

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد راکتور پیل سوخت میکروبی در تصفیه فاضلاب همزمان با تولید انرژی الکتریسته

حسن ایزانلو^۱، کاظم ندافی^۲، محمد خزائی^۳، حمید رضا تشیعی^۴، زینب یآوری^{۵*}

^۱ استادیار، مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی و گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم، قم، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط و مرکز تحقیقات محیطی دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
^۳ مربی مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی و گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم، قم، ایران
^۴ استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران
^۵ مربی، مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی و گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم، قم، ایران
نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی و گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم
پست الکترونیک: zyavari2412@gmail.com

وصول: ۹۱/۴/۲۱ اصلاح: ۹۱/۱۱/۲۱ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: پیل سوخت میکروبی که یک سیستم بیوالکتروشیمیایی است، به عنوان روشی نوین در تصفیه فاضلاب همزمان با تولید الکتریسته می باشد. در این راکتور انرژی شیمیایی ذخیره شده در مواد آلی از طریق فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم ها به الکتریسته تبدیل می شود.

مواد و روش کار: در این مطالعه پیل سوخت میکروبی دو محفظه‌ای با جریان پیوسته به مدت ۷۲۰ ساعت در دمای $(C \pm 4) 20$ راهبری شد. میزان بارگذاری آلی و زمان ماند هیدرولیکی متغیرهای موثر در راهبری راکتور پیل سوخت میکروبی بودند. **یافته ها:** زمان ماند هیدرولیکی بهینه برای دستیابی به بیشترین بازده حذف COD محلول در محدوده $1/5$ و $2/5$ ساعت بود. در این محدوده زمانی راندمان به ۴۹٪ رسید. مطالعه نشان داد که تغییرات میزان بارگذاری آلی تاثیر بسزایی در میزان بازده کلومبیک دارد، به گونه ای که با افزایش میزان بارگذاری آلی مقدار آن کاهش یافت و از ۷۱٪ در کمترین میزان بارگذاری آلی به ۸/۵٪ در بیشترین بارگذاری رسید.

نتیجه گیری: با توجه به مزایایی از قبیل تولید مستقیم الکتریسته از فاضلاب و حذف همزمان میزان قابل توجهی از بار آلی فاضلاب، استفاده از پیل های سوخت میکروبی در مقیاس صنعتی پس از انجام مطالعات تکمیلی و برآورد اقتصادی، جهت تصفیه فاضلاب توصیه می گردد.

واژه های کلیدی: پیل سوخت میکروبی، الکتریسته، بازده کلومبیک، تصفیه فاضلاب

مقدمه

است [۱،۲]. هم اکنون، سوخت های فسیلی منبع اصلی تأمین انرژی در جهان به شمار می آیند. اما بنا به دلایلی چون نیاز روز افزون به انرژی، محدودیت منابع فسیلی و آلودگی های زیست محیطی ناشی از سوزاندن و متصاعد شدن گازهای آلوده کننده حاصل از آن، استفاده از انرژی های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، هیدروژنی و زیست توده به جای انرژی های محدود

مصرف گسترده و کلان انرژی حاصل از سوخت های فسیلی، اگرچه رشد سریع اقتصادی جوامع پیشرفته صنعتی را به همراه داشته است، اما دریافت انرژی از این منابع موجب افزایش غلظت CO_2 ، افزایش سرعت تغییرات جهانی آب و هوایی جهانی، ذوب یخهای قطبی و بالا آمدن سطح آب دریاها و مشکلاتی برای سلامت انسان ها شده

الکترومنتقل می کنند. الکترون ها از طریق یک سیم رسانا از آند به الکتروکاتد جریان می یابند تا جریان تولید شود، در حالیکه پروتون های تولید شده از میان یک غشای تبادل پروتون نفوذ می کنند. سپس الکترون ها و پروتون ها در کاتد با مولکول های اکسیژن ترکیب می شوند تا آب تشکیل شود [۱]. مواد منتقل کننده پروتون در MFC ها بایستی بتوانند از انتقال سایر مواد مانند سوبسترا و یا الکترون پذیرنده ها مانند اکسیژن جلوگیری کنند و در عین حال پروتون را با سرعت زیادی به کاتد منتقل نمایند [۱۰].

