



تولید الکتریسیته زیستی از فاضلاب سنتتیک با استفاده از پیل سوختی

میکروبی در حضور واسطه‌های متیلن بلو و نوترال رد

لیلا مادح خاکسار^۱، محمد مهدی امین^۲، سید محمد ماجدی^۳

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز، گروه محیط زیست

miskhaksar@yahoo.com

چکیده

امروزه پیل های سوختی میکروبی (MFCs)، روشی جدید برای تصفیه ی همزمان فاضلاب و تولید انرژی الکتریکی به عنوان یک انرژی تجدید پذیر (الکتریسیته زیستی) محسوب می گردند. در این مطالعه امکانپذیری استفاده از فاضلاب سنتتیک (حاوی اسید استیک و متانول) برای تولید الکتریسیته با استفاده از لجن بی هوازی به عنوان منبع غنی از میکروارگانیسم ها مورد بررسی قرار گرفت. یک پیل سوختی میکروبی دو محفظه ای مجهز به پل نمکی (بی نیاز از غشاء) با حضور دو نوع واسطه ی متیلن بلو (MB) و نوترال رد (NR) به عنوان الکترون گیرنده مورد بررسی قرار گرفت. در محفظه ی آندی، الکتروود از جنس گرافیت مسطح استفاده شد و با استفاده از اسید اورتوفسفریک، pH آن در محدوده ی ۶ حفظ شد. محفظه ی کاتدی حاوی ۲۰۰ mM فری سیانید پتاسیم [K₃Fe(CN)₆] در بافر فسفات بود و pH آن در محدوده ی ۷/۵ تنظیم شد. در محفظه ی کاتدی نیز الکتروودها کاملاً مشابه با محفظه ی آندی استفاده شد. اسید استیک در مقایسه با متانول راندمان بالاتری را در تولید الکتریسیته ی زیستی نشان داد. در اسید استیک با استفاده از MB (۰/۲ mM) حداکثر ولتاژ تولیدی برابر با ۰/۶۶۷ V بدست آمد در حالیکه حداکثر جریان و توان به ترتیب ۰/۶۰۷ mA و ۰/۴۰۵ mW ثبت شد. حداکثر دانسیته ی توان و دانسیته ی جریان به ترتیب برابر با ۶۱/۷۱۸ mW/m² و ۹۲/۵۳۰ mA/m² حاصل شد. با استفاده از NR (۰/۲ mM) حداکثر ولتاژ تولیدی برابر با ۰/۶۵۵ V بدست آمد در حالیکه حداکثر جریان و توان به ترتیب ۰/۵۹۰ mA و ۰/۳۸۶ mW ثبت شد. حداکثر دانسیته ی توان و دانسیته ی جریان به ترتیب برابر با ۵۸/۸۲۰ mW/m² و ۸۹/۹۴۰ mA/m² حاصل شد. نتایج، عملکرد مؤثرتر MB را نسبت به NR نشان داد. نتایج بدست آمده عملکرد خوب پیل سوختی میکروبی مجهز به پل نمکی را در این مطالعه نشان می دهد.

واژه های کلیدی: پیل سوختی میکروبی، انرژی الکتریکی، پل نمکی، واسطه، فاضلاب سنتتیک

۱- مقدمه

تا کنون تلاشهای زیادی صورت گرفته تا گزینه هایی برای تولید انرژی شناسایی و جایگزین گردند، تکنولوژی استفاده از پیل های سوختی میکروبی (MFC) که انرژی موجود در پیوندهای شیمیایی ترکیبات آلی را از طریق واکنشهای کاتالیتیکی میکروارگانیسم ها تحت شرایط بی هوازی به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند، در سالهای اخیر توجه محققان را به خود جلب نموده است. [۱] راکتورهای MFC تک محفظه ای یا دو محفظه ای، می توانند برای تولید الکتریسیته بر پایه اکسیداسیون

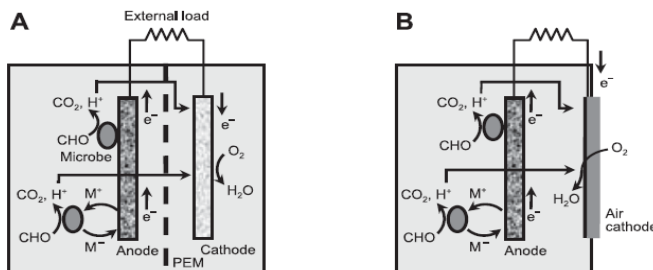
۱- کارشناس ارشد رشته مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب

۲- استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان - amin@hlth.mui.ac.ir

۳- رئیس آزمایشگاه محیط زیست سازمان منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی - E-mail:smmajedi@gmail.com



میکروبی مواد آلی ساخته شوند تصاویر زیر ساختار کلی راکتورهای MFC و واکنشهای الکتروشیمیایی آنها را نشان می دهد. [۲]



شکل ۱- A و B- به ترتیب ساختار کلی راکتور MFC دو محفظه ای و تک محفظه ای

در پیل های میکروبی الکترونیهای آزاد شده از مواد آلی در ابتدا بوسیله ترکیبات حامل الکترون درون سلولی (مانند نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید [INAD]) پذیرفته می شود و سپس به پذیرنده الکترون در زنجیره تنفسی انتقال الکترون منتقل می شود. مکانیسم رها سازی الکترون از مواد آلی که در بالا تشریح شد، می تواند از هریک از قسمت های مسیر انتقال الکترون درون سلولی به یک الکترو د برون سلولی (مانند آند) اتفاق بیافتد سپس اکسیداسیون میکروبی مواد آلی می تواند با تولید الکترونیسته همراه گردد (مانند یک سیستم MFC).

