

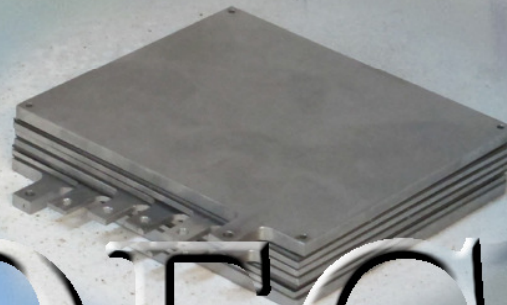
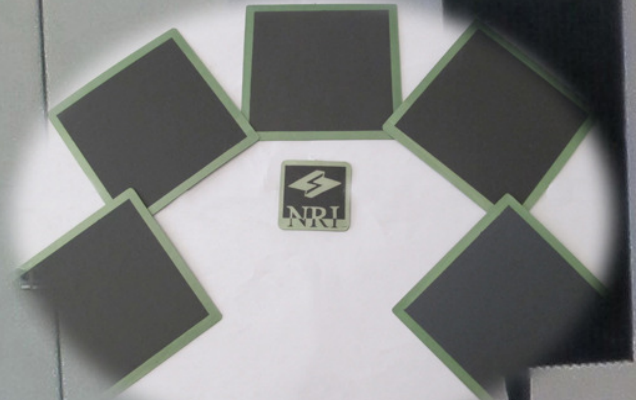


بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

سال چهارم - شماره هفتم - سال ۱۳۹۸



SOFC

from powder to power

- تجهیز و راه اندازی فاز اول آزمایشگاه ملی تست پنل های فتوولتائیک انرژی خورشیدی در پژوهشگاه نیرو برای اولین بار در کشور
- همکاری پژوهشگاه نیرو در ساخت هاضم خشک در شهرهای شمالی کشور در جهت تولید برق از زباله و رفع مشکلات زیست محیطی
- بررسی عملکردی استک پیل سوختی اکسید جامد در گاز طبیعی برای اولین بار در کشور در پژوهشگاه نیرو

به نام خدا

گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: شهریار بزرگمهری

سر دبیر: مهدی رحیمی تاکامی

مدیر اجرایی: مهدی رحیمی تاکامی

گرافیکست و صفحه‌آرا: حامد محبی

ویراستار: حامد محبی و آرش حق پرست کاشانی

عکس روی جلد: حامد محبی

همکاران این شماره:

همکاران گروه: دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس

مهدی رحیمی تاکامی، مهندس عطایی نسب،

مهندس احسان لیوانی، مهندس محمد خلیج،

مهندس حامد محبی

همکاران معاونت پژوهشی: دکتر حسنی مرزونی،

نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: Energy@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری،

پژوهشگاه نیرو، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر شهریار بزرگمهری، مهندس مهدی رحیمی

تاکامی، مهندس عطایی نسب، مهندس مرتضی

ترابی، دکتر حمید عبدلی، دکتر داور ابراهیمی،

مهندس جواد نورعلی، مهندس مهدی رضایی،

مهندس علی هاشمی، مهندس حامد محبی، مهندس

احسان لیوانی، مهندس محمد خلیج، مهندس مهدی

اخلاقی دکتر محمد گل محمد

اعضای هیئت‌داوران:

دکتر همایون کنعانی، مهندس مصطفی برزگر

گردودباری، آرش حق پرست

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی انرژی‌های

تجدیدپذیر» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب

برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با این

بخش در صنعت برق به صورت داخلی منتشر می

شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه

بهبتر شدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب

آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده

بر عهده نویسندگان است.

۲	همکاری پژوهشگاه نیرو در ساخت هاضم خشک در شهرهای شمالی کشور
۳	تجهیز و راه‌اندازی آزمایشگاه تست ماژول فتوولتائیک
۷	یواخیم لوتر
۹	شرکت AVL
۱۲	بررسی عملکردی استک پیل سوختی اکسید جامد پس از ۴۸ ساعت کار در گاز طبیعی برای اولین بار در کشور در پژوهشگاه نیرو
۲۰	بررسی تأثیر افزودن لایه NiFe روی آند Ni-YSZ بر عملکرد الکتروشیمیایی سل‌های SOFC تحت گاز طبیعی
۳۱	بررسی تأثیر پارامترهای فرایند بر عیوب ظاهری نیم‌پیل سوختی اکسید جامد ساخته شده به روش ریخته‌گری نواری
۴۳	کنگره جهانی زمین‌گرمایی در سال ۲۰۲۰
۴۵	برگزاری نشست تخصصی فناوری، توسعه پایدار و اقتصاد هیدروژنی
۴۷	Renewable Energy Systems from Biomass: Efficiency, Innovation, and Sustainability
۴۹	پلت چوبی: منبع انرژی تجدیدپذیر (از تولید به مصرف)

سخن سردبیر

یکی از الزامات توسعه هر صنعتی، توسعه آزمایشگاه‌های مرجع مورد نیاز جهت تهیه و ارتقاء استانداردهای مورد نیاز صنعت، اطمینان از ارتباط سالم بین مصرف‌کنندگان و عرضه‌کنندگان و تطبیق محصولات تولید شده با استانداردها و مشخصات اعلام شده توسط تولیدکنندگان می‌باشد.

در همین راستا با هدف ارائه خدمات به ذینفعان صنعت فتوولتائیک و انجام آزمونهای مرتبط با ماژول فتوولتائیک و بصورت خاص آزمونهای استانداردهای IEC61215 و IEC61730، تجهیز و توسعه آزمایشگاه تست ماژول فتوولتائیک در سرلوحه برنامه گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و مرکز خورشیدی قرار گرفت، بطوریکه فعالیتهای مربوط به شناسایی استانداردها و تجهیزات مورد نیاز آن از سال ۱۳۹۰ آغاز گردیده است و هم‌اکنون این آزمایشگاه در مرحله راه‌اندازی فاز اول قرار گرفته است.

با افتتاح این آزمایشگاه در فاز اول، پژوهشگاه نیرو می‌تواند، تست‌های تعیین بیشترین توان، ضرایب دمایی، دمای کارکرد نامی سلول، بازده در شرایط استاندارد، عملکرد در شدت تابشی پائین، بازرسی با دستگاه الکترو لومینسنس و تست مقاومت عایقی را انجام دهد.

امید است، این امر از سوی همه ذینفعان از جمله سیاستگذاران، سازندگان پنلهای فتوولتائیک، مالکان نیروگاه‌ها و بهره‌برداران مورد استقبال قرار گیرد، تا آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک پژوهشگاه نیرو بتواند، نقش شایسته خویش را محقق نماید.

مهدی رحیمی تاکامی
گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

همکاری پژوهشگاه نیرو در ساخت هاضم خشک در شهرهای شمالی کشور

با توجه به مشکلات ناشی از جمع‌آوری پسماند در مناطق شمالی کشور، پروژه ای با هدف ساخت یک هاضم خشک به ظرفیت ۲۵۰ تن زباله در شهر تالش که شامل ۳ بخش دریافت زباله، تبدیل پسماند به انرژی و واحد تولید کمپوست می‌باشد، اجرا خواهد شد. در این پروژه که گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو به عنوان نماینده وزارت نیرو حضور دارد، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، فرمانداری استان گیلان، سازمان برنامه و بودجه و سازمان شهرداری‌ها و بهیاری‌های کشور نیز همکاری خواهند کرد.

در اجرای این پروژه دو هدف اساسی دنبال خواهد شد. هدف اول بومی سازی تجهیزات مرتبط با مدیریت و تبدیل پسماند به انرژی می‌باشد، که این امر با شناسایی شرکتهای توانمند و انجام فراخوان صورت خواهد گرفت و هدف دوم کمک به استان‌های شمال کشور برای حل معضل پسماندها و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد.

مقرر شده است، پژوهشگاه نیرو به نمایندگی وزارت نیرو هدایت اجرای پروژه را بر عهده بگیرد و در انجام آن از ظرفیت‌های داخلی کشور برای بومی سازی فناوری مورد نظر استفاده کند. در همین راستا می‌بایست، تا پایان سال جاری برنامه زمان‌بندی اجرای پروژه را به سازمان‌های همکار اعلام نماید و فراخوانی را برای شناسایی توانمندی‌های شرکت‌های داخلی جهت اجرای پروژه تا پیش از پایان سال ۱۳۹۸ برگزار نماید.

