

حذف سولفید از پساب با استفاده از فناوری جدید پیل سوختی میکربی و تولید همزمان انرژی پاک

پانید ایزدی^۱، مصطفی رحیم نژاد^۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- استادیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

نویسنده مسئول (۰۱۱۳) ۲۳۳۴۲۰۴ Rahimnejad@nit.ac.ir

(دریافت ۹۳/۵/۱۶ پذیرش ۹۳/۱۲/۲۱)

چکیده

تصفیه پساب به علت نقش و اهمیت آن مورد توجه پژوهشگران است. تصفیه پساب روش‌های متعددی دارد که معمولاً به‌زمان و هزینه زیادی نیاز دارند. پیل سوختی میکربی روشی نوین است که نگرش جدیدی را برای تولید جریان الکتریسیته و به‌طور هم‌زمان، تصفیه پساب ارائه داده است. سولفید، یون بسیار خطرناکی است که به‌طور متداول در پساب‌ها وجود دارد. در این پژوهش از این یون به‌عنوان دهنده الکترون در محفظه بی‌هوازی استفاده شد و حذف غلظت‌های مختلف آن در پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. افزایش سه غلظت سولفید، $0/1$ ، $0/8$ و $5/1$ گرم در لیتر به آنولیت بررسی شد. نتایج نشان داد نزدیک به ۹۸ درصد از سولفید موجود در محلول آندی هر سه پیل به‌ترتیب بعد از ۲۱ ساعت، ۶ روز و ۱۰ روز حذف شد. همچنین برای بررسی فعالیت الکتروشیمیایی میکروارگانسیم‌ها و اکسایش سولفید در محفظه کاتدی از ولتاژمتری چرخه‌ای استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه پساب، پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای، حذف سولفید

۱- مقدمه

آب استفاده می‌شود؛ به‌عبارت دیگر، از واکنش بین هیدروژن و اکسیژن، آب، حرارت و الکتریسیته تولید می‌شود [۵]. مزایایی مانند بازدهی بالا، تنظیم سیستم برحسب نیاز، سازگاری با قوانین محیط زیستی، انعطاف‌پذیری نسبت به سوخت، افزایش تولید و کاهش توزیع، عدم نیاز به تعمیر، توان بالا، قابل حمل و سبک بودن و چگالی انرژی بالا باعث شده که از پیل سوختی در زمینه‌های مختلف برای تولید انرژی مانند حمل و نقل، نیروگاه‌ها، وسایل الکترونیکی قابل حمل و صنایع نظامی استفاده شود [۶ و ۷]. لازم به ذکر است که قیمت بالای کاتالیست، خوردگی زیاد الکترولیت و شرایط سخت عملیاتی مانند دما و فشار بالا، عملکرد پیل‌های سوختی شیمیایی را با وجود بازده بالای آنها، تحت تأثیر قرار داده است [۷].

پیل سوختی میکربی دستگاهی است که انرژی بیوشیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. این پیل‌ها جایگزین مناسبی برای روش‌های متداول تولید الکتریسیته در مقیاس‌های کوچک هستند. اساس این نوع پیل‌ها به این صورت است که سوپسترا توسط میکروارگانسیم اکسید می‌شود و الکترون و پروتون تولید می‌نماید.

انرژی در زندگی و حیات انسان نقش مهمی ایفا می‌کند و رشد اقتصادی کشورها را تضمین می‌کند [۱]. در حال حاضر انرژی مورد نیاز دنیا بیشتر وابسته به سوخت‌های فسیلی است و تقریباً ۸۶ درصد انرژی دنیا از این سوخت‌ها تأمین می‌شود [۲]. اما سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت، تجدیدناپذیر است و در آینده با پایان یافتن ذخائر انرژی بروز می‌کند [۳]. همچنین احتراق سوخت‌های فسیلی به‌علت انتشار دی‌اکسید کربن اثرات منفی جدی بر محیط زیست دارد. نگرانی‌ها درباره تغییر اقلیم، افزایش نیاز جهانی به ذخایر نفت و گاز و کمبود انرژی، پژوهش‌ها را به سمت انرژی‌های نو برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی سوق داده است [۴].

