

Wastewater Treatment Using Dual-Chamber Microbial Fuel Cell with *Saccharomyces Cerevisiae*

*M. Lotfi*¹, *H. Younesi*², *N. Bahramifar*³

1. MSc Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor
2. Prof., Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor
(Corresponding Author) (+98 11) 44553101 hunesi@modares.ac.ir
3. Assist. Prof., Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor

(Received March 6, 2017 Accepted July 17, 2017)

To cite this article :

Lotfi, M., Younesi, H., Bahramifar, N., 2018, "Wastewater treatment using dual-chamber microbial fuel cell with *saccharomyces cerevisiae*." *Journal of Water and Wastewater*, 29 (4), 101-108.
Doi: 10.22093/wwj.2017.79665.2366 (In Persian)

Abstract

Microbial fuel cell (MFC) is a biochemical treatment system in which the wastewater is treated by biodegradation of organic matters in presence of bacteria while the electricity can be produced simultaneously. The purpose of this study was to investigate the use of a dual-chamber microbial fuel cell (MFC) for the removal of biodegradable waste in wastewater through COD measurement. At the same time, the amount of electricity produced was measured during the experimental evaluation. MFC was equipped with the nafion as a proton exchange membrane from the anode to the cathode and with the graphite as electrodes. Also, glucose, molasses, date syrup, meat wastewater (Sausages) were used as carbon source. The experiments were performed by applying the *Saccharomyces cerevisiae* as biocatalysts at room temperature and neutral pH. The performance of MFC was studied under different carbon sources with different nafion membranes (117, 112, 212) and two different inoculum biocatalyst conditions (2 and 5 volumetric percent). The ability of COD removal using *S. cerevisiae* and electricity generation were examined with different substrates. The results obtained from this study showed that the microbial fuel treatment system is an effective method to remove organic matters from wastewater. Maximum COD removal of about 91 percent were obtained in MFC when glucose Nafion membrane and inoculum catalyst were 117, and 5 volumetric percent, respectively. The electricity power density generated under this condition was about 78 mW/m².

Keywords: Mediator-Less Microbial Fuel Cell, Biocatalyst, Substrate, *Saccharomyces Cerevisiae*, Electricity Generation.



تصفیه پساب از طریق سیستم پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای با استفاده از مخمر ساکارومایسس سرویسیه

مژده لطفی^۱، حبیب‌ا... یونسی^۲، نادر بهرامی فر^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲- استاده، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
(نویسنده مسئول) ۴۴۵۵۳۱۰۱ (۰۱۱) hunesi@modares.ac.ir
۳- استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

(دریافت ۹۵/۱۲/۱۶ پذیرش ۹۶/۱۲/۲۴)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

لطفی، م.، یونسی، ح.، بهرامی فر، ن.، ۱۳۹۷، "تصفیه پساب از طریق سیستم پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای با استفاده از مخمر ساکارومایسس سرویسیه" مجله آب و فاضلاب، ۲۹ (۴)، ۸۰۸-۸۰۱. Doi: 10.22093/wwj.2017.79665.2366

چکیده

پیل‌های سوختی میکربی سیستم‌های بیوشیمیایی می‌باشند که با تجزیه مواد آلی توسط باکتری، همزمان با تولید الکتریسیته، عمل تصفیه را نیز انجام می‌دهند. این پژوهش با هدف ارزیابی راندمان حذف COD و تولید الکتریسیته از پساب توسط پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای بی‌واسطه انجام شد. در این بررسی از غشای نفیون برای انتقال پروتون از آند به سمت کاتد و از گرافیت به عنوان الکترود و همچنین از گلوکز، ملاس، شیره خرما، پساب گوشتی (سوسیس و کالباس) و مخمر ساکارومایسس سرویسیه به ترتیب به عنوان منبع کربن و بیوکاتالیست در شرایط دمایی اتاق و pH خنثی استفاده شد. برای تعیین عملکرد پیل سوختی میکربی، سیستم با منابع کربن متفاوت، غشاهای نفیون مختلف (۱۱۷، ۱۱۲، ۲۱۲) و دو نسبت حجمی متفاوت ۲ و ۵ درصد تلقیح بیوکاتالیست مورد بررسی قرار گرفت. در میان منابع مختلف کربن، سیستم با منبع گلوکز و غشای نفیون ۱۱۷ و ۵ درصد حجمی بیوکاتالیست به بیشترین تولید الکتریسیته برابر با ۷۷/۶۸ میلی‌وات بر مترمربع و همچنین بیشترین مقدار حذف COD برابر با ۹۱/۱۴ درصد رسید زیرا گلوکز به دلیل ساختار ساده به راحتی توسط ساکارومایسس تجزیه می‌شود. استفاده از پیل سوختی میکربی از طریق مصرف بیولوژیکی سوبسترا یکی از راه‌های نوین برای تولید الکتریسیته و کاهش مواد آلی است.