تجهیز و راه‌اندازی آزمایشگاه تست ماژول فتوولتائیک

تعیین تعرفه برای خرید برق تجدیدپذیر و کاهش جهانی قیمت تمام شده نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های فتوولتائیک، تحول بزرگی در صنعت تجدیدپذیر در کشور ایجاد کرد، بطوریکه ظرفیت نیروگاهی نصب شده در کشور در سالهای اخیر به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. اما توسعه این صنعت، می‌تواند با مخاطراتی مواجه شود، که مهمترین آنها استفاده از تجهیزات بی‌کیفیت در ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر می‌باشد. یکی از مهمترین تجهیزات مورد استفاده ماژولهای فتوولتائیک می‌باشد. به همین جهت آزمایشگاه تست ماژول فتوولتائیک با هدف کنترل کیفیت ماژولهای فتوولتائیک که در داخل کشور تولید و یا از سایر کشورها وارد می‌گردد، در پژوهشگاه نیرو در حال راه‌اندازی است، که فاز اول آن از ابتدای سال ۹۹ به بهره‌برداری خواهد رسید. به طور کلی اهداف و مزایای تاسیس این آزمایشگاه را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- کنترل کیفیت ماژولهای فتوولتائیک تولیدی در داخل کشور و ماژولهای وارداتی به منظور صدور

تأییدیه‌های استانداردها

- کمک به واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای تولیدکننده و محققان داخلی حوزه‌ی فتوولتائیک
- جلوگیری از ورود محصولات بی‌کیفیت با هدف بهبود امنیت سرمایه‌گذاری و ممانعت از هدررفت

سرمایه‌های اجتماعی

- مشاوره به سرمایه‌گذاران در کشور به جهت انتخاب بهینه ماژول فتوولتائیک با توجه به شرایط اقلیمی

محل نصب

- مشاوره به نهادهای حاکمیتی در جهت تسهیل سیاستگذاری و نظارت هر چه بیشتر بر کیفیت سیستمهای در حال توسعه
- کمک به ارتقاء کیفیت محصولات داخلی در حوزه تولید ماژول فتوولتائیک
- ایجاد دانش فنی مرتبط با استانداردهای فتوولتائیک به کشور از طریق تدوین و توسعه استاندارد ملی



شکل (۱). شبیه‌ساز خورشیدی



شکل (۲). الکترو لومینسنس شرکت MBJ

بواسطه راه‌اندازی این آزمایشگاه، امکان تست انواع ماژولهای فتوولتائیک و بررسی مشخصات آنها فراهم خواهد شد و اطلاعات بدست آمده از جنبه تحقیقاتی و صنعتی به رشد صنعت فتوولتائیک در کشور خواهد انجامید. فاز اول این آزمایشگاه شامل ۳ تجهیز شبیه‌ساز خورشیدی، الکترو لومینسنس و تست مقاومت عایقی می‌باشد. با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز خورشیدی، که در شکل (۱) نشان داده شده است، بر اساس استاندارد می‌توان ماژول فتوولتائیک را در شرایط تابشی و دمایی مختلف با یکنواختی قابل قبول مورد آزمون قرار داد و امکان اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای عملکردی از جمله بیشینه توان ماژول در تابش استاندارد، جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، بازده و ضرایب دمایی در شرایط محیطی قابل کنترل فراهم می‌شود. دستگاه الکترو لومینسنس نیز که در شکل (۲) نشان داده شده است، امکان تصویربرداری با وضوح بالا با هدف مشخص کردن عیوب و نقصهای پنل‌های فتوولتائیک که امکان شناسایی آنها از طریق بازرسی بصری و چشم غیر مسلح

وجود ندارد، ایجاد می‌کند. تجهیز تست مقاومت عایقی نیز که در شکل (۳) نشان داده شده است، جهت سنجش مقاومت عایق استفاده می‌شود. شبیه‌ساز خورشیدی خریداری شده، ساخت شرکت PASAN از کلاس $A^+A^+A^+$ ، دستگاه الکترو لومینسنس ساخت شرکت MBI و با وضوح ۱۷۰ میکرومتر در هر پیکسل و تجهیز سنجش مقاومت عایقی ساخت شرکت Megger و با قابلیت اندازه‌گیری تا ۱۰ کیلوولت می‌باشد.



شکل (۳). تجهیز سنجش مقاومت عایقی

یواخیم لوتر



یواخیم لوتر در ۳۱ مارس ۱۹۴۱ در هانوفر آلمان به دنیا آمد. وی پس از تحصیلات دکترای خود در فیزیک تجربی در هانوفر، در زمینه فیزیک اتمی و طیف‌سنجی لیزری به فعالیت پرداخت و در سال ۱۹۷۴ استاد دانشگاه فیزیک تجربی در دانشگاه تازه تاسیس در اولدنبورگ شد. او در آنجا تحقیقات علمی خود را در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر آغاز کرد و به موازات فعالیت‌های مربوط به تدریس در دانشگاه اولدنبورگ، به عنوان مدیر انستیتوی تحقیقاتی انرژی خورشیدی *Lower Saxony* نیز فعالیت می‌کرد، که اکنون به مؤسسه تحقیقاتی انرژی خورشیدی هم‌لن^۱ تبدیل شده است. در سال ۱۹۹۳ به فرایبورگ نقل مکان کرد و مدیر مؤسسه انرژی خورشیدی فرانهورف^۲ شد. لوتر در سال‌های بعد این سازمان را به بزرگترین مرکز

^۱ Institute for Solar Energy Research Hameln

^۲ Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems

تحقیقاتی اروپا در زمینه انرژی خورشیدی تبدیل کرد. در طول مدیریت او، پروژه‌های موفق زیر که نقش بسزایی در توسعه فناوری خورشیدی داشتند، به ثمر رسید:

- سلولهای خورشیدی سیلیکونی پلی کریستالی با راندمان تبدیل ۲۰/۳٪
- سلولهای خورشیدی ترکیبی چند اتصاله با مونوکریستال با راندمان تبدیل ۳۵ درصدی برای کاربردهای متمرکزکننده
- ویفرهای انعطاف پذیر سلول خورشیدی مونوکریستالی با ضخامت تنها ۳۷ میکرومتر و راندمان تبدیل ۲۰/۲٪
- پروفیسور لوتر در سال ۲۰۰۶ از موسسه انرژی خورشیدی فرانکفورت بازنشسته شد و در سال ۲۰۰۸، به درخواست دولت سنگاپور مرکز تحقیقاتی انرژی خورشیدی سنگاپور را بنیان نهاد.
- افتخارات یواخیم لوتر عبارت است از:
 - جایزه بکرول ۱ برای انجام کارهای برجسته در فتوولتائیک در سال ۲۰۰۵
 - جایزه محیط زیست از بنیاد محیط زیست آلمان در سال ۲۰۰۵
 - جایزه خدمات ویژه انجمن بین المللی انرژی خورشیدی در سال ۲۰۰۵
 - جایزه بین المللی راینلند برای حفاظت از محیط زیست در سال ۲۰۰۵
 - معرفی به عنوان قهرمان محیط زیست توسط مجله تایم در سال ۲۰۰۸
 - دریافت نشان لیاقت ۲ از انجمن بین المللی انرژی خورشیدی ۳ در سال ۲۰۰۹

¹ Becquerel

² Action Award

³ International Solar Energy Society

شرکت AVL



شرکت AVL توسط دکتر هانس لیست در سال ۱۹۴۸ تأسیس شد. بودجه برنامه مشهور مارشال آمریکا برای بازسازی کشورهای اروپایی پس از جنگ جهانی دوم برای تأسیس AVL یک مرحله کلیدی بود. این شرکت در سال‌های ابتدایی فعالیتش بر روی موتورهای دیزلی متمرکز بود و سپس در سال ۱۹۶۰ وارد عرصه ساخت تجهیزات ابزار دقیق موتور شد.

پیشرفت‌های شرکت در زمینه‌های مختلف، به ویژه تست و ارزیابی سیستم‌های پیشرانه و خودروها باعث نوآوری‌های چشمگیری در طول فعالیت AVL شد. در حال حاضر AVL به عنوان یک مجموعه مستقل توسعه، شبیه‌سازی و آزمایش سیستم‌های پیشران از جمله موتورهای برقی، پیل‌های سوختی اکسید جامد و موتورهای احتراق داخلی شناخته می‌شود.

این شرکت بیش از ۱۵ سال بر روی توسعه پیل‌های سوختی فعالیت می‌کند. در زمینه PEMFC بر روی افزایش چگالی توان و کارایی این سیستم‌های تحقیق می‌کند و به همین منظور تمرکز فعالیت‌های خود را بر روی بهینه‌سازی اجزا و استراتژی سیستم کنترل این سیستم‌ها قرار داده است و در زمینه SOFC نیز به دنبال استفاده از این سیستم‌ها بصورت تولید همزمان توان و حرارت می‌باشد، تا بتواند هزینه‌های اولیه و تعمیرات و نگهداری را کاهش دهد.