انرژی الکتریکی تولید شده به‌وسیله پیل‌های سوختی از انرژی‌های نو به حساب می‌آید. پیل سوختی یک مبدل است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. این تبدیل مستقیم است و از آنجا که از تئوری چرخه کارنو تبعیت نمی‌کند از بازده بالایی برخوردار است. در این تبدیل از عمل عکس الکترولیز

میکروارگانیزم در محفظه آندی استفاده شد. همچنین تاثیر غلظت‌های مختلف سولفید به‌عنوان سوبسترا بر عملکرد پیل و حذف آنها مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

برای راه‌اندازی پیل از میکروارگانیزم‌های موجود در پساب به‌عنوان محیط کشت مخلوط در محفظه آندی از تصفیه‌خانه قائمشهر استفاده شد. برای ساخت تک سل پیل سوختی میکربی بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته از یک پیل دو قسمتی شامل بخش آند و کاتد (گرافیت، $40 \times 30 \times 2$ میلی‌متر) مجزا از هم استفاده شد که توسط یک غشای عبور دهنده پروتون (غشاء نفیون ۱۱۷، 30×30 میلی‌متر) از هم جدا شده بودند. غشاء انتخاب شده قبل از استفاده در پیل سوختی میکربی، در چهار مرحله مختلف تحت عملیات پیش فراوری قرار گرفت تا ناخالصی‌ها از روی نفیون حذف شود و خاصیت رسانایی مطلوب آن به‌دست آید. برای خالص‌سازی ابتدا نفیون در محلول ۳۰ درصد پراکسید هیدروژن به‌مدت یک ساعت جوشانده شد. پس از آن به‌مدت یک ساعت در آب جوش قرار گرفت و در مرحله بعد به‌مدت یک ساعت در اسید سولفوریک نیم مولار در حال جوش قرار داده شد و در مرحله آخر نیز به‌مدت یک ساعت در آب جوش قرار گرفت.

حجم داخلی هر کدام از محفظه‌ها ۷۵۰ میلی‌لیتر بود که توسط یک استوانه رابط به طول قطر $2/5$ سانتی‌متر به یکدیگر مرتبط شده بود. جنس به‌کار رفته هر یک از محفظه‌ها از نوع پلکسی‌گلس بود. دو محفظه توسط یک غشای عبور دهنده پروتون از جنس نفیون از هم تفکیک شده بودند. پیل با حجم کاری ۶۰۰ میلی‌لیتر معادل ۸۰ درصد از حجم محفظه آند به‌عنوان حجم کاری راه‌اندازی شد. محتویات محفظه آندی شامل بافر فسفات، ۴۰ میلی‌لیتر از میکروارگانیزم مخلوط تهیه شده و غلظت‌های مختلف سولفید $0/1$ ، $0/8$ و $1/5$ گرم در لیتر بود. نمای شماتیک پیل راه‌اندازی شده در شکل ۱ آمده است.

برای تزریق سولفید در محفظه آندی پیل، از سدیم سولفید ($Na_2S \cdot 9H_2O$) استفاده شد. برای ثابت ماندن pH از بافر فسفات $0/1$ مولار استفاده شد. برای ساختن بافر از پتاسیم فسفات (KH_2PO_4) و دی پتاسیم فسفات (K_2HPO_4) استفاده شد. این ترکیبات شیمیایی از شرکت مرک^۶ آلمان تهیه شد. واکنش‌های صورت گرفته در محفظه آند عبارت‌اند از:



