# رسوبات به‌عنوان منبع جدیدی از انرژی پاك برای تولید جریان الکتریسیته

مصطفی رحیم نژاد*، قاسم نجف‌پور، زهرا نجف‌قلی؛
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مهندسی شیمی،
آزمایشگاه تحقیقاتی سوخت‌های زیستی و انرژی تجدیدپذیر

## چکیده

استفاده از پیل‌های سوختی رسوبی از روش‌های نوین تولید الکتریسیته پاک است و طیف متنوعی از مواد آلی موجود در رسوبات را تبدیل به جریان الکتریسیته می‌کنند. در این تحقیق از چهار منبع رسوبی مختلف دریا، حوضچهٔ پرورش ماهی، چشمهٔ محلی و رودخانهٔ محمودآباد به‌عنوان مولد جریان الکتریسته استفاده شده است. از گرافیت به‌عنوان الکترود در محفظه‌های آند و کاتد پیل‌های سوختی رسوبی استفاده شد. کم‌ترین میزان توان به‌دست آمده در ارتباط با رسوبات حوضچهٔ پرورش ماهی است به‌طوری‌که بیشینهٔ ولتاژ مدار باز برای آن برابر با ۳۱۰mV است. رسوبات حاصل از رودخانه در مقایسه با سایر رسوبات استفاده شده دارای بیش‌ترین دانسیته توانی برابر با $mw/m^2$ ۳۷/۰۹ از خود نشان داده است. این پیل ولتاژ مدارباز ۷۴۰ میلی‌ولت دارد و به‌مدت ۱۲روز نیز کاملاً پایدار است.

## مقدمه

منابع انرژی قدیمی، سوخت فسیلی و برق حاصل از شکافت هسته‌ای، عملاً بر چگونگی سیستم عرضه انرژی در جهان امروز تسلط دارند. ولی وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی فسیلی به‌خصوص نفت و گاز و به‌کارگیری و مصرف بی‌رویهٔ آن‌ها ممکن است منابع عظیمی که طی قرون متمادی در لایه‌های زیرزمینی شکل گرفته است را تخلیه کنند [۱]، [۲]. با توجه به محدودیت منابع انرژی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از این آلاینده‌ها، لزوم استفاده از روش‌های تبدیل انرژی با راندمان بیش‌تر و همچنین استفاده از سوخت‌هایی که آلوده کننده نبوده و امکان تولید آن از منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر ممکن باشد اهمیت دارد [۳].

پیل‌های سوختی میکروبی[۱] در دههٔ اخیر در میان خانوادهٔ پیل‌های سوختی ظاهر شده‌اند [۴]. هر چند فعالیت بیوالکتروشیمیایی آن‌ها در مقایسه با انواع پیل‌های سوختی شیمیایی خالص مانند پیل‌های سوختی دارای غشای تبادل پروتون برای اولین بار به‌وسیلهٔ پوتر [۵] در آغاز قرن بیستم تشریح شد، دانسیتهٔ توان تولیدی MFCها کم است [۶] . اما این‌گونه پیل‌ها مزایایی نظیر دمای عملیاتی کم، ساختار ساده، زیست‌پذیری، منابع سوختی ارزان و گسترده دارند که توجه دانشمندان زیادی را به‌خود جلب کرده است.

