

## تولید الکتریسیته از طریق تصفیه فاضلاب شبیه سازی شده صنایع غذایی با استفاده از سلول سوخت میکروبی دو محفظه‌ای با استفاده از غشای نافیون

محمد ملکوتیان<sup>۱</sup>، محمدمهدی امین<sup>۲</sup>، حسین جعفری منصوریان<sup>۳</sup>، نعمت ... جعفرزاده<sup>۴</sup>

نویسنده مسئول: کرمان، خیابان هفت باغ علوی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط [m.malakootian@yahoo.com](mailto:m.malakootian@yahoo.com)

پذیرش: ۹۰/۰۵/۱۵

دریافت: ۹۰/۰۳/۱۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** سلول های سوخت میکروبی (*Microbial fuel cells: MFC*) مبدل های الکتروشیمیایی هستند که نیروی احیا شده میکروبی، تولید شده از طریق متابولیسم سوبستراهای آلی را، به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. هدف از انجام این پژوهش تعیین میزان تولید الکتریسیته از فاضلاب سنتتیک شبیه سازی شده صنایع غذایی و همچنین میزان تصفیه آن با استفاده از *MFC* دو محفظه‌ای بدون واسطه و کاتالیست می باشد. روش بررسی: در سلول سوخت میکروبی مورد استفاده در این مطالعه، آند در محفظه بی هوازی حاوی فاضلاب شبیه سازی شده صنایع غذایی به صورت سوبسترای سنتتیک و کاتد در محفظه هوازی حاوی بافر فسفات قرار گرفت. این دو محفظه توسط غشای تبادل پروتون از جنس نافیون از هم جدا گردید. شدت جریان و ولتاژ تولیدی با استفاده از اهم متر دیجیتالی سنجیده شده و میزان الکتریسیته از طریق قانون اهم محاسبه گردید. پساب خروجی از محفظه آند نیز از نظر میزان *COD*، *BOD<sub>5</sub>*، *NH<sub>3</sub>-N*، *P*، *TSS*، *VSS*، سولفات و قلیائیت براساس کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب مورد آزمایش قرار گرفت.

**یافته ها:** در این مطالعه بیشترین شدت جریان و توان تولیدی به ترتیب  $1/71 \text{ mA}$  و  $140 \text{ mW/m}^2$  در سطح آند، در بارگذاری آلی (*OLR*) برابر با  $0/79 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ ، بالاترین ولتاژ  $0/422 \text{ V}$ ، در *OLR* برابر با  $0/36 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$  و بیشترین کارایی کولمبی سیستم نیز ۱۵٪ بوده که در *OLR* برابر با  $0/18 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$  حاصل شد. حداکثر راندمان حذف *COD*، *BOD<sub>5</sub>*، *NH<sub>3</sub>-N*، *P*، *TSS*، *VSS* سولفات و قلیائیت نیز به ترتیب ۷۸، ۷۲، ۶۶، ۷، ۵۶، ۴۹، ۲۶ و ۴۰ درصد به دست آمد.

**نتیجه گیری:** یافته های این مطالعه نشان داد که *MFC* می تواند به عنوان یک تکنولوژی جدید برای تولید الکتریسیته از مواد آلی تجدیدپذیر و تصفیه انواع مختلفی از فاضلاب های شهری و صنعتی همچون صنایع غذایی مورد استفاده قرار گیرد. واژگان کلیدی: تولید الکتریسیته، تصفیه فاضلاب، سلول سوخت میکروبی، واسطه، کاتالیست، باطری زیستی

۱- دکترای بهداشت محیط، استاد مرکز تحقیقات بهداشت محیط و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمان

۲- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۳- کارشناس ارشد بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت و مربی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان

۴- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

## مقدمه

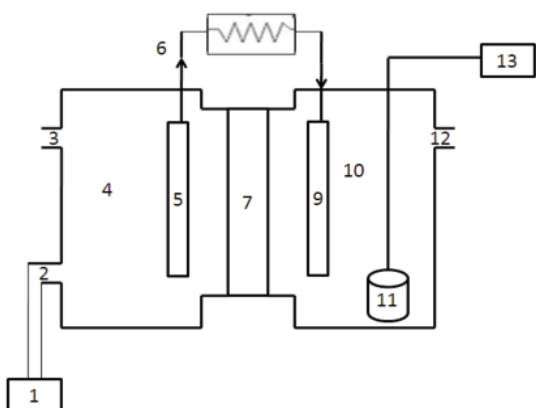
به منظور توسعه علم و تکنولوژی، بشر به طور چشمگیری وابسته به انرژی است (۵-۱). در حال حاضر انرژی مورد نیاز دنیا عمدتاً بستگی به سوخت های فسیلی داشته و تقریباً ۸۶٪ انرژی دنیا از سوخت های فسیلی تهیه می شود. اما سوخت های فسیلی مخصوصاً نفت تجدیدناپذیر است و در آینده بحران انرژی بروز خواهد کرد. علاوه بر این احتراق سوخت های فسیلی به علت انتشار دی اکسید کربن اثرات منفی جدی بر محیط زیست دارد (۹-۶). نگرانی ها درباره تغییر اقلیم، افزایش نیاز جهانی به ذخایر نفت و گاز و کمبود انرژی، تحقیقات را به سمت انرژی های نو برای جایگزینی سوخت های فسیلی سوق داده است. از طرفی انرژی بالای مورد نیاز سیستم های تصفیه متداول فاضلاب خواستار تکنولوژی های تصفیه جایگزین هستند که هم هزینه و هم انرژی مورد نیاز برای بهره برداری کارآمد از آنها کمتر باشد (۶، ۱۰ و ۱۱). به همین دلیل تحقیقاتی در جهت جمع آوری انرژی قابل تجدید از منابع زاید آلی مورد مطالعه قرار گرفته و به خوبی مشخص شده است که میکروارگانیسم ها می توانند از مواد آلی، سوخت هایی از قبیل اتانول، متان، هیدروژن و الکتروسیسته تولید کنند (۱۶-۱۲). در این مسیر تولید الکتروسیسته زیستی از طریق سلول های سوخت میکروبی (MFC) با استفاده از سوبستراهای مختلف اهمیت فزاینده ای در بین محققان پیدا کرده است (۵، ۶، ۹، ۱۰ و ۱۷).

سلول های سوخت میکروبی، مدل های الکتروشیمیایی هستند که نیروی احیا شده میکروبی، تولید شده از طریق متابولیسم سوبستراهای آلی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند (۲۴-۱۸).

MFC ها جایگزینی برای روش های متداول تولید الکتروسیسته در مقیاس های کوچک هستند (۲۲ و ۲۵). اصول بهره برداری از MFC ها در استخراج و انتقال الکترون ها از سلول های میکروبی بر روی الکتروود آند می باشد. آند از طریق یک مدار الکتریکی خارجی به کاتد متصل شده و از این طریق، جریان الکترون ها به شکل جریان الکتریکی تبدیل می شود (۲۲ و ۲۷-۲۵). از لحاظ انتقال الکترون به آند، دو نوع MFC وجود