واژه‌های کلیدی: پیل سوختی میکربی بی‌واسطه، بیوکاتالیست، سوبسترا، مخمر ساکارومایسس، تولید الکتریسته

۱- مقدمه

پژوهشگران به دنبال گزینه‌ای برای فرایندهای تصفیه هستند که کمترین مصرف انرژی را داشته باشد. پیل سوختی میکربی به دلیل شرایط عملیاتی مناسب و تنوع استفاده از هر ماده آلی تجزیه‌پذیر و ارزان به عنوان سوخت اهمیت زیادی پیدا کرده است و همچنین به دلیل تولید انرژی و به‌طور همزمان انجام تصفیه، نظر بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است (Ghangrekar and Shind, 2007, Mohan et al., 2008, Min and Cheng, 2008, Logan, 2005). پیل سوختی میکربی گزینه خوبی برای کاهش مصرف انرژی

با افزایش رشد جمعیت انسانی و صنعتی شدن بسیاری از کشورها، مصرف انرژی و تولیدات پساب افزایش یافته است. امروزه ۱/۳ بیلیون تن پساب از صنایع غذایی در سال از صنایع لبنی، گوشت، غذاهای دریایی، سبزی و میوه در سطح جهان تولید می‌شود (Godfray et al., 2010). پساب‌های غذایی دارای مواد آلی زیاد مانند سلولز، نشاسته و مقادیر بالای COD، BOD و ذرات معلق هستند که رهاسازی این پساب‌ها به منابع آبی به دلیل عدم مدیریت سبب کاهش کیفیت آب می‌شود (Mirabella et al., 2014, Elmekawy et al., 2013).



آوردند (Birjandi et al., 2016). ایزدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ از پیل سوختی به عنوان یک فناوری جدید برای تبدیل انرژی شیمیایی مواد آلی و غیرآلی به انرژی الکتریسیته استفاده کردند و همچنین یون سولفید را به عنوان یک ماده خطرزا در پساب های صنعتی مورد بررسی قرار دادند. ایشان توان تولیدی و حداکثر جریان را به ترتیب ۴۸/۶۸ میلی وات بر مترمربع و ۲۳۱/۴۷ میلی آمپر بر مترمربع گزارش کردند (Izadi et al., 2015).

مohan و همکاران در سال ۲۰۰۸ از پساب صنایع شیمیایی به عنوان سوسترا در سیستم پیل سوختی ناپیوسته، از نفیون ۱۱۷ به عنوان غشا و از گرافیت به عنوان الکترود استفاده کردند که حداکثر دانسیته توان برابر با ۱۵۷/۲۵ میلی ولت بر مترمربع و راندمان حذف COD برابر ۶۲/۲ درصد به دست آمد (Mohan et al., 2008).

در این پژوهش الکترودها با $Fe@Fe_2O_3$ اصلاح نشده و همچنین حجم کاری کمتر نسبت به مطالعات پیشین به کار رفت و به همین دلیل توان کمتری تولید شد. هدف از این پژوهش بررسی میزان تولید الکتریسیته با منابع کربنی متفاوت در سیستم پیل سوختی میکربی و انتخاب غلظت مناسب منبع کربن و میزان حذف COD بود. علی رغم افزایش مصرف سوخت های فسیلی و هزینه بالای سیستم های تصفیه در کارخانه ها، استفاده از فرایند بی هوازی در سیستم پیل سوختی میکربی برای تصفیه و تولید الکتریسیته در مطالعات مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا نویسندگان این مقاله از سیستم پیل سوختی میکربی برای تولید انرژی زیستی و تصفیه به طور همزمان استفاده نموده اند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- میکروارگانیزم و منبع کربن

در این پژوهش از ساکارومايسس سرويسيه به عنوان بیوکاتالیست و گلوکز به عنوان منبع کربن استفاده شد. مواد مورد استفاده در محیط کشت شامل گلوکز، پپتون، مخمر، آمونیوم کلراید، پتاسیم دی هیدروژن فسفات، پتاسیم کلراید با غلظت به ترتیب ۲۰، ۳، ۲، ۰/۲، ۰/۱۳ گرم در لیتر بود. محیط کشت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شد. سپس ۲ درصد از ساکارومايسس سرويسيه بعد از رسیدن به حداکثر رشد خود به محیط کشت تلقیح شد و سپس برای انتخاب منبع مناسب