**واژه‌های کلیدی:** پیل سوختی رسوبی، انرژی پاك، جریان اکتریسیته، دانسیته توان
دریافت ۹۳/۳/۲۱ پذیرش ۹۳/۹/۱٦

*نویسنده مسئول Rahimnejad@nit.ac.ir

۱. Microbial Fuel Cell (MFC)



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

پیل سوختی میکروبی می‌تواند الکتریسیته را به‌طور مستقیم از اکسیداسیون باکتریایی مواد آلی مانند گلوکز و استات [۷]، [۸] یا گونه‌های غیرآلی مانند سولفیدها [۹]، [۱۰] تولید کند. ریمرز و همکاران نشان دادند [۱۱] اجتماعات میکروبی که به‌طور طبیعی در رسوبات دریایی وجود دارند قادر به تولید جریان الکتریسیته‌اند. پیل‌های سوختی میکروبی رسوبی شامل آندی مقاوم در برابر خوردگی اما رسانا مانند میلهٔ گرافیتی دفن شده در رسوب بی‌هوازی دریایی و کاتدی ساخته شده از صفحات گرافیتی یا فیبرهای کربن معلق در آب حاوی اکسیژن روی لایه بالایی است. الکترون‌های آزاد شده به‌وسیلهٔ تجزیهٔ باکتریایی مواد آلی از طریق مداری خارجی از آند به سمت کاتد جریان می‌یابد در حالی که پروتن‌ها از میان رسوبات به‌سمت کاتد حرکت می‌کنند. سپس الکترون‌ها و پروتون‌ها بر روی سطح الکترود کاتد با اکسیژن موجود در محلول، واکنش داده و به آب تبدیل می‌شوند. جوامع میکروبی که در پیل‌های سوختی میکروبی رسوبی توان تولید می کنند معمولاً از ردهٔ باکتری کاهش‌دهندهٔ آهن III و در خانواده *ژئوباکتر* طبقه‌بندی می‌شوند [۱۲]. گونهٔ میکروارگانیزم به‌شدت وابسطه به منبع تولید انرژی نیز بستگی دارد به‌طوری‌که گونهٔ *دی‌سولفوموناس* گونهٔ غالب در پیل‌های سوختی رسوبات دریایی است در حالی که گونه‌های ژئوباکتر بیش‌تر در رسوبات آب‌های شیرین نفوذ دارند [۱۳]. میکروارگانیسم‌ها در محیط‌های آنوکسیک زیرآبی (رسوبات) که غنی از مواد آلی هستند ساکنند و نقش تولید الکترون را انجام می‌دهند. از پیل سوختی میکروبی رسوبی می‌توان به‌مدت نامحدودی استفاده کرد زیرا بار آلی موجود در رسوبات به‌طور پیوسته به‌وسیلهٔ طبیعت جای‌گزین می‌شود [۱۴].

پیل‌های سوختی رسوبی به‌عنوان روشی نوین برای تولید هم‌زمان الکتریسیته و تصفیهٔ رسوبات آلوده استفاده می‌شوند [۱]. توان خروجی این پیل‌ها به‌دلیل سرعت انتقال جرم کم درون رسوب، و هم‌چنین مقاومت درونی زیاد، پایین است. اسکات[۱] و همکاران نیز زمانی که توان حاصل از رسوبات دریای شمال، سواحل شمال شرق انگلستان را با استفاده از کاتدها و آندهای مختلف بررسی کردند. بسته به نوع کاتد یا آند توان‌هایی در فاصلهٔ ۰/۲-۶۲$mW/m^2$ به‌دست آوردند [۱۵]، [۱۶]. هم‌چنین آن و همکاران توانستند از دریای مایودو دونگ شهر یئوسو کشور کره در ۷۵۰ mV توان ۹$mW\ m^{-2}$ را به ثبت برسانند.

در سال‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا تحقیقات گسترده‌ای بر پتانسیل اکوسیستم‌های مختلف، فاکتورهای تأثیرگذار بر عمل‌کرد پیل‌های سوختی و هم‌چنین بحث کاربردی و تجاری‌سازی این تکنولوژی در حال انجام است. هدف از انجام این تحقیق بررسی چندین اکوسیستم مختلف برای تعیین بهترین اکوسیستم آبی از نظر دانسیتهٔ توان و جریان تولیدی به‌منظور استفاده در پیل‌های سوختی میکروبی رسوبی است.

۱. Scott



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

## مواد و روش‌ها

### انتخاب رسوب مناسب

از آن‌جا که منبع مولد توان و بیوکاتالیست‌های موجود در آن یکی از عوامل مهم بر دانسیتهٔ توان و جریان تولیدی است در ابتدا اقدام به شناسایی مناسب‌ترین منبع مولد توان شد. نمونه‌های رسوب از چهار اکوسیستم مختلف با رسانایی‌های مختلف از جمله: رودخانه محمودآباد (واقع در شهرستان محمودآباد (۳۶/۵۲،۶۳۴۲۲۱/۲۵۹۵۹۲)، ساحل محمود آباد (۳۶/۶۳۶۹۸۵,۵۲/۲۶۱۷۴۸)، چشمه آب شیرین (واقع در شهرستان آمل، روستای نظام آباد (۳۶/۴۴۰۶۲۷,۵۲/۴۷۲۲۵۳) و استخر خاکی پرورش ماهی گرم آبی کپور (واقع در شهرستان آمل، روستای نظام‌آباد (۳۶/۵۲،۴۴۵۴۶۵/۴۶۸۱۲۳) جمع‌آوری و پس از بررسی‌های مختلف بهترین منبع انتخاب شد.

### شرایط آزمایش

آزمایش‌های انجام شده در فصول مختلف سال و در شرایط متفاوت آب و هوایی انجام شده و هیچ‌گونه بررسی و کنترل دمایی بر سیستم‌ها اعمال نشد. آزمایش‌ها در آزمایشگاه و در دمای اتاق انجام گرفت. برای جبران آب‌های تبخیر شده در سمت کاتد پیل‌های ساخته شده در طول عملیات هر روز آب مقطر به‌طور دستی به‌نحوی که در شکل لایه‌های رسوب تغییری ایجاد نشود به سیستم افزوده می‌شد تا pH، رسانایی، شوری و اکسیژن حل شده (DO) ثابت نگه داشته شود. برای بررسی پتانسیل بالقوه نمونه‌های جمع‌آوری شده رسوب و میکروارگانیسم‌های بومی در تولید الکتریسیته بیوشیمیایی از هیچ سوبسترا و یا ماده مغذی افزودنی دیگر استفاده نشد و هیچ میکروب کشت داده شده‌ای به محیط رسوبات تلقیح نشد.

