیت کاتالیزوری باکتری های فعال الکتروشیمیایی آندی یکی از عوامل کلیدی بر عملکرد سلول های سوختی میکروبی است.

واژه‌های کلیدی: سلول های سوختی میکروبی، میکروبیولوژی، باکتری‌های الکتروشیمیایی فعال، تصفیه ی فاضلاب

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: aminzade@nigeb.ac.ir

مقدمه

تولید انرژی، ذخیره سازی ومصرف آن موضوعاتی هستند که به‌طور فزاینده ای در زمینه های تحقیقاتی جدید رواج دارند. در حال حاضر ما از منابع مختلفی برای تولید انرژی الکتریکی مانند نیروی برق، انرژی خورشیدی، قدرت باد، سوخت‌های فسیلی و... استفاده می‌کنیم. امروزه تحقیقات به سمت منابع انرژی تجدید پذیر بیشتر جلب شده است، یک منبع انرژی جایگزین بالقوه استفاده از سلول های سوختی میکروبی[1](MFCs) است (۱). اما چرا ایده و کار محققان به سمت سوخت های میکروبی رفت؟ علل آن عبارت اند از: ۱) چون سوختهای فسیلی در حال کاهش هستند؛ ۲) منابع انرژی در دسترس محدودند؛ ۳) سوختهای فسیلی به دلیل تولید گرما باعث افزایش گرمایش زمین می‌شوند؛ ۴) سوختهای فسیلی با تولید دی اکسید کربن محیط زیست را آلوده و این آلودگی محیط زیست و افزایش گرمای جهانی اهمیت ویژه ای پیدا کرده است؛ ۵) سوخت های میکروبی جایگزین سازگار با محیط زیست هستند (۲). میکروارگانسیم ها مانند باکتری ها می‌توانند با استفاده از مواد آلی و بستر های زیست تخریب پذیر مانند فاضلاب ها، زباله های انسانی و حیوانی برق تولید کنند. واضح است که توجه زیادی به سولهای سوختی میکروبی با توجه به شرایط عملیاتی آنها در محیط (استفاده در دماهای پایین) و انواع بسترهای زیست تخریب پذیر به عنوان منبعی برای تولید سوخت شده است(۳).

[1] Microbial Fuel Cells

سلول های سوختی میکروبی یا سلول سوختی بیولوژیکی، یک سیستم بیوالکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. اساس کار سوختهای میکروبی واکنش کاتالیتکی میکروارگانیسم ها و برهمکنش باکتری هاست، سلول های سوختی میکروبی در مقیاس کوچک می توانند کار کنند به طوری که می توانند جایگزین یک باتری بدون نیاز به شارژ شوند. امروزه تصفیه ی فاضلاب ها به یک معضل همگانی تبدیل شده است، زیرا تخلیه فاضلاب به زیستگاه های آبزی باعث ایجاد اثرات مستقیم و غیرمستقیم در ارتباط با آلودگی محیط زیست شده و برای ارگانیسم های زنده مضر است. برای جلوگیری از اثرات نامطلوب فاضلاب بر محیط زیست و اکوسیستم آبزیان، نیاز به یک راه حل قطعی داریم که در این زمینه نیز سلول های سوختی میکروبی وارد عمل شدند(۴). اولین رخداد ثبت شده از فعالیت الکتروشیمیایی بین گونه های باکتری/ قارچ والکترود را می‌توان به اوایل قرن بیستم نسبت داد، که توسط Potter از گونه های *اشرشیاکلی و ساکارومایسس سرویزیه* گزارش شد. اولین تولید برق از میکروارگانسیم ها با استفاده از الکترودهای پلاتین برای راه اندازی یک نوع باتری انجام شد، که بعدها توسط Cohen در سال ۱۹۳۱ تایید شد، که ولتاژ 35 V در یک جریان 0.2 mA از یک سیستم سلول سوختی باکتریایی انباشته گزارش شد(۲ و ۵).

عملکرد سلول های سوختی میکروبی(MFCs)

اساس کارMFCs: اساس کار آنها واکنشهای ردوکس(احیا – اکسیداسیون) است که در این قسمت متابولیسم طبیعی باکتری مهار می شود و منجر به تولید برق می شود. باکتری ها سوبسترا را به الکترون تبدیل می‌کنند و الکترونها برای تولید برق از مدار می گذرند.