است. از مزایای استفاده از باکتری ها، می توان به قدرت بالای اکسایش و سرعت زیاد آن ها در انتقال الکترون ها به سمت الکترودها، تجزیه و سم زدایی آلاینده های محیط زیستی اشاره کرد. در پیل سوختی میکربی از میکروارگانیزم ها به عنوان بیوکاتالیست استفاده می شود که با تجزیه مواد آلی، الکترون و پروتون تولید می کنند (Birjandi et al., 2016). اجزای اصلی تشکیل دهنده یک پیل سوختی میکربی عبارت است از محفظه آند، محفظه کاتد، غشای تبادل پروتون، الکترودها و سوسترا. محفظه آند به صورت بی هوازی است زیرا وجود اکسیژن در محفظه آند تولید الکتریسیته را محدود می کند. غشا، کار جداسازی باکتری ها از اکسیژن را انجام می دهد و نسبت به پروتون خاصیت نفوذپذیری انتخابی دارد. با اکسید شدن مواد آلی توسط باکتری، الکترون تولید می شود. الکترون ها از طریق یک سیم هادی از آند به کاتد و پروتون ها از طریق غشا به محفظه کاتد منتقل می شوند و سپس الکترون و پروتون در کاتد با اکسیژن ترکیب و تولید آب می نمایند. پیل های سوختی به دو دسته با واسطه و بدون واسطه تقسیم می شوند. پیل های سوختی با واسطه از لحاظ الکترود شیمیایی غیرفعال هستند به همین علت در آن ها از واسطه های غیر آلی مانند تیونین و قرمز خنثی استفاده می شود که هزینه بر و سمی هستند. در پیل های سوختی بدون واسطه از باکتری هایی که از نظر الکترود شیمیایی فعال اند، نظیر خانواده ژئوباکترها و شوانلا استفاده می شود (Hassan et al., 2014, Wen et al., 2010, Włodarczyk and Włodarczyk, 2015, He et al., 2015, Logan and Rabaey, 2012). به طور کلی عملکرد پیل سوختی میکربی برای تولید انرژی به عواملی مانند منبع کربن مورد استفاده، ساختار راکتور، ماهیت و نوع الکترود، فعالیت میکروارگانیزم ها، نوع غشا و تبادل پروتون بستگی دارد (Hassan et al., 2014, Zhang et al., 2012). پژوهش های زیادی در زمینه پیل سوختی میکربی انجام شده است. بیرجندی و همکاران در سال ۲۰۱۶ سیستم بایوالکترود فتون را برای تولید انرژی زیستی مورد بررسی قرار دادند. این سیستم حاوی یک اتاق دو محفظه ای با منبع کربنی گلوکز و غشای نفیونی و الکترود گرافیت اصلاح شده با $Fe@Fe_2O_3$ برای افزایش کارایی تصفیه بود. آنها در این بررسی بیشترین مقدار اتانول را ۱۱/۵۲ گرم در لیتر و راندمان حذف گلوکز و حداکثر تولید توان را به ترتیب برابر با ۶۸/۸۱ درصد و ۳۰/۳۶ میلی وات بر متر مربع به دست



بهبود عملکرد آن، ابتدا نفیون به مدت ۱ ساعت در محلول هیدروژن پراکسید جوشانده شد و ۱ ساعت دیگر در اسیدسولفوریک ۰/۵ مولار در حال جوش بود و در مرحله آخر به مدت ۱ ساعت در آب مقطر در حال جوش قرار داده شد. به منظور انتقال الکترون‌های تولیدی از الکترودهای گرافیتی استفاده شد. برای زدودن ناخالصی از سطح الکترودها از اسید هیدروکلریک و آب مقطر استفاده شد. ابعاد دو الکتروود یکسان و به اندازه $3 \times 25 \times 45$ میلی‌متر بود و توسط یک سیم مسی به سیستم دیتالاگر متصل شده بود (Rahimnejad et al., 2012).

۲-۴- اندازه‌گیری ولتاژ، توان و جریان تولیدی

منحنی پلاریزاسیون ابزاری برای تحلیل و بررسی خصوصیات پیل سوختی میکروبی است. این منحنی، ولتاژ و چگالی توان را بر حسب چگالی جریان نشان می‌دهد. در این روش از سیستم دیتالاگر به منظور ثبت داده‌های ولتاژ جریان استفاده می‌شود. هدف اصلی در پیل سوختی افزایش توان و تولید جریان است. جریان در پیل سوختی به صورت خودکار با تقسیم ولتاژ بر مقاومت معین محاسبه و ثبت می‌شود. سپس سیستم، محاسبات توان تولیدی را به صورت حاصل ضرب ولتاژ و جریان فراهم می‌آورد. محاسبات بر اساس معادلات جریان و توان انجام می‌گیرد

$$I = E/R \quad (1)$$

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

که در این معادلات

I جریان تولیدی بر حسب میلی‌آمپر، E ولتاژ پیل بر حسب میلی‌ولت، R مقاومت بیرونی بر حسب اهم و P توان تولیدی بر حسب میلی‌وات است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر غلظت‌های مختلف گلوکز بر تولید الکتریسیته

در پساب با منبع گلوکز ۴۰ گرم در لیتر و در ولتاژ ۲۴۰ میلی‌ولت، توانی برابر ۱۳/۵۲ میلی‌وات بر مترمربع تولید شد. همچنین در پساب با غلظت ۳۰ گرم در لیتر و در ولتاژ ۲۳۴ میلی‌ولت، حداکثر