یکی از رایج ترین الکترون گیرنده های کاربردی در پیل های سوختی میکروبی، فری سیانید پتاسیم $K_3Fe(CN)_6$ می باشد که از نظر عملکردی بسیار مطلوب است. مهمترین مزیت فری سیانید، پتانسیل اضافی ناچیزی است که در هنگام استفاده از کاتدهای کربنی مسطح^۱ حاصل می شود که ناشی از اختلاف ناچیز پتانسیل عمل کاتد^۲ و پتانسیل مدار باز^۳ آن می باشد. [۳] معادله ی (۱) واکنش اکسایش فری سیانید و پتانسیل اکسیداسیون-احیای آن را نمایش می دهد.



غشاء های تبادل پروتون (PEMs) غشاء های فلوروپلیمری (fluoropolymer) هستند که برای انتقال پروتون از یک ناحیه با پتانسیل احیای پایین تر به یک ناحیه با پتانسیل احیای بالاتر کاربرد مطلوبی دارند. سایر غشاء های مورد استفاده برای این منظور غشاء های دیالیز، پل نمکی، ورقه های کربنی، لایه های نافون مایع و غیره هستند. [۴] غشاء های نافون بدلیل هدایت یونی بالا و خاصیت گزینش پذیری که دارد بطور گسترده ای بعنوان انتقال دهنده ی پروتون در مطالعات کاربرد دارد ولی بدلیل هزینه ی بالای این غشاء ها کاربرد MFC ها با وجود توسعه ی سریع آنها محدود شده است. بنابراین لزوم یافتن یک جایگزین با هزینه ی پایین اهمیت زیادی پیدا کرده است. مین و همکارانش عملکرد یک PEM و یک پل نمکی را در سیستم MFC که با میکروارگانیزم ژئوباکتر متالی ردیوسنس تلقیح شده بود، مقایسه کردند. توان خروجی با استفاده از پل نمکی، $2/2$ میلی وات بر مترمربع بود که به میزان قابل توجهی کمتر از مقداری بود که با استفاده از Nafion بدست آمد. [۵] چنانچه خوراک چیزی شبیه به فاضلاب خانگی باشد، غشا ها و تیغه کاتولینی مستعد گرفتگی هستند. اگر گرفتگی یا هزینه غشا به عنوان یک مشکل در کاربرد این سیستم ها مطرح باشد، MFC های بدون غشا مطلوب ترند. [۶] از آنجاییکه بسیاری از سلولهای میکروبی از نظر الکتروشیمیایی غیرفعال هستند در پیل های سوختی نیازمند به واسطه، انتقال الکترون از سلولهای میکروبی به الکترو د توسط واسطه ها تسهیل می گردد.

1-Plain Carbon Cathode
2-Working Potential
3-Open Circuit Potential



اگر چه گونه های میکروبی در مخزن آندی، آند دوست هستند ولی میکروها قادر نیستند الکترونها را مستقیماً به سوی آند هدایت کنند ضمناً بخش عمده غشای خارجی گونه های میکروبی، از غشای لیپیدی غیرهادی مثل پتیدی دوگلیکان^۱ و لیپوپلی ساکارید^۲ تشکیل شده است که مانع از انتقال مستقیم الکترونها به آند می شود. واسطه ها ترکیباتی با پتانسیل اکسایش - کاهش بسیار پایین هستند، بسیار پایین تر از آنچه واکنش های سلولی را به پیش می برد؛ بنابراین آنها الکترونها را به دام می اندازند و آنها را از واکنشهای پیوند غشایی که حاوی حاملین پروتون و الکترون هستند جدا کرده و به سوی الکتروود آند هدایت می کنند، جایی که پتانسیل بسیار پایین تری نسبت به واسطه ها دارد. [۷] این فرایند، نرخ انتقال الکترون را سرعت بخشیده و انرژی خروجی را افزایش می دهد. واسطه ها باید دارای ویژگیهای زیر باشند:

- * به راحتی قادر به عبور از غشای سلول باشند.
- * قادر به ربودن الکترون از حاملان الکترون در زنجیره های انتقال الکترون باشند.
- * واکنش پذیری زیادی با الکتروود داشته باشند.
- * در آنولیت حلالیت خوبی داشته باشند.
- * برای میکروها غیر سمی بوده و میکروها قادر به تجزیه آنها نباشند.
- * کم هزینه باشد.

امروزه برخی از مواد شیمیایی به عنوان واسطه در فرایند های MFC کاربرد دارند که از این دسته می توان رنگها، فلزات آلی^۳ که شامل نوترال رد^۴، متیلن بلو^۵، تیونین^۶، ملدولاز بلو^۷ و هیدروکسی نفتو کوئینون^۸ می باشند را نام برد. برای اینکه انتقال الکترون از یک حامل الکترون میکروبی به یک الکتروود منتقل شود، یک واسطه الکترون نیاز است. [۸]

واسطه هایی که واکنشهای اکسایش - کاهش برگشت پذیر را هدایت می کنند، می توانند پتانسیل اضافی کاتدی را در سیستم MFC کاهش دهند. زمانی که سطح موثر الکتروود برای اینکه کلیه باکتریهای رشد یافته را پوشش دهد کافی نباشد، واسطه ها نقش حاملین الکترون را ایفا می کنند. [۷]

اگر هیچگونه محلول بافری ضمن راهبری MFC استفاده نشود، اختلاف pH فاحشی بین محفظه های آندی و کاتدی مشاهده می شود، هرچند از نظر تئوری وقتی آهنگ واکنش پروتونها، الکترونها و اکسیژن در کاتد برابر با آهنگ تولید پروتون در آند است، نباید هیچگونه تغییر pH بوجود بیاید. [۱] چنانچه اختلاف pH آنولیت و کاتولیت کمتر از ۰/۵ می شود و جریان خروجی حدوداً ۱-۲ برابر افزایش پیدا می کند. بافر این امکان را فراهم می آورد که آهنگ کند انتقال پروتون جبران شود و دسترسی به پروتون برای واکنش های کاتدی، بهبود پیدا کند. [۹]

نوع سوخت، غلظت و میزان خوراک، فاکتورهای مهمی در عملکرد یک MFC هستند. با استفاده از سوختهای مختلف، شدت توان بسته به استفاده از یک نوع میکروب یا انواع مختلف میکروها به شدت متفاوت است.