در فرآیندهای بیولوژیکی سوبسترا نقش مهمی در فراهم کردن منبع انرژی و کربن مورد نیاز جهت ساختار سازی سلولی دارد [۱۱، ۱۲]. غلظت سوبسترا و ترکیب شیمیایی آن می تواند هم بر جمعیت میکروبی و هم بر عملکرد کلی پیل سوختی میکروبی اثر گذاشته و میزان دانسیته توان و بازده کلومبیک را تحت تاثیر قرار می دهد [۱۱]. فاضلاب که حاوی مواد آلی فراوانی است، به عنوان ماده ای مناسب جهت تولید حامل های انرژی مانند متان، هیدروژن است [۱۰] و استفاده از آن به عنوان سوبسترا در MFC می تواند منجر به تصفیه همزمان فاضلاب و تولید الکترونیته از آن شود [۱۱]. نتایج پژوهش های محققان در سال ۲۰۰۴ نشان داد که بین درجه تصفیه فاضلاب و توان تولیدی از راکتور MFC ارتباط مستقیمی وجود دارد [۱]. نتایج مطالعه لیو^۸ و همکارانش که با هدف تولید الکترونیته از دو نوع سوبسترا (استات و بوتیرات) انجام شد، نشان داد که بازده کلومبیک بوتیرات بسیار کمتر از استات است [۱۳].

یانقو آن^۹ و همکارانش در مطالعه ای که از فاضلاب شهری به عنوان سوبسترا استفاده کرده بودند، دریافتند که دانسیته توان و راندمان حذف COD به ترتیب mW/m^2 ۴۲۲ و ۲۵/۸٪ بود [۱۴]. بر طبق نتایج مطالعه جان کیو جیانگ^{۱۰} راندمان حذف COD کل لجن فاضلاب در MFC به ۴۶/۴ درصد رسید [۱۵].

فسیلی، می تواند از خطرات و چالش های ایجاد شده ممانعت کنند [۱]. تولید انرژی از مواد تجدید پذیر مانند زیست توده هم برای تولید انرژی مناسب است و هم در کاهش انتشار جهانی CO₂ اثر دارد [۲]. زیست توده، چهارمین منبع بزرگ انرژی در جهان بوده و حدود ۱۴ درصد انرژی جهان را فراهم می کند [۳].

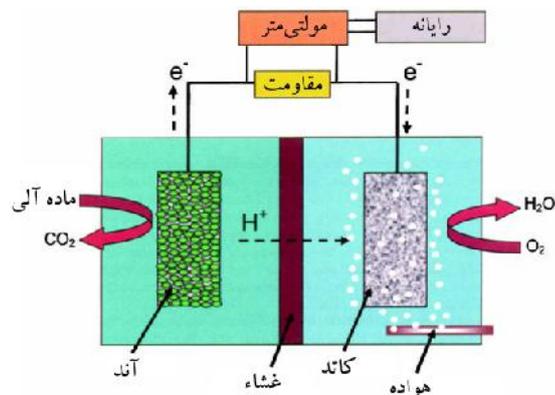
پیل سوختی میکروبی^۱ MFC یک سیستم الکتروشیمیایی زیستی است که با کمک شبیه سازی برهم کنش های باکتریایی موجود در طبیعت جریان الکترونیته تولید می نماید [۴، ۶]. این تکنولوژی می تواند از باکتری های موجود در فاضلاب به عنوان کاتالیست استفاده کند که هم زمان علاوه بر تولید الکترونیته، فاضلاب نیز تصفیه می شود.

در سال ۱۹۱۱، پاتر^۲ برای اولین بار توانست با استفاده از باکتری ها الکترونیته تولید کند [۱]. محققین در مطالعات خود از کنسرسیون های میکروبی خالص و مخلوط جهت اکسیداسیون سوبسترا در پیل سوخت میکروبی استفاده کرده اند. تحقیقات با باکتری های متفاوتی از گونه های خالص مانند اشرشیا کلی^۳ [۴]، شونلا پیوتریفیکنس^۴ [۵]، شونلا انیدنسیس^۵ [۶] ژئو باکتر سولفورردوسنس^۶ [۷]، رودفراکس فریدوسنس^۷ [۸] انجام شده است. نتایج نشان داد، MFCهایی که در آنها از یک گونه خالص استفاده می شود در شرایط پایدار تری راهبری می شوند و بازده کلومبیک بیشتری دارند [۹] و MFC هایی که با استفاده از گونه های مخلوط راهبری شده اند نسبت به مواردی که در آنها از گونه های خالص استفاده شده است، دانسیته توان بیشتری به دست آمده است [۱۰].