کربن برای بیوکاتالیست از گلوکز با غلظت‌های مختلف ۲۰، ۳۰، ۴۰ گرم در لیتر به عنوان سوسترا استفاده شد و میزان تولید الکتریسیته و حذف COD مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- تهیه محیط کشت با استفاده از ملاس نیشکر، شیره خرما و گلوکز به عنوان منبع کربن

محیط کشت شامل دو محیط مایع و آگار است که برای اطمینان از داشتن محیط خالص و بدون آلودگی تهیه می‌شود. ساختار محیط کشت مایع شامل گلوکز، آمونیوم کلراید، منیزیم سولفات، پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات، مخمر با غلظت به ترتیب برابر با ۱۲، ۲۰، ۳/۳۳، ۱۳/۳۳، ۱/۳۳ گرم در لیتر است. مواد مورد استفاده برای تهیه محیط کشت با ملاس و شیره خرما همان مواد ذکر شده در بالا بود. تنها تفاوت در این بود که بجای گلوکز از ملاس و شیره خرما استفاده شد و سپس ۵ درصد حجمی از ساکرومایسس به محیط کشت تلقیح شد.

۲-۳- سیستم پیل سوختی میکروبی

در انجام آزمایش از سیستم پیل سوختی دو محفظه‌ای استفاده شد که هر یک از محفظه‌ها توسط غشای تبادل پروتون از نوع نفیون از هم تفکیک شدند. شماتیک سیستم پیل سوختی در شکل ۱ نشان داده شده است. برای سیستم با غلظت‌های مختلف گلوکز از نفیون ۲۱۲ و برای سیستم با منابع مختلف کربن (گلوکز، شیره خرما، ملاس، و پساب) از نفیون ۱۱۷ استفاده شد. حجم هر یک از محفظه‌ها ۵۰۰ میلی‌لیتر بود که به منظور زدودن هر گونه ناخالصی و

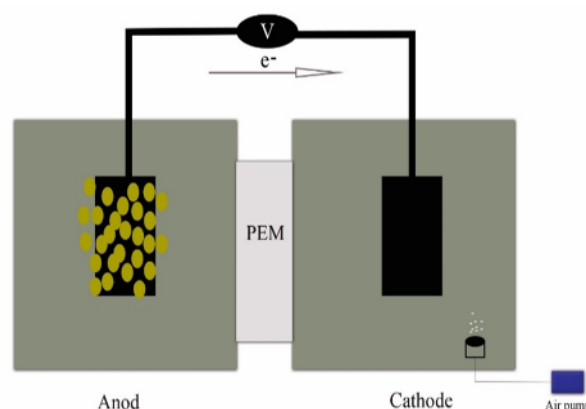


Fig. 1. Schematic of dual-chamber microbial fuel cell
شکل ۱- شماتیک پیل سوختی میکروبی دو محفظه‌ای



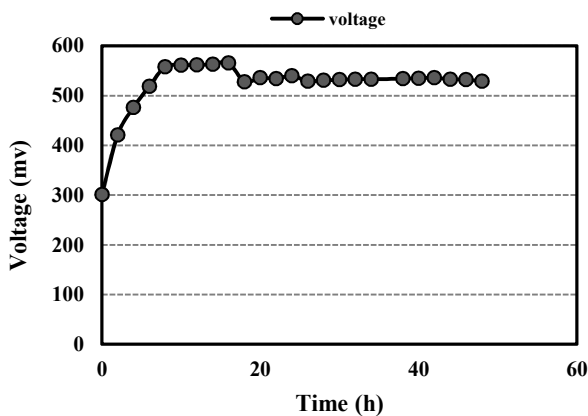


Fig. 2. Time- voltage curve
شکل ۲- منحنی ولتاژ- زمان

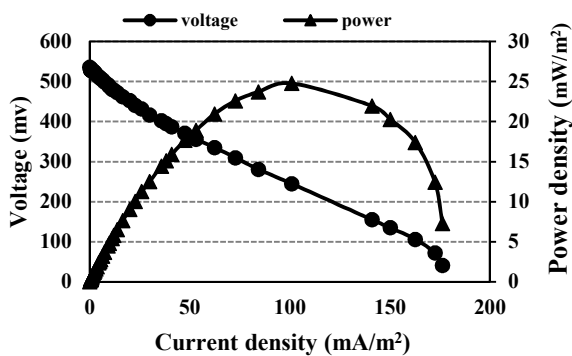


Fig. 3. Polarization curve
شکل ۳- منحنی پلاریزاسیون

کربن و از ساکارومایسس سرویسیه به عنوان بیوکاتالیست استفاده شده است و دانسیته توان برابر با ۲۸۳ میلی وات بر مترمربع حاصل شده است. در پژوهش مذکور سیستم پیل سوختی به صورت پیوسته بوده و همچنین از قرمز خنثی به عنوان واسطه انتقال الکترون در محفظه آند و از پتاسیم پرمنگنات به عنوان اکسنده در محفظه کاتد استفاده شده که دلیلی بر افزایش توان تولیدی بوده است اما در پژوهش حاضر به دلیل هزینه بالا و سمی بودن اکسندها از هیچ اکسنده و واسطه ای استفاده نشد و همچنین سیستم به صورت ناپیوسته بود (Rahimnejad et al., 2011). در پژوهش دیگری سیستم بایوالکتروفنتون برای تولید انرژی زیستی مورد بررسی قرار گرفته است. این سیستم حاوی یک اتاق دو محفظه ای با منبع کربن گلوکز و غشای نفیون و الکتروگرافیت اصلاح شده با $Fe@Fe_2O_3$