در بسیاری از سیستم هایی که نشان داده شده اند، چه سیستم به صورت پیوسته و چه ناپیوسته کار کند، تولید الکتریسیته بستگی به غلظت سوخت دارد. معمولاً هر چه غلظت سوخت بیشتر باشد، توان خروجی بالاتری حاصل می شود. [۱] مون و

- 1-Peptidoglycans
- 2-Lipopolysaccharides
- 3-Metallorganics
- 4-Neutral Red (NR)
- 5-Methylene Blue (MB)
- 6-Thionine
- 7-Meldola's Blue (MeLB)
- 8-2-Hydroxy-1,4-Naphtho Quinone (HNQ)



۷ و ۷ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3rd Fuel Cell Seminar of Iran



همکارانش اثرات غلظت سوخت را بر عملکرد MFC بررسی کردند. مطالعات آنان نشان داد که شدت توان با افزایش غلظت سوخت، افزایش می یابد. [۱۰] وقتی پیل های سوختی از نظر میزان توان الکتریکی تولیدی با یکدیگر مقایسه می شوند، فاکتورهای مشخصی بشرح ذیل مورد بررسی قرار می گیرند:

الف-توان که از حاصلضرب جریان تولیدی در ولتاژ متناسب با آن جریان، محاسبه می گردد. این فاکتور برحسب mW بدست می آید چنانچه جریان برحسب mA و ولتاژ برحسب V باشد.

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

ب-دانسیتته جریان که میزان جریان تولیدی به ازای واحد سطح می باشد. این فاکتور بر حسب mA/cm² تعیین می گردد و گاهی از A/ft² نیز استفاده می شود. (هر دو واحد قابل تبدیل به یکدیگر هستند: ۱mA/cm² = ۰.۰۸A/ft²).

$$\text{دانسیتته جریان} = \frac{\text{جریان تولیدی}}{\text{واحد سطح}} \quad (3)$$

ج-چنانچه دانسیته ی جریان در یک ولتاژ مشخصی بدست آید این دو پارامتر می توانند در یکدیگر ضرب شوند و دانسیته توان برحسب mW/cm² بدست می آید. (A بر حسب cm² در سطح موثر دو وجهی آند)

$$P = V \times \frac{I}{A} \quad (4)$$

د-توان مخصوص: میزان توان به ازای واحد جرم توان مخصوص نامیده می شود. در سیستم SI از W/kg برای توان مخصوص استفاده می شود.

$$\text{توان مخصوص} = \frac{\text{توان}}{\text{جرم}} \quad (5)$$

ه-راندمان کلمبیک که بیان کننده ی نسبت بار الکتریکی تولید شده بر حسب کولن به بار الکتریکی تئوری یک ماده مشخص طی فرآیند اکسایش می باشد و با فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$\eta_c(\%) = \frac{C_p}{C_T} \times 100 \quad (6)$$

C_p کولن های حاصل از انتگرال گیری جریان طی زمان بهره برداری است. (این رابطه برای توزیع کولن های تولید شده بوسیله تجزیه لجن بی هوازی اصلاح شده است).

C_T مقادیر تئوری کولن های ناشی از خوراکی است که در آغاز بهره برداری MFC اضافه شده است. C_T به شرح ذیل محاسبه می گردد:

$$C_T = \frac{FnSv}{M} \quad (7)$$

F ثابت فارادی و معادل ۹۶۴۷۳Cmol⁻¹ electron می باشد.

n تعداد مول الکترونها تولید شده به ازای هر مول اکسیداسیون سوبسترا (در واحد COD)، (واکنش هر یک از

خوراکهای مورد استفاده و مول الکترونها تولیدی آنها در جدول ۲ آورده شده است).

S غلظت سوبسترا در واحد COD L⁻¹ g

v حجم مفید MFC در واحد لیتر

M وزن مولکولی اکسیژن (M= ۳۲) می باشد.

جدول ۲- تعداد مول الکترونهای تولیدی به ازای مصرف خوراکیهای مختلف

مول الکترون تولیدی	واکنش	خوراک
n=۶	CH ₃ OH + H ₂ O → CO ₂ + 6H ⁺ + 6e ⁻	متانول
n=۴	CH ₃ COOH + 2H ₂ O → 2CO ₂ + 8H ⁺ + 8e ⁻	استیک اسید