دارد: MFC های با واسطه و MFC های بدون واسطه. در MFC های با واسطه بیشتر سلول های میکروبی از لحاظ الکتروشیمیایی غیر فعال هستند. به همین علت MFC ها از واسطه های غیر آلی از قبیل thionine, methylviologen, humic acid, methyl blue و neutral red برای اتصال به زنجیره انتقال الکترون سلول ها و گرفتن الکترون های تولیدی آنها استفاده می کنند. بیشتر واسطه های موجود گران و سمی هستند. در MFC های بدون واسطه نیازی به واسطه های غیر آلی نبوده، بلکه برای انتقال الکترون ها به الکتروود، از باکتری هایی که از نظر الکتروشیمیایی فعال اند (خانواده های *Shewanella*, *Rhodoferrax* و *Geobacter*) استفاده می شود و آنزیم های ردوکس از قبیل سیتوکروم که بر روی غشای خارجی باکتری ها قرار دارند می توانند الکترون ها را به طور مستقیم به الکتروود منتقل کنند (۱۰، ۱۹، ۲۵، ۲۸-۳۳). MFC های بدون واسطه اخیراً توسعه زیادی یافته اند. MFC ها از لحاظ طراحی نیز دو نوع می باشند: MFC های تک محفظه ای، و ۲-MFC های دو محفظه ای. در مدل MFC تک محفظه ای، تنها یک محفظه آندی داشته، که هم آند و هم کاتد در یک محفظه قرار دارند. الکتروود آند در اطراف محفظه و الکتروود کاتد در مرکز آن قرار می گیرد که با هوا به طور مستقیم در ارتباط می باشد. در مدل MFC دو محفظه ای، از یک محفظه آندی و یک محفظه کاتدی که توسط یک غشای تبادل پروتون و گاهی با پل نمکی به هم متصل شده تا اجازه عبور پروتون ها به کاتد داده شود تشکیل شده است. محفظه آند به گونه ای است که به هیچ عنوان اکسیژن به داخل آن وارد نشده ولی محفظه کاتد به طور مداوم هوادهی می شود (۸، ۱۳، ۲۱، ۳۴ و ۳۵). از این تکنولوژی برای تولید هیدروژن زیستی از مواد آلی قابل تجدید، تصفیه انواع مختلفی از فاضلاب ها و همچنین به عنوان سنسوری برای سنجش اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) نیز استفاده شده است (۸، ۱۳ و ۳۹-۳۵). هدف از این پژوهش بررسی میزان تولید الکتروسیسته از فاضلاب

و به طور مداوم با استفاده از پمپ هوادهی آکواریومی هوادهی گردید تا غلظت اکسیژن محلول بین ۴-۵ mg/L نگه داشته شود. هیچ گونه واسطه بیرونی در محفظه آند مورد استفاده قرار نگرفت. همچنین الکتروکاتد بدون کاتالیست مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۲) شمایی از راکتور MFC را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شماتیک راکتور MFC مورد استفاده در این مطالعه

- ۱- پمپ تزریق، ۲- محل ورود فاضلاب، ۳- محل خروج پساب، ۴- محفظه آندی، ۵- الکتروکاتد، ۶- سیم مسی، ۷- غشای تبادل پروتون، ۸- اهم متر دیجیتالی، ۹- الکتروکاتد، ۱۰- محفظه کاتدی، ۱۱- سنگ هوا، ۱۲- ورودی بافر، ۱۳- پمپ هوا

### فاضلاب سنتتیک و لجن تلقیحی

فاضلابی که در این مطالعه به عنوان سوستر به محفظه آند تزریق می‌شد به صورت سنتتیک در آزمایشگاه ساخته شد. مواد مورد استفاده برای ساخت این فاضلاب شامل گلوکز، کلروآمونیم، فسفات هیدروژن، دی پتاسیم فسفات هیدروژن، کلرومنیزیم، کلرور کبالت، کلرور روی، کلرور کلسیم، کلرور مس و کلرور منگنز بود. مشخصات این فاضلاب براساس میانگین غلظت های فاضلاب صنایع غذایی پروتینی کشور در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱: مشخصات سوستر سنتتیک شبیه سازی شده بر اساس فاضلاب صنایع غذایی پروتینی کشور

پارامتر	COD	BOD <sub>5</sub>	TSS	P	NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Alkalinity	pH
غلظت، mg/L	۲۳۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	۲۵	۱۰۰	۶۴۰	۲۰۰	۷

شبیه سازی شده صنایع غذایی به صورت سنتتیک و همچنین میزان تصفیه آن با استفاده از MFC های دو محفظه ای بدون واسطه کاتالیست می باشد.

### مواد و روش ها

#### ساختار سلول سوخت میکروبی (MFC) و راه اندازی آن:

در این مطالعه سلول سوخت میکروبی مورد نظر به صورت دو محفظه ای طراحی شد. این MFC شامل دو محفظه آند و کاتد از جنس ورقه های پلاکسی گلاس به ضخامت ۰.۵ cm<sup>2</sup>، دو الکتروکاتد و کاتد از جنس صفحه گرافیتی با ابعاد ۱۲×۴×۰/۵ cm<sup>3</sup>، غشای تبادل پروتون از جنس نافیون (NAFION 117, Sigma-Aldrich) و دستگاه اهم متر دیجیتالی که با استفاده از سیم مسی به الکترودها متصل شده، بود. الکترودها قبل از استفاده در آب دیونیزه شده به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شدند. محفظه آند و کاتد توسط غشای تبادل پروتون از هم جدا شده بودند که برای عملکرد مناسب، غشا قبل از استفاده به مدت ۳ ساعت در محلول ۰.۲٪ NaCl قرار داده شد. حجم موثر محفظه آند و کاتد ۱/۵ لیتر بود. محفظه آند با فاضلاب به عنوان آنالیت پرشد که ورودی آن از قسمت پایین و خروجی آن از قسمت بالا بود. این محفظه کاملاً بی‌هوایی بود. برای جلوگیری از فعالیت باکتری‌های متانوژن محلول ۲ برومواتانوسولفونات (BES) به نمونه اضافه می‌شد. جریان فاضلاب ورودی به صورت مداوم توسط پمپ پرستالتیک برقرار شد و pH آن بر روی ۷ تنظیم گردید. محفظه کاتد که هوایی بود با بافر فسفات (۵۰ دی پتاسیم هیدروژن فسفات) به عنوان کاتالیست پر شده

گرفت. عملکرد MFC در حذف سوبسترا در مدت بهره‌برداری با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$\varepsilon_{\text{COD}} = \frac{\text{CSO} - \text{CS}}{\text{CSO}} \times 100$$

$\varepsilon_{\text{COD}}$  = درصد کارایی حذف سوبسترا، CSO = غلظت COD

اولیه، CS = غلظت COD باقیمانده

میزان بارگذاری آلی (OLR)، برحسب (Kg COD/m<sup>3</sup>.d) نیز از این رابطه به دست آمد:

$$\text{OLR} = \frac{\text{CSO} \times \text{feed rate}}{\text{reactor volume}}$$

### یافته ها

یافته های حاصل از این پژوهش در شکل های ۹-۲ نشان داده شده است. شکل های ۴-۲ به ترتیب میزان شدت جریان، ولتاژ، دانسیته جریان، توان تولیدی و کارایی کولمبی را در pH ثابت ۷ و دبی های مختلف نشان می دهد. همان طور که از نمودارها پیداست در دبی ۰/۴ mL/min، حداکثر شدت جریان و توان، در دبی ۰/۲ mL/min، حداکثر ولتاژ و در دبی ۰/۱ min بیشترین کارایی کولمبی به دست آمد. شکل های ۸-۵ نیز میزان تصفیه فاضلاب را در pH ثابت ۷ و کل زمان آزمایشات در شرایط کاملاً بی هوازی نشان می دهد. حداکثر راندمان حذف COD، BOD<sub>5</sub>، NH<sub>3</sub>، P، TSS، VSS سولفات و قلیابیت به ترتیب ۷۸، ۷۲، ۶۶، ۷، ۵۶، ۴۹، ۲۶ و ۴۰ درصد بوده که با افزایش زمان، راندمان حذف BOD<sub>5</sub>، NH<sub>3</sub>، COD و قلیابیت افزایش و P، TSS و VSS کاهش یافته است. در این مطالعه همچنین اثر غلظت فاضلاب ورودی به عنوان سوخت با دیگر مطالعات انجام گرفته در ارتباط با این تکنولوژی مورد مقایسه قرار گرفت که در جدول ۲ نشان داده شده است. pH پساب خروجی نیز در طول آزمایش ها اندازه گیری شد که در شکل ۹ نشان داده شده است.

ظرف محتوی فاضلاب در درجه حرارت اتاق (۲۵ °C) و برای جلوگیری از ته نشینی مواد، بر روی دستگاه هم زن با ۱۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. لجن تلقیحی از نوع لجن فعال و از تصفیه خانه فاضلاب شهر کرمان تهیه گردید.