### طراحی، ساخت و راه‌اندازی پیل سوختی میکروبی رسوبی

اساس کار پیل سوختی بدین‌صورت است که سوخت به آند و اکسیژن (اکسیدانت) به کاتد تزریق می‌شود. هر اتم هیدروژن، یك پروتون و یك الکترون دارد که با از دست دادن الکترون در آند به پروتون ($H^+$) تبدیل می‌شود به این ترتیب قابلیت عبور از رسوب را به‌دست می‌آورد (الکترون‌ها نمی‌توانند از رسوب عبور کنند). $H^+$ از رسوب عبورکرده و الکترون‌ها از طریق اتصال خارجی به کاتد می‌رسند. در کاتد، الکترون‌ها، اکسیژن جذب شده روی کاتد، و پروتون‌ها با هم ترکیب شده تشکیل آب می‌دهند.

#### ۱. کاتد و آند

در تمامی آزمایش‌های از صفحات گرافیتی (ENTEGRIS, INC. FCBLK- ۵۰۸۳۰۵-۰۰۰۰۴ USA USA) به‌دلیل انتقال خوب الکترون‌ها، ارزان بودن و پایداری مناسب استفاده شد. اندازهٔ الکترودها در آزمایش‌های مختلف متفاوت است که در هر آزمایش مقدار آن بیان شده است. اما فاصلهٔ بین الکترود آند و کاتد



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

ثابت و برابر ۵ سانتی‌متر است. حذف اکسیژن سبب بهبود انتقال الکترون با باکتری به آند می‌گردد و گاز اکسیژن سبب بهبود عمل اکسیداسیون می‌شود. در نتیجه بهتر آن است تا آند در شرایط بی‌هوازی و کاتد نیز در شرایط هوازی عمل کند تا بتوان شدت جریان بیش‌تری را از سیستم دریافت کرد. جنس الکترودها نیز تأثیر به‌سزایی در بازدهٔ پیل‌های میکروبی خواهد داشت. بدیهی است که استفاده از الکترودهای بهتر عمل‌کرد پیل‌های میکروبی را بهبود می‌بخشد. زیرا مواد مختلف پلاریزاسیون‌های اکتیواسیون متفاوتی دارند.

**۲. سیستم انتقال جریان**

در آزمایش‌های صورت گرفته از بند اهم‌متر به‌عنوان مدار خارجی استفاده شد. برای قابل اتصال بودن آن‌ها به الکترود سر بند اهم‌متر به کاپشو ۶/۵-۵/۵ لحیم شده سپس با استفاده از پیچ و مهره‌ها استیل (ساخت کشور تایوان) به الکترودها متصل شدند. همچنین محل اتصال نیز با چسپ اپوکسی پوشش داده شد تا از خوردگی جلوگیری به‌عمل آید.

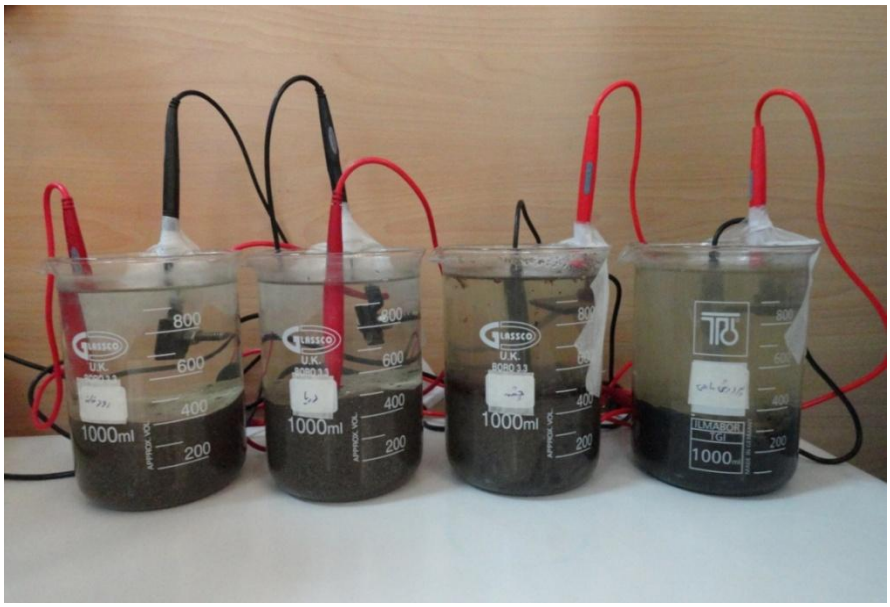
**۳. پیل سوختی میکروبی رسوبی و شرایط آزمایش**