⁶ Merck

الکترون‌های تولیدی از طریق یک مدار خارجی و پروتون‌ها از میان غشا به محفظه کاتدی منتقل می‌شوند [۸]. برخلاف پیل‌های سوختی شیمیایی، پیل‌های بیولوژیکی در شرایط ملایمی به‌عنوان مثال در دما و فشار محیط کار می‌کنند؛ همچنین در آنها به‌جای کاتالیست‌های گرانی مانند پلاتین از میکروارگانیزم استفاده می‌شود [۹]. پیل‌های سوختی میکربی می‌توانند علاوه بر تولید الکتریسته به‌طور هم‌زمان در تصفیه پساب نیز استفاده شوند. سولفید، یک آلاینده بی‌رنگ با بوی شبیه تخم مرغ گندیده است. مقدار قابل ملاحظه‌ای از این ماده در ارتباط با فعالیت‌های صنعتی از قبیل پالایش نفت، تصفیه فاضلاب، تصفیه گاز ترش، صنایع کاغذسازی و غیره تولید می‌شود. اخیراً به‌علت مشکلات حضور یون سولفید در پساب از قبیل بوی بسیار بد آن، اثرات سو بر سلامت انسان و اثر خوردگی بر بتن‌ها و دیگر مواد ساختمانی، حذف سولفید مورد توجه قرار گرفته است. حذف سولفید در پیل سوختی میکربی را بسیاری از پژوهشگران در دستور کار قرار داده‌اند. [۱۰]. این پژوهشگران بیان کردند که *آلکالیجنز*^۱ و *پاراکوکوس*^۲ باکتری‌های مهمی برای اکسایش سولفید هستند. سان و همکاران نشان دادند که بیوکاتالیست‌ها نقش مهمی در تولید الکتریسته در پیل سوختی میکربی تغذیه شده با سولفید با لجن بی‌هوازی دارند [۱۱]. در پژوهش دیگری، از باکتری *سودوموناس*^۳ در پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای برای حذف سولفید از پساب غنی از سولفید استفاده شده است [۱۰]. تولید جریان الکتریسته با اکسایش بیولوژیکی سولفید به عنصر سولفور توسط ژائو و همکاران در سال ۲۰۰۸ نیز بررسی شد [۱۲]. سولفیدها به گونه‌های مختلف سولفور اکسایش پیدا می‌کنند؛ با توجه به پتانسیل اکسایش - کاهش و در شرایط واکنش خاص، بیش از ۳۰ گونه مختلف تولید می‌شود. سولفید تحت شرایط استاندارد در پتانسیل حداقل بالاتر از $0/247$ - ولت در مقابل SHE^۴ به‌عنصر سولفور اکسایش پیدا می‌کند. افزایش پتانسیل بیشتر، سولفور را اکسید می‌کند. در پتانسیل‌های اکسایشی و کاهش‌ی بالاتر، فرم‌های اکسایش یافته بیشتری از سولفور مانند سولفیت و سولفات تولید می‌شوند. همچنین پلی‌سولفیدها تولید می‌شوند که نتیجه حضور سولفیدها و عنصر سولفور شکل گرفته میکروبیولوژی است [۱۳].

در این پژوهش، پیل سوختی میکربی دو محفظه‌ای برای تولید جریان الکتریسته راه‌اندازی شد. از محیط کشت مخلوط^۵ به‌عنوان

¹ *Alcaligenes sp.*

² *Paracoccus sp.*

³ *Pseudomonas sp. C27*

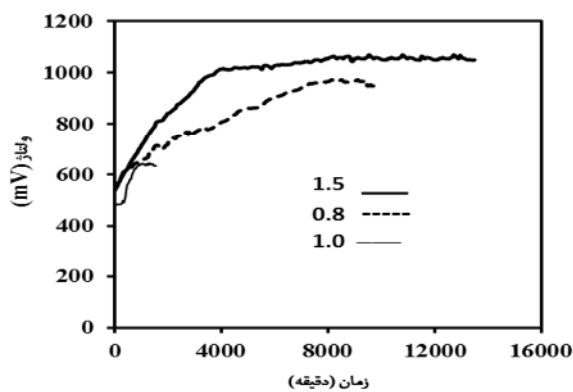
⁴ Standard Hydrogen Electrode (SHE)

⁵ Mixed Culture

که P توان تولیدی پیل است. همچنین جریان و توان تولیدی بر حسب مساحت سطح غشا نرمالیزه شد. از دستگاه پتانسیواست مدرن محصول هلند^۲ برای آنالیز ولتاژتری چرخه‌ای برای بررسی فعالیت الکتروشیمیایی محلول آندی در این پژوهش استفاده شد. برای اندازه‌گیری سولفید از روش الکتروشیمیایی ولتاژتری چرخه‌ای به وسیله دستگاه پتانسیواست استفاده شد و با رسم منحنی کالیبراسیون، غلظت سولفید در زمان‌های مشخص رسم شد.