### روش های آنالیز

شدت جریان، ولتاژ و توان تولیدی سیستم MFC در دبی های مختلف، pH ثابت ۷ و در مدت زمان ۴۴ روز آزمایش، با استفاده از اهم متر دیجیتالی سنجیده شده و میزان الکتروسیسته از طریق قانون اهم به صورت زیر محاسبه شد:

$$I = V / R$$

که I = شدت جریان، V = ولتاژ، و R = مقاومت می باشد. توان تولیدی نیز از فرمول زیر محاسبه شد:

$$P = IV / A$$

که P = توان و A = مساحت آند می باشد. مقاومت سیستم MFC در طول آزمایشات ۲۰-۴۰ کیلو اهم بود. کارایی کولمبی سیستم نیز از این رابطه به دست می آمد:

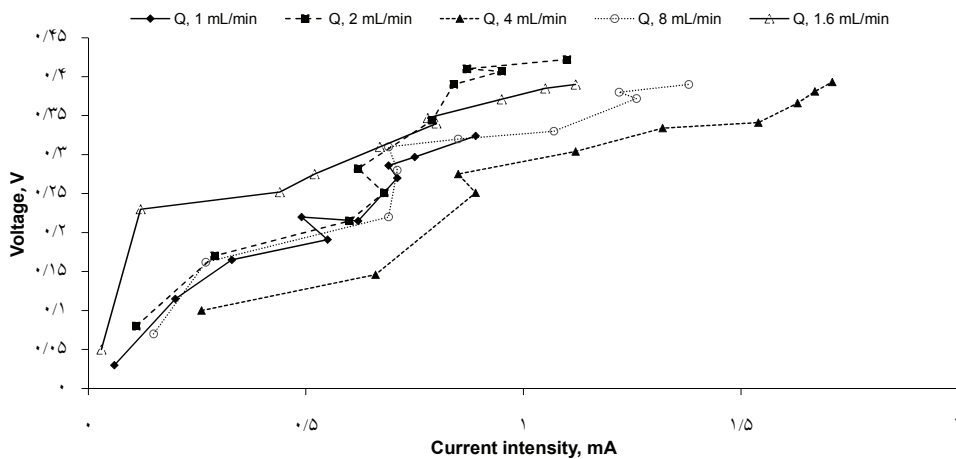
$$CE = (C_{EX} / C_{Th}) \cdot 100$$

$$C_{EX} = \left( \sum_{i=1}^T V_i t_i \right) / R$$

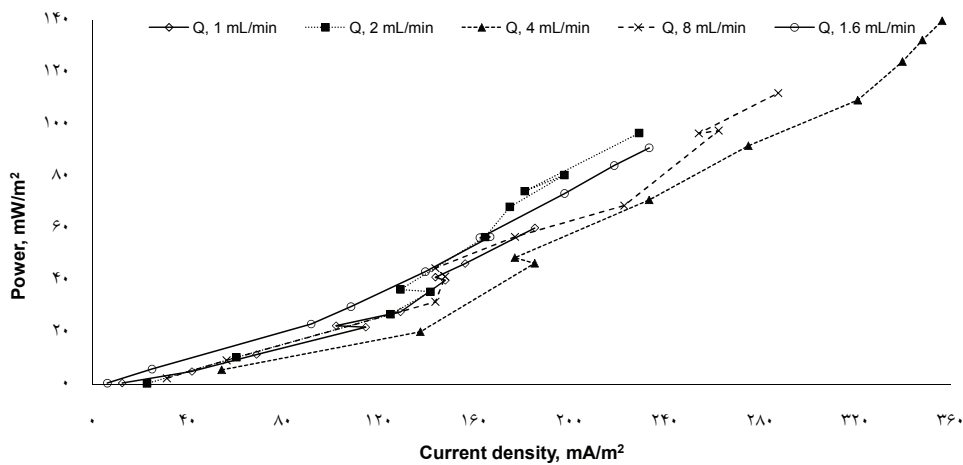
$$C_{Th} = FbMv$$

CE = کارایی کولمبی، C<sub>EX</sub> = کل کولمب محاسبه شده، C<sub>T</sub> = میزان کولمب تئوریک F = ثابت فارادی (۹۶۴۸۵ C/mol-e) b = تعداد مول الکترون تولید شده به ازای هر مول سوبسترا (۲۴ برای گلوکز)، M = غلظت سوبسترا (mol/L) V = حجم مایع (L)

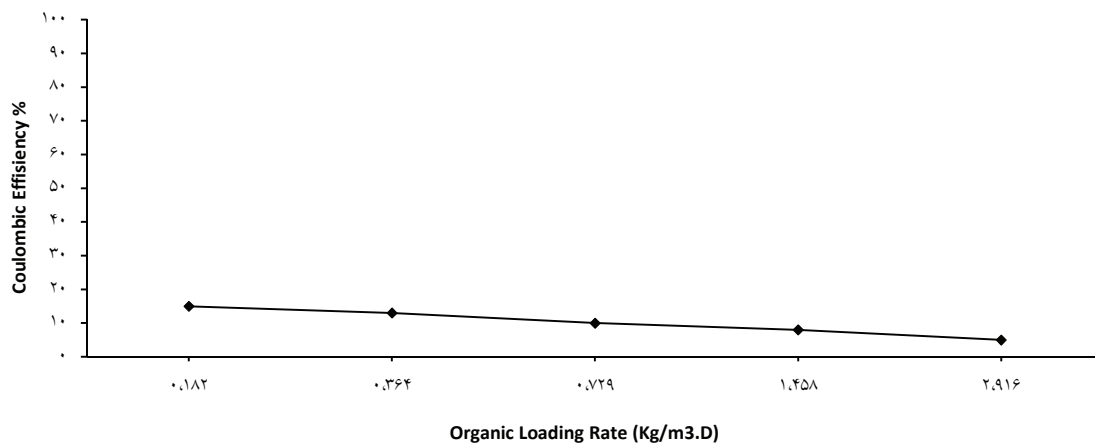
برای بررسی راندمان تصفیه فاضلاب ورودی به سیستم MFC، پساب خروجی از محفظه آند از نظر میزان COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی)، BOD<sub>5</sub> (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی)، NH<sub>3</sub> (آمونیاک)، P (فسفر)، TSS (کل جامدات معلق)، VSS (جامدات معلق فرار)، SO<sub>4</sub> (سولفات) و قلیابیت (alkalinity) مطابق با روش های استاندارد مندرج در کتاب روش های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب مورد آزمایش قرار



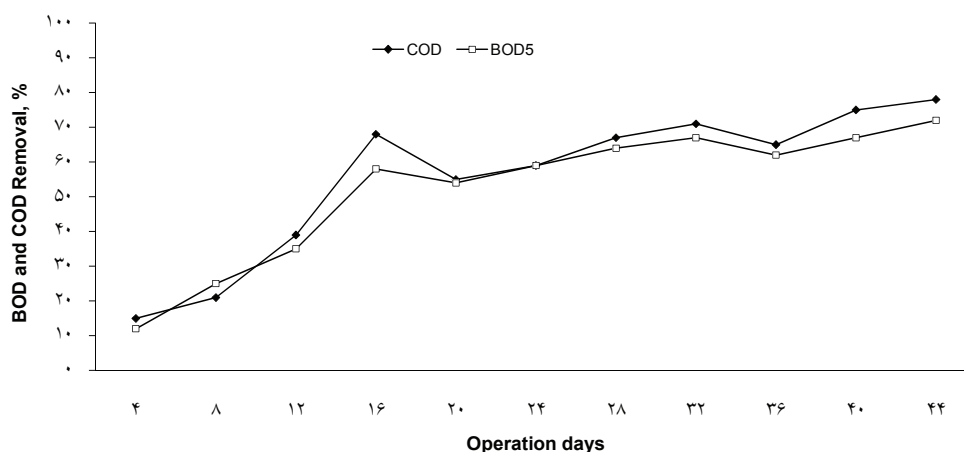
شکل ۲: میزان شدت جریان و ولتاژ تولیدی در دبی های مختلف فاضلاب سنتتیک به عنوان سوخت