ساختار سازمانی

AVL دارای مراکز فنی و تحقیقاتی در کشورهای آلمان، اسلوانی، کرواسی، سوئد، ژاپن، کره، فرانسه، ایالات متحده، مجارستان، هند، انگلیس، چین، ترکیه و برزیل می‌باشد و علاوه بر مراکز تحقیقاتی متعلق به AVL، این گروه دارای زیر مجموعه‌های زیر نیز می‌باشد:

- AVL Ditest
- DIGALOG
- AVL Schrick GmbH
- Piezocryst
- Trimerics
- AVL Emission Test Systems GmbH
- AVL Pierburg Instruments Flow Technology GmbH
- Le Moteur Moderne (LMM)

برخی از سازمان‌های همکار AVL نیز به شرح زیر می‌باشند:

- *Greenlight*
- *Iwis*
- *Westport*
- *California Fuel Cell Partnership*
- *Ford motors*
- *TU Graz*

خدمات فنی و تولیدی گروه AVL شامل موضوعات زیر می‌شود:

- باتری‌ها و پیل‌های سوختی

- سیستم‌های کنترل
- خودروهای الکتریکی
- تجهیزات خودرو
- موتورهای کامپکت
- تجهیزات ماشین‌های تجاری و کشاورزی
- تجهیزات هواپیمایی

اهداف

از جمله اهداف گروه AVL می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

- توسعه و ترویج استفاده از تکنولوژی‌های نوآورانه و پایدار مانند سیستم‌های هیبریدی و پیل سوختی در صنایع حمل و نقل.
- همکاری و ارائه خدمات به سایر شرکت‌ها و سازمان‌ها در جهت افزایش کیفیت سیستم‌های پیشران و گسترش تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در این صنایع.
- گسترش استفاده از منابع انرژی پراکنده در راستای استفاده از پیل‌های سوختی و باتری‌ها در صنایع، شهرهای دورافتاده یا کوچک، گلخانه‌ها و... با همکاری برخی دولت‌ها و سازمان‌ها.

مراجع

[1] <https://www.avl.com>

[2] Ford 6.7L Powerstroke Diesel Engine - Diesel Power Magazine

[3] <https://www.redorbit.com>

بررسی عملکردی استک پیل سوختی اکسید جامد در گاز طبیعی برای اولین بار در

کشور در پژوهشگاه نیرو

مرتضی ترابی، حامد محبی، خالد آذری، حمید عبدلی، محمد گل محمد، شهریار بزرگمهری
پژوهشگاه نیرو، گروه انرژیهای تجدیدپذیر mtorabi@nri.ac.ir

چکیده: استک دو واحدی پیل سوختی اکسید جامد در این تحقیق ساخته و تست گردید. هدف کاربرد طولانی مدت پیل سوختی ارزان قیمت برای گاز طبیعی بعنوان سوخت می باشد. بهمین دلیل استک دو واحدی بر اساس طراحی جدید اینترکانکتهای ارزان قیمت و همچنین استفاده از مواد اولیه تجاری مورد بررسی قرار گرفت. استک در هیدروژن خالص در دبی های سوخت و اکسیژن 1000ccm به بیشینه توان بیش از ۳۰ وات در جریان ۳۳ آمپر دست یافت. سپس گاز طبیعی تر با استفاده از ریفورمر داخلی و سیستم رطوبت زن مورد استفاده قرار گرفت و استک پس از گذشت ۲۴ ساعت با افت فقط $1/4\%$ به کار خود در گاز طبیعی ادامه داد. در دبی گاز طبیعی مرطوب و اکسیژن 1000ccm به بیشینه توان ۳۲ وات در جریان ۳۳ آمپر رسید. پس از ۴۸ ساعت ماندگاری در گاز طبیعی مرطوب، توان به ۳۴ وات در جریان ۳۸ آمپر رسید.

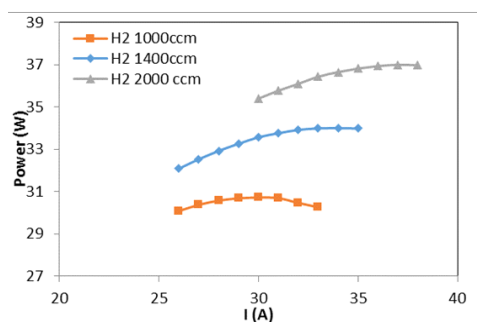
کلمات کلیدی: استک؛ پیل سوختی اکسید جامد؛ اینترکانکت؛ گاز طبیعی

مقدمه

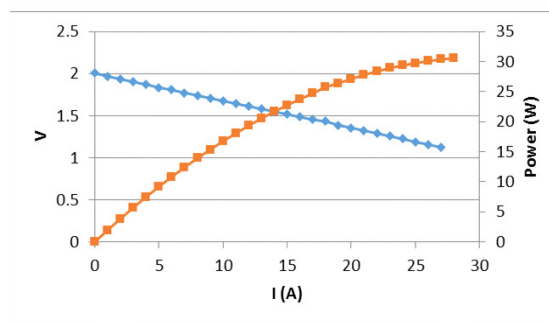
پیل‌های سوختی اکسید جامد (SOFC) بعنوان یکی از برجسته‌ترین ادوات تبدیل انرژی محسوب می‌شوند چون می‌توانند بطور مستقیم انرژی شیمیایی انواع مختلفی از سوختها را طی فرایند الکتروشیمیایی با بازدهی بالا به الکتریسیته تبدیل کنند. در مقایسه با دیگر سیستم‌های پیل سوختی، SOFC ها انعطاف بیشتری در مورد سوخت مصرفی دارند. بطور داخلی می‌توانند گاز طبیعی یا هر سوخت دیگری را که به آند وارد می‌شود را تبدیل کنند [۱-۵]. یکی از چالشها در مورد تجاری سازی آنها خلوص بالای هیدروژن مصرفی می‌باشد که هزینه تولید آن منجر به افزایش قیمت می‌شود. بنابراین اکسیداسیون سوختهای هیدروکربنی بطور مستقیم بر روی آندهای SOFC توسط بسیاری از محققین بررسی شده است [۶ و ۷]. آندهای SOFC ها متشکل از سرامیکهای پایه نیکل است که رسانایی الکتریکی بالایی داشته و اکتیویته اکسیداسیون هیدروژن بطور الکتروشیمیایی در آنها بسیار بالاست. نیکل در آند اثر کاتالیستی قوی در شکستن پیوندهای هیدروکربن دارد. این اتفاق منجر به بروز پدیده کک زایی بر روی سطح آند می‌شود که عملکرد الکتروشیمیایی سل را سرعت کاهش می‌دهد [۸-۱۱]. بنابراین ترکیب Ni-YSZ فقط وقتی قابل استفاده است که مقدار زیادی بخار به همراه سوخت وارد سیستم سل شود تا اطمینان حاصل شود که رسوب کربن به حداقل رسیده و فرایند تبدیل سوخت بخوبی انجام شده است. در این مقاله ما با استفاده از بخار آب و تنظیم نسبت آن با گاز طبیعی توانستیم استک دو واحدی پیل سوختی اکسید جامد را بمدت ۴۸ ساعت با کارایی بالا تهیه کنیم و بدون ایجاد کربن و افت توان استک پیل سوختی به کار خود ادامه دهد.

روش انجام کار

پس از گذشت زمان، در جریان اعمالی ۱۱ آمپر، OCV به $1/97$ ولت رسیده است و در جریان اعمالی ۱۴ آمپر، OCV حدود $1/996$ ولت می باشد که معادل حدود ۱ ولت بازای هر سل می باشد که بسیار نزدیک به مقدار تئوری می باشد. در اینحالت تست IV انجام شد و توان ماکزیمم $30/72$ وات در جریان ۳۳ آمپر بدست آمد (شکل (۱-الف)). همچنین تست IV در دبی های بالاتر نشان داد که با افزایش دبی هیدروژن به $2000ccm$ ، توان به 37 وات افزایش می یابد (شکل (۱-ب)).



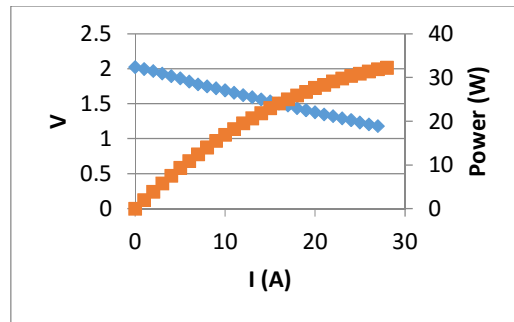
ب



الف

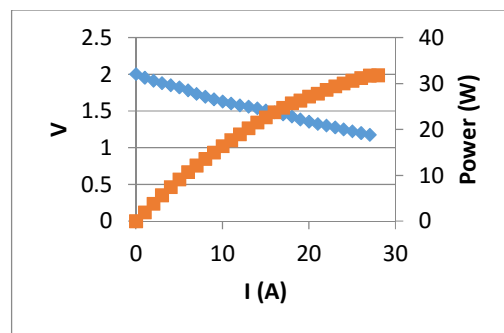
شکل الف. نمودار IV در هیدروژن با دبی $1000ccm$ و اکسیژن $1000ccm$: ب. نمودار تغییرات توان در دبی های مختلف هیدروژن $1000ccm$

سپس استک تحت جریان ۲۲ امپر قرار گرفت و دبی سوخت و هوا روی $1000ccm$ تنظیم شد. در این حالت ولتاژ $1/298$ ولت می باشد و بخار آب با دبی حدود $2000ccm$ وارد سیستم گردید. سپس بر روی گاز طبیعی سوئیچ شد ولتاژ به $1/38$ ولت رسیده است. در اینحالت تست IV بر روی استک انجام رفت. توان ماکزیمم $33/74$ وات و OCV حدود $2/024$ ولت ثبت گردید (شکل (۲)).