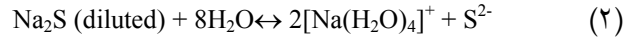
۳- نتایج و بحث

سه پیل سوختی میکروبی در شرایط ناپیوسته راه‌اندازی شد. از سولفید با سه غلظت متفاوت به‌عنوان سوبسترا استفاده شد. برای ثبت ولتاژ مدار باز سیستم، دیتالاگر پس از افزودن سولفید تنظیم شد (شکل ۲). ابتدا غلظت ۰/۸ گرم در لیتر سولفید بررسی شد. پس از افزودن سولفید، ولتاژ سیستم افزایش یافت و در روز پنجم به بیشترین مقدار خود (۹۶۰ میلی‌ولت) رسید و این مقدار تا روز ششم ادامه داشت. همچنین تأثیر افزایش غلظت‌های ۱/۵ گرم در لیتر و ۰/۱ به ترتیب به‌عنوان بیشترین و کمترین غلظت بررسی شد. مانند قبل با افزودن سولفید، ولتاژ سیستم به شدت افزایش یافته و بعد از ۷ روز به مقدار بیشینه ۱۰۷۰ میلی‌ولت و پس از ۱۴ ساعت به میزان ۶۴۵ میلی‌ولت رسید.

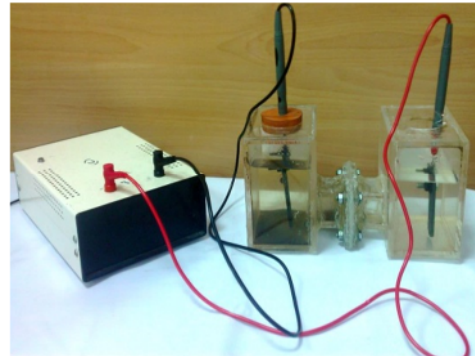


شکل ۲- ولتاژ مدار باز سه پیل با غلظت اولیه ۰/۱، ۰/۸ و ۱/۵ گرم در لیتر از سولفید

ولتاژ هر سه سیستم بعد از مدتی به مقدار ثابت رسید. مشاهده شد پیل با غلظت سولفید بیشتر، عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. برای مقایسه دقیق‌تر عملکرد و جریان تولیدی، پس از رسیدن پیل‌ها به شرایط ثابت و پایدار مقاومت ۱ کیلو اهم در مدارهای خارجی قرار داده شد (شکل ۳). جریان تولیدی در پیل با غلظت اولیه ۰/۸ گرم



واکنش محفظه آند



شکل ۱- نمای شماتیک پیل سوختی میکروبی دومحفظه‌ای

برای به دست آوردن جریان، از المان‌های مقاومتی در راستای ایجاد مقاومت‌های متغیر استفاده شد؛ زیرا این المان‌ها در دمای معمولی دارای یک مقاومت اهمی ثابت و پایدار و در ولتاژهای مختلف می‌باشند. در نتیجه، المان مقاومتی به دلیل نداشتن افت ولتاژ درون المان و نیز صفر بودن جریان ناشی، گزینه مناسبی برای ساخت دستگاه اندازه‌گیری است. در این روش برای قرار دادن بارهای مختلف مقاومتی روی پیل سوختی از ترکیب یک سیستم رله‌ای مقاومتی استفاده شد که می‌توان با سری کردن مقاومت‌های مختلف، بارهای مقاومتی دلخواه را ایجاد نمود و با قرار دادن آن روی پیل سوختی، اثر آن را مشاهده کرد. دستگاهی برای ثبت نتایج ولتاژ و جریان در پیل سوختی بیولوژیکی ساخته شد. برای ساخت آن ۱۵ مقاومت و ۱۶ رله مورد استفاده قرار گرفت. سیستم ساخته شده ۴۸ داده را دریافت می‌کرد و برنامه مورد استفاده برای ثبت نتایج، برنامه مطلب ویرایش ۷/۱ بود. جریان تولید شده به وسیله MFC در مقیاس آزمایشگاهی با اندازه‌گیری پتانسیل در عرض بار الکتریکی (مقاومت بیرونی R_{ext}) و با استفاده از رابطه