اجزاء MFCs

۱) آند: باکتری ها در قسمت آند زندگی می کنند و باعث تبدیل سوبسترا به دی اکسید کربن، آب و انرژی می‌شوند. پروتون و الکترون نیز در قسمت آند تولید می شوند، در قسمت آند واکنش اکسیداسیون رخ می‌دهد، قسمت آند باید کاملا بی هوازی باشد.اما دلیل این بی هوازی بودن بخش آند چیست؟ اگر در این بخش اکسیژن وجود داشته باشد به دلیل الکترونگاتیوتر بودن اکسیژن، الکترون را به سمت خود می کشد و در نتیجه مانع از روند طبیعی سیستم می شود این روند هم باعث می شود تولید برق صورت نگیرد. پس لازم است که محفظه آند را حتما بی هوازی کنیم(۶).

$$(CH_3COO^- + H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 2H^+ + 8e^-)$$

۲) کاتد: الکترونها و پروتونهای تولید شده در محفظه ی آند، دوباره در کاتد باهم ترکیب می شوند. در کاتد واکنش احیا رخ می دهد، که اکسیژن و هیدروژن به آب احیا می شوند، همچنین کاتد بخش هوازی سیستم است(۷).

$$(O_2 + 4e^- + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O)$$

۳) غشای تبادل: این قسمت باعث عبور پروتونها به کاتد می شود، محفظه ی آند وکاتد را از هم جدا می کند، باکتریها را از اکسیژن دور نگه می دارد (۸).

۴) مدار الکتریکی: الکترونها از طریق مدار الکتریکی وارد کاتد می شوند.

۵) سوبسترا و باکتری های مورد استفاده مطابق جدول زیر می‌باشد (۹، ۱۰ و ۱۱)

سوبسترا	باکتری
Acetate	***Shewanella putrefaciens***
Lactate	***Geobacter sulfurreducens***
Glucose	***Pseudomonas aeruginosa***
Xylose	***Entrococcus faecium***
Sodium fumarate	***Desulfuromonase***

نحوه ی عملکرد MFCs ها

سلول های سوختی میکروبی از یک میکروارگانیسم فعال به عنوان کاتالیزور زیستی در بخش آندی بی هوازی استفاده می کنند. این سلول ها دارای اتاقکهای آندی و کاتدی هستند که به صورت فیزیکی با یک غشای تبادل پروتون جدا شده اند. مطابق شکل ۱ بیوکاتالیزورهای موجود درآند، اکسیداسیون سوبسترا و تولید الکترون و پروتون را انجام می دهند. پروتونها از طریق غشای تبادل

به اتاق کاتد منتقل می شود و الکترونها از طریق مدار خارجی منتقل می‌شوند. پروتون و الکترون در اتاق کاتد واکنش می دهند که این واکنش همراه با کاهش موازی تبدیل اکسیژن به آب است. لازم به ذکر است که کاتالیزورهای زیستی فعال در بخش آند، سوبسترا یا منبع کربن را اکسید می‌کنند و الکترونها و پروتونها را تولید می‌کنند که در نهایت منجر به تولید آب می شود. مواد واسطه از غشای چربی خارجی و غشای بیرونی باکتری عبور می کند و سپس شروع به آزاد کردن الکترونها از زنجیره ی حمل و نقل الکترون می‌کنند و الکترونها را ازطریق سیتوکروم c به آند منتقل می کند (۱۲).