یک MFC دارای دو قسمت آند و کاتد می باشد که توسط یک غشاء تبادل یونی از یکدیگر جدا می شوند [۶، ۳]. وجود میکروارگانیسم ها در محفظه آند ترکیبات آلی موجود در فاضلاب را اکسید کرده و الکترون ها را به

- 1 -Microbial Fuel Cell
- 2-potter
- 3 -Escherichia coli
- 4 -Shewanella putrefaciens
- 5 -Shewanella oneidensis
- 6 -Geobacteraceae sulferreducens
- 7 -Rhodoferrax ferrireducens

8- Liu
9-Youngho Ahn
10-Junqiu Jiang



شکل ۱: شماتیک راکتور پیل سوخت میکروبی (۱)

منبع کربن و K_2HPO_4 ($0/78\text{g/l}$) و NH_4Cl ($0/28\text{g/l}$)، $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($0/1\text{g/l}$)، MgSO_4 ($0/1\text{g/l}$)، KH_2PO_4 ($0/68\text{g/l}$)، KCl ($0/74\text{g/l}$)، NaCl پیوسته از طریق یک پمپ پرستالتیک (نانوزیست تک مدل P5760) درون محفظه آند تزریق شد [۱۵، ۳].

به منظور برقراری شرایط یکنواخت و اختلاط کامل درون راکتور از مگنت استفاده گردید. شرایط بی‌هوای درون محفظه آند، با دمیدن گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) فراهم شد. بافر فسفات (50mM PBS)، به‌عنوان الکترون پذیرنده در کاتد استفاده گردید [۱۰، ۳]. برای فراهم کردن اکسیژن محلول در محفظه کاتد، این قسمت به‌طور پیوسته با استفاده از یک پمپ هواده‌ی شد. در این مطالعه از از باکتری‌های استخراج شده از شکمبه گاو به‌عنوان کنسرسیوم میکروبی در محفظه آند استفاده شد. در هر میلی‌لیتر از محتویات شکمبه در حدود 10^9 – 10^{10} باکتری وجود دارد [۱۷، ۱۶]. عملکرد MFC در شش مرحله بارگذاری و در سه زمان ماند متفاوت که در جدول ۱ بیان شده است، به مدت ۷۲۰ ساعت ارزیابی شد. هر بار گذاری تا رسیدن به شرایط پایدار و ثابت شدن ولتاژ راهبری می‌شد.

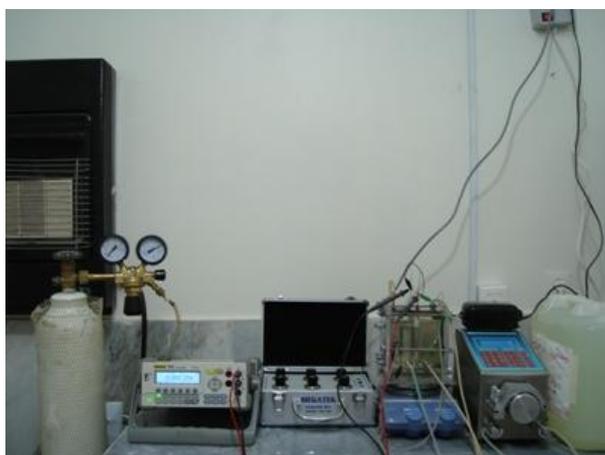
آزمایش‌ها به صورت پیوسته و در شرایط آزمایشگاهی (دمای $20 \pm 4^\circ\text{C}$) انجام گرفت.

این مطالعه با هدف تصفیه پذیری فاضلاب سنتتیک بر پایه گلوکز با استفاده از پیل سوخت میکروبی دو محفظه ای در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. به منظور بررسی اثر میزان بارگذاری آلی بر راندمان حذف COD، بازده کلومبیک و میزان توان تولیدی راکتور به‌طور پیوسته با استفاده از فاضلاب سنتتیک بر پایه گلوکز راهبری شد.

روش کار

راکتور مورد استفاده در این مطالعه از جنس پلکسی گلس و شامل دو محفظه آند و کاتد (حجم 250ml) بود که توسط یک غشای تبادل پروتون^۱ (PEM) Nafion117, (DuPont Co USA) از یکدیگر جدا می‌شدند. الکتروود مورد استفاده در آند از جنس پارچه کربن و کاتد از جنس گرافیت مسطح (مساحت سطح 36cm^2) انتخاب شد. قبل از استفاده از غشا به منظور افزایش تخلخل، لازم است پیش‌تصفیه ای روی آن صورت گیرد. بدین منظور غشا به ترتیب ابتدا درون محلول آب اکسیژنه (۳۰٪)، آب بدون یون، محلول اسید سولفوریک $0/5\text{M}$ و در نهایت برای حذف اسید اضافی مجدداً درون آب بدون یون قرار گرفت. هر یک از این مراحل بایستی در دمای 80°C و به مدت ۱hr انجام شد [۱۵]. فاضلاب سنتتیک با گلوکز به عنوان