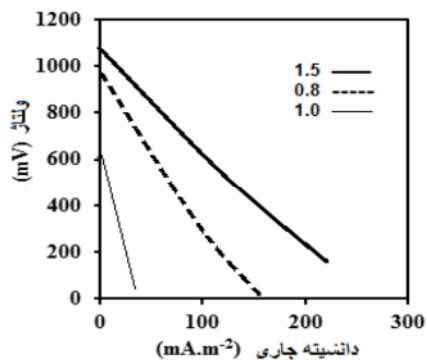
$$I = \text{EMFC} / R_{\text{ext}} \quad (۶)$$

$$P = I^2 R_{\text{ext}} \quad (۷)$$

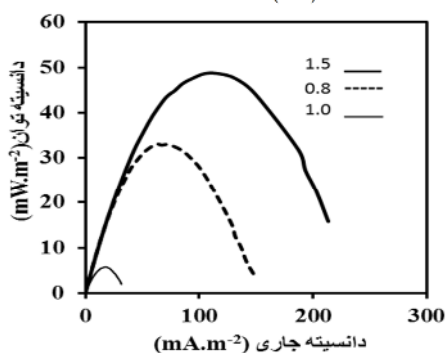
تولیدی نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد

² Ivium, Netherland

¹ MATLAB 7.1



(الف)



(ب)

شکل ۴- منحنی پلاریزاسیون (الف) و دانسیته توان (ب) در سه پیل با غلظت اولیه ۰/۱، ۰/۸ و ۱/۵ گرم در لیتر از سولفید

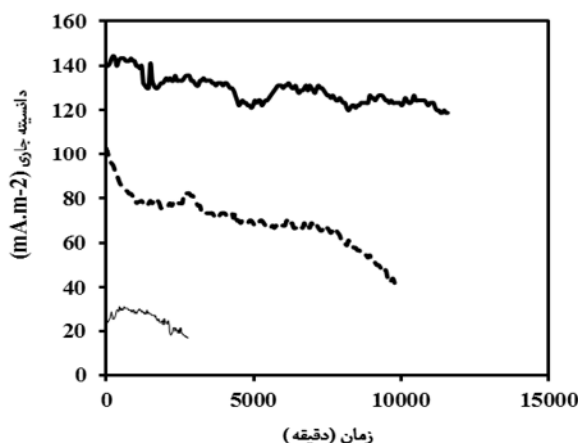
همان‌طور که از نتایج مشخص است، هرچه غلظت سولفید موجود در آنولیت بیشتر باشد، توان و جریان تولیدی بیشتر خواهد بود. این بهبود عملکرد به سبب افزایش واکنش‌های الکتروشیمیایی در غلظت‌های بالاتر سولفید است. این پدیده را نیز می‌توان با استفاده از ولتامتری چرخه‌ای اثبات کرد. تاکنون روش‌های ولتامتری مختلفی برای بررسی واکنش‌های الکتروشیمیایی گسترش یافته است که ولتامتری چرخه‌ای یکی از این روش‌ها است. این روش یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی انتقال الکترون از میکروارگانسیم‌ها، بیوفیلم و واسطه‌های انتقال الکترون از محیط آبی به سطح الکتروود است [۱۴ و ۱۵]. پتانسیواست‌های مدرن معمولاً از سه الکتروود استفاده می‌نمایند که شامل الکتروود کاری^۱، الکتروود مرجع^۲ و الکتروود کمکی^۳ است. الکتروودکاری الکتروودی است که در آن واکنش اصلی صورت می‌گیرد و پتانسیل اعمال شده بر روی این الکتروود با استفاده از الکتروود مرجع کنترل می‌شود و

¹ Working Electrode

² Reference Electrode

³ Auxiliary Electrode

در لیتر در ابتدا ۱۰۰ میلی‌آمپر بر مترمربع بود و سپس به مقدار ۸۰ میلی‌آمپر بر مترمربع کاهش یافت و به مدت ۳ روز در این شرایط باقی ماند. این مقدار در دو پیل با غلظت‌های اولیه ۱/۵ گرم در لیتر و ۰/۱ گرم در لیتر به ترتیب ۱۴۰ و ۳۰ میلی‌آمپر بر مترمربع بود. برای اندازه‌گیری توان تولیدی پیل، در مدت زمان‌های مشخص، مقاومت از مسیر مدار خارجی جدا شد و بعد از رسیدن به شرایط ثابت، از سیستم آزمون پلاریزاسیون گرفته شد. سپس مقاومت دوباره بر سر راه مدار قرار داده می‌شد. نوسان‌های مشاهده شده در منحنی‌ها به همین علت است. پس از رسیدن پیل‌ها به مقدار ثابت و بیشینه خود، آزمون پلاریزاسیون از سه سیستم تهیه شد و نمودار پلاریزاسیون و دانسیته توان در این شرایط رسم شد (شکل ۴). با توجه به شکل، دانسیته توان و جریان تولیدی در پیل‌هایی با غلظت اولیه ۰/۸، ۱/۵ و ۰/۱ گرم در لیتر به ترتیب ۳۲/۸۸، ۴۸/۶۵ و ۵/۷۷ میلی‌ولت بر مترمربع و ۱۴۷/۷۵، ۲۳۱/۴۷ و ۳۱/۶۳ میلی‌آمپر بر مترمربع بوده است. خلاصه نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۳- جریان تولیدی در سه پیل با غلظت اولیه ۰/۱، ۰/۸ و ۱/۵ گرم در لیتر از سولفید پس از قرار دادن مقاومت ۱ کیلو اهم در مدار خارجی