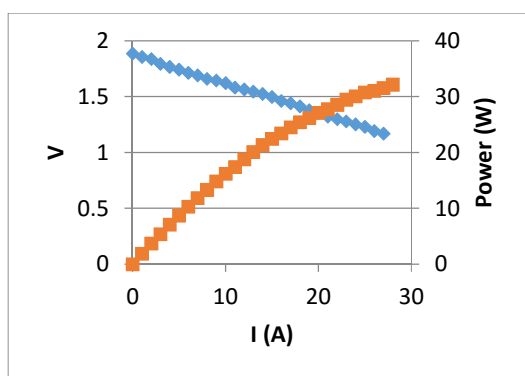
شکل ۲. نمودار IV در گاز طبیعی مرطوب با دبی ۱۰۰۰ccm و اکسیژن ۱۰۰۰ccm قبل از ۲۴ ساعت

در نهایت و در پایان روز استک تحت جریان ۱۶ آمپر و دبی گاز طبیعی و اکسیژن هر دو ۶۰۰ccm برای مدت ۲۴ ساعت رها شد در حالیکه ولتاژ روی ۱/۴۲ تثبیت شده است. پس از گذشت حدود یک روز از تست همچنان عدد ثبت شده برای سیستم ۱/۴۲ ولت می باشد و سیستم بدون افتی همچنان در حال کار می باشد. در اینحالت و پس از گذشت ۲۴ ساعت تست IV انجام گرفت. توان ماکزیمم ۳۲/۳۴ وات در جریان ۳۳ آمپر بدست آمد (شکل (۳)).

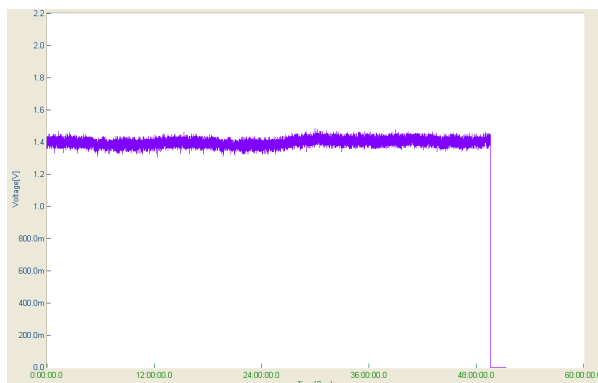


شکل ۳. نمودار IV در گاز طبیعی مرطوب با دبی ۱۰۰۰ccm و اکسیژن ۱۰۰۰ccm پس از ۲۴ ساعت ماندگاری در گاز طبیعی

بعد از پایان ۲۴ ساعت اول دبی گاز طبیعی و اکسیژن بر روی ۴۰۰ccm و بار ۱۴ آمپر قرار گرفت و ولتاژ ۱/۴ ولت تثبیت گردید. مجدداً تست برای ۲۴ ساعت دوم و رسیدن به ۴۸ ساعت کاری ادامه یافت. بعد از ۲۴ ساعت دوم و در پایان ۴۸ ساعت کاری، مشخص شد که ولتاژ در ۱/۳۸ ولت قرار داشته و افت ناچیزی را متحمل شده است (۱/۴٪). مجدداً تست IV در این شرایط انجام شد و در جریان ۳۸ آمپر به بیشینه توان خود یعنی ۳۴/۲۳ وات میرسد (شکل (۴)) که نسبت به روز اول نیز با افزایش توان همراه است.



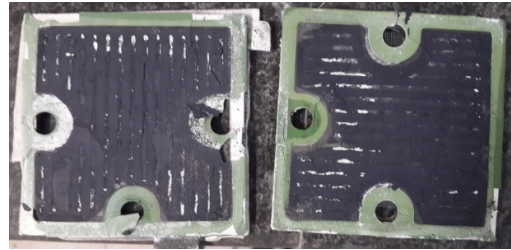
شکل ۴. نمودار IV در گاز طبیعی مرطوب با دبی ۱۰۰۰ccm و اکسیژن ۱۰۰۰ccm پس از ۴۸ ساعت ماندگاری در گاز طبیعی



شکل ۵. نمودار Vt بعد از گذشت ۴۸ ساعت کار در گاز طبیعی مرطوب و هوا

شکل (۶) نیز تصویر استک را بعد از باز کردن نشان می دهد که نشان از احیای کامل سلها دارد. همچنین

اثر خمیر نقره بر روی سطح کاتد بخوبی مشخص است.



شکل ۶. تصویر سلهای استک پس از باز کردن سیستم

مواد و روش ها

در این مرحله از استک دو واحدی (یعنی دو سل در یک استک) استفاده گردید. سلهای ساخته شده بین اینترکانکتها قرار گرفته و فرایند اتصال و سیل کردن انجام می شود. بدین منظور از خمیر نقره برای اتصال سطح کاتدی به اینترکانکتهای فولادی در سمت کاتد و از خمیر نیکل و مش نیکل برای اتصال سطح آندی به اینترکانکت قسمت آندی استفاده گردید. اینترکانکتها از فولاد ۴۳۰ به روش تراشکاری ساخته شده اند. پس از تراشکاری و تهیه اینترکانکتها، سطح آنها با استفاده از اسپینل منگنز کبالت با فرمول شیمیایی $MnCo_2O_4$ به روش اسپری تر پوشش داده می شود. پس از این مرحله، اینترکانکت پوشش داده شده در کوره باکسی قابل سیل شدن بمدت ۱۲ ساعت در دمای $450^{\circ}C$ عملیات حرارتی می شود. سپس در جریان گاز هیدروژن رقیق (۵٪) طی ۳/۵ ساعت به دمای $800^{\circ}C$ رسیده و ۸ ساعت در این دما باقی می ماند و سپس با آرامی در کوره خنک می شود. سل اکسید جامد که بر روی آن خمیر نقره و نیکل اعمال شده است بین اینترکانکتها قرار میگیرد و برای آب بندی آنها از سیلانتهای آلومینایی استفاده می شود.

کوره به آرامی تا دمای $800^{\circ}C$ گرم می شود درحالیکه استک در داخل کوره قرار دارد. پس از رسیدن به این دما، ابتدا گاز نیتروژن و سپس گاز هیدروژن رقیق (۵٪) به درون استک تزریق می شود. سپس بعد از تنظیم دبی و شرایط تزریق هیدروژن رقیق، استک بمدت ۲ ساعت در دبی 1600ccm رها شد که پس از این

مدت ولتاژ به ۱/۶۲ ولت افزایش پیدا کرده بود. با تزریق اکسیژن با دبی ۱۰۰۰ccm، ولتاژ به ۱/۷۱ ولت رسید. در این حالت تحت بار ۱ آمپر ولتاژ ۱/۲۳ ولت می باشد. با کاهش دبی به هیدروژن خالص سوئیچ شد. پس از گذشت چند دقیقه ولتاژ مدار باز به ۱/۸۷ ولت رسید. در ادامه تستهای ولتامتری و کرونیپتانسیومتری برای بررسی عملکرد استک مورد استفاده قرار گرفتند. تجهیزات مورد استفاده شامل واحد تزریق گاز ساخت شرکت Wonatech کره جنوبی و اتولب می باشند.

بحث و نتیجه گیری

استفاده از بخار آب باعث می شود که از ایجاد کربن بر روی آند جلوگیری شود. در سیستم استک دو واحدی در این تحقیق از نسبت بخار آب به گاز طبیعی ۲ استفاده شد و ترکیب بخار آب با گاز طبیعی منجر به ریفورمینگ درجای گاز طبیعی در سطح آند و تبدیل آن به اکسید کربن و هیدروژن می شود. بدین ترتیب سیستم استک دو واحدی پس از گذشت ۴۸ ساعت کاری با افت پتانسیل کمی همراه بوده و حتی توان بیشینه آن نیز افزایش داده است بطوریکه توان استک از ۳۲ وات قبل از شروع تست طولانی مدت به بیش از ۳۴ وات پس از ۴۸ ساعت افزایش یافته است. بدین ترتیب می توان با استفاده از پوشش دهی اینترکانکتها، مقاومت آنها را کاهش داده و با استفاده از مواد ارزان برای ساخت سل و اینترکانکت و اجزای استک سیستم پیل سوختی اکسید جامدی را تهیه کرد که بتوان در آن از گاز طبیعی با بازدهی بالا استفاده کرد.