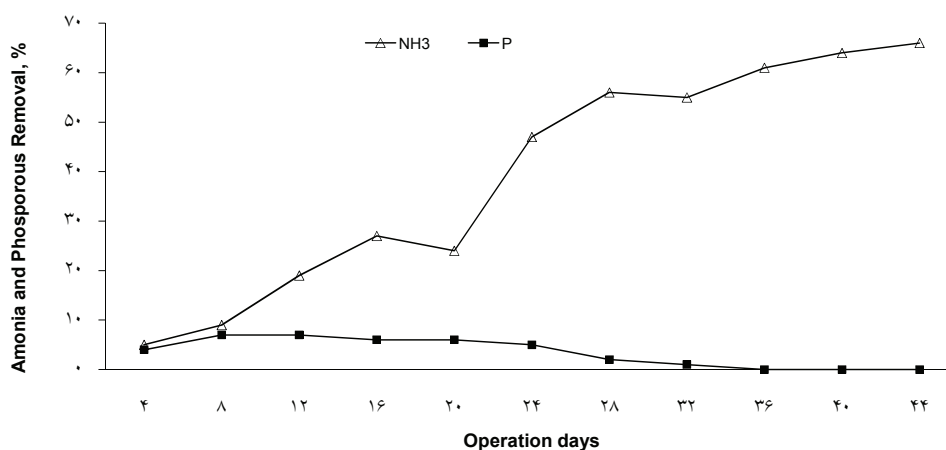
شکل ۳: میزان توان و دانسیته جریان تولیدی از سوپستره سنتتیک ورودی به سلول سوخت میکروبی



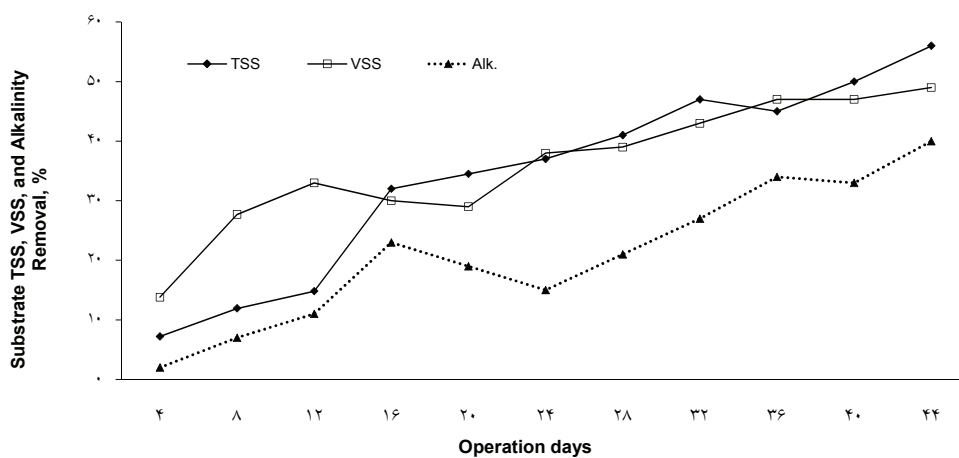
شکل ۴: میزان کارایی کولمبی حاصل شده در بارگذاری های آلی مختلف از سوپستری سنتتیک ورودی به سلول سوخت میکروبی



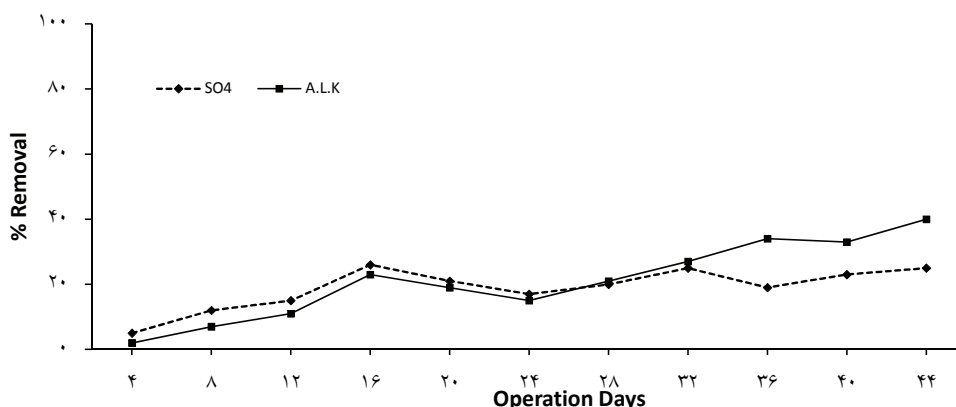
شکل ۵: راندمان حذف COD و BOD<sub>5</sub> بوسیله سلول سوخت میکروبی در pH معادل ۷



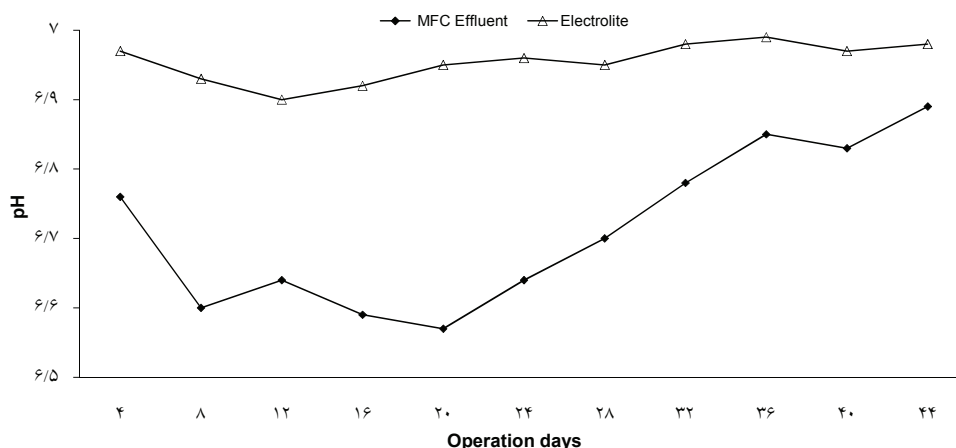
شکل ۶: راندمان حذف آمونیاک و فسفر از سوبستره سنتتیک ورودی توسط سلول سوخت میکروبی در pH معادل ۷



شکل ۷: راندمان حذف جامدات معلق کل (TSS) و جامدات معلق فرار (VSS) از سوبستری سنتتیک ورودی توسط سلول سوخت میکروبی در pH معادل ۷



شکل ۸: راندمان حذف سولفات (SO<sub>4</sub>) و قلیابیت (Alkalinity) از سوبستری سنتتیک ورودی توسط سلول سوخت میکروبی در pH معادل ۷



شکل ۹: تغییرات pH الکترولیت و پساب خروجی سلول سوخت میکروبی

جدول ۲: مقایسه تولید الکتریسیته و عملکردهای سلول های سوخت میکروبی در غلظت های مختلف سوخت

منبع	حداکثر ولتاژ تولیدی (V)	حداکثر شدت جریان تولیدی (mA)	کارایی حذف COD	OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	سوبسترا	ساختار راکتور	سیستم کاتدی	کاربرد کاتالیست	کاربرد غشا
این پژوهش	۰/۴۲۲	۱/۷۱	٪۸۲	۰/۱۵۴-۳/۵۵	گلوکز	دومحفظه ای	هودهی	نه	بله
۴۳	۰/۷	۲/۹۷	۳۹-۵۵/۴	۱/۴۰۴-۱/۱۶۵	گلوکز	دو محفظه ای	هودهی	نه	بله
۵۳	۰/۲۴	۰/۱۱-۰/۹۸	۴۳/۷۸-۴۳/۰۶	۲/۶۴-۳/۵۴	گلوکز	تک محفظه ای	کاتد هوایی	نه	بله
۵	۰/۴۲۳	۱/۶۶	٪۶۰-۶۲	۰/۵۱۷-۱/۰۳۳	گلوکز	دومحفظه ای	هودهی	نه	بله
۵۴	۰/۵۸۶	۲/۳۷	۷۴/۲۰	۰/۷۵۳	فاضلاب سنتتیک	دومحفظه ای	هودهی	نه	بله