پس از راه‌اندازی پیل‌ها برای اندازه گیری جریان و ولتاژ و همچنین انجام تست‌های پلاریزاسیون و دانسیتهٔ توان بندهای اهم‌متر به دیتالاگری که متصل به کامپیوتر است وصل می‌شدند. فاصلهٔ الکترودها در این پیل از یک‌دیگر ۵ سانتی‌متر است. در مرحلهٔ نخست بهترین منبع رسوب برای تولید توان شناسایی شد. در ادامه، آزمایش‌ها در دو گروه رسوب‌های رودخانه و رسوب‌های دریا دسته‌بندی شد. برای افزایش توان تولیدی از پیل رودخانه، هوادهی کاتولیت و همچنین افزایش رسانایی آن با دو نوع نمک مختلف بررسی شد. برای کاربردی کردن پیل سوختی رسوبی و خارج کردن آن از فاز آزمایشگاهی بقیهٔ آزمایش‌ها با منبع رسوب‌های دریا انجام شدند. بهبود عمل‌کرد پیل‌های ساخته شده از رسوب‌های دریا با استراتژی آشفته کردن کاتولیت، دفن آند در عمق مناسب و همچنین به‌کارگیری بیوکاتد بررسی شد. به‌منظور جلوگیری از خطای آزمایش و قابل اطمینان بودن نتایج به‌دست آمده، آزمایش‌ها در دو یا سه نسخه مشابه انجام شده است.

با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت منبع رسوبات مختلف و تفاوت آن‌ها در توانایی تولید و انتقال الکترون، مقاومت سطحی و سرعت واکنش کاتدی و آندی، انتخاب منبع رسوب مناسب تأثیر به‌سزایی در بازدهٔ پیل سوختی رسوبی دارد. در این تحقیق پتانسیل بالقوه اکوسیستم‌های مختلف شامل: رودخانهٔ محمودآباد (واقع در شهرستان محمودآباد) ، ساحل محمودآباد ، چشمهٔ آب شیرین (واقع در شهرستان آمل) و یک استخر پرورش‌ماهی خاکی (واقع در شهرستان آمل) بررسی شد. شکل ۱ پیل‌های سوختی رسوبی ساخته شده برای تولید توان الکتریکی از اکوسیستم‌های گوناگون را نشان می‌دهد.



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]




**شکل۱. پیل‌های سوختی رسوبی راه اندازی شده با ۴ اکوسیستم مختلف در آزمایشگاه**

**اندازه‌گیری جریان و ولتاژ**

برای به‌دست آوردن جریان از المان‌های مقاومتی برای ایجاد مقاومت‌های متغیر استفاده شده است. المان مقاومتی معمولی یك مقاومت اهمی ثابت و پایدار (در دمای معمولی) و در ولتاژهای مختلف دارد. در نتیجه، المان مقاومتی به‌دلیل نداشتن افت ولتاژ درون المان و نیز صفر بودن جریان نشتی، گزینهٔ مناسبی برای ساخت دستگاه اندازه‌گیری است. در این روش برای قرار دادن بارهای مختلف مقاومتی روی پیل سوختی از ترکیب یك سیستم رله‌ای مقاومتی استفاده شده است که می‌توان با سری کردن مقاومت‌های مختلف، بارهای مقاومتی دل‌خواه را ایجاد کرد 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 از ۱۵ مقاومت و ۱۶ رله استفاده شده است. سیستم ساخته شده توانایی گرفتن ۴۸ داده را دارد و برنامهٔ استفاده شده برای ثبت نتایج، برنامهٔ مطلب[1] ویرایش ۷/۱ است.

**۱. قرار دادن مقاومت روی پیل سوختی**

برای به‌دست آوردن نمودار ولتاژ- جریان، باید مصرف‌کننده یا مقاومت روی آن قرارگیرد. برای این کار سیستمی مقاومتی و رله‌ای از ۱۵ مقاومت مختلف و ۱۶ رله استفاده شده است. مقاومت‌ها طوری انتخاب شده‌اند که بتوانند مقاومت‌هایی در بازهٔ حدود ۸۷۷ کیلواهم تا ۱۰۰ اهم را به فاصلهٔ ۱۰۰ اهم از یك‌دیگر ایجاد کند. یعنی می‌توان بیش از ۸۰۰۰ نقطه بار مقاومتی ایجاد کرد و نمودار V-I را به‌دست آورد که در این مدار (بر حسب نیاز)، ۴۸ مقاومت مختلف برای به‌دست آوردن نمودار V-I استفاده شده است. مقاومت‌های انتخاب شده به‌ترتیب ۰/۱، ۰/۲۲، ۰/۳۹، ۰/۸، ۱، ۲/۲، ۳/۹، ۸، ۱۰، ۲۲، ۳۹، ۸۰، ۱۰۰، ۲۲۰، ۳۹۰ (kΩ) است.