توان برابر ۱۶/۴۴ میلی وات بر مترمربع تولید شد. در پساب با غلظت ۲۰ گرم در لیتر به مدت ۴۸ ساعت توانی برابر با ۲۴/۷۸ میلی وات بر مترمربع و دانسیته جریان برابر ۱۰۰/۹۴ میلی آمپر بر مترمربع تولید شد. در سیستم با غلظت ۲۰ گرم در لیتر گلوکز، در طی ۴۰ ساعت ۶۸ درصد COD حذف شد. میزان حذف COD در همه پساب ها به طور نسبی برابر و بیشتر از ۵۰ درصد بود.

در پیل سوختی میکربی از انواع مختلف سوپسترا شامل استات، اتانول، گلوکز، سلولز و یا پساب های خانگی، غذایی، حیوانی می توان استفاده کرد (Logan and Rabaey, 2012, Mathuriya and Sharma, 2010)

ساکارومایسس سرویسیه به دلیل قابل دسترس بودن و توانایی بالای این میکروارگانیسم در تولید الکتروسیته به عنوان بیوکاتالیست انتخاب شد. منبع کربن با غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر بیشترین تولید الکتروسیته را داشته است و انتظار می رود با افزایش منبع کربن، فعالیت میکروارگانیسم ها نیز بیشتر شود و توانایی تجزیه و تولید الکتروسیته افزایش یابد. اما در این پژوهش مشاهده شد با افزایش منبع کربن، تولید الکتروسیته کاهش یافت زیرا میزان تلقیح باکتری نیز ثابت (۲ درصد حجمی) بود. سیستم با منبع کربن ۴۰ میلی گرم در لیتر تولید الکتروسیته کمتری داشت، زیرا باکتری نتوانسته به خوبی عمل تجزیه را انجام دهد و فعالیت آن ها از نظر الکتروشیمیایی کاسته شده است. بنابراین با افزایش منبع کربن باید میزان تلقیح میکروارگانیسم را نیز افزایش داد تا میکروارگانیسم متناسب با منبع کربنی رشد کرده و فرایند اکسایش-کاهش به درستی صورت پذیرد. در شکل ۲ با افزایش زمان، میزان ولتاژ تولیدی افزایش یافته است. در ۱۶ ساعت اولیه میکروارگانیسم ها به حداکثر رشد خود رسیدند و ولتاژ تولیدی ابتدا حالت صعودی و سپس ثابت داشت. زمانی که ولتاژ ثابت می شود سیستم به حالت پایدار می رسد و حداکثر توان تولیدی در این زمان مشاهده می شود. شکل ۳ منحنی پلاریزاسیون تغییرات ولتاژ بر حسب جریان و میزان توان تولیدی را نشان می دهد با ثابت شدن ولتاژ تولیدی، سیستم پیل سوختی میکربی به حداکثر توان تولیدی خود می رسد که این سیستم توانسته در جریان ۱۰۰/۹۴ میلی آمپر بر مترمربع حداکثر تولید الکتروسیته برابر با ۲۴/۷۸ میلی وات بر مترمربع را داشته باشد. همچنین در پژوهش دیگری از گلوکز به عنوان منبع



این سیستم، نفیون ۱۱۷ بیشترین کارایی انتقال پروتون را داشته و به دلیل نفوذپذیری بالاتر سبب تسهیل در عبور یون‌ها در مقایسه با سایر غشاهای مورد استفاده می‌شود. نفیون ۱۱۲ و ۲۱۲ کارایی خوبی داشته‌اند اما خاصیت انتقال پروتون آنها نسبت به نفیون ۱۱۷ کمتر بوده است. همچنین با افزایش میزان تلقیح ساکارومایسس، میزان تولید الکتریسیته افزایش یافته است. بیرجندی و همکاران در سال ۲۰۱۶ از سه غشای مختلف پیل نمکی، نفیون ۱۱۵ و نفیون ۱۱۲ و از پساب گیاهان دارویی به‌عنوان سوبسترا و از گرافیت به‌عنوان الکترود استفاده کرده‌اند و نشان داده‌اند که نفیون ۱۱۵ بیشترین کارایی انتقال پروتون را داشته است (Birjandi et al. 2016).