## بحث

### اثر میزان ورودی در مدت بهره برداری

میزان جریان ورودی فاضلاب یکی از پارامترهایی بود که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است، با افزایش میزان ورودی تا  $0.4 \text{ mL/min}$  میزان شدت جریان و توان تولیدی افزایش و تا دبی  $0.2 \text{ mL/min}$ ، ولتاژ افزایش می یابد. زمانی که میزان ورودی فاضلاب از این مقدار بیشتر می شود، MFC، شدت جریان، ولتاژ و توان کمتری را نشان می دهد. افزایش شدت جریان و توان تولیدی تا دبی  $0.4 \text{ mL/min}$  بیانگر اشباع شدن فعالیت میکروبی با فاضلاب به عنوان سوخت تحت این شرایط، مصرف ناقص سوخت، رشد سریع تر باکتری های تخمیرکننده نسبت به باکتری هایی که از نظر الکتروشیمیایی فعال اند، می باشد. دلیل دیگر برای این امر، این است که میزان ورودی بالا ممکن است باعث جایگزین شدن دیگر پذیرنده های الکترون در رقابت با آند شده و این باعث بازده پایین می شود (۲۰، ۲۳، ۳۶ و ۴۰). این نتایج، با نتایج به دست آمده توسط Hyunsoo و همکاران در سال ۲۰۰۶، Kim و همکاران در سال ۲۰۰۴، Rabaey و همکاران در سال ۲۰۰۳ و Zhuwei و همکاران در سال ۲۰۰۷، مطابق دارد (۸، ۲۳، ۴۰ و ۲۰).

### شدت جریان، ولتاژ و توان سلول سوخت میکروبی

سلول های سوخت میکروبی قادر هستند انرژی شیمیایی ذخیره شده در ترکیبات آلی را با کمک میکروارگانیسم ها به انرژی الکتریکی تبدیل کنند (۴۴-۴۱). تولید الکتروسیسته با این تکنولوژی در درجه اول به علت انتقال مستقیم الکترون های تولیدی حاصل از تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم های متصل شده به الکتروآند می باشد (۱۲ و ۴۵). عملکرد MFC از طریق سنجش بازده شدت جریان، ولتاژ و توان تولیدی در مدت بهره برداری ارزیابی شده و در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. بالاترین میزان شدت جریان، توان و ولتاژ، به ترتیب  $1.71 \text{ mA}$ ،  $140 \text{ mW/m}^2$  در سطح آند در OLR برابر با  $0.79 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{D}$  و  $0.227 \text{ V}$  در OLR برابر با  $0.36 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{D}$ .

حاصل شد. با افزایش دبی ورودی تا  $0.4 \text{ mL/min}$  و افزایش زمان واکنش، افزایش مداومی در شدت جریان و توان حاصل شد. نتایج به دست آمده از آزمایشات، قابلیت MFC در تولید الکتروسیسته زیستی با استفاده از فاضلاب سنتتیک به عنوان سوسترا را اثبات نمود. یافته های حاصل از این مطالعه با نتایج به دست آمده از تولید الکتروسیسته زیستی از فاضلاب شیمیایی در MFC بدون واسطه با استفاده از محیط کشت مخلوط تحت شرایط اسیدی میکروارگانیسم ها در سال ۲۰۰۷، تولید الکتروسیسته از سیستمین با استفاده از MFC در سال ۲۰۰۵، تاثیر سوستراهای مختلف بر روی عملکرد باکتری های مختلف و زیست پذیری آنها در MFC ها در سال ۲۰۰۹، تجزیه پیریدین در MFC ها در سال ۲۰۰۹ و تولید الکتروسیسته با استفاده از MFC با فل دار در سال ۲۰۰۸ مطابقت دارد (۴۴ و ۴۹-۴۶).

### کارایی کولمبی سلول سوخت میکروبی

کارایی کولمبی به صورت نسبت کل کولمب واقعی انتقال یافته به آند از سوسترا به حداکثر کولمب ممکن، در صورتی که کل سوسترا برای تولید جریان مصرف شود، تعریف می شود (۱)، (۱۵ و ۵۰). در این مطالعه مطابق با شکل ۴، کارایی کولمبی حاصل شده رنجی از ۱۵-۵٪ داشته که بیشترین آن (۱۵٪) در OLR برابر با  $1/458 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{D}$  به دست آمد و با افزایش میزان بارگذاری آلی مقدار آن کاهش یافت. این نتایج، با نتایج مطالعات Jung Rae Kim و همکارانش در سال ۲۰۰۵، Peter Aelterman و همکارانش در سال ۲۰۰۸، Rabaey و همکارانش در سال ۲۰۰۷ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ منطبق می باشد (۱۲، ۲۰، ۵۱ و ۵۲).

### اثر غلظت سوخت و تولید جریان

غلظت فاضلاب یکی دیگر از عواملی است که بر روی عملکرد MFC تاثیر می گذارد. بسیاری از سیستم ها نشان دادند که تولید الکتروسیسته هم در MFC هایی با مدل بسته و هم با مدل جریان مداوم، بستگی به غلظت سوخت دارد و معمولاً سوخت های با غلظت بیشتر، بازده برق بیشتری دارند (۵۳ و ۵۴). در این مطالعه غلظت فاضلاب سنتتیک بر اساس



سیستم MFC به عنوان جایگزین فرایندهای متداول تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می باشد و همان طور که در جدول ۲ ذکر شده است، میزان غلظت فاضلاب ورودی به عنوان سوخت بر روی ولتاژ تولیدی و حذف سوبسترا توسط MFC تاثیر می گذارد (۵ و ۵۸). نتایج حاصل شده از این مطالعه با نتایج به دست آمده توسط Ghangrekar و همکاران در بررسی عملکرد MFC های بدون واسطه در تصفیه فاضلاب و تاثیر فاصله و سطح الکترودها در تولید الکتروسیسته، Venkatamohan و همکاران در بررسی تولید الکتروسیسته با استفاده از MFC های بدون واسطه تحت شرایط اسیدی، و Liu و همکاران در بررسی تولید الکتروسیسته در مدت تصفیه فاضلاب با استفاده از MFC های تک محفظه ای هم خوانی دارد (۱، ۵ و ۱۰).

#### کارایی سلول سوخت میکروبی در حذف آمونیاک و فسفر

پس از خروجی از سیستم MFC از نظر میزان آمونیاک و فسفر مورد آزمایش قرار گرفت تا کارایی این سیستم به عنوان یک روش جایگزین در حذف مواد مغذی ارزیابی شود (۵۹ و ۶۰). با توجه به شکل ۶، بعد از ۴۴ روز بهره برداری، آمونیاک فاضلاب ورودی به میزان ۶۶٪ (از ۱۰۰ به ۳۴ mg/L) کاهش یافت. این راندمان حذف آمونیاک توسط سیستم MFC، که محفظه آندی آن تحت شرایط بی هوازی بهره برداری می شد شگفت آور بود و احتمالاً به دلیل نفوذ اکسیژن از محفظه کاتدی و وقوع پدیده نیتریفیکاسیون بوده است. غلظت فسفر، تنها به میزان ۷٪ کاهش یافت (از ۲۵ به ۱۸ mg/L)، و حتی در بعضی مواقع به طور بسیار جزئی افزایش یافته بود که این امر احتمالاً به دلیل پتانسیل ردوکس می باشد که منجر به تحریک میکروارگانیسمها برای آزادسازی فسفر و یا تبدیل فسفر آلی در فاضلاب به ارتوفسفات می گردد (۶۱). نتایج حاصل با نتایج به دست آمده توسط Min و همکاران در بررسی تولید الکتروسیسته از فاضلاب حیوانی با استفاده از MFC ها، Ghangrekar و همکاران در بررسی عملکرد MFC های بدون غشا در تصفیه فاضلاب و تاثیر سطح و فاصله الکترودها در تولید الکتروسیسته،