۲- مواد و روشها

در این مطالعه از یک راکتور MFC دو محفظه‌ای از جنس پلکسی گلاس (ورقه‌هایی با ضخامت ۰/۵mm) استفاده شد. حجم مفید هر یک از محفظه‌ها (آندی و کاتدی) ۲ لیتر انتخاب شد. مخزن آندی کاملاً بی‌هوازی بوده و مجهز به یک شیر تخلیه در کف جهت تخلیه‌ی کلی راکتور و شستشوی آن پس از هر بار راه اندازی و دو شیر تخلیه‌ی پساب و لجن به ترتیب در ارتفاعات $\frac{9}{10}$ و $\frac{1}{3}$ از عمق جهت نمونه برداری و تخلیه‌ی موضعی، تعبیه شده است. جهت ممانعت از ورود اکسیژن به محفظه‌ی آندی، درب آن کاملاً روی محفظه بصورت فلنجی قرار گرفته و توسط پیچ و مهره محکم شده و کاملاً هوا بند می‌گردد. الکترودها از جنس گرافیت مسطح با خلوص ۹۹/۹٪ و ابعاد ۸/۳×۷/۹cm و ضخامت ۱/۲cm در نظر گرفته شدند. الکترودها بدون هیچگونه پوششی و با سطح مؤثر ۶۵/۶cm² در هر دو محفظه قرار گرفتند. جهت ارتباط آنها از سیم مسی با قطر ۱mm و طول ۳۲cm استفاده شد که به منظور ثبت جریان و ولتاژ تولیدی به یک مولتی متر متصل شدند. (تصویر ۱-۲) راکتور MFC در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی مورد استفاده در این مطالعه سیستم تبادل پروتون شامل پل نمکی است که متشکل از یک لوله‌ی پلاستیکی شفاف به قطر داخلی ۱cm و سطح مقطع تماس ۰/۷۸cm² می‌باشد. این لوله توسط محلول ۳ M KCl مولار پر شده و دهانه‌های لوله از ۲ طرف توسط آگار ۰/۱۲٪ و اسفنج فشرده مسدود گردید.



شکل ۱- تصویر راکتور MFC دو محفظه‌ای مورد مطالعه

در این مطالعه با توجه به نقش مؤثر فری سیانید به عنوان الکترون گیرنده کاتدی، از این ترکیب در کاتولیت استفاده شد. طی بررسی‌های صورت گرفته روی مطالعات انجام شده در این زمینه، غلظت K₃Fe(CN)₆ به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شد. به منظور ممانعت از تغییرات pH و کنترل شرایط کاتولیت از K₂HPO₄ استفاده شد تا با ایجاد محیطی بافری pH کاتولیت را تثبیت کند.

جدول ۳- اجزای تشکیل دهنده‌ی کاتولیت

مقدار	فرمول شیمیایی	ترکیب شیمیایی
جهت رساندن به حجم ۲ L	-	آب
۳۲/۸۸g/L (۲۰۰mM)	K ₃ Fe(CN) ₆	فری سیانید پتاسیم
۲۰g/L (۲۳۰mM)	K ₂ HPO ₄	دی پتاسیم هیدروژن فسفات
جهت تنظیم pH	H ₃ PO ₄	اسید اورتو فسفریک ۰/۸۶٪

آنولیت محتوی خوراک (جهت تأمین $COD \sim 3000 \text{ mg/L}$)، لجن تلقیحی (جهت تأمین $VSS \sim 6000 \text{ mg/L}$)، واسطه و مواد ریز مغذی (میکروالمنت) بود. جهت کنترل pH و ممانعت از تغییرات آن، K_2HPO_4 در هر راه اندازی با غلظتی مشابه با آنچه در کاتولیت استفاده شد، به آنولیت اضافه گردید و با استفاده از اسید فسفریک ۸۶٪، pH آن در محدوده 6 ± 0.3 تنظیم شد. pH تنظیمی از فعالیت باکتریهای متانزا ممانعت بعمل آورده و باعث حفظ یون H^+ تولیدی در آنولیت می گردد. این یون از طریق پل نمکی به کاتولیت منتقل شده و در واکنش های الکتروشیمیایی شرکت می نماید.

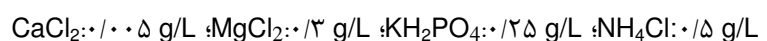
در این مطالعه، بذردهی راکتور توسط لجن بیهوای گرانوله خروجی از هاضم بی هوازی تصفیه خانه ی فاضلاب شرکت کشت و صنعت امام خمینی واقع در اهواز انجام شده که با توجه به مرغوبیت خوراک ورودی به سیستم بیهوای، از کیفیت مناسبی برخوردار بود و پس از شستشو تا پیش از راه اندازی راکتور در یخچال در دمای $4^\circ C$ نگهداری می شد. طی هر مرحله راه اندازی راکتور، با توجه به VSS اولیه لجن، حجم معینی از آن به محفظه ی آندی تلقیح می شد و با مقایسه ی میزان VSS در آغاز و پایان هر مرحله، میزان تولید یا مصرف زیست توده ضمن فرایند بررسی می گردید. استفاده از لجن (بستر مخلوط) تماس طیف وسیعی از میکروارگانیسم ها را با خوراک فراهم نموده و تصفیه ی موثرتری را امکانپذیر می نماید.

جهت بررسی عملکرد واسطه ها و نقش آنها در بهبود پارامترهای الکتروشیمیایی در سیستم، از دو نوع واسطه استفاده شد که مشخصات آنها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مشخصات واسطه های مورد استفاده در مطالعه

نوع واسطه	Methylene Blue	Neutral Red
فرمول شیمیایی	$C_{16}H_{18}ClN_3F \cdot XH_2O \quad X=2-3$	$C_{15}H_{17}ClN_4$
میزان مصرف در هر راه اندازی	۰/۲ mM	۰/۲ mM
پتانسیل اکسایش / کاهش (E^0)	-0.145 mV	-0.320 mV