جمع بندی

پوشش دهی اینترکانکتها با استفاده از مواد اسپینل، طراحی جدید اینترکانکتها، استفاده از مواد ارزان و حذف مواد گران قیمت مانند مش نقره به همراه تزریق بخار آب منجر به از بین رفتن رسوب کربن در سطح آند شده و می تواند کارایی بلند مدت استک را تضمین کند.

مراجع

- [1] Hecht, E.S. (2005); "Methane reforming kinetics within a Ni-YSZ SOFC anode support"; Appl. Catal. A; Vol. 295; pp. 40-51.
- [2] Atkinson, A. (2004); "Advanced anodes for high-temperature fuel cells"; Nat. Mater.; Vol. 3; pp. 17-27.
- [3] Huang, B., Wang, S., Liu, R., Wen, T., (2007) "Preparation and performance characterization of the FeNi/ScSZ cermet anode for oxidation of ethanol fuel in SOFCs"; J. Power Sources; Vol. 167; pp. 288-294.
- [4] Douvartzides, S., Coutelieris, F., Demin, A., Tsiakaras, P. (2004); "Electricity from ethanol fed SOFCs: the expectations for sustainable development and technological benefits"; Int. J. Hydrogen Energy; Vol. 29; pp. 375-379.
- [5] Macedo, I., Seabra J., Silva J. (2008); "Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020"; Biomass Bioenergy; Vol. 32; pp. 582-595.
- [6] Cimenti M., Hill, J. (2009); "Direct utilization of ethanol on ceria based anodes for solid oxide fuel cells"; Asia-Pacific J. Chem. Eng.; Vol. 4; pp. 45-54.
- [7] Resini, C., Delgado, M., Presto, S. (2008); "Ytria-stabilized zirconia (YSZ) supported Ni-Co alloys (precursor of SOFC anodes) as catalysts for the steam reforming of ethanol"; Int. J. Hydrogen Energy; Vol. 33; pp. 3728-3735.
- [8] Mermelstein, J., Millan, M., Brandon, N. (2009); "The impact of carbon formation on Ni-YSZ anodes from biomass gasification model tars operating in dry conditions"; Chem. Eng. Sci.; Vol. 64; pp. 492-500.
- [9] Gavrielatos, I., Drakopoulos, V., Neophytides, S.G. (2008); "Carbon tolerant NiAu SOFC electrodes operating under internal steam reforming conditions"; J. Catal.; Vol. 259; pp. 75-84.
- [10] RosaL. (2009); "Mitigation of carbon deposits formation in intermediate temperature solid oxide fuel cells fed with dry methane by anode doping with barium"; J. Power Sources; Vol. 193; pp.160-164.
- [11] Baker, R. (1989); "Catalytic growth of carbon filaments"; Carbon; Vol. 27; pp. 315-323.

بررسی تأثیر افزودن لایه NiFe روی آند Ni-YSZ بر عملکرد الکتروشیمیایی سل های

SOFC تحت گاز طبیعی

محمد گل محمد، مرتضی ترابی، حامد محبی، خالد آذری، حمید عبدلی
پژوهشگاه نیرو، گروه انرژیهای تجدیدپذیر mgolmohammad@nri.ac.ir

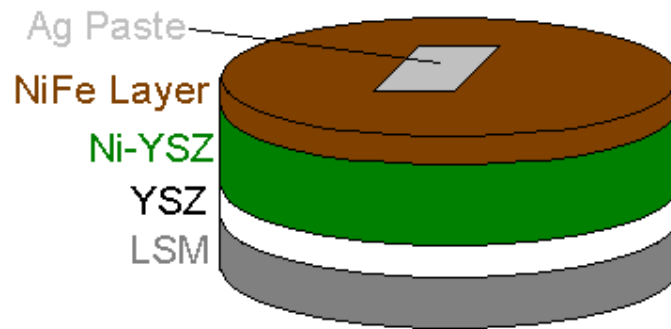
چکیده: سیستمهای SOFC به عنوان سیستمهایی با راندمان بالا برای تولید برق شناخته می‌شوند و می‌توانند با بازدهی بالا از انرژی شیمیایی انواع سوخت‌های شیمیایی، انرژی الکتریکی تولید نمایند. گاز طبیعی متداول ترین سوخت فسیلی برای استفاده در این سیستم‌ها می‌باشد. اما رسوب کربن باعث کاهش کارایی سریع این سیستمها می‌گردد. بنابراین در این مطالعه با استفاده از یک لایه ترکیبی از آهن و نیکل و افزایش اثر کاتالستی آند، به شکست ترکیبات کربن دار بطور داخلی و حذف رسوب کربن از سیستم کمک شده است. در همین راستا، در این مقاله به بررسی رفتار الکتروشیمیایی آند بهینه شده با استفاده از NiFe پرداخته شده است. در این مطالعه که چگالی توان سل در آن به 0.55 W/cm^2 رسیده است، وجود NiFe باعث شده است، تا رفتار سل پس از گذشت ۱/۵ ساعت از کار در شرایط گاز طبیعی همچنان قابل قبول باقی بماند و پس از سوئیچ کردن روی گاز هیدروژن، همچنان چگالی توان 0.7 W/cm^2 قابل حصول باشد. رفتار بلند مدت این سل بهینه شده با استفاده از NiFe نشان می‌دهد که می‌توان در بلند مدت از این سل بخوبی برای تزریق مستقیم گاز متان و استفاده از آن در پیل‌های سوختی دما بالا برای تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی استفاده کرد.

مقدمه

پیل‌های سوختی اکسید جامد (SOFC) بعنوان یکی از سیستم‌های مناسب جهت تبدیل انرژی محسوب می‌شوند. این سیستم‌ها می‌توانند بطور مستقیم انرژی شیمیایی انواع مختلفی از سوختها را طی فرایند الکتروشیمیایی با بازده بالا به الکتریسیته تبدیل کنند. در مقایسه با دیگر سیستم‌های پیل سوختی، SOFC ها انعطاف بیشتری در مورد سوخت مصرفی دارند و بطور داخلی می‌توانند گاز طبیعی یا هر سوخت دیگری را که به آند وارد می‌شود را به واکنش‌دهنده‌های هیدروژن و مونوکسید کربن تبدیل کنند (۱-۵). یکی از چالشها در مورد تجاری سازی این سیستمها خلوص بالای هیدروژن مصرفی می‌باشد، که منجر به افزایش هزینه تولید آن می‌شود. در این راستا اکسیداسیون سوختهای هیدروکربنی بطور مستقیم بر روی آندهای SOFC توسط بسیاری از محققین بررسی شده است (۶-۱۰). هم اکنون علاقه زیادی برای پیل‌های سوختی که بطور مستقیم با سوخت متان کار می‌کنند، وجود دارد (۶ و ۱۱-۱۴). آندهای SOFC متشکل از سرامیکهای پایه نیکل می‌باشند، که رسانایی الکتریکی بالایی دارند و اکتیویته اکسیداسیون هیدروژن آنها در واکنشهای الکتروشیمیایی بسیار بالاست. (۱۵ و ۱۶). نیکل در آند اثر کاتالیستی قوی در شکستن پیوندهای هیدروکربن دارد. این اتفاق منجر به بروز پدیده کک زایی بر روی سطح آند می‌شود، که عملکرد الکتروشیمیایی سل را بسرعت کاهش می‌دهد (۱۷-۲۱). بنابراین ترکیب Ni-YSZ فقط وقتی قابل استفاده است، که مقدار زیادی بخار به همراه سوخت وارد سیستم سل شود تا اطمینان حاصل شود، که رسوب کربن به حداقل رسیده و فرایند تبدیل سوخت بخوبی انجام شده است. در این مقاله ابتدا با استفاده از یک لایه NiFe اثر کاتالیستی آهن و نیکل افزایش داده شد. این تغییر منجر به بهبود فرایند اکسیداسیون متان در سطح آند شد و رسوب کربن در آن را کاهش داد. در این مطالعه در ادامه آزمون رفتار الکتروشیمیایی سل در حضور هیدروژن و گاز طبیعی صورت گرفت.