۱. MATLAB 7.1



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

از ۱۵ رله برای قطع یا وصل کردن هر مقاومت به‌صورت مستقل و یك رله برای قطع و وصل کل مقاومت روی پیل سوختی استفاده شده است. از بیشینهٔ مقاومت موجود برای اندازه‌گیری ولتاژ مدار باز سیستم استفاده می‌شد و هنگامی که پیل به شرایط کاملاً پایدار خود رسید یعنی دیگر نوسانی در ولتاژ تولید شده مشاهده نشد ، از پیل تست پلاریزاسیون گرفته شد.

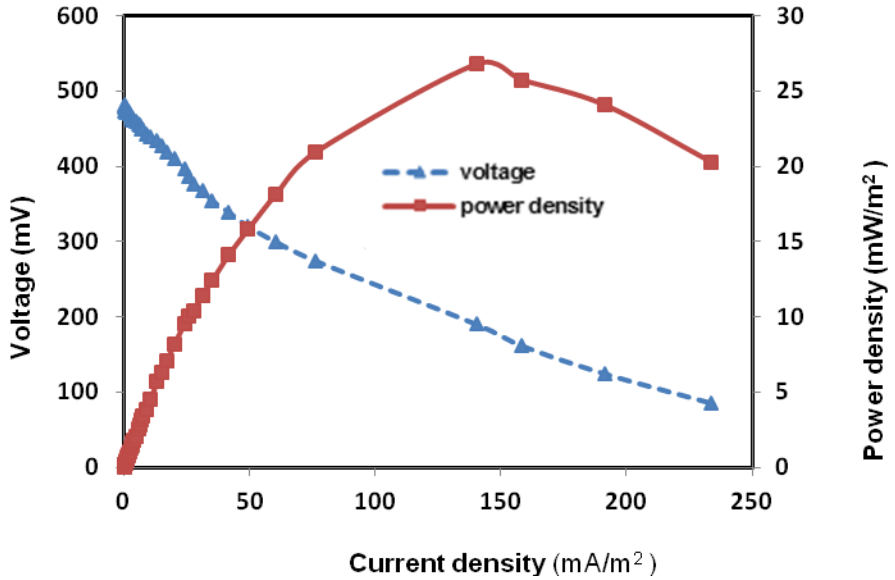
**۲. محاسبهٔ جریان مصرف شده**

ساخت یك آمپرمتر در حد میکرو آمپر پیچیده است و به‌دلیل کاربرد بسیار کم آن در الکترونیك، کاربرد بسیار محدودی دارند. اما در این طرح با روشی ساده جریان اندازه‌گیری می‌شود. محاسبهٔ جریان در این طراحی به این صورت است: بارهای مقاومتی که آن‌ها را به‌عنوان مقاومت اهمی روی پیل سوختی قرار می‌دهیم، قبلاً اندازه‌گیری شده و مقدار دقیق آن برای ما مشخص است. با اندازه‌گیری ولتاژ پیل سوختی در این حالت و استفاده از رابطهٔ ساده I=V/R، می‌توان جریان کشیده شده از پیل سوختی را محاسبه کرد.

## نتایج

اخیراً پیشرفت‌های چشمگیری برای افزایش جریان خروجی ازسیستم‌هایی رسوبی حاصل شده است، اما برای تولید برق بهینه درمقیاس‌های بزرگتر و همچنین به‌کارگیری منابع مختلف تولیدکننده آن توجه بیشتری نیاز است. در این بخش نتایج مربوط به عمل‌کرد پیل‌های سوختی رسوبی به‌کار گرفته در این تحقیق ارائه شده است.

در مرحلهٔ آغازین رسوب‌های دریا به‌عنوان مولد جریان استفاده شد. شکل ۲ دانسیتهٔ جریان و توان الکتریکی پیل مذکور را پس از ۴ روز از شروع آزمایش‌ها و رسیدن ولتاژ به شرایط پایدار نشان می‌دهد.