نقش مواد ریز مغذی در آنولیت، تأمین مواد لازم جهت رشد میکروارگانیسم ها و ایجاد پایداری یونی می باشد. مطابق با تحقیقات انجام شده انتظار می رود افزودن املاح به بستر منجر به افزایش تدریجی در ولتاژ تولیدی گردد زیرا با کاهش مقاومت داخلی محلول، هدایت بستر را افزایش می دهد بنابراین توان خروجی بیشتری مشاهده خواهد شد. بر اساس مطالعات موجود، میکروالمنت هایی که می توانستند نقش مؤثری در بهبود عملکرد سیستم داشته باشند، انتخاب و به سیستم اضافه شدند. ریز مغذی ها و غلظت های مصرفی آنها به قرار زیر است:



سیستم مذکور در دمای محیط ($20-25^\circ C$) و در دوره های 140 hr راهبری گردید. در صورت لزوم با توجه به میزان تغییرات جریان تولیدی، مدت زمان راهبری راکتور طولانی تر و یا حتی کوتاهتر در نظر گرفته شد. در هر مرحله، طی دوره ی 140 ساعته هیچگونه تغذیه ی مجددی به راکتور صورت نگرفت و در پایان هر دوره، سیستم کاملاً تخلیه و شستشو شده و برای راه اندازی بعدی آماده می شد. جهت کنترل و ارزیابی عملکرد سیستم، پارامترهایی چون pH، درجه حرارت، هدایت الکتریکی، زمان ماند، میزان تغییرات پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) و شدت جریان، نرخ بارگذاری آلی با توجه به تجزیه پیوسته خوراک (Organic Load Rate)، تغییرات میزان COD و راندمان حذف آن، MLSS، VSS و میزان توان تولید شده به ازای حذف هر کیلوگرم COD اندازه گیری گردید. کلیه آزمایشات فیزیکی و شیمیایی بر اساس کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام گرفت. [۱۱]

۳- نتایج و بحث

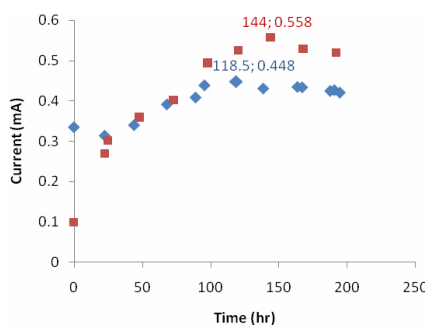
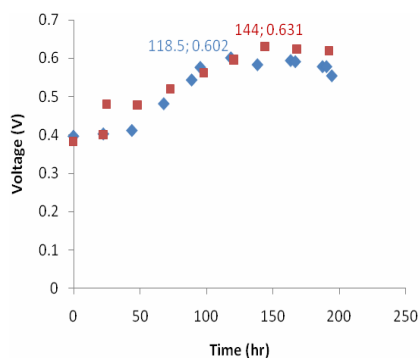
در جدول ۵ شرایط راهبری راکتور MFC آورده شده است.

جدول ۵- مشخصات دوره های راهبری راکتور MFC

ردیف	راه اندازی			
	۴	۳	۲	۱
۱	استیک اسید	استیک اسید	متانول	متانول
۲	۲۸۰۸	۲۵۶۰	۲۸۷۱	۲۷۴۳
۳	NR	MB	NR	MB
۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
۵	√	√	√	√
۶	۵۹۳۱	۵۶۴۰	۵۹۸۰	۶۱۴۰

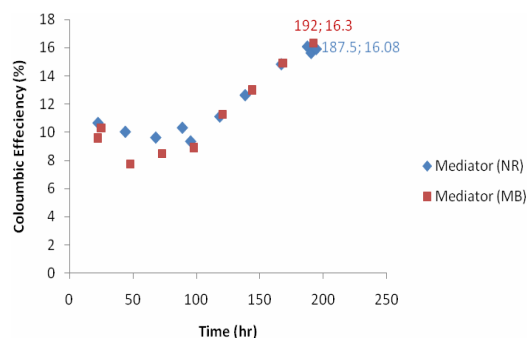
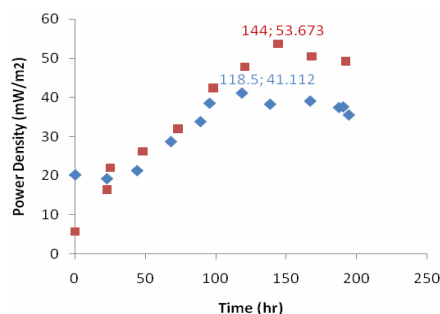
۳-۱- متانول

تغییرات میزان پارامترهای الکتروشیمیایی در متانول نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود در حضور واسطه ی MB ، راندمان بطور معنی داری افزایش نشان می دهد.



شکل ۳- نمودار تغییرات ولتاژ به زمان در خوراک متانول

شکل ۲- نمودار تغییرات جریان به زمان در خوراک متانول



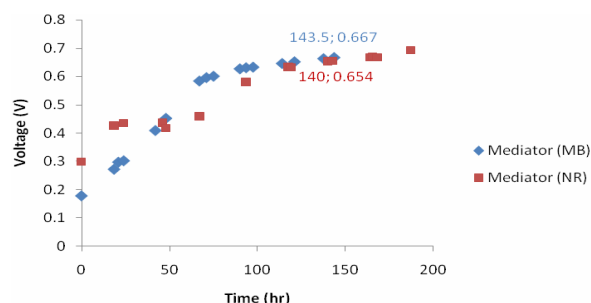
شکل ۵- نمودار تغییرات دانسیته توان به زمان در خوراک متانول