روش انجام کار

نمونه سل متشکل از آند Ni-YSZ، کاتد LSM و الکتrolیت YSZ به روشی که در مقالات قبلی آمده است ساخته شد. سپس بر روی آن لایه ای از NiFe به روش Screen Printing ایجاد گردید. بدین ترتیب که خمیری متشکل از اکسید نیکل و اکسید آهن به نسبت وزنی ۵۰:۵۰ تهیه گردید و سپس خمیر ایجاد شده بر روی آند زده شد. نمونه مورد نظر سپس در کوره در دمای 800°C زیتتر و برای تست آماده گردید. برای تست، ابتدا سل مورد نظر با استفاده از خمیر و مش نقره بر روی دو طرف سل که همان آند و کاتد می باشد، آماده گردید. برای این منظور خمیر نقره بر روی دو سطح قرار گرفته و سپس مش نقره بنحوی بر روی آن قرار گرفت، که سطح مورد نظر 1cm^2 باشد. سل بدست آمده با استفاده از چسب سیمانی به دهانه لوله ستاپ تست چسبانده شد. سپس با برقراری اتصالات لازم با استفاده از سیم نقره ضخیم (جهت به حداقل رساندن افت اهمی) نمونه در کوره تیوبی عمودی قرار گرفت. فرایند خشک شدن بدین ترتیب است، که ابتدا نمونه بمدت ۲ ساعت در دمای اتاق خشک می شود. سپس ۲ ساعت در دمای 94°C باقی می ماند. در مرحله بعدی نمونه تا 260°C حرارت داده می شود تا سیمان مورد نظر کاملاً خشک شود. بعد تجهیز در طی ۶ ساعت به دمای 800°C می رسد و تستها در آن انجام می گیرد. برای احیای سل ابتدا گاز رقیق نیتروژن و هیدروژن ۵٪ به سیستم تزریق می شود. سپس پس از گذشت ۲ ساعت، تستها تحت گاز هیدروژن و گاز طبیعی انجام می گیرد. توضیحات بیشتر مربوط به شرایط تست در ادامه خواهد آمد. شماتیک سل در شکل (۱) نشان داده شده است.

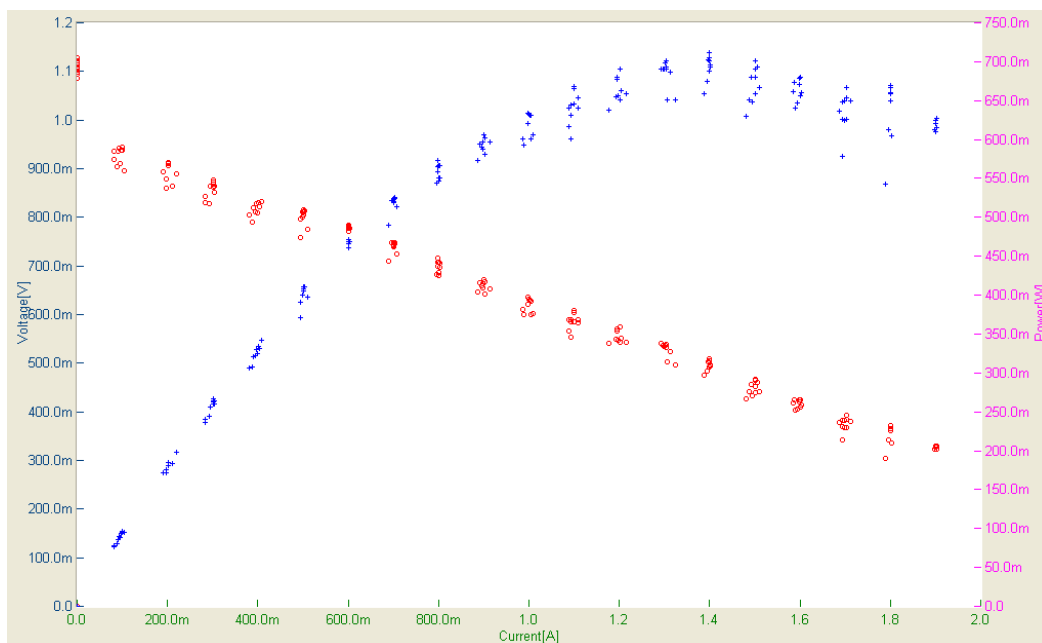


شکل ۱. سل بهینه شده با استفاده از یک لایه نازک از NiFe

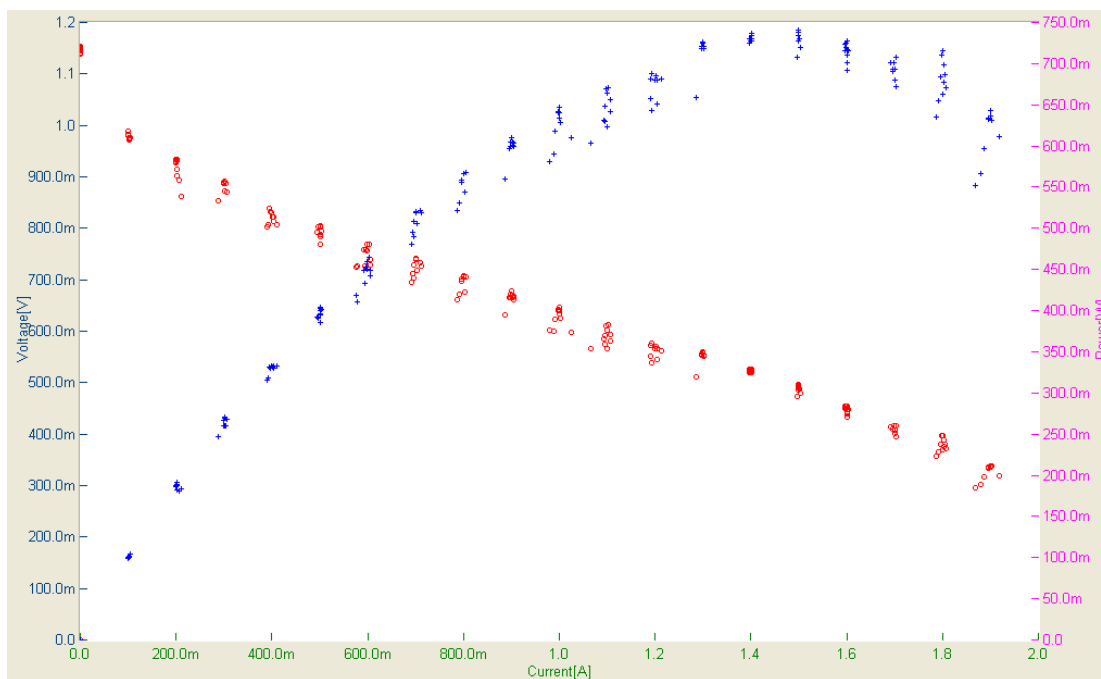
نتایج و بحث

شکل (۲) نشان‌دهنده رفتار IV سل بهینه شده با استفاده از NiFe می‌باشد. تست بدین صورت انجام می‌گیرد، که ابتدا از جریان صفر داده‌برداری شروع و طی ۱۰ ثانیه ۰/۱ آمپر به جریان افزوده می‌شود. این کار آنقدر ادامه می‌یابد، تا جریان از حدود ماکزیمم توان بگذرد. قابل ذکر است، که توان حاصلضرب جریان و ولتاژ می‌باشد، که در محور عمودی دوم نشان داده شده است. این تست در دبی هیدروژن و اکسیژن ۲۰۰ccm انجام شده است.

ولتاژ از حدود ۱/۱ ولت در حالت OCV به مرور و با افزایش جریان کاهش می‌یابد، تا در حدود ۱/۴ آمپر به ماکزیمم توان خود می‌رسد. در این حالت ولتاژ به ۰/۵ ولت کاهش یافته است. توان ماکزیمم نیز در این حالت به کمی بیش از ۰/۷W می‌رسد. برای بررسی اثر تغییر شرایط برای این سل بهینه شده در حالت هیدروژن، دبی تغییر می‌کند. شکل (۳) نشان‌دهنده رفتار IV در دبی هیدروژن ۳۰۰ccm و هوا ۵۰۰ccm می‌باشد. در این حالت ماکزیمم توان در جریان ۱/۵ آمپر و ولتاژ ۰/۵۵ ولت و به مقدار حدود ۰/۷۵W می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده این است، که عدم وجود گاز کافی موجب ایجاد پلاریزاسیون غلظتی و کاهش جریان و توان ماکزیمم سل می‌باشد. پس از انجام این تست، سل تحت جریان ۰/۶A به گاز طبیعی سوئیچ می‌شود.