1-Proton Exchange Membrane



شکل ۲: پیلوت مورد استفاده در مطالعه

شود. بازده کولومبیک در حالت راهبری پیوسته طبق رابطه ۳ بدین صورت محاسبه می شود [۳۰،۱]:

$$CE = \frac{8 I}{F q \Delta COD} \quad (3)$$

که در آن I جریان برحسب آمپر، F ثابت فارادی (96485 C/mol)، Δc تغییرات غلظت COD درون راکتور (mg/l) و q میزان جریان ورودی به راکتور (l/d) می باشد. برای اندازه گیری بخش محلول COD، درپایان هر بارگذاری نمونه برداشت شده از خروجی راکتور از فیلتر فایبر گلس واتمن با اندازه منافذ $1/2 \text{ mm}$ و قطر $4/7 \text{ cm}$ عبور داده شد (whatman, GF/C). سپس با استفاده از روش ۵۲۲۰ استاندارد متد، COD فاضلاب سنتتیک اندازه گیری شد (HACH COD system؛ ۵۲۲۰) [۱۸].

یافته ها

با ورود فاضلاب به درون راکتور ولتاژ به صورت تدریجی افزایش یافت و سپس ثابت شد. تولید جریان در پیل سوخت میکروبی بر اساس انتقال الکترون بین سطح الکترودهاست [۱۹،۳]. از سوی دیگر گلوکز سوبسترای است که به آسانی می تواند توسط میکروارگانیسم ها تجزیه شود. طی شش مرحله راهبری در راکتور بیشینه ولتاژ به دست آمده ۷۰۰ میلی ولت بود که پس از ۲۱ روز

ولتاژ تولیدی از MFC به طور پیوسته با استفاده از مولتی متر دیجیتالی (RIGOL Digital multimeter 5 3/4) هر بارگذاری تا رسیدن به ولتاژ ثابت، قرائت می شد. جریان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$I = V \times R^{-1} \quad (1)$$

که در آن I جریان بر حسب آمپر، V ولتاژ بر حسب ولت، R مقاومت بر حسب اهم است. توان (P) نیز از رابطه ۲ محاسبه می شود:

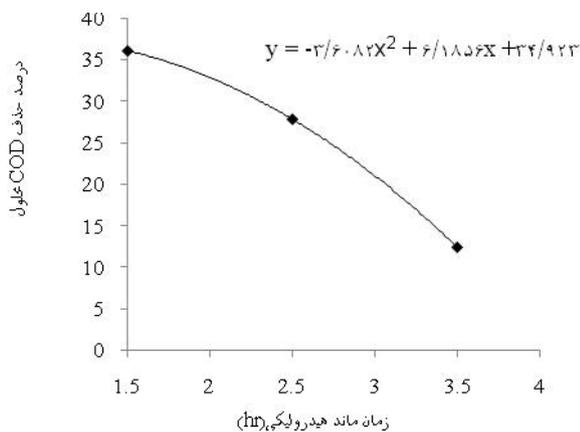
$$P = V \times I \quad (2)$$

که در آن P توان بر حسب وات است. برای محاسبه چگالی توان (mW/m^2) و جریان (mA/m^2) مقادیر به دست آمده به مساحت سطح الکتروده (معمولاً آند) تقسیم می شود. از آنجایی که هدف اصلی راهبری MFC ها تولید توان است، لذا بایستی تا حد امکان الکترون های ذخیره شده بیشتری را از بیومس استخراج کنیم تا به این ترتیب انرژی بیشتری از سیستم به دست آوریم. الکترون های به دست آمده به بازده کولومبیک (Columbic Efficiency) (CE) مربوط می شوند که به صورت نسبتی (یا درصدی) از الکترون های به دست آمده از جریان به کل الکترون های موجود در سوبسترا تعریف می

جدول ۱: یافته های پژوهش

C(g/l)	RUN	OLR(kg COD/m ³ .d)	HRT(hr)	V(mV)	CE (%)	I(mA/m ²)	P(mW/m ²)	E (%)
	۱	۶/۶۸۶	۳/۵	۶۸۵	۷۱/۷	۴/۵۲	۴۳۹/۵	۱۲/۳۷
۱	۲	۹/۳۶	۲/۵	۶۶۰	۳۲/۶	۸/۳	۹۱۷	۲۷/۸۳
	۳	۱۵/۶	۱/۵	۶۴۵	۱۵/۶	۸/۷۵	۶۰۰/۸۹	۳۶/۰۳۷
۲	۴	۱۲/۲۷۴	۳/۵	۶۲۷	۱۵/۰۹	۸/۳۳	۶۸۶/۸	۴۶/۳۷
	۵	۱۷/۱۸۴	۲/۵	۶۳۳	۱۵/۰۸	۹/۹	۶۳۳	۴۹
	۶	۲۸/۶۴	۱/۵	۷۰۰	۸/۹	۹/۴۶	۱۷۰۰	۴۰