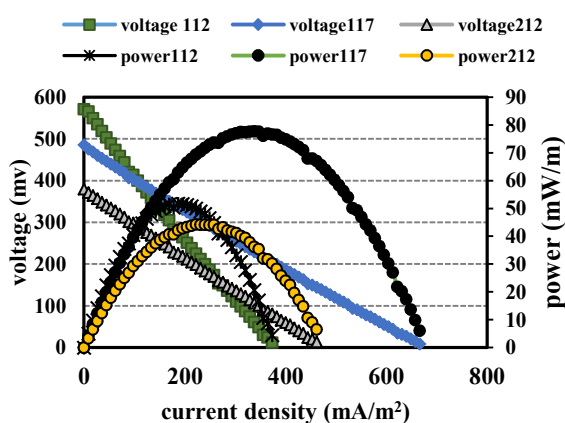


Fig. 5. Polarization curve for different Nafoin membrane
شکل ۵- منحنی پلاریزاسیون با غشاهای نفیون مختلف

۳-۳- اثر منبع کربنی متفاوت در تولید الکتریسیته و حذف گلوکز

یکی از عوامل مهم در تولید الکتریسیته، سوبسترا است. بستری که میکروارگانیسم بتواند فعالیت تجزیه را به خوبی انجام و تولید الکتریسیته نماید. در این پژوهش از گلوکز، ملاس، شیر خرم و پساب واقعی در آزمایش‌های جداگانه با ثابت نگه داشتن سایر اجزای محیط کشت به‌عنوان منبع کربن متفاوت استفاده شد که پساب با منبع گلوکز ۲۰ گرم در لیتر و با تلقیح ۵ درصد حجمی از ساکارومایسس سرویسیه به حداکثر دانسیته توان برابر با ۷۷/۶۸ میلی‌وات بر مترمربع رسید و همچنین پساب با منبع ملاس، شیر خرم و پساب واقعی به ترتیب به حداکثر دانسیته توان برابر با ۲۲/۳۹، ۴۶/۰۸ و ۳۵/۲۰ میلی‌وات بر متر مربع رسیدند. در

برای افزایش کارایی تصفیه است. در پژوهش مذکور بیشترین مقدار اتانول ۱۱/۵۲ گرم در لیتر و راندمان حذف گلوکز و حداکثر تولید توان به ترتیب برابر با ۶۸/۸۱ درصد و ۳۰/۳۶ میلی‌وات بر متر مربع گزارش شده است (Birjandi et al 2015). دلیل افزایش توان تولیدی، اصلاح الکترود گرافیت با آهن و تصفیه فنتون بوده است. در شکل ۴ میزان توان تولیدی غلظت‌های مختلف کربن ۲۰، ۳۰ و ۴۰ گرم در لیتر مشاهده می‌شود. مطابق شکل ۴ افزایش غلظت کربن، باعث کاهش توان تولیدی شده است زیرا مقدار تلقیح بیوکاتالیست با ساکارومایسس سرویسیه با افزایش منبع کربن ثابت بوده است.

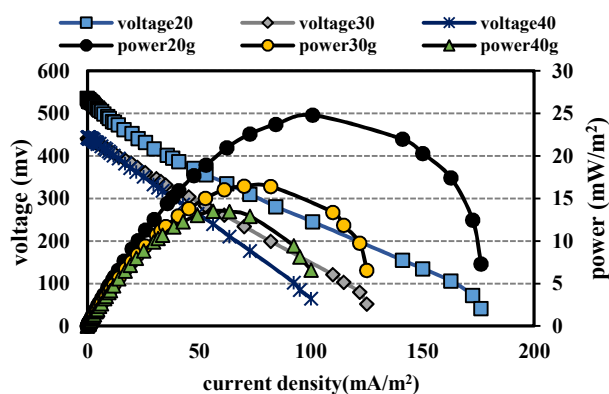


Fig. 4. Polarization curve for different concentration of glucose

شکل ۴- منحنی پلاریزاسیون با غلظت‌های مختلف گلوکز

۳-۲- اثر غشاهای مختلف بر تولید الکتریسیته

سیستم تبادل پروتون می‌تواند بر سیستم پیل‌های سوختی میکربی تأثیرگذار باشد. در این بخش از سه غشای نفیون مختلف (۱۱۲، ۲۱۲ و ۱۱۷)، گلوکز با غلظت ۲۰ گرم در لیتر و ساکارومایسس سرویسیه با نسبت حجمی ۵ درصد تلقیح، به‌عنوان بیوکاتالیست استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، سیستم پیل سوختی میکربی با نفیون ۱۱۷، بیشترین تولید الکتریسیته برابر با ۳۳۷/۷۷ میلی‌وات بر مترمربع و دانسیته جریان برابر با ۳۳۷/۷۷ میلی‌آمپر بر مترمربع را دارد. همچنین سیستم پیل سوختی میکربی با نفیون ۱۱۲ و نفیون ۲۱۲ به ترتیب الکتریسیته ۵۱/۷۰ و ۴۴/۲۲ میلی‌وات بر مترمربع تولید کرده‌اند. امروزه پژوهشگران زیادی در تلاش هستند تا بتوانند یک تبادل‌کننده پایدار و ارزان قیمت تولید نمایند ولی هنوز نفیون به‌عنوان بهترین غشا انتخاب می‌شود که در