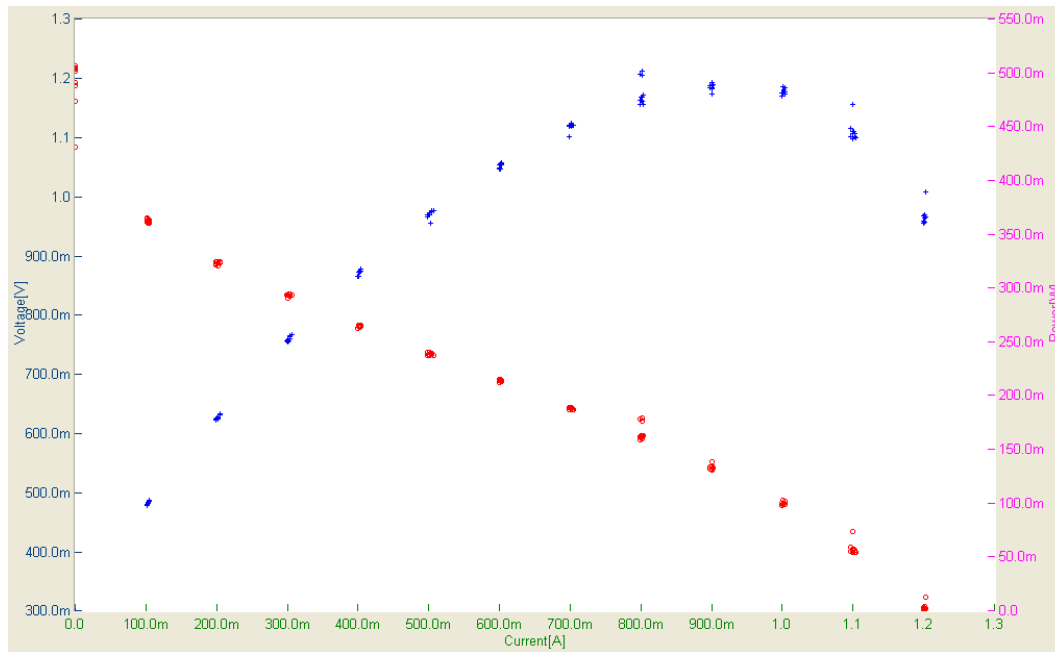
شکل ۲. رفتار IV نمونه بهینه شده با NiFe در دبی هیدروژن خالص ۲۰۰ccm و هوای ۲۰۰ccm.



شکل ۳. رفتار IV نمونه بهینه شده با NiFe در دبی هیدروژن خالص ۳۰۰ccm و هوای ۵۰ccm.

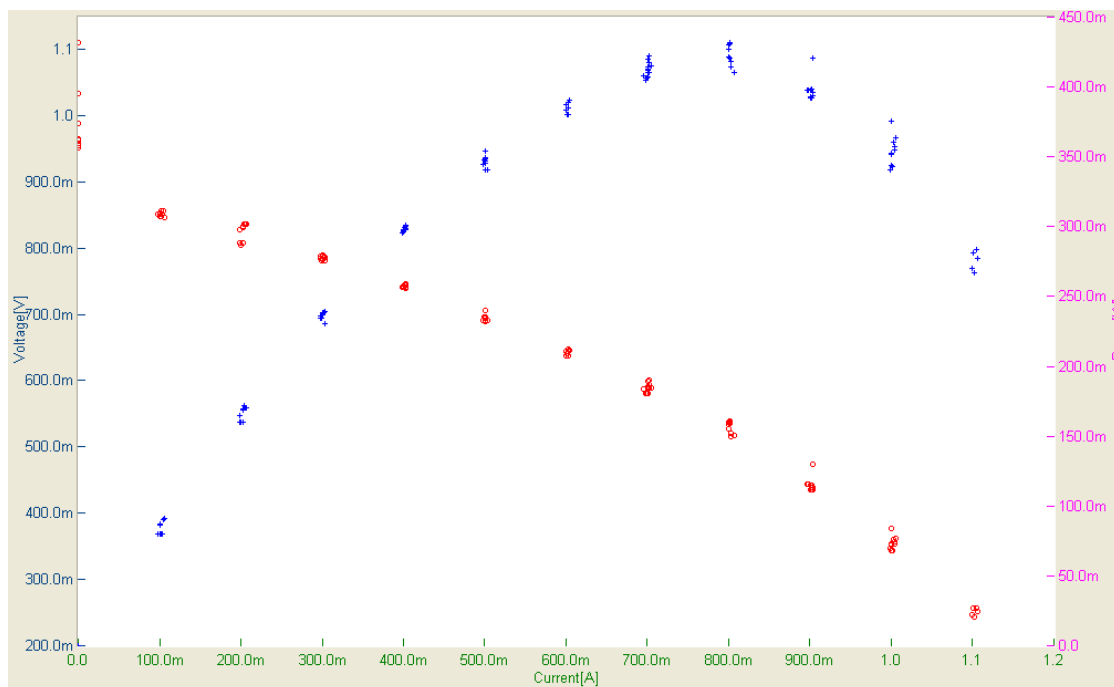
شکل (۴) رفتار IV سل را تحت شرایط گاز طبیعی نشان می‌دهد. عدم تغییر ولتاژ OCV نشان‌دهنده این است، که واکنشهایی که در حال رخ دادن هستند، عمدتاً الکتروشیمیایی مستقیم می‌باشند. بدین مفهوم که متان

بطور مستقیم و توسط اکسیژن اکسید شده و دچار شکست بر روی سل نشده است. توان ماکزیمم خروجی در حالت دبی گاز طبیعی ۲۰۰ccm و هوای ۲۰۰ccm به ۰/۵W در جریان ۱ آمپر می‌رسد. در این شرایط توان سل حدود ۳۳٪ نسبت به هیدروژن خالص افت کرده است.



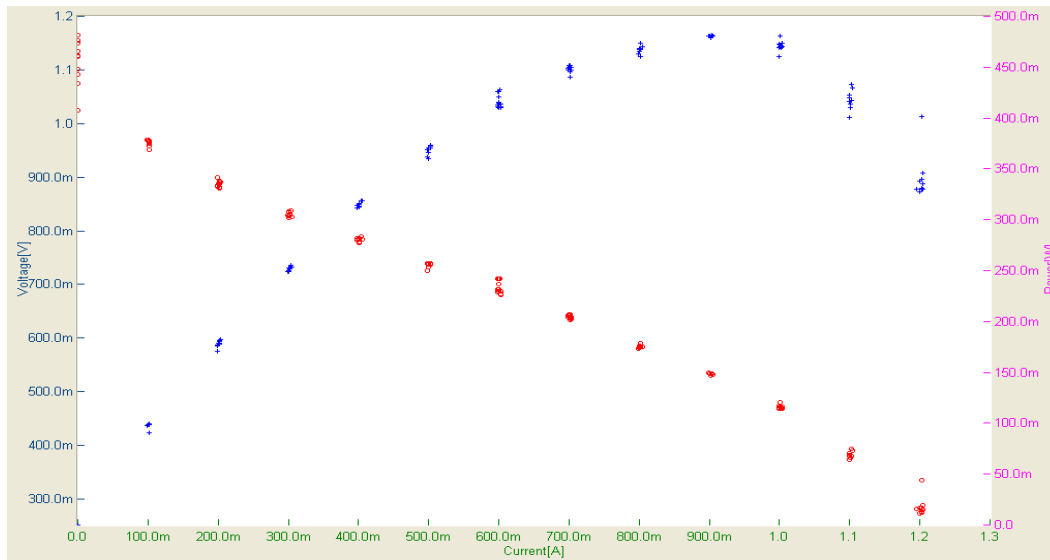
شکل ۴. IV در گاز طبیعی با دبی ۲۰۰ccm و هوا ۲۰۰ccm

برای بررسی تأثیر افزایش دبی بر این سل، دبی گاز طبیعی و هوا به ترتیب به ۳۰۰ccm و ۵۰۰ccm افزایش داده شد. شکل (۵) بیانگر رفتار IV این سل در دبی مورد نظر می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، OCV به حدود ۱ ولت کاهش یافته است، که بیانگر وجود واکنش‌های غیر الکتروشیمیایی مستقیم می‌باشد. علت این امر وجود هیدروکربن اضافی بر روی سل می‌باشد که منجر به تجزیه و شکست بیشتر متان شده است و ولتاژ مدار باز را کاهش می‌دهد. در این شرایط، ماکزیمم توان در جریان ۰/۸ آمپر به کمتر از ۰/۴۵W می‌رسد. در نتیجه کاهش مقدار گاز متان ورودی منجر به افزایش بازدهی و توان سل خواهد شد.