شکل ۴- نمودار تغییرات راندمان کلمبیک به زمان در خوراک متانول

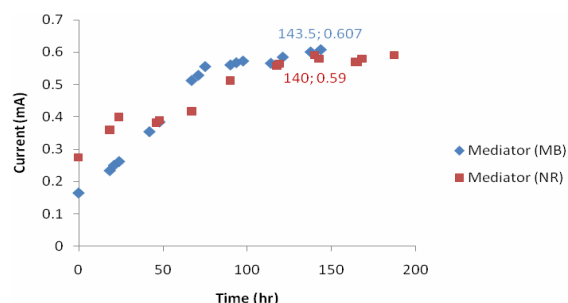
در متانول با استفاده از MB (۰/۲ mM) حداکثر ولتاژ تولیدی برابر با ۰/۶۳۱ V بدست آمد در حالیکه حداکثر جریان و توان به ترتیب ۰/۵۵۸ mA و ۰/۳۵۲ mW ثبت شد. حداکثر دانسیته ی توان و دانسیته ی جریان به ترتیب برابر با ۵۳/۶۷۳ mW/m² و ۸۵/۰۶۱ mA/m² حاصل شد. با استفاده از NR (۰/۲ mM) حداکثر ولتاژ تولیدی برابر با ۰/۶۰۲ V بدست آمد در حالیکه حداکثر جریان و توان به ترتیب ۰/۴۴۸ mA و ۰/۲۷۰ mW ثبت شد. حداکثر دانسیته ی توان و دانسیته ی جریان به ترتیب برابر با ۴۱/۱۱۲ mW/m² و ۶۸/۲۹۳ mA/m² حاصل شد.

۳-۲- اسید استیک

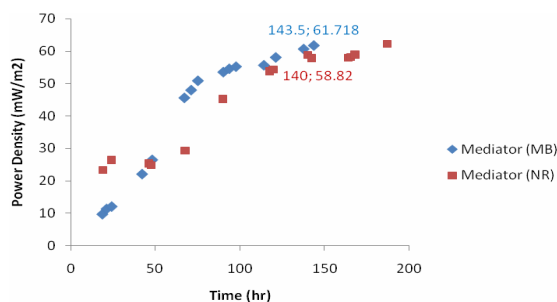
تغییرات میزان پارامترهای الکتروشیمیایی در اسید استیک در نمودارهای زیر نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود مشابه متانول، در حضور واسطه ی MB راندمان بطور معنی داری افزایش نشان می دهد.



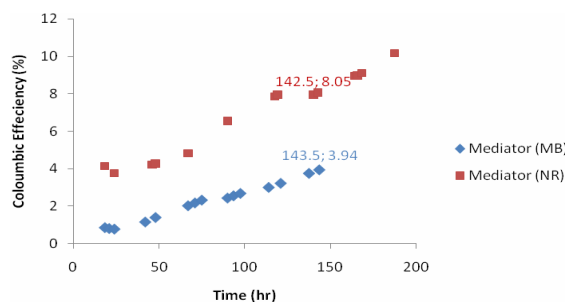
شکل ۷- نمودار تغییرات ولتاژ به زمان در خوراک استیک اسید



شکل ۶- نمودار تغییرات جریان به زمان در خوراک استیک اسید



شکل ۹- تغییرات دانسیته ی توان به زمان در خوراک استیک اسید

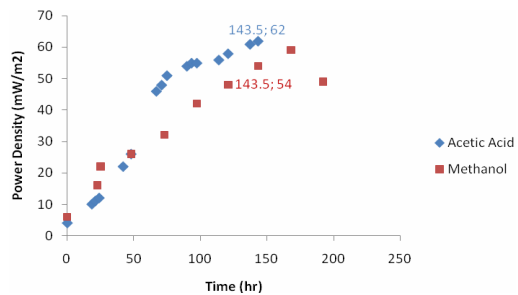
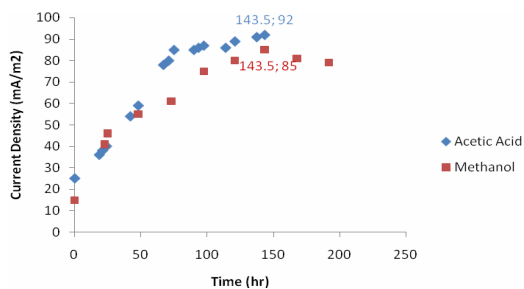


شکل ۸- تغییرات راندمان کلمبیک به زمان در خوراک استیک اسید

در اسید استیک با استفاده از MB (۰/۲ mM) حداکثر ولتاژ تولیدی برابر با ۰/۶۶۷ V بدست آمد در حالیکه حداکثر جریان و توان به ترتیب ۰/۶۰۷ mA و ۰/۴۰۵ mW ثبت شد. حداکثر دانسیته ی توان و دانسیته ی جریان به ترتیب برابر با ۶۱/۷۱۸ mW/m² و ۹۲/۵۳۰ mA/m² حاصل شد. با استفاده از NR (۰/۲ mM) حداکثر ولتاژ تولیدی برابر با ۰/۶۵۵ V بدست آمد در حالیکه حداکثر جریان و توان به ترتیب ۰/۵۹۰ mA و ۰/۳۸۶ mW ثبت شد. حداکثر دانسیته ی توان و دانسیته ی جریان به ترتیب برابر با ۵۸/۸۲۰ mW/m² و ۸۹/۹۴۰ mA/m² حاصل شد. این نتایج و نتایج حاصل از راهبری سیستم با خوراک متانول، عملکرد مؤثرتر MB را نسبت به NR نشان داد.