حذف گلوکز موجود در سوبسترا و کاهش COD پساب دارد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، سوبسترا با منبع گلوکز بیشترین مقدار حذف برابر با ۹۱/۱۴ درصد داشته است. همچنین ملاس و شیره خرما به ترتیب در طی ۴۸ ساعت توانسته‌اند ۸۱ و ۷۶/۴۵ درصد گلوکز موجود را حذف کنند. در سیستم با پساب واقعی نیز در طی ۷۰ ساعت ۷۱/۲۷ درصد COD پساب کاهش یافت. بنابراین با پیچیده شدن ساختار منبع کربن توانایی تجزیه و تولید الکتریسیته کاهش می‌یابد. در پژوهشی در سال ۲۰۰۷ از پساب سنتزی ملاس نیشکر به‌عنوان سوبسترا با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همچنین از لجن بی‌هوازی به‌عنوان بیوکاتالیست استفاده شده و بیشترین دانسیته جریان برابر با ۰/۰۰۵ میلی‌آمپر بر سانتی‌متر مربع حاصل شده است. دلیل افزایش جریان نسبت به مطالعه حاضر بالا بودن سطح آند و همچنین استفاده از لجن بی‌هوازی به‌عنوان بیوکاتالیست بوده است (Kargi and Eker, 2007).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش از پیل سوختی میکروبی بدون واسطه استفاده شد تا با حذف واسطه به‌عنوان یک ماده سمی و هزینه‌بر از سیستم پیل سوختی میکروبی، در توسعه کاربردهای عملی آن، گامی مؤثر برداشته شود. در این پژوهش نشان داده شد که منبع کربنی با غلظت ۲۰ گرم در لیتر مناسب‌ترین منبع بوده و حداکثر تولید جریان و حذف COD را به‌همراه داشته است و مقدار ماده تلقیحی به‌عنوان بیوکاتالیست نقش مهمی در تولید جریان و تصفیه داشته است و باید مناسب با منبع کربنی باشد. تلقیح ۲ درصد ساکارومایسس سرویسه برای منبع کربنی با غلظت ۲۰ گرم در لیتر به‌عنوان مقدار بهینه به‌دست آمد. برای تعیین کارایی فعالیت بیوکاتالیستی میکروارگانیسم در منابع مختلف کربن و تعیین مقدار الکتریسیته و حذف گلوکز و COD، آزمایش‌هایی صورت پذیرفت و نشان داده شد که ساکارومایسس توانایی تجزیه منابع کربنی مختلف را داراست و سیستم با منبع گلوکز، غشای نفیون ۱۱۷ و با تلقیح ۵ درصد حجمی ساکارومایسس، بیشترین تولید الکتریسته و حذف گلوکز را داشته است. نتیجه آن که با پیچیده شدن ساختار سوبسترا، توانایی تجزیه میکروارگانیسم کاهش می‌یابد و باید حجم میکروارگانیسم را افزایش داد.

شکل ۶ نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که منبع کربنی گلوکز بیشترین تولید الکتریسیته را داشته است زیرا میکروارگانیسم‌ها تمایل بیشتری به مصرف گلوکز به دلیل ساختار ساده آن دارند؛ هرچند که سوبستراهای دیگر هم توسط مخمر ساکارومایسس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. منبع کربنی گلوکز، ملاس و شیره خرما در طی ۲۰ ساعت به ولتاژ پایدار و بیشترین تولید الکتریسیته رسیده‌اند اما پساب واقعی در طی ۵۶ ساعت به ولتاژ پایدار خود و بیشترین تولید الکتریسیته رسیده است زیرا به سبب پیچیده بودن سوبسترا، میکروارگانیسم به زمان بیشتری برای تجزیه و رسیدن به حالت پایدار خود نیاز داشته است. بنابراین مخمر ساکارومایسس می‌تواند بیوکاتالیست خوبی برای انواع مختلفی از سوبسترا باشد و این مخمر توانایی تجزیه سوبسترا با منبع گلوکز تا پساب واقعی را دارد و همچنین علاوه بر تولید الکتریسیته، توانایی خوبی برای