حذف COD محلول نیز افزایش یافت. به گونه ای که بیشترین بازده حذف در زمان ماند هیدرولیکی ۱/۵ ساعت به دست آمد. با توجه به معادله به دست آمده از نمودار $y = -۳/۶۰۸۲x^2 + ۶/۱۸۵۶x + ۳۴/۹۲۳$ می توان با زمان ماند های متفاوت راندمان حذف COD را محاسبه نمود.



شکل ۲: ارتباط زمان ماند هیدرولیکی و درصد حذف

COD محلول در سه نوبت نخست کاری

با تغییر غلظت و محاسبه بارگذاری ها در نوبت های کاری بعدی (جدول ۲)، درصد حذف COD محلول در این مراحل نیز با کاهش زمان ماند هیدرولیکی افزایش یافت. بار آلی از طریق افزایش غلظت ماده آلی ورودی و کاهش

به دست آمد. اما در نخستین ساعات بهره برداری نیز به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب برای میکروارگانیسم ها ولتاژ تولیدی به ۶۸۵mV رسید. نتایج ولتاژ تولیدی، راندمان حذف و بازده کلومبیک در هر مرحله از بارگذاری ها در جدول ۱ ارائه شده است.

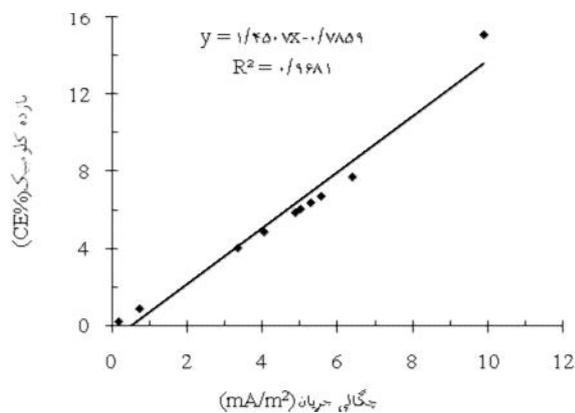
بحث

به منظور مطالعه اثر زمان ماند هیدرولیکی (HRT) بر عملکرد سیستم، راکتور مورد استفاده در مطالعه با غلظت متغیری از سوبسترا به طور پیوسته در سه زمان ماند متفاوت و شش بارگذاری آلی راهبری شد. طی مراحل راهبری محفظه آند به طور پیوسته برای بازده حذف COD محلول (SCOD) پایش می شد. داده های به دست آمده از آزمایش که در جدول ۳ نشان داده شده است، نشان می دهد که زمان ماند هیدرولیکی می تواند اثر بارزی بر بازده حذف SCOD داشته باشد.

با توجه به منحنی ارائه شده در شکل ۲، در این سه نوبت نخست کاری که بارگذاری ها با غلظت ۱g/l گلوکز به دست آمد، با افزایش میزان بارگذاری آلی که متناظر با کاهش زمان ماند هیدرولیکی درون راکتور بود، بازده