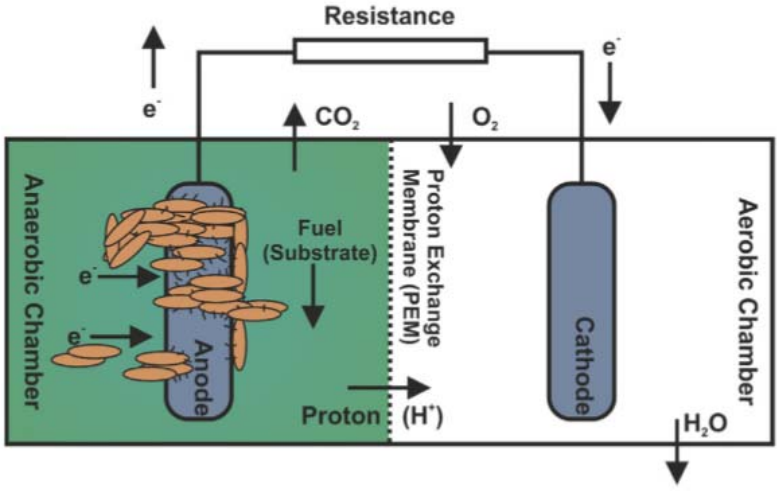
انواع MFCs ها

۱ – MFC های با واسطه

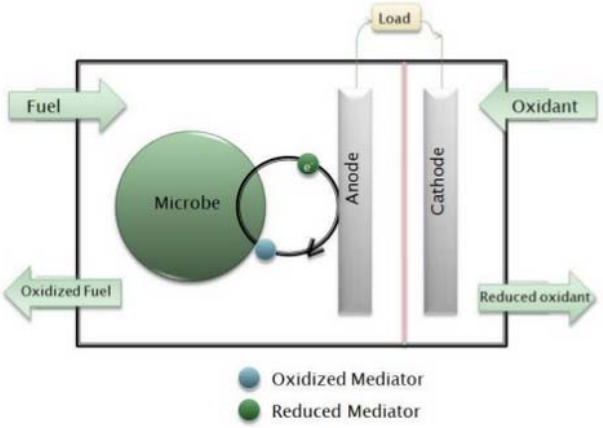
همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید، بیشتر سلول های میکروبی از لحاظ الکترو شیمیایی غیرفعال هستند، انتقال الکترون از سلول های میکروبی به الکترود توسط واسطه هایی مانند: تیونین، متیلین بلو، قرمز خنثی و... انجام می‌گیرد، ولی مشکلی که این مواد حد واسط دارند این است در بیشتر مواقع حد واسطهای موجود گران و سمی هستند (۱۳).

۲– سلول های سوختی میکروبی بدون واسطه

در این مدل، از باکتریهای فعال از نظر الکتروشیمیایی برای انتقال الکترون استفاده می کنند. (الکترونها مستقیما از آنزیمهای تنفسی باکتریایی به الکترود منتقل می شوند). باکتریهایی مانند *شیوانلا و آئرومونا*س و... باکتریهای فعال از لحاظ الکتروشیمیایی اند.



شکل ۱– طرحی از سلول های سوختی میکروبی با دو محفظه (۱)

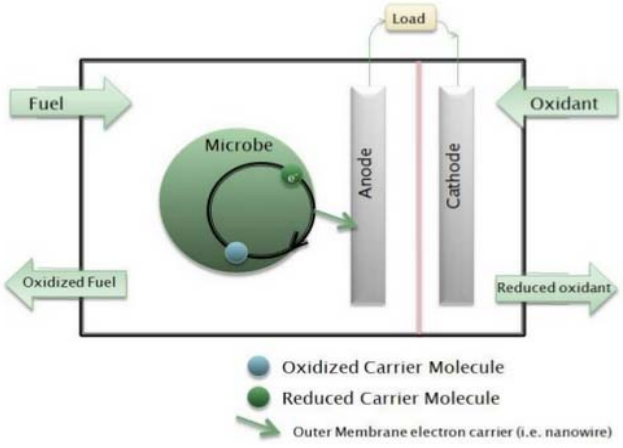


شکل ۲– طرحی از سلول های سوختی با واسطه https://www.slideshare.net

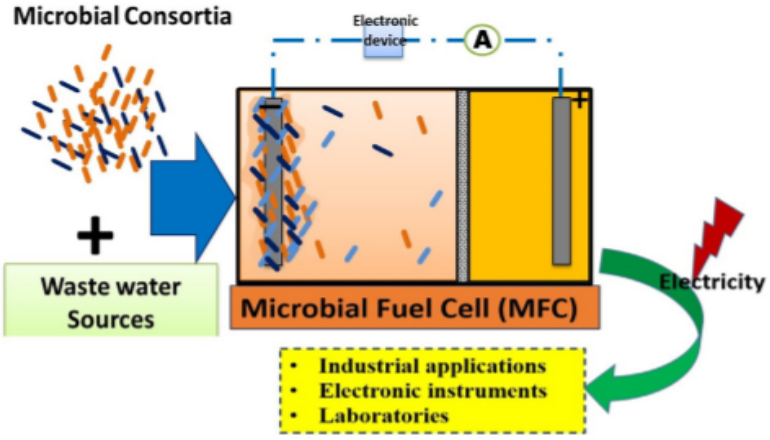
مطابق شکل ۳ بدون واسطه ها ویژگی های مشخصی ندارند و می توانند در فاضلابها اجرا شوند وانرژی را مستقیما از گیاهان استخراج کنند. با توجه به اینکه انرژی از گیاهان زنده (تولید انرژی در محل) تولید می شود این نوع تولید انرژی می تواند فراهم کننده مزایای زیست محیطی باشد (۱۳).