میانگین غلظت های فاضلاب صنایع غذایی پروتینی در کشور ایران انتخاب و شبیه سازی شد. در جدول ۲، ارتباط بین غلظت سوخت و حداکثر شدت جریان، ولتاژ و توان تولیدی از این مطالعه و چندین مطالعه دیگر با غلظت های مختلف فاضلاب مقایسه شده است. اطلاعات ارایه شده در جدول ۲ نشان دهنده این است که غلظت بالای سوخت برای تولید جریان بیشتر، ضروری است و سلول های سوخت میکروبی بدون غشا (ML-MFC) می توانند به عنوان سنسور زیستی برای سنجش شدت آلودگی فاضلاب ها مورد استفاده قرار گیرند (۲۳، ۳۶، ۵۰، ۵۴ و ۵۵). همچنین در میزان بارگذاری کم سوبسترا، زمان بیشتری برای دست یابی به حداکثر شدت جریان و ولتاژ لازم است، در حالی که در میزان بارگذاری بالای سوبسترا، بالاترین شدت جریان و ولتاژ در زمان کمتری حاصل می شود (۶ و ۵۶). نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از بررسی تولید الکتروسیسته و تصفیه فاضلاب شیمیایی با MFC توسط Mohan و همکاران، بررسی عملکرد MFC در pH، درجه حرارت، مقاومت خارجی و غلظت های مختلف سوبسترا توسط Jadhav و همکاران، بررسی تولید الکتروسیسته در مدت تصفیه فاضلاب با استفاده از MFC های تک محفظه ای توسط Liu و همکاران، بررسی تولید الکتروسیسته با استفاده از MFC بافل دار توسط Li و همکاران، و بررسی عملکرد MFC های بدون واسطه با سوبسترای ورودی غنی از پروتئین به عنوان منبع کربن توسط Liu و همکاران مطابقت دارد (۴۳، ۴۴، ۴۹ و ۵۷).

#### کارایی حذف COD و BOD<sub>5</sub>

برای ارزیابی عملکرد MFC در حذف سوبسترا، پس از خروجی از این سیستم از نظر میزان COD و BOD<sub>5</sub> مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، غلظت COD و BOD<sub>5</sub> فاضلاب ورودی به ترتیب ۲۳۰۰ و ۱۵۰۰ mg/L بود. با توجه به شکل ۵، بعد از ۴۴ روز آزمایش، COD و BOD<sub>5</sub> فاضلاب سنتتیک ورودی به سیستم به ترتیب ۷۸٪ و ۷۲٪ کاهش یافت. محفظه آندی MFC به عنوان یک راکتور بی هوازی رشد معلق عمل می کند (۶، ۲۳ و ۴۳). این نشان دهنده پتانسیل بالای

این نوع از سلول سوختی دانسیته برقی بیشتری را نسبت به انواع دیگر تولید می کند و نیازی به واسطه های ناهمگن ندارد زیرا ردوکس سولفات یا سولفید به عنوان واسطه عمل می کند (۲۲، ۴۱ و ۶۳). یکی از دلایل اصلی انتخاب فاضلاب کارخانه فرآورده های غذایی پروتئینی به عنوان سوخت MFC، میزان سولفات بالای آن بود.

همان طور که در شکل نشان داده شده است حداکثر راندمان حذف قلیائیت ۴۰٪ بوده است. ظرفیت حذف این پارامتر نیز توسط MFC، در هیچ مطالعه ای ذکر نشده است و بررسی های زیادی برای فهم مکانیسم حذف این آن از طریق این تکنولوژی لازم است.

#### اثر pH در عملکرد MFC

پارامتر مهم دیگری که در سیستم های MFC هم بر روی شدت جریان و ولتاژ تولیدی و هم میزان تصفیه فاضلاب ورودی به عنوان سوخت به محفظه آندی تاثیر می گذارد pH فاضلاب ورودی به محفظه آندی و بافر فسفات به محفظه کاتدی است (۵، ۸، ۱۹ و ۴۹). در محفظه آندی شرایط بی هوازی حاکم بوده، تا میکروارگانیسم ها الکترون های حاصل از تجزیه مواد آلی را به الکتروآند منتقل کنند و پروتون ها نیز از طریق غشای تبادل پروتون به محفظه کاتد منتقل شوند (با وجود اکسیژن، به دلیل بالا بودن قدرت الکترونگاتیو ته آن، تمام الکترون های تولیدی جذب و احیا می شود) (۲۳). بهترین pH نیز برای فعالیت میکروارگانیسم ها در چنین شرایطی (شرایط بی هوازی)، pH=۷ است (۱۹ و ۴۹). از این رو pH فاضلاب ورودی به عنوان سوخت به محفظه آندی و بافر فسفات به عنوان الکترولیت به محفظه کاتدی، بر روی ۷ تنظیم شد و میزان شدت جریان، ولتاژ و توان تولیدی و همچنین میزان تصفیه فاضلاب در این pH مورد بررسی قرار گرفت. یافته های حاصل از اندازه گیری pH پساب خروجی و الکترولیت در زمان های مختلف راهبری سلول سوخت میکروبی، در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، حداکثر تغییر pH پساب، ۰/۴۵ و الکترولیت ۰/۱ واحد

Lui و همکاران در بررسی حذف کربن، نیتروژن و فسفر از کود حیوانی خوک از طریق هوادهی مداوم و متناوب در پتانسیل ردوکس کم و Morris و همکاران در مطالعه تاثیر نترات و سولفات در تولید الکتروسیسته از MFC ها هم خوانی دارد (۱۰، ۳۵، ۶۱ و ۶۲).

#### کارایی حذف سلول سوخت میکروبی در حذف جامدات معلق کل و فرار

از دیگر پارامترهایی که برای ارزیابی عملکرد سیستم MFC در تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت، حذف TSS و VSS بود. همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، بعد از ۴۴ روز آزمایش، بالاترین راندمان حذف TSS و VSS به ترتیب ۵۶ و ۴۹٪ به دست آمد. ظرفیت حذف این پارامترها توسط MFC، در هیچ مطالعه ای با صراحت ذکر نشده است و بررسی های زیادی برای درک صحیح مکانیسم حذف این ها پارامترها از طریق این فناوری لازم است. یک دلیل احتمالی برای حذف نسبتا خوب این پارامترها می تواند وقوع نیتروفیکاسیون - دنیتروفیکاسیون و تولید گاز نیتروژن و عملکرد محفظه آندی به عنوان یک راکتور بی هوازی رشد معلق باشد (۴۳، ۵۹ و ۶۰).

#### کارایی حذف سولفات و قلیائیت

غلظت سولفات و قلیائیت (Alk) پساب خروجی از MFC بدون واسطه و کاتالیست در مدت بهره برداری از آن در pH ۷ و میزان بارگذاری های آلی مختلف در هنگام تولید الکتروسیسته مورد سنجش قرار گرفت و نتایج کسب شده در شکل ۸ به نمایش درآمده است. بعد از ۴۴ روز بهره برداری، بالاترین میزان حذف سولفات ۲۶٪ بود. برخی از میکروارگانیسم های موجود در لجن و فاضلاب این توانایی را دارند که از، سولفات یافت شده در فاضلاب به عنوان پذیرنده نهایی الکترون استفاده کنند که بعد از آن سولفات به سولفید احیا می شود. سولفید از نظر الکتروشیمیایی در آند فعال بوده، در سطح الکتروآند اکسید شده و الکترون را از دست می دهد و دوباره به سولفات احیا می شود و این امر باعث حذف پایین یون سولفات می شود.

kg/m<sup>3</sup>.d در برابر با ۰/۴۲۲ V، ۰/۷۹ kg/m<sup>3</sup>.d، کارایی کولمبی سیستم ۱۵٪ و حداکثر راندمان حذف COD، BOD<sub>5</sub>، NH<sub>3</sub>-N، TSS، P، VSS سولفات و قلیابیت به ترتیب ۷۸، ۷۲، ۶۶، ۷، ۵۶، ۴۹، ۲۶ و ۴۰ درصد به دست آمد. این نتایج نشان داد که MFC می تواند به عنوان یک تکنولوژی جدید برای تولید الکتریسیته از مواد آلی قابل تجدید و به عنوان جایگزینی برای انواع روش های مختلف تصفیه فاضلاب ها به کار گرفته شود.

### تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان که با تصویب این طرح راه را برای انجام تحقیق هموار نمودند تشکر می نماید. این طرح در قالب پایان نامه دانشجویی مورد حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی کرمان قرار گرفته است. ضمناً از مساعدت های آقای مهندس پاریزی و سرکارخانم مرضیه قریب سپاسگزاری می نماید.

بود. هر چند که از نظر تئوری، وقتی میزان واکنش پروتون ها، الکترون ها و اکسیژن در کاند مساوی با میزان تولید پروتون در آند باشد، تغییر pH وجود نخواهد داشت، اما تغییر pH در مراحل اولیه بهره برداری از MFC بیشتر بود، که این به دلیل انتقال آهسته تر پروتون از طریق غشای تبادل پروتون نسبت به میزان تولید آن در محفظه آند و میزان مصرف آن در محفظه کاتد می باشد (۸). در مطالعه ای که توسط Gil و همکاران در بررسی پارامترهای بهره برداری موثر در عملکرد MFC های بدون واسطه، و Li و همکاران در بررسی تولید الکتریسیته با استفاده از MFC های بافل دار انجام گرفته بود، بیشترین شدت جریان و حذف COD در pH ۷ حاصل شد و نمایانگر این مطلب بود که فعالیت میکروبی در پایین تر از این مقدار pH، آهسته تر می باشد (۱۹ و ۴۹).

### نتیجه گیری

یافته های این مطالعه قابلیت تولید الکتریسیته از فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شبیه سازی شده صنایع غذایی با استفاده از تکنولوژی سلول سوخت میکروبی دو محفظه ای بدون واسطه و کاتالیست را به اثبات رسانید. بیشترین شدت جریان، توان و ولتاژ تولیدی در این مطالعه به ترتیب ۱/۷۱ mA و ۱۴۰ mw/m<sup>2</sup> در سطح آند در OLR برابر با

## منابع

1. Liu H, Ramanarayanan R, Logan BE. Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell. *Environ Sci Technol.* 2004;38:2281-85.
2. Logan BE. Feature article: Biologically extracting energy from wastewater –Biohydrogen production and microbial fuel cells. *Environ Sci Technol.* 2004;38:160-67.
3. Lovely DR. Harvesting electricity with microorganisms. *Nature Rev Microbiol.* 2006;4:497-508.
4. Rabaey K, Verstraete W. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology.* 2005;23(6):291-98.
5. Venkata Mohan S, Saravanan R, Raghavulu SV, Mohanakrishna G, Sarma PN. Bioelectricity production by mediatorless microbial fuel cell under acidophilic condition using wastewater as substrate: Influence of substrate loading rate. *Current Science.* 2007;92(12):1720-26.
6. Venkata Mohan S, Mohanakrishna G, Reddy B, Purushotham Saravanan R, Sarma PN. 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.* 2008;39(1): 121-30.
7. Amann CA. Alternative fuels and power systems in the long term. *Int J Vehicle Des.* 1996;17:510-17.
8. Du Z, Li H, and Gu T. A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances.* 2007;25(5):464-82.
9. Lee HS, Parameswaran P, Kato Marcus A, Torres CI, Rittmann BE. Evaluation of energy-conversion efficiencies in microbial fuel cells (MFCs) utilizing fermentable and non-fermentable substrates. *Water Res.* 2008;42(6-7):1501-10.
10. Ghangrekar MM, and Shinde V.B. Performance of membrane-less microbial fuel cell treating wastewater and effect of electrode distance and area on electricity production. *Bioresource Technology,* 2007. 98(15): p. 2879-2885.
11. You S, Zhao Q, Zhang J, Liu H, Jiang J, Zhao S. Increased sustainable electricity generation in up-flow air-cathode microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics.* 2008;23(7):1157-60.
12. Kim JR, Min B, Logan BE. Evaluation of procedures to acclimate a microbial fuel cell for electricity production. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2005;68(1):23-30.
13. Oh S, Logan BE. Hydrogen and electricity production from a food processing wastewater using fermentation and microbial fuel cell technologies. *Water Res.* 2005;39(19):4673-82.
14. Liu H, Grot S, and Logan BE. Electrochemically assisted microbial production of hydrogen from acetate. *Environ Sci Technol.* 2005;43:17-20.
15. Logan BE, Regan JM. Microbial challenges and fuel cell applications. *Environ Sci Technol.* 2006;40:172-80.
16. Shukla AK, Suresh P, Berchmans S, Rajendran A. Biological fuel cells and their applications. *Curr Sci.* 2004;87:455-68.
17. Korneel, R. and Willy V. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology.* 2005;23(6):.291-98.
18. Bond DR, Holmes DE, Tender LM, Lovely D R. Electrode reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science.* 2002;295:483-85.
19. Cheol Gil C, Seop Chang I, Hong Kim B, Kim M, Kyuang Lang J, Soo Park H, Joo Kim H. Operational parameters affecting the performance of a mediatorless microbial fuel cell. *Biosensors and Bioelectronics.* 2003;18:327-34.
20. Rabaey K, Lissens G, Siciliano SD, Verstraete W. A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. *Biotechnology Letters.* 2003;25:1531-35.
21. Cheng S, Liu H, Logan BE. Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. *Electrochemistry Communications.* 2006;8(3):489-94.
22. Ieropoulos IA, Greenman J, Melhuish C, Hart J. Comparative study of three types of microbial fuel cell. *Enzyme and Microbial Technology.* 2005;37(2):238-45.
23. Moon H, Chang IS, Kim BH. Continuous electricity

- production from artificial wastewater using a mediator-less microbial fuel cell. *Bioresource Technology*. 2006;97(4):621-27.
24. Morris JM, Jin S, Wang J, Zhu C, Urynowicz MA. Lead dioxide as an alternative catalyst to platinum in microbial fuel cells. *Electrochemistry Communications*. 2007;9(7):1730-34.
  25. Bennetto HP. Electricity generation by microorganisms. *Biotech Edu*. 1990;1:163-68.
  26. Rabaey K, Clauwaert P, Aelterman P, Verstraete W. Tubular microbial fuel cells for efficient electricity generation. *Environ Sci Technol*. 2005;39:8077-82.
  27. Zhang T, Cui C, Chen S, Yang H, Shen P. The direct electrocatalysis of *Escherichia coli* through electroactivated excretion in microbial fuel cell. *Electrochemistry Communications*. 2008;10(2):293-97.
  28. Bond DR, Lovely DR. Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes. *Appl Environ Microbiol*. 2003;69:1548-55.
  29. Allen RM, Bennetto HP. Microbial fuel cells—Electricity production from carbohydrates. *Appl Biochem Biotechnol*. 1993;40:27-40.
  30. Delaney GM, Bennetto HP, Mason JR, Roller HD, Stirling JL, Thurston CF. Electron-transfer coupling in microbial fuel cells: 2. Performance of fuel cells containing selected microorganism-mediator-substrate combinations. *J Chem Tech Biotechnol*. 1984;34B:13-27.
  31. Kim BH, Kim HJ, Hyun MS, Park DH. Direct electrode reaction of Fe (III) reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*. *J Microbiol Biotechnol*. 1990;9:127-31.
  32. Jang JK, Pham TH, Chang IS, Kang KH, Moon H, Choy S, Kim BH. Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell. *Process Biochemistry*. 2004;39(8):1007-12.
  33. Zhang T, Zeng Y, Chen S, Ai X, Yang H. Improved performances of *E. coli*-catalyzed microbial fuel cells with composite graphite/PTFE anodes. *Electrochemistry Communications*. 2007;9(3):349-53.
  34. Min B, Cheng S, Logan BE. Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells. *Water Res*. 2005;39(9):1675-86.
  35. Min B, Kim JR, Oh S, Regan JM, Logan BE. Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells. *Water Res*. 2005;39(20):4961-68.
  36. Chang IS, Jang JK, Gil GC, Kim M, Kim HJ, Cho BW, Kim BH. Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*. 2004;19(6):607-13.
  37. Pham CA, Jung SJ, Phung NT, Lee J, Chang IS, Kim BH, Yi H, Chun J. A novel electrochemically active and Fe(III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Aeromonas hydrophila*, isolated from a microbial fuel cell. *FEMS Microbiology Letters*. 2003;223(1):129-34.
  38. Kim BH, Chang IS, Gil GC, Park HS, Kim HJ. Novel BOD (biological oxygen demand) sensor using mediator-less microbial fuel cell. *Biotechnol Lett*. 2003;25:541-45.
  39. Matsunaga T, Karube I, Suzuki S. A specific microbial sensor for formic acid. *Eur J Appl Microbiol Biotechnol*. 1980;10:235-43.
  40. Kim BH, Park HS, Kim HJ, Kim GT, Chang IS, Lee J, Phung NT. Enrichment of microbial community generating electricity using a fuel cell type electrochemical cell. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2004;63(6):672-81.
  41. Habermann W, Pommer EH. Biological fuel cells with sulphide storage capacity. *Appl Microbiol Biotechnol*. 1991;35:128-33.
  42. Menicucci J, Beyenal H, Marsili E, Veluchamy RA, Demir G, Lewandowski Z. Procedure for determining maximum sustainable power generated by microbial fuel cells. *Environ Sci Technol*, 2006. 40: p. 1062-8.
  43. Venkata Mohan S, Mohanakrishna G, Srikanth S, Sarma P N. Harnessing of bioelectricity in microbial fuel cell (MFC) employing aerated cathode through anaerobic treatment of chemical wastewater using selectively enriched hydrogen producing mixed consortia. *Fuel*, 2008. 87(12): p. 2667-2676.
  44. Hong L, Haonan C S, and Bruce EL. Production