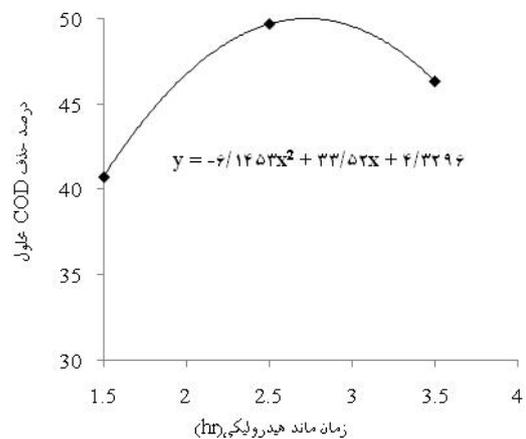
1-hydraulic retention time

میکروبی اثر گذاشته و میزان دانسیته توان و بازده کلومبیک را تحت تاثیر قرار دهد [۱۱]. از آنجا که الکتریسیته از طریق تجزیه سوبسترا های آلی تولید می شود، اکسیداسیون سوبسترا با حذف الکترون ها صورت می گیرد. برای مثال از اکسیداسیون کامل گلوکز و استات به ترتیب ۲۴ و ۸ مول الکترون به دست می آید [۱]. نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش میزان بارگذاری مقدار CE کاهش یافت. به گونه ای که CE در نخستین نوبت کاری با کمترین میزان بارگذاری آلی به ۷۱٪ رسید و در نوبت کاری نهایی با بیشترین میزان بارگذاری آلی به ۸/۵٪ کاهش یافت. همان گونه که در رابطه ۲ نشان داده شده است، بازده کلومبیک با افزایش چگالی جریان زیاد می شود. با رسم نمودار چگالی جریان در برابر بازده کلومبیک می توان دریافت که یک رابطه خطی میان چگالی جریان و بازده کلومبیک وجود دارد و با ضریب همبستگی بسیار بالایی از واکنش درجه اول $y = 1/45.07x - 0.7859$ پیروی می کند.



شکل ۴: بازده کلومبیک به عنوان تابعی از دانسیته جریان علت اصلی رابطه معکوس میان CE و غلظت سوبسترا این است که غلظت های زیاد سوبسترا فعالیت های باکتریایی را کاهش می دهد و بنابراین CE کاهش می یابد. وجود اکسیژن یا سایر الکترون پذیرنده ها در محفظه آند می توانند مانع از تجزیه کامل سوبسترا و آزادسازی الکترون ها شود. از آنجایی که باکتری های هوازی نمی توانند در تولید الکتریسیته نقشی داشته باشند، هر گونه نفوذ اکسیژن به درون سیستم موجب کاهش سوبسترا و در

میزان جریان ورودی فاضلاب بالا برده شد. اما همان طور که نتایج نشان می دهد، با افزایش میزان بارگذاری آلی و کاهش زمان ماند هیدرولیکی در آخرین نوبت کاری بازده حذف کاهش یافت و بیشترین درصد حذف در زمان ماند هیدرولیکی ۲/۵ ساعت حاصل شد. زمان ماند بهینه برای دستیابی به بیشترین بازده حذف زمان های ماند هیدرولیکی ۱/۵ و ۲/۵ ساعت حاصل شد که این محدوده زمانی می تواند به عنوان زمان ماند بهینه برای راهبری راکتور پیل سوخت میکروبی نیز مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۳ ارتباط میان میزان حذف بارگذاری آلی و زمان ماند هیدرولیکی در نوبت های کاری چهارم تا ششم را نشان می دهد.



شکل ۳: ارتباط زمان ماند هیدرولیکی و درصد حذف COD محلول

نتایج به دست آمده از مطالعه ای که یوجی فینگ^۱ و همکارانش انجام دادند نشان داد که در زمان های ماند هیدرولیکی بین ۲/۵ و ۳/۵ ساعت، بیشینه چگالی توان تولید می شود و بیشترین بازده حذف COD نیز در این زمان ها حاصل شد. از این رو این محدوده زمانی را به عنوان زمان ماند بهینه برای راهبری راکتور پیل سوخت میکروبی معرفی نمودند [۲۰]. در فرآیندهای بیولوژیکی سوبسترا نقش مهمی در فراهم کردن منبع انرژی و کربن مورد نیاز جهت ساختار سازی سلولی دارد [۱۱، ۱۲]. غلظت سوبسترا و ترکیب شیمیایی آن می تواند هم بر جمعیت میکروبی و هم بر عملکرد کلی پیل سوختی

از میکروارگانسیم به الکتروود ها، مساحت سطح الکتروود، شکل راکتور، الکترون دهنده و الکترون پذیرنده و سینتیک های واکنش اکسیژن در محفظه کاتد محدود شود [۶].

تکنولوژی پیل سوخت میکروبی برای تصفیه فاضلاب با محدودیت هایی روبرو است. زیرا فرآیند هنوز جنبه تجاری نیافته است. از این رو پیشنهاد می شود تا در مطالعات آتی به جنبه های صنعتی این فرآیند و استفاده از آن به عنوان یک فرآیند اقتصادی و مقرون به صرفه در تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی پرداخته شود.

پیشنهادات

یکی از مشکلات راکتورهای پیل سوخت میکروبی، گرفتگی غشا در مدت زمان کوتاهی پس از راهبری می باشد که این مشکل در سیستم هایی که به طور پیوسته راهبری می شوند، بیشتر به چشم می خورد. همزمان با گرفتگی غشا که نشانه آن سیاه شدن غشا طرف آند می باشد، بوهای نامطلوبی از پساب تولید می شود که به نظر می رسد ناشی از ترکیبات گوگردی است. از این رو پیشنهاد می شود تا در مطالعات آتی، برای جلوگیری از گرفتگی و تعیین ماهیت این ترکیبات راهکارهایی پیشنهاد گردد.