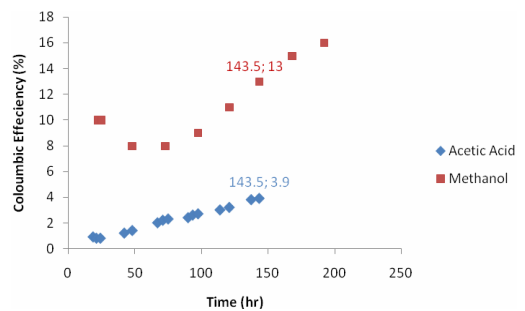
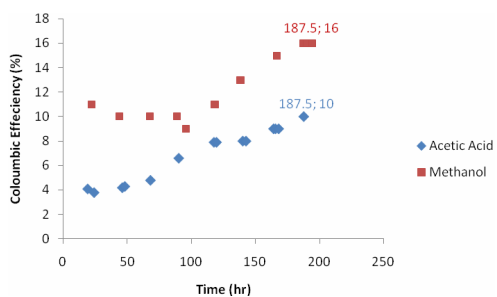
۳-۳- متانول و استیک اسید

با مقایسه رفتار دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور دو واسطه ی MB و NR نتایج ذیل حاصل شد.



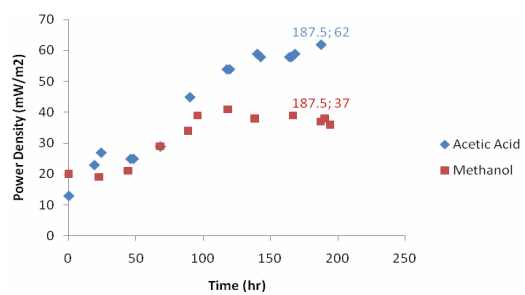
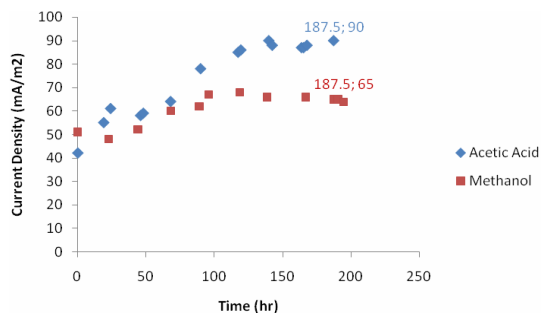
شکل ۱۲- نمودار تغییرات دانسیته ی جریان به زمان برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور واسطه ی MB

شکل ۱۱- نمودار تغییرات دانسیته ی توان به زمان برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور واسطه ی MB



شکل ۱۴- نمودار تغییرات راندمان کلمبیک به زمان برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور واسطه ی NR

شکل ۱۳- نمودار تغییرات راندمان کلمبیک به زمان برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور واسطه ی MB



شکل ۱۶- تغییرات دانسیته ی توان به زمان برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور واسطه ی NR

شکل ۱۵- تغییرات دانسیته ی توان به زمان برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور واسطه ی NR

جدول ۶- مقایسه ی پارامترهای الکتروشیمیایی برای دو خوراک متانول و استیک اسید در حضور دو واسطه ی MB و NR

اسید استیک		متانول		خوراک
NR	MB	NR	MB	
۸ روزه	۶ روزه	۸ روزه	۸ روزه	پارامتر
۸۹/۹۳۹	۹۲/۵۳۰	۶۸/۲۹۳	۸۵/۰۶۱	C.D.-Max (mA/m ²)
۶۵۵	۶۶۷	۶۰۲	۶۳۱	V _{Max} (mV)
۶۲/۲۳۸	۶۱/۷۱۸	۴۱/۱۱۲	۵۳/۶۷۳	P.D.-Max (mW/m ²)
۱۰/۱۵	۳/۹۴	۱۶/۰۸	۱۶/۳۰	C.E.-Max (%)

با بررسی دو نوع واسطه ی MB ($E^0 = -0.145 \text{ mV}$) و NR ($E^0 = -0.320 \text{ mV}$) مشخص شد صرف نظر از نوع خوراک در کلیه ی راهبری ها، MB نقش مؤثرتری در انتقال الکترون ایفا نموده که باعث افزایش قابل توجه میزان توان تولیدی می گردد. با وجودیکه NR، پتانسیل اکسیداسیون احیای منفی تری نسبت به MB دارد انتظار می رود توان بالاتری نیز تولید نماید ولی از آنجاییکه NR علی رغم توانایی بیشتر در دریافت الکترون از پوسته ی سلول، به اندازه ی MB قادر به انتقال الکترون به سمت آند نمی باشد لذا نتیجتاً MB توان بالاتری تولید می کند. جدول ۷ نتایج حاصل از تحقیقات صورت گرفته با سیستم های MFC مشابه و مقایسه ی آنها را با تحقیق حاضر ارائه می نماید.