- of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell. *Environ. Sci. Technol.*, 2005. 39: p. 658-662.
45. Liu H, Cheng S, Logan BE. Production of electricity from acetate or butyrate using a single chamber microbial fuel cell. *Environ Sci Technol.* 2005;39(2):658-62.
  46. Logan BE, Murano C, Scott K, Gray N D, Head I M. Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell. *Water Res.* 2005;39(5):942-52.
  47. Chae KJ, Choi MJ, Lee JW, Kim KY, Kim IS. Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells. *Bioresource Technology.* 2009;100(14):3518-25.
  48. Zhang C, Li M, Liu G, Luo H, Zhang R. Pyridine degradation in the microbial fuel cells. *Journal of Hazardous Materials.* 2009;172(1):465-71.
  49. Li Z, Yao L, Kong L, Liu H. Electricity generation using a baffled microbial fuel cell convenient for stacking. *Bioresource Technology.* 2008;99(6):1650-55.
  50. Venkata Mohan S, Veer Raghavulu S, Sarma PN. Biochemical evaluation of bioelectricity production process from anaerobic wastewater treatment in a single chambered microbial fuel cell (MFC) employing glass wool membrane. *Biosensors and Bioelectronics.* 2008;23(9):1326-32.
  51. Aelterman P, Freguia S, Keller J, Rabaey K, Verstraete W. The anode potential regulates the bacterial activity in microbial fuel cells. *Commun Agric Appl Biol Sci.* 2008;73(1):85-89.
  52. Liu ZD, Li HR. Effects of bio- and abio-factors on electricity production in a mediatorless microbial fuel cell. *Biochemical Engineering Journal.* 2007;36(3):209-14.
  53. Park D, Zeikus JG. Impact of electrode composition on electricity generation in a single-compartment fuel cell using *Shewanella putrefaciens*. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2002;59:58-61.
  54. Gil GC, Chang IS, Kim BH, Kim M, Jang JY, Park HS. Operational parameters affecting the performance of a mediatorless microbial fuel cell. *Biosens Bioelectron.* 2003;18:327-34.
  55. Chang IS, Chang IS, Moon H, Jang JK, Kim BH. Improvement of a microbial fuel cell performance as a BOD sensor using respiratory inhibitors. *Biosens Bioelectron.* 2005;20:1856-59.
  56. Venkata Mohan S, Saravanan R, Raghavulu SV, Mohanakrishna G, Sarma PN. Bioelectricity production from wastewater treatment in dual chambered microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched mixed microflora: Effect of catholyte. *Bioresource Technology.* 2008;99(3):596-603.
  57. Jadhav GS, Ghangrekar MM. Performance of microbial fuel cell subjected to variation in pH, temperature, external load and substrate concentration. *Bioresource Technology.* 2009;100(2):717-23.
  58. 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 Journal.* 2005;27(1):59-65.
  59. Clauwaert P, Rabaey K, Aelterman P, Schampelaire LD, Pham TH, Boeckx P, Boon N, et al. Biological denitrification in microbial fuel cells. *Environ Sci Technol.* 2007;41:3354-60.
  60. Morris JM, Fallgren PH, Jin S. Enhanced denitrification through microbial and steel fuel-cell generated electron transport. *Chemical Engineering Journal.* 2009;153(1-3):37-42.
  61. Luo A, Zhu J, Ndegwa PM. Removal of carbon, nitrogen, and phosphorus in pig manure by continuous and intermittent aeration at low redox potentials. *Biosyst Eng.* 2002;82:209-15.
  62. Morris JM, Jin S, Crimi B, Pruden A. Microbial fuel

cell in enhancing anaerobic biodegradation of diesel.  
Chemical Engineering Journal. 2009;146(2):161-67.  
63. Morris JM, Jin S. Influence of NO<sub>3</sub> and SO<sub>4</sub> on

power generation from microbial fuel cells. Chemical  
Engineering Journal. 2009;153(1-3):127-130.

# **Electricity Production through Treatment of Simulated Wastewater of Food Industries Using Dual Chamber Microbial Fuel Cell (MFC) with Nafions Membrane**

**\*Malakootian M.<sup>1</sup>, Amin M. M.<sup>2</sup>, Jaafari Mansourian H.<sup>3</sup>, Jaafarzadeh N.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Environmental Health Research Center and Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

<sup>2</sup>Department of Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

<sup>3</sup>Department of Environmental Health Promotiom Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Sistan and Balouchestan, Iran

<sup>4</sup> Department of Environment Engineering, School of Public Health, Jondi Shapour University of Medical Sciences, Khouzeestan, Iran

Received; 07 June 2011 Accepted; 06 August 2011

## **ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Microbial fuel cells are the electrochemical exchangers that convert the microbial reduced power, generated via the metabolism of organic substrate, to electrical energy. The aim of this study is to find out the rate of produced electricity and also treatment rate of simulated wastewater of food industries using dual chamber microbial fuel cell (MFC) without mediator and catalyst.

**Materials and Methods:** MFC used in this study was consisted of two compartments including anaerobic anode chamber containing simulated food industries wastewater as synthetic substrate and aerobic cathode chamber containing phosphate buffer, respectively. These two chambers were separated by proton exchange membrane made of Nafion. Produced voltage and current intensity were measured using a digital ohm meter and the amount of electricity was calculated by Ohm's law. Effluent from the anode compartment was tested for COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>, P, TSS, VSS, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and alkalinity in accordance with the Standard Methods.

**Results:** In this study, maximum current intensity and power production at anode surface in the OLR of 0.79 Kg/m<sup>3</sup>.d were measured as 1.71 mA and 140 mW/m<sup>2</sup>, respectively. The maximum voltage of 0.422 V was obtained in the OLR of 0.36 Kg/m<sup>3</sup>.d. The greatest columbic efficiency of the system was 15% in the OLR of 0.18 Kg/m<sup>3</sup>.d. Maximum removal efficiency of COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>, P, TSS, VSS, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and alkalinity, were obtained 78, 72, 66, 7, 56, 49, 26 and 40%, respectively.

**Conclusion:** The findings showed that the MFC can be used as a new technology to produce electricity from renewable organic materials and for the treatment of different municipal and industrial wastewaters such as food industries.

**Keywords:** Electricity production, Wastewater treatment, Microbial fuel cell, Mediator, Catalyst, Biological battery

---

\*Corresponding Author: [m.malakootian@yahoo.com](mailto:m.malakootian@yahoo.com)  
Tel: +98 341 320 5074; Fax: +98 341 320 5105