تشکر و قدردانی

در پایان نویسندگان بر خود لازم می دانند تا از مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی وابسته به دانشگاه علوم پزشکی قم، که هزینه های مالی و آزمایشگاهی این پژوهش را فراهم نمود، سپاسگزاری نمایند.

نتیجه کاهش بازده کلومبیک می شود. زیرا اگر اکسیژن برای باکتری های بی هوازی در دسترس باشد، به جای اینکه الکترون های خود را از سطح الکتروود منتقل کنند، به طور مستقیم آنها را از طریق اکسیژن عبور می دهند و این کار موجب کاهش راندمان کلومبیک می شود [۲۱-۲۲]. در کمترین بارگذاری ها، میکروارگانسیم ها این امکان را داشتند که تمامی سوبسترای موجود در راکتور را تجزیه کنند. اما با افزایش میزان بارگذاری، سوبسترای در دسترس میکروارگانسیم افزایش یافته و جمعیت میکروبی درون راکتور قادر به تجزیه تمامی مقادیر سوبسترای ورودی نیست. در MFC هایی که از گلوکز استفاده می شود، گلوکز توسط باکتری های اسیدوژنیک به اتانول، استات و بوتیرات تبدیل می شود. این فرآیند های تجزیه ای الکترون ها را از تولید الکتروسیته باز می دارد [۱]. نتایج مطالعه لیو و همکارانش که از استات و بوتیرات در پیل سوختی یک محفظه ای استفاده کرده بودند، نشان داد که بازده کلومبیک استات نسبت به بوتیرات بیشتر است. در واقع استات مستقیماً تجزیه شده و الکترون های خود را آزاد می کنند. درحالیکه بوتیرات حین تجزیه به محصولات واسطه ای دیگری نیز تبدیل می شود و همین امر موجب کاهش بازده کلومبیک آن می شود [۱۳]. در میان مطالعات انجام شده بیشترین میزان بازده کلومبیک (۹۷٪) از سوبسترای فرمات است که rosenbum و همکارانش علت را تجزیه تقریباً کامل فرمات بیان نمودند [۱۹]. در مطالعه انجام شده توسط Qing Wen و همکارانش که با هدف تولید الکتروسیته از فاضلاب آبجوسازی انجام شد نتایج نشان داد که بیشترین میزان CE (٪ ۱۹/۷۵) در مقاومت $20\ \Omega$ به دست آمد که علت آن را ترکیب پیچیده سوبسترای مورد استفاده در مطالعه بیان کردند [۳].

نتیجه گیری

محدودیت اصلی MFC ها برای استفاده در مقیاس های بزرگ چگالی کم توان در آنهاست. از آنجا که نخستین تولید کننده های انرژی باکتری ها هستند، شناخت و بکار گیری گونه های باکتریایی که بتوانند الکتروسیته بیشتری تولید کنند لازم است. توان خروجی از MFC ها می تواند توسط فاکتور های متعددی مثل راندمان انتقال الکترون