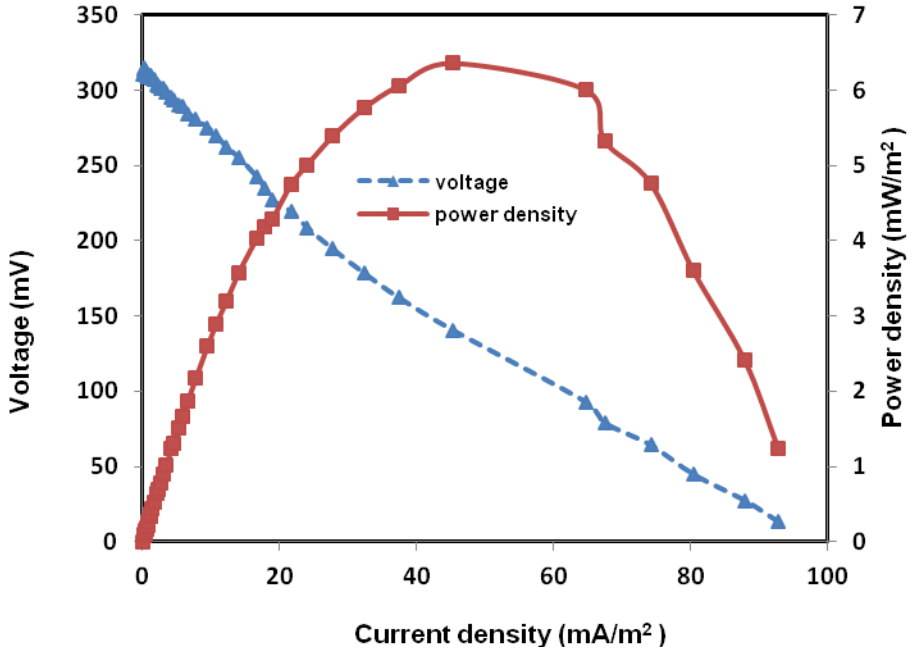

**شکل ۲. منحنی پلاریزاسیون و دانسیتهٔ توان تولید شده پیل سوختی رسوبی حاصل از رسوبات دریای مازندران**

این پیل بیشینهٔ دانسیتهٔ توان ۲۶/۷۷ mW/m۲ و بیشینهٔ دانسیتهٔ جریان ۲۳۳/۶۸mA/m۲ را تولید کرده است.



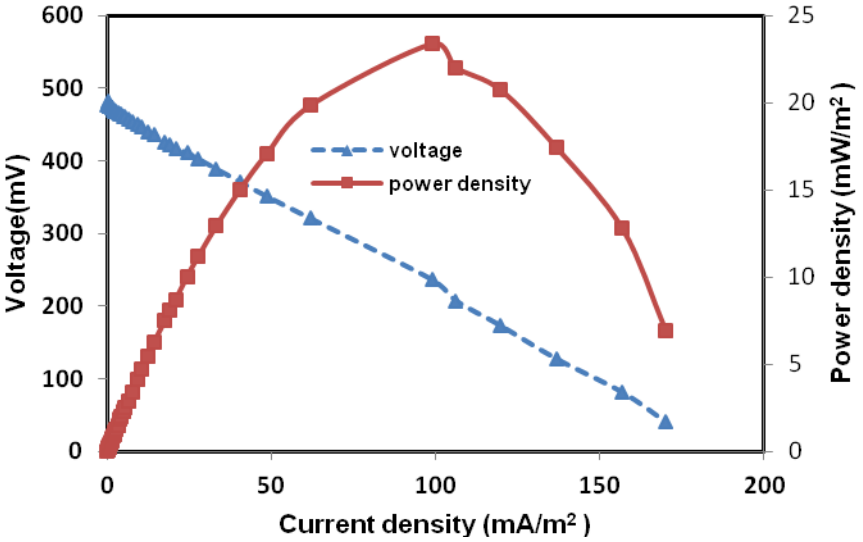
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

دومین منبع مولد جریان آزمایش شده، پیل سوختی رسوبی حاصل از رسوبات پرورش ماهی است. ولتاژ اولیه پیل حدود ۳۱ mV است و پس از گذشت چهار روز به بیشینهٔ (۳۱۰mV) خود رسید. بیشینهٔ دانسیتهٔ توان و جریان الکتریکی آن به‌ترتیب ۶/۳۶ mW/m$^2$ و ۹۲/۸۰mA/m$^2$ است (شکل۳).