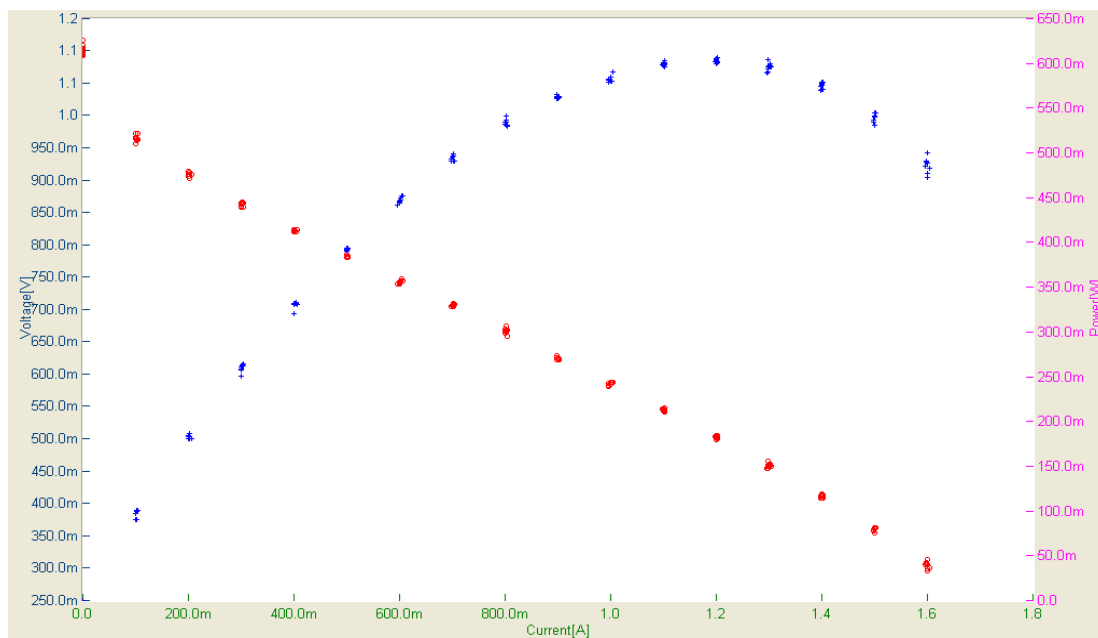


شکل ۵. IV در گاز طبیعی با دبی ۳۰۰ccm و هوا ۵۰۰ccm

شکل (۶) بیانگر رفتار IV نمونه مورد نظر در دبی گاز طبیعی ۸۰ccm و هوای ۱۰۰ccm می باشد. این شکل نیز نشان می دهد، که می توان توان ماکزیمم حدود ۰/۵W را در دبی کمتری نیز بدست آورد. رفتار IV این آزمون در دبی گاز طبیعی ۴۰ccm در شکل (۶) نشان داده شده است. کاهش دبی تا این میزان باعث افزایش توان تا بیش از ۰/۵W شده است. همچنین OCV حدود ۱/۱ ولت نشان دهنده اکسیداسیون مستقیم الکتروشیمیایی متان می باشد. بدین ترتیب می توان دریافت که با بهینه سازی سل می توان به توان بالاتری و بازدهی بالاتری برای سلهای SOFC دست یافت. این کار نه تنها همراه با افزایش عملکرد الکتروشیمیایی سل امکان پذیر است، بلکه باعث می شود، تا رسوب کربن نیز در سل به مراتب کاهش یابد، که نتیجه مستقیم واکنشهای اکسیداسیون غیر مستقیم می باشد. طی واکنشهای غیر مستقیم کک ایجاد می شود درحالیکه در واکنشهای الکتروشیمیایی اکسیداسیون مستقیم، کک ایجاد نمی شود.



شکل ۶. IV در گاز طبیعی با دبی ۸۰ccm و هوا ۱۰۰ccm



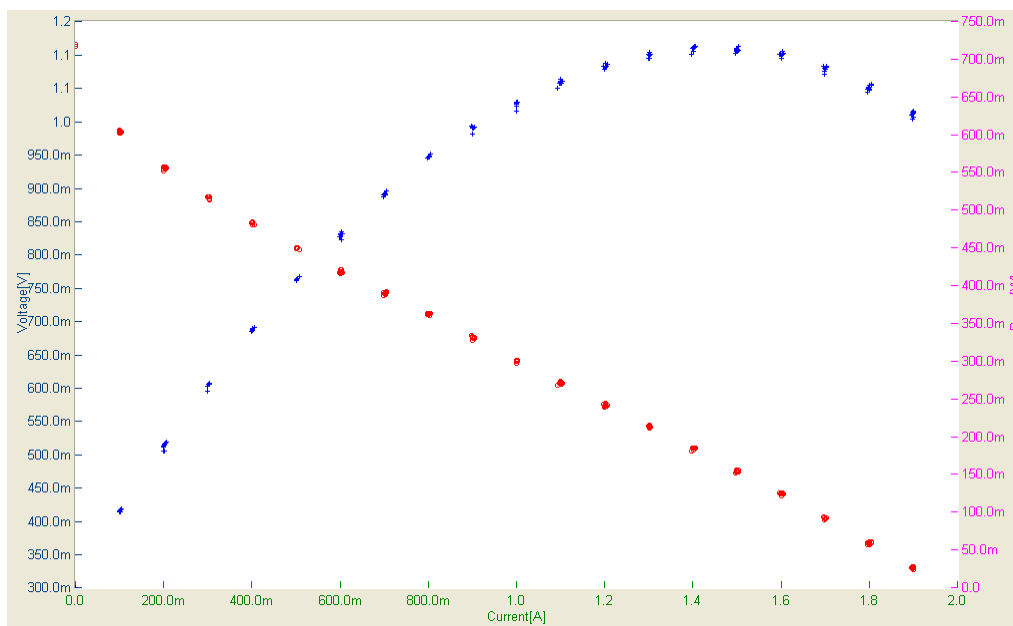
شکل ۷. IV در گاز طبیعی با دبی ۴۰ccm و هوا ۶۰ccm

برای بررسی رفتار بلند مدت تر سل بهینه شده مورد نظر، پس از اینکه سل بمدت ۱/۵ ساعت تحت بار

۰/۶ آمپر قرار گرفت، مجدد برای تست IV مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با استفاده از شکل (۸) که نمودار IV

در این آزمون را نشان می‌دهد، نتیجه می‌شود، که توان ماکزیمم ۰/۵ وات در دبی مشابه ۴۰ccm قابل حصول

است. در نهایت برای بررسی برگشت پذیری سل، این سل به حالت هیدروژن خالص سوئیچ شد، که نشان می دهد، در دبی مشابه هیدروژن ۳۰۰ccm و هوا ۵۰۰ccm، همان ماکزیمم توان ۰/۷W قابل حصول است.



شکل ۷. IV در هیدروژن ۳۰۰ccm و هوا ۵۰۰ccm پس از ۱/۵ ساعت کار در گاز طبیعی با جریان ۰/۶ آمپر

نتیجه گیری

افزودن لایه نازک از آهن و نیکل باعث شد، تا رفتار الکتروشیمیایی سل در حضور گاز طبیعی بهبود یابد. این لایه سبب افزایش توان ماکزیمم سل در دبی کمتری از گاز طبیعی گردید، بطوریکه در دبی ۴۰ccm از گاز طبیعی، ماکزیمم توان یعنی $0/55 \text{ W/cm}^2$ بدست آمد. این لایه سبب افزایش اکسیداسیون کاتالیستی هیدروکربن متان گردید، بطوریکه پس از گذشت ۳ ساعت در معرض گاز متان و تحت بار ۰/۶ آمپر هیچ اثری از افت ولتاژ و توان و همچنین کک زایی مشاهده نگردید. این نشان می دهد، که استفاده از لایه آهن نیکل می تواند رفتار بلند مدت سل را نیز برای کاربردهای SOFC بهبود بخشد.

مراجع

- [1] Hecht ES, Gupta GK, Zhu H, Dean AM, Kee RJ, Maier L, et al. Methane reforming kinetics within a NieYSZ SOFC anode support. *Appl Catal A e Gen* 2005;295:40e51.
- [2] Atkinson A, Barnett S, Gorte RJ, Irvine JTS, McEvoy AJ, Mogensen M, et al. Advanced anodes for high-temperature fuel cells. *Nat Mater* 2004;3:17e27.
- [3] Huang B, Wang SR, Liu RZ, Wen TL. Preparation and performance characterization of the FeeNi/ScSZ cermet anode for oxidation of ethanol fuel in SOFCs. *J Power Sources* 2007;167:288e94.
- [4] Douvartzides SL, Coutelieris FA, Demin AK, Tsiakaras PE. Electricity from ethanol fed SOFCs: the expectations for sustainable development and technological benefits. *Int J Hydrogen Energy* 2004;29:375e9.
- [5] Macedo IC, Seabra JEA, Silva JEAR. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass Bioenergy* 2008;32:582e95.
- [6] Park SD, Vohs JM, Gorte RJ. Direct oxidation of hydrocarbons in a solid-oxide fuel cell. *Nature* 2000;404:265e7.
- [7] Venancio SA, Gutierrez TF, Sarruf BJM, Miranda PEV. Direct oxidation of ethanol in SOFC anodes