تصفیه ی فاضلاب توسط MFCs ها

تخلیه فاضلاب‌ها به زیستگاه های آبزی باعث ایجاد صدمات جدی به محیط زیست شده است، برای جلوگیری از اثرات نامطلوب فاضلاب بر محیط زیست و اکوسیستم آبزیان، نیاز به تصفیه ی فاضلاب با استفاده از استانداردهای تخلیه، بسته به جایگاه نهایی دفع دارد. بر اساس الزامات فرآیند و امکان سنجی تصفیه ی بیولوژیکی پساب می تواند به روش‌های هوازی و بی هوازی انجام گیرد. محدودیت اصلی تیمار با روش هوازی، میزان اکسیژن بالای مورد نیاز است. در روش هضم بی هوازی و فرایند لجن فعال نیز مشکل عمده تولید لجن به مقدار زیاد است که باید به درستی دفع شود. سیستم‌های تیماری که براساس منشاء زیستی هستند، مانند هاضم های بی هوازی و لجن فعال نیاز به انرژی زیادی دارند، ما به یک تکنولوژی موثر و مقرون به صرفه از لحاظ اقتصادی برای تیمار فاضلاب ها نیاز داریم، نیاز به ذکر است که غلظت بالای مواد آلی محلول و یا معلق در بسیاری از پساب ها خود می تواند یک منبع انرژی بالقوه باشد. تکنولوژی سلول های سوختی میکروبی در این زمینه می تواند از سایر روش ها پیشی گیرد، فناوری سلول سوختی میکروبی قابلیت تبدیل ۸۰٪ از این انرژی بالقوه به بیوانرژی را با استفاده از سوخت و سازهای میکروبی دارد. سلول های سوختی میکروبی توانایی حذف COD و BOD تا ۹۰٪ و ۵۰ –۹۰٪ انتشار کمتر لجن فعال را در مقایسه با دیگر روش‌های زیستی داراست، و در نهایت منجر به کاهش هزینه نهایی برای دفع لجن می‌شود. یکی دیگر از مزایای استفاده از فن آوری MFC برای تصفیه ی فاضلاب نسبت به هاضم های بی هوازی این است که می توان از MFC برای تیمار فاضلاب های رقیق نیز استفاده کرد؛ این تکنولوژی بر خلاف هاضم های بی هوازی می تواند اسیدهای چرب مانند استات و بوتیرات را به عنوان خوراک استفاده کند، از این رو تجمع اسیدهای چرب هیچ اثر منفی بر عملکرد آنها نخواهد داشت. در کشورهای شمال غربی مانند فنلاند MFCs ها می توانند بسیار کارامدتر باشد، زیرا در آنجا دمای فاضلاب کمتر از ۲۰ °C می‌باشد (حدود ۸ °C) و استفاده از فرآیندهای بی هوازی متعارف نیاز به یک منبع گرمای خارجی دارند تا عملکرد آنها تحت تاثیر دمای پایین قرار نگیرد، ولی چون MFC ها در دمای پایین نیز فعالیت خود را حفظ می کنند دچار چنین مشکلی نخواهند شد (شکل ۴)(۱۴و ۱۵).



شکل ۳- طرح سلول سوختی بدون واسطه https://www.slideshare.net



شکل ۴- بهره برداری از میکروب ها و بسترهای فاضلاب برای تولید انرژی زیستی با استفاده از MFCs در کاربردهای مختلف (۱۶)

در جدول زیر مزایا و معایب سلول های سوختی میکروبی آمده است (۱۷).