References

1. Logan B.E, "Microbial fuel cell". 1st, John Wiley & Sons, Publication 2007.
2. Sannes N, "Fuel Cell Technology Reaching Towards Commercialization ", Springer publication 2006.
3. Wena Q, Wua Y, Cao D, Zhao L, Sun Q, "Electricity generation and modeling of microbial fuel cell from continuous beer brewery wastewater", *Bio Tech* 2009; 100: 4171-4175.
4. Schroder U, Nienen J, Scholz F, "A Generation of microbial fuel cells with current outputs boosted by more than one order of magnitude", *Angew, Chem* 2003; 42: 2880–2883.
5. Kim HJ, Park HS, Hyun MS, Chang I.S, Kim M, Kim BH, "A mediator-less microbial fuel cell using a metal reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*", *Enz & Micro Techno* 2002; 30:145–152.
6. Biffinger JC, Byrd JN, Dudley BL, Ringeisen BR, "Oxygen exposure promotes fuel diversity for *Shewanella oneidensis* microbial fuel cells", *Biose & Bioelec* 2008; 23: 820–826.
7. Bond DR, Lovley DR, "Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes", *Appli & Environ Microbi* 2003; 69 (3): 1548–1555.
8. Chaudhuri SK, Lovley DR, "Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells", *Natu Biotechno* 2003; 21:1229–1232.
9. Rabaey K, Boon N, Hofte M, Verstraete W, "Microbial phenazine production enhances electron transfer in biofuel cells", *Environm Scien & Techno* 2005; 39: 3401–3408.
10. Booki M, Shaoan Ch, Logan BE, "Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells", *Water Research* 2005; 39: 1675–1686.
11. Pant D., Van.B, G., Diels, L., Vanbroekhoven, K., "A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production", *Bioresource Technology*, 2010; 101, 1533-43.
12. DuZ, Li H, Gu T, "A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy", *Biotechno Advances* 2007; 25: 464–482.
13. Liu H, Cheng S, Logan BE, "Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell", *Environ Sciene Techno* 2005; 39: 658–662.
14. Ahn Y, Logan BE, "Effectiveness of domestic wastewater treatment using microbial fuel cells at ambient and mesophilic temperatures", *Bioreso Techno* 2010; 101:469–475.
15. Jiang J, Zhao Q, Zhang J, Zhang G, Lee DJ, "Electricity generation from bio-treatment of sewage sludge with microbial fuel cell" *Bioreso Techno* 2009; 100:5808-5812.
16. Rismani Yazdi H, Christy Ann D, Dehority Burk A, Morrison M, Zhongtang Yu, Tuovinen Olli H, "Electricity generation from cellulose by rumen microorganisms in microbial fuel cells", *Biotechno Bioeng* 2007; 97: 1398-407.
17. H.mansoori, A.nikkhah, M.rezaeian, A.mirhadhi, "The comparison Rumen microbial population in Holstein and Sistani cows", *Journal of pajohesh and sazandegi* 2007; 66-73.
18. APHA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC. 1998.
19. Rosenbaum M, Schroder U, Scholz F, "Investigation of the electro catalytic oxidation of format and ethanol at platinum black under microbial fuel cell conditions", *Solid State Electrochem* 2006; 10:872–8.
20. Feng Y, Lee H, Wang X, Liu Y, He W, "Continuous electricity generation by a graphite granule baffled air–cathode microbial fuel cell", *Bioreso Techno* 2010; 101:632–638.
21. Moon H, Chang IS, Jang JK, Kim BH, "Residence time distribution in microbial fuel cell and its influence on COD removal with electricity generation", *Biochemical Engineering* 2005; 27: 59–65.
22. Zhang E, Xu W, Diao G, Shuang C, "Electricity generation from acetate and glucose by sedimentary bacterium attached to electrode in microbial-anode fuel cells", *Power Sources*, 2006; 161: 820–5.

Original Article

Survey of performance microbial fuel cell for wastewater treatment and electricity generation

Izanloo H¹, Naddafi K², Khazaei M³, Tashauoei HR⁴, Yavari Z^{5*}

¹ Assistant Professor .Research Center for Environmental Pollutants and Department of Environmental Health Engineering, Qom University of Medical Sciences, Qom, IRAN,

²Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Center for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³Educator, Research Center for Environmental Pollutants and Department of Environmental Health Engineering, Qom University of Medical Sciences, Qom, IRAN

⁴Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Islamic Azad University Tehran Medical Branch, Tehran, IRAN,

⁵Educator, Research Center for Environmental Pollutants and Department of Environmental Health Engineering, Qom University of Medical Sciences, Qom, IRAN

***Corresponding Author:**
Research Center for Environmental Pollutants and Department of Environmental Health Engineering, Qom University of Medical Sciences
Email:
zyavari2412@gmail.com

Abstract

Background and objective: Microbial fuel cell (MFC) is a bio electrochemical system and a new method for wastewater treatment and electricity generation simultaneously. In this reactor chemical energy stored in organic materials convert to electricity through the metabolic activity of the microorganisms.

Material & Methods: In a pilot study, two chambers MFC operated in continuous mode during 720 hours at 20±4 C. Organic loading rate and hydraulic retention time (HRT) were effective variables for operation of reactor.

Results: Optimized HRT to achieve the maximum removal efficiency obtained 1.5 and 2.5 hours and reached to 49%. Results showed that Columbic efficiency affected by organic loading rate (OLR) and by increasing it, CE reduced from 71% to 8%.

Conclusion: By considering, advantages such as production electricity directly and wastewater treatment simultaneously, it is recommended after further complementary studies and economical assessment, MFC could be used for wastewater treatment in industrial level.

Keywords: microbial fuel cell, electricity, columbic efficiency, wastewater treatment

Submitted: 11 Jul 2012

Revised: 9 Feb 2013

Accepted: 11 Mar 2013