**شکل ۳. منحنی پلاریزاسیون و دانسیتهٔ توان پیل سوختی رسوبی حاصل از رسوبات استخر پرورش ماهی خاکی**

رسوبات حاصل از چشمه نیز به‌عنوان منبع تولید انرژی استفاده شد و نتایج حاصل در شکل۴ ارائه شده است. پیل سوختی رسوبی چشمه ولتاژ اولیه مدار بازی برابر ۹۸mV را نشان داد در طی زمان بیش‌تری نسبت به دو پیل قبلی (۶ روز ) به بیشینهٔ ولتاژ رسید و نیز به‌مدت ۴ ساعت در بیشینهٔ ولتاژ باقی ماند. بیشینهٔ دانسیته توان و جریان، تولید شده با این پیل به‌ترتیب ۲۳/۳۹ mW/m$^2$ و ۱۶۵/۹۵ mA/m$^2$ است (شکل۴).

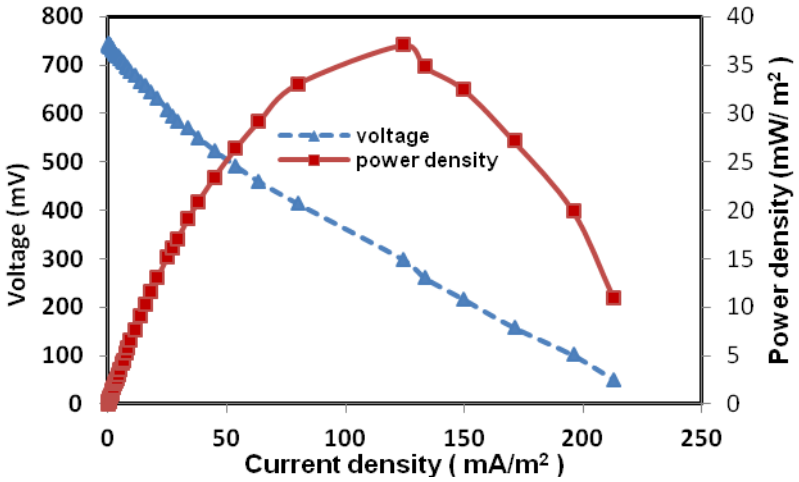



**شکل ۴. منحنی پلاریزاسیون و دانسیتهٔ توان پیل سوختی رسوبی حاصل از چشمه**



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

آخرین منبع استفاده شده، رسوبات حاصل از روخانهٔ محمودآباد است. پیل سوختی رسوبی مربوط به رودخانه با ولتاژ مدار باز اولیه ۵۲mV شروع به‌کار کرد. طی مدت زمان ۶ روز نیز به بیشینهٔ ولتاژ ۷۴۰/۴۱mV رسید و به‌مدت ۶ ساعت در حالت بیشینه خود قرار داشت و توانست بیشینهٔ توان ۳۷ mW/m$^{۲}$ و بیشینه جریان ۲۱۳/۰۵ mA/m$^{۲}$ را تولید کند. نتایج حاصل از این پیل در شکل ۵ ارائه شده است




**شکل ۵. منحنی پلاریزاسیون و دانسیتهٔ توان تولید شده بر اساس دانسیته جریان برای پیل سوختی رسوبی حاصل از رسوبات رودخانه محمودآباد**

نتایج مربوط به چهار اکوسیستم مختلف استفاده شده در این تحقیق به‌طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. با وجود ولتاژ بسیار بیش‌تر پیل رودخانه نسبت به پیل دریا توان تولیدی آن به‌مقدار کمی از پیل دریا بیش‌تر بود.

در تحقیقی که تندر و همکارانش [۱۳] در رودخانهٔ پتوماک در واشنگتن انجام دادند توان حاصل از SMFC آن‌ها در ۳۵۰V حدود ۲۴mW/m$^{۲}$ اندازه‌گیری شد. مقدار توان اندک به‌دست آمده به‌سبب ولتاژ تولیدی کم‌تر بود.

پیل سوختی رسوبی پرورش‌ماهی در مقایسه با چشمه، رودخانه و دریا بیشینهٔ دانسیته توان تولیدی کم‌تری را نشان داد و همچنین در مدت زمان کم‌تری در این مقدار باقی ماند. مقادیر کم مواد آلی موجود در رسوب این اکوسیستم‌ها و همچنین مواد محلول موجود در آب لایه‌رویی آن که در انتقال الکترون نقش دارند، از دلایل این مشاهده است.