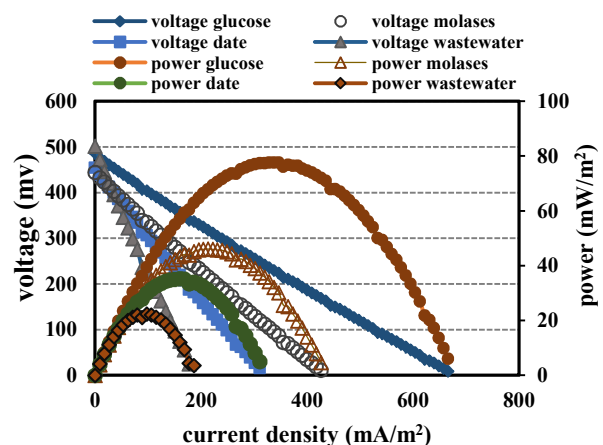


Fig. 6. Polarization curve for different carbon sources

شکل ۶- منحنی پلاریزاسیون با منابع کربن مختلف

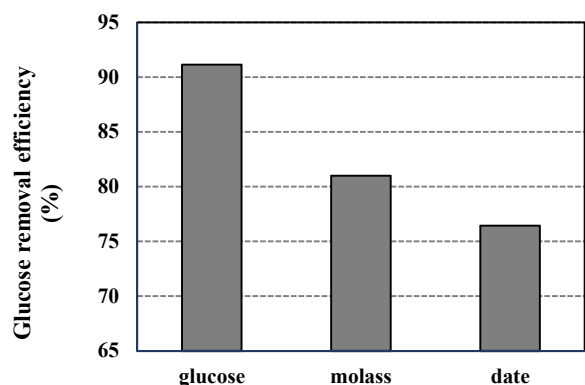


Fig. 7. Percent glucose removal in microbial fuel cell

شکل ۷- درصد حذف گلوکز در پیل سوختی میکروبی



۵- قدردانی

امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی قدردانی می‌نمایند و همچنین از کارشناس محترم آزمایشگاه محیط زیست سرکار خانم حقدوست نهایت تشکر را دارند.

نویسندگان این مقاله از دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس به‌خاطر پشتیبانی مالی، علمی و فراهم آوردن

References

- Birjandi, N., Younesi, H., Ghoreyshi, A.A. & Rahimnejad, M. 2016. Electricity generation through degradation of organic matters in medicinal herbs wastewater using bio-electro-Fenton system. *Journal of Environmental Management*, 180, 390-400.
- ElMekawy, A., Diels, L. De Wever, H. & Pant, D. 2013. Valorization of cereal based biorefinery byproducts: Reality and expectations. *Environmental Science & Technology*, 47, 9014-9027.
- Ghangrekar, M. & Shinde, V. 2007. Performance of membrane-less microbial fuel cell treating wastewater and effect of electrode distance and area on electricity production. *Bioresource Technology*, 98, 2879-2885.
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F. et al. 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818.
- Hassan, S.H., El-Rab, S.M.G., Rahimnejad, M., Ghasemi, M., Joo, J.-H., Sik-Ok, Y., et al. 2014. Electricity generation from rice straw using a microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 9490-9496.
- He, C.-S., Mu, Z.-X., Yang, H.-Y., Wang, Y.-Z., Mu, Y. & Yu, H.-Q. 2015. Electron acceptors for energy generation in microbial fuel cells fed with wastewaters: A mini-review. *Chemosphere*, 140, 12-17.
- Izadi, P., Rahimnejad, M. & Ghoreyshi, A. 2015. Power production and wastewater treatment simultaneously by dual-chamber microbial fuel cell technique. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 62, 483-488.
- Kargi, F. & Eker, S. 2007. Electricity generation with simultaneous wastewater treatment by a microbial fuel cell (MFC) with Cu and Cu-Au electrodes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82(7), 658-662.
- Logan, B.E. & Rabaey, K. 2012. Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. *Science*, 337, 686-690.
- Mathuriya, A. S. & Sharma, V. N. 2010. Bioelectricity production from various wastewaters through microbial fuel cell technology. *Journal of Biochemical Technology*, 2(1), 133-137.
- Min, B., Cheng, S. & Logan, B.E. 2005. Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells. *Water Research*, 39, 1675-1686.
- Mirabella, N. Castellani, V. & Sala, S. 2014. Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28-41.
- Mohan, S.V., Mohanakrishna, G., Reddy, B.P., Saravanan, R. & Sarma, P. 2008. Bioelectricity generation from chemical wastewater treatment in mediatorless (anode) microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched hydrogen producing mixed culture under acidophilic microenvironment. *Biochemical Engineering Journal*, 39, 121-130.
- Rahimnejad, M., Ghoreyshi, A., Najafpour, G., Younesi, H. & Shakeri, M. 2012. A novel microbial fuel cell stack for continuous production of clean energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 5992-6000.
- Rahimnejad, M., Ghoreyshi, A. A., Najafpour, G. & Jafary, T. 2011. Power generation from organic substrate in batch and continuous flow microbial fuel cell operations. *Applied Energy*, 88(11), 3999-4004.
- Wen, Q. Wu, Y. Zhao, L. & Sun, Q. 2010. Production of electricity from the treatment of continuous brewery wastewater using a microbial fuel cell. *Fuel*, 89, 1381-1385.
- Włodarczyk, P.P. & Włodarczyk, B. 2015. Analysis of the possibility of using stainless steel and copper boride alloy as catalyst for microbial fuel cell fuel electrode. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 17, 111-118.
- Zhang, G., Zhao, Q., Jiao, Y., Wang, K., Lee, D.-J. & Ren, N. 2012. Biocathode microbial fuel cell for efficient electricity recovery from dairy manure. *Biosensors and Bioelectronics*, 31, 537-543.