مزایا	معایب
بدون هیچ آلودگی	شرایط خاص برای زنده ماندن میکروارگانیسم ها
شارژ سریع	نارقابتی از لحاظ اقتصادی
حل مشکلات آلودگی محیط زیست	
بدون نیاز به تعمیر	

آینده تکنولوژی MFC

سلول سوختی میکروبی یک منبع تجدید پذیر است که برای رفع برخی مطالبات انرژی در آینده مفید است. هر چند برخی از محدودیت های آن در سال‌های اتی با کمک منابع تجدید دیگر مانند نور خورشید، جزر و مد دریا و غیره بهبود پیدا خواهد کرد، ما می توانیم منابع انرژی مورد استفاده را پاکتر و سبزتر کنیم، این تکنولوژی می تواند برای ما و طبیعت پیرامون ما مفید واقع شود.

منابع

1-Slate, A.J., et al., *Microbial fuel cells: An overview of current technology.* Renewable and sustainable energy reviews, 2019. **101**: p. 60-81.

2-Potter, M.C., *Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds.* Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character, 1911. **84**(571): p. 260-276.

3-Yilanci, A., I. Dincer, and H.K. Ozturk, *A review on solar-hydrogen/fuel cell hybrid energy systems for stationary applications.* Progress in energy and combustion science, 2009. **35**(3): p. 231-244.

4-Mathimani, T. and N. Mallick, *A review on hydrothermal processing of microalgal biomass to bio-oil-Knowledge gaps, and recent advances towards sustainable fuel production.* Journal of cleaner production, 2019.

5-Schröder, U., *Discover the possibilities: microbial bioelectrochemical systems and the revival of a 100-year–old discovery.* Journal of Solid State Electrochemistry, 2011. **15**(7-8): p. 1481-1486.

6-Singh, D., et al., *Microbial fuel cells: A green technology for power generation.* Annals of biological research, 2010. **1**(3): p. 128-138.

7-Oh, S., B. Min, and B.E. Logan, *Cathode performance as a factor in electricity generation in microbial fuel cells.* Environmental science & technology, 2004. **38**(18): p. 4900-4904.

8-Kim, J.R., et al., *Power generation using different cation, anion, and ultrafiltration membranes in microbial fuel cells.* Environmental science & technology, 2007. **41**(3): p. 1004-1009.

9-Sangeetha, T. and M. Muthukumar, *Influence of electrode material and electrode distance on bioelectricity production from sago-processing wastewater using microbial fuel cell.* Environmental Progress & Sustainable Energy, 2013. **32**(2): p. 390-395.

10-Sharma, Y. and B. Li, *The variation of power generation with organic substrates in single-*

chamber microbial fuel cells (SCMFCs). Bioresource technology, 2010. **101**(6): p. 1844-1850.

11-Chae, K.-J., et al., *Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells.* Bioresource technology, 2009. **100**(14): p. 3518-3525.

12-Ghasemi, M., et al., *Effect of pre-treatment and biofouling of proton exchange membrane on microbial fuel cell performance.* international journal of hydrogen energy, 2013. **38**(13): p. 5480-5484.

13-Sevda, S. and T. Sreekrishnan, *Effect of salt concentration and mediators in salt bridge microbial fuel cell for electricity generation from synthetic wastewater.* Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2012. **47**(6): p. 878-886

14-Prabakar, D., et al., *Advanced biohydrogen production using pretreated industrial waste: outlook and prospects.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **96**: p. 306-324.

15-Do, M., et al., *Challenges in the application of microbial fuel cells to wastewater treatment and energy production: a mini review.* Science of The Total Environment, 2018. **639**: p. 910-920.

16-Kumar, S.S., et al., *Microbial fuel cells (MFCs) for bioelectrochemical treatment of different wastewater streams.* Fuel, 2019. **254** :p. 115526.

17-Rismani-Yazdi, H., et al., *Cathodic limitations in microbial fuel cells: an overview.* Journal of Power Sources, 2008. **180**(2): p. 683-694.

Microbial fuel cell

Mohammadpour N. and Aminzadeh S.

National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

Due to the ecosystem and climate change, research is attracted to renewable energies, microbial fuel cells are a potential route to explore, as a solution to combat reliance on fossil fuels and environmental polluter, to produce electricity. The limitations that exist in the field of the Mfcs include: expensive electrode materials, low power generation, the inability to develop it at an industrial scale. Today, the use of advanced electrode materials (Nano materials) has been promised to advance the field of Electromicrobiology. Microbial fuel cells are a new device with special function for energy production and the reduction of biological pollutants, characteristics and catalytic activity of electrochemical active bacteria is a key factor in MFCs performance.

Key words: microbial fuel cells, microbiology, electrochemical active bacteria, wastewater treatment