**جدول۱. ولتاژ مدار باز سیستم و مدت پایداری آن**

| اکوسیستم | دریا | پرورش ماهی | چشمه | رودخانه |
|---|---|---|---|---|
| ولتاژ اولیه (mV) | ۱۹۸ | ۳۱ | ۹۸ | ۵۲ |
| بیشینه ولتاژ (mV) | ٤٧٤ | ۳۱۰ | ٤٧٦ | ٧٤٠ |
| بیشینهٔ دانسیته جریان (mA/m$^2$) | ۱۵۲/٤ | ٤٦/٧ | ۱۰۸/۱ | ۱٤۹/٧ |
| بیشینه دانسیته توان (mW/m$^2$) | ٢٦/٧٧ | ٦/٣٨ | ٢٣/٣٩ | ٣٧/٠٩ |
| مدت زمان پایداری در بیشینه ولتاژ(hr) | ٢٠ | ٢ | ٤ | ٦ |



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

## نتیجه‌گیری

از چهار منبع رسوبی مختلف در شرایط کاملاً یك‌سان در پیل سوختی میکروبی رسوبی برای تولید جریان الکتریسیته استفاده شد. پس از انجام تست‌های الکتریکی نتایج نشان داده است که رسوبات حاصل از رودخانه محمودآباد بیش‌ترین دانسیتهٔ جریان وتوان را تولید کرده است. بیشینه ولتاژ تولید شده در تمامی پیل‌های آزمایش شده برابر ۷۴۰ میلی‌ولت است که از رسوبات حاصل از رودخانه به‌دست آمده است. همچنین این ولتاژ تولیدی، ولتاژ پایداری برای مدت ۱۲ روز است.

## منابع


1. Z. Yan, N. Song, H. Cai, J. H. Tayand, H. Jiang, "Enhanced degradation of phenanthrene and pyrene in freshwater sediments by combined employment of sediment microbial fuel cell and amorphous ferric hydroxide", Journal of Hazardous Materials, 199–200 (2012) 217-225.
2. M. Rahimnejad, A. A. Ghoreyshi, G. Najafpourand, T. Jafary, "Power generation from organic substrate in batch and continuous flow microbial fuel cell operations", Applied Energy, 88 (2011) 3999-4004.
3. L. Voggu, S. Schlag, R. Biswas, R. Rosenstein, C. Rauschand, F. Gotz, "Microevolution of cytochrome bd oxidase in staphylococci and its implication in resistance to respiratory toxins released by Pseudomonas", Journal of Bacteriology, 188 (2006).
4. M. Rahimnejad, G. Bakeri, G. Najafpour, M .Ghasemiand, S. E. Oh, "A review on the effect of proton exchange membranes in microbial fuel cells", Biofuel Research Journal (2014) 1-7.
5. M. Potter, "Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds", Proceedings of the Royal Societyof London Series B, Containing Papers of a Biological Character, 84 (1911) 260-276.
6. K. Rabaey, N. Boon, S. Siciliano, M. Verhaegeand, W. Verstraete, "Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer", Applied and environmental microbiology, 70 (2004).
7. R. M. Allenand, H. P. Bennetto, "Microbial fuel-cells, Applied Biochemistry and Biotechnology", 39 (1993) 27-40.
8. M. Ghasemi, W. R. W. Daud, M. Rahimnejad, M. Rezayi, A. Fatemi, Y. Jafari, et al., "Copper-phthalocyanineand nickel nanoparticles as novel cathode catalysts in microbial fuel cells", International Journal of hydrogen energy (2013).




[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

9. K. Rabaey, K. Van de Sompel, L. Maignien, N. Boon, P. Aelterman, P. Clauwaert, et al., "Microbial Fuel Cells for Sulfide Removal", Environ Sci Technol, 40 (2006) 5218-5224.
10. P. Izad, M. Rahimnejad, "Simultaneous electricity generation and sulfide removal via a dual chamber microbial fuel cell", Biofuel Research Journal (2014) 7-15.
11. C. Reimers, L. Tender, S. Fertigand, W .Wang, "Harvesting energy from the marine sediment- water interface", Environ Sci Technol, 35 (2001) 192-195.
12. Ø. Hasvold, H. Henriksen, G. Citi, B. Ø. Johansen, T. Kjønigsenand, R. Galetti, "Sea-water battery for subsea control systems", Journal of powersources, 65 (1997) 253-261.
13. L. M. Tender, S. A. Gray, E. Groveman, D. A. Lowy, P. Kauffman, J. Melhado, et al., "The first demonstration of a microbial fuel cell as a viable power supply: Powering a meteorological buoy", Journal of Power Sources, 179 (2008) 571-575.
14. J. M. Pisciotta, Z. Zaybak, D. F. Call, J. Y. Namand, B. E. Logan, "Enrichment of microbial electrolysis cell biocathodes from sediment microbial fuel cell bioanodes", Applied and environmental microbiology, 78 (2012) 5212-5219.
15. K. Scott, I. Cotlarciuc, I. Head, K. Katuri, D. Hall, J. Lakeman, et al., "Fuel cell power generation from marine sediments: Investigation of cathode materials", Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 83 (2008) 1244-1254.
16. K. Scott, I. Cotlarciuc, D .Hall, J. Lakemanand, D. Browning, "Power from marine sediment fuel cells: the influence of anode material", Journal of Applied Electrochemistry, 38 (2008) 1313-1319.



[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]