جدول ۱- شرایط به دست آمده با استفاده از غلظت‌های مختلف سولفید در پیل سوختی میکروبی

ولتاژ مدار مدار در شرایط پایدار (mV)	$I_{max} \text{ in } P_{max}$ (mA/m^2)	P_{max} (mW/m^2)	غلظت اولیه (g/L)
۹۶۰	۱۴۷/۷۵	۳۲/۸۸	۰/۸
۱۰۷۰	۲۳۱/۴۷	۴۸/۶۵	۱/۵
۶۵۴	۳۱/۶۳	۵/۷۷	۰/۱

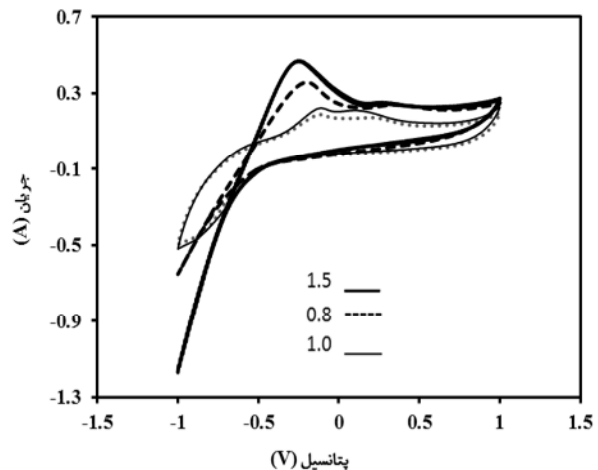
در پیل با غلظت اولیه ۰/۸ گرم در لیتر نزدیک به ۹۸ درصد سولفید تزریقی را حذف کرد. پایداری ولتاژ مدار باز پس از حذف کامل سولفید و همچنین افزایش دانسیته جریان می تواند به علت حضور باکتری های اکسنده سولفور در میکروارگانیسم مخلوط تصفیه خانه باشد. در پیل با غلظت اولیه ۱/۵ گرم در لیتر پس از اندازه گیری غلظت سولفید در روز دهم مشاهده شد که مقدار آن قابل چشم پوشی است و نزدیک به کل سولفید موجود در آنولیت حذف شد. همچنین با اندازه گیری غلظت سولفید در پیل با غلظت اولیه ۰/۱ گرم در لیتر مشخص شد که در ساعت بیست و یکم نزدیک به کل سولفید تزریقی در پیل حذف شد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، پیل سوختی میکروبی دو محفظه ای با استفاده از محیط کشت مخلوط تهیه شده از تصفیه خانه قائمشهر راه اندازی شد. تأثیر سه غلظت سولفید شامل ۰/۱، ۰/۸ و ۱/۵ گرم در لیتر بر عملکرد پیل و همچنین حذف و اکسایش آن در محفظه آندی بررسی شد. با توجه به نتایج حاصله مشاهده شد هرچه غلظت سولفید موجود در آنولیت بیشتر باشد، توان و جریان تولیدی پیل بیشتر خواهد بود. بیشترین توان برای سولفید در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر حاصل شد. غلظت ۰/۱ گرم در لیتر سولفید در آنولیت بعد از ۲۴ ساعت، ۰/۸ گرم در لیتر سولفید بعد از ۶ روز و غلظت ۱/۵ گرم در لیتر سولفید بعد از ۱۰ روز از محفظه آندی حذف شد. دانسیته توان و جریان بیشینه حاصله در پیل شامل ۱/۵ گرم در لیتر سولفید به ترتیب ۴۸/۶۵ میلی وات بر مترمربع و ۲۳۱/۴۷ میلی آمپر بر مترمربع بود.