جدول ۷- مقایسه ی تحقیق حاضر با نتایج مطالعات پیشین

References No.	Removal Efficiency (%)	CE _{MAX} (%)	P.D. (mW/m ²)	V _{MAX} (mV)	Run Time	I _{MAX} (mA)	Me/MeL**	PEM/SB*/ML	غلظت خوراک	نام خوراک	نام محقق و سال
[۱۲]	-	-۵۵ ۴۷	۳۸ ۲/۲	۲۹۳ ۳۷۰	۱۰ روز ۶ روز	-	MeL MeL	PEM SB	-	فاضلاب خانگی فاضلاب خانگی	Min et al., 2005
[۱۳]	-	۴۲-۶۱	۴۳	۲۱۳	۶ روز ۶ روز	۰/۳	MeL MeL	PEM PEM	Ethanol=۱۰ mM Methanol=۱۰ mM	اتانول/ متانول	Kim et al., 2007
[۱۴]	۸۸	-	۰/۹۸	۳۵۸	۱۷ روز	۰/۵۶	MeL	ML	COD=۳۲۰ mg/l	ساکاروز	Ghangrekar & Shinde, 2007
[۱۵]	-	۳۱/۷	۱۲۹	۵۵۰	۳ روز	۰/۳	MeL	ML	COD=۹۱۰ mg/l	گلوکز	Z. Hu, 2008
[۱۶]	۷۴/۲	-	۱۱۹/۳۱	۵۸۶	۷ روز	۲/۳۷	MeL	PEM	mg/l COD=۴۳۰۰	گلوکز	S.V. Mohan et al. 2008
[۱۷]	-	-	۳۷/۸ ۱۲/۸	۳۶۰ ۳۳۸	۶ روز ۶ روز	۰/۳ ۰/۰۶	MeL MeL	PEM SB	-	گلوکز	Y. Mohan & Das, 2009
-	۶۳	۱۶/۳۰	۵۳/۶۷	۶۳۱	۸ روز	۰/۵۵۸	Me(MB)	SB	mg/l COD=۲۸۷۱	متانول	تحقیق حاضر
-	۷۵	۳/۹۴	۶۱/۷۲	۶۶۷	۶ روز	۰/۶۰۷	Me(MB)	SB	mg/l COD=۲۰۶۰	استیک اسید	تحقیق حاضر

*PEM/SB/ML: Proton Exchange Membrane/Salt Bridge/Membrane Less

**Me/MeL: Mediator/Mediator Less

۴- نتیجه گیری

نتایج تجربی حاصل از این مطالعه، امکانپذیری تولید الکتروسیسته زیستی را همزمان با تصفیه بیهوازی پساب سنتتیک صنایع ملی پتروشیمی به روش پیل های سوختی میکروبی تأیید نمود. با بررسی دو نوع واسطه ی MB و NR مشخص شد صرف نظر از نوع خوراک در کلیه ی راهبری ها، MB نقش مؤثرتری در انتقال الکترون ایفا نموده که باعث افزایش قابل توجه میزان توان تولیدی می گردد.

اسید استیک میزان الکتروسیسته زیستی بیشتری را تولید می نماید. حداکثر توان تولیدی حاصل از تجزیه ی این خوراک در غیاب واسطه ($50/210 \text{ mW/m}^2$) بالاتر از حداکثر توان تولیدی ناشی از متانول بدست آمد. مطابق با جدول ۷، در این تحقیق با استفاده از پیل نمکی در مقایسه با غشاء تبادل پروتون نتایج مشابه و بعضاً بالاتری حاصل شده است و امکان استفاده از پیل نمکی بر اساس روش ساخت تحقیق حاضر و جایگزینی با غشاء با توجه به گرانی و عدم دستیابی آسان به غشاء را امکانپذیر می سازد.



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار بین سوختی ایران



3rd Fuel Cell Seminar of Iran



مراجع

- 1-Du Z., Li H., Gu T. A state of the art review on microbial fuel cell: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy(2007).J of Biotechnology Advances; 25: 464-482
- 2-Watanabe K. Recent Developments in Microbial Fuel Cell Technologies for Sustainable Bioenergy(2008). Journal of Bioscience and Bioengineering;106(6):528–536
- 3-Logan B.E., Regan J.M. Microbial fuel cells- Challenges and applications(2006). Environ. Sci. Technol;40:5172–5180
- 4-Mohan S.V., Mohanakrishna G., Purushotham B., Reddy R., Sarma P.N. Bioelectricity generation from chemical wastewater treatment in mediatorless (anode) microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched hydrogen producing mixed culture under acidophilic microenvironment(2008). Biochemical Engineering Journal; 39:121-130
- 5-Min B., Cheng S., Logan B.E. Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells(2005). Water Res; 39:1675-86
- 6-Park D.H., Zeikus J.G. Impact of electrode composition on electricity generation in a single-compartment fuel cell using *Shewanella putrefaciens*(2002). Appl. Microbial Biotechnol;59:58-61
- 7-Mohan Y., Manoj Muthu Kumar S., Das D. Electricity generation using microbial fuel cells(2008).International Journal of Hydrogen Energy;33:423 – 426
- 8-Park D.H., Zeikus J.G. Electricity generation in microbial fuel cells using neutral red as an electronophore(2000). Appl. Environ. Microb; 66:1292-1297
- 9-Gil G.C., Chang I.S., Kim B.H., Kim M. Operational parameters affecting the performance of a mediator-less microbial fuel cell(2003).Biosens. Bioelectron; 18:327-34
- 10-Moon H., Chang I.S., Kim B.H. Continuous electricity production from artificial wastewater using a mediator-less microbial fuel cell(2006). Bioresource Technol; 97:621-7
- 11-Standard Methods for Waste Water analysis, 2005
- 12-Min B., Cheng S., Logan B.E. Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells(2005). Water Res.; 39:1675-86
- 13-Kim J.R., Jung S.H., Regan J.M., Logan B.E. Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells(2007). Bioresource Technology;98:2568–2577
- 14-Ghangrekar M.M., Shinde V.B. Performance of membrane-less microbial fuel cell treating wastewater and effect of electrode distance and area on electricity production(2007). Bioresource Technology;98:2879–2885
- 15-Hu Z. Electricity generation by a baffle-chamber membraneless microbial fuel cell(2008). Journal of Power Sources; 179: 27–33
- 16-Mohan S.V., Veer Raghavulu S., Sarma P.N. Biochemical evaluation of bioelectricity production process from anaerobic wastewater treatment in a single chambered microbial fuel cell (MFC) employing glass wool membrane(2008). Biosensors and Bioelectronics; 23:1326–1332
- 17-Mohan Y., Das D. Effect of ionic strength, cation exchanger and inoculum age on the performance of Microbial Fuel Cells(2009). International Journal of Hydrogen Energy;34(17):7542-7546