الکتروود کمکی نیز برای تنظیم جریان مورد نیاز بر روی الکتروود کاری استفاده می شود.

شکل ۵ ولتاموگرام های تهیه شده از آنولیت این سه پیل در سه غلظت مختلف و همچنین پیل بدون سوبسترا را نشان می دهد. همان طور که در این شکل دیده می شود با افزایش غلظت سولفید از ۰/۱ به ۰/۸ گرم در لیتر و سپس به ۱/۵ گرم در لیتر، پیک حاصله در ولتاموگرام های رسم شده بیشتر و محسوس تر می شود.



شکل ۵- نمودار ولتامتری چرخه ای تهیه شده از آنولیت چهار پیل شامل میکروارگانیسم مخلوط تصفیه خانه بدون سوبسترا، پیل های با غلظت اولیه ۰/۱، ۰/۸ و ۱/۵ گرم در لیتر از سولفید، سرعت پویش در انجام آزمایش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه

با بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری سولفید به روش الکتروشیمیایی مشخص شد که در روز ششم، پیل سوختی میکروبی

۵- مراجع

- Lewis, N. S., and Nocera, D. G. (2006). "Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization." *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, 15729-15735.
- Logan, B. (2004). "Biologically extracting energy from wastewater: Biohydrogen production and microbial fuel cells." *Environ. Sci. Technol.*, 38, 160-167.
- Mohan, Y., and Das, D. (2009). "Effect of ionic strength, cation exchanger and inoculum age on the performance of Microbial Fuel Cells." *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, 7542-7546.
- Bard, A. J., and Faulkner, L. R. (1980). *Electrochemical methods: Fundamentals and applications*, Wiley, New York.
- Timmers, R. A., Strik, D. P., Hamelers, H. V., and Buisman, C. J. (2010). "Long-term performance of a plant microbial fuel cell with *Spartina anglica*." *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 86, 973-981.
- Palmer, I., Seymour, C. M., and Dams, R. A. (1995). Application of fuel cells to power generation systems. Google Patents, Patents number: 1540-1589.

7. Blomen, L. J., and Mugerwa, M. N. (1993). *Fuel cell systems*, Plenum Publishing Corporation, New York and London.
8. Allen, R. M., and Bennetto, H. P. (1993). "Microbial fuel-cells." *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 39, 27-40.
9. Rodrigo, M., Canizares, P., Lobato, J., Paz, R., Saez, C., and Linares, J. (2007). "Production of electricity from the treatment of urban waste water using a microbial fuel cell." *J. Power Sources*, 169, 198-204.
10. Lee, C.-Y., Ho, K.-L., Lee, D.-J., Su, A., and Chang, J.-S. (2012). "RETRACTED: Electricity harvest from wastewaters using microbial fuel cell with sulfide as sole electron donor." *Int. J. Hydrogen Energy*, 37, 15787-15791.
11. Sun, M., Mu, Z.-X., Chen, Y.-P., Sheng, G.-P., Liu, X.-W., Chen, Y.-Z., et al. (2009). "Microbe-assisted sulfide oxidation in the anode of a microbial fuel cell." *Environ. Sci. Technol.*, 43, 3372-3377.
12. Zhao, F., Rahunen, N., Varcoe, J. R., Roberts, A. J., Avignone-Rossa, C., Thumser, A. E., et al. (2009). "Factors affecting the performance of microbial fuel cells for sulfur pollutants removal." *Biosens. Bioelectron*, 24, 1931-1936.
13. Rabaey, K., Van de Sompel, K., Maignien, L., Boon, N., Aelterman, P., Clauwaert, P., et al. (2006). "Microbial fuel cells for sulfide removal." *Environ. Sci. Technol.*, 40, 5218-5224.
14. Cai, J., and Zheng, P. (2013). "Simultaneous anaerobic sulfide and nitrate removal in microbial fuel cell." *Bioresour. Technol.*, 128, 760-764.
15. Zhang, B., Zhao, H., Shi, C., Zhou, S., and Ni, J. (2009). "Simultaneous removal of sulfide and organics with vanadium (V) reduction in microbial fuel cells." *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 84, 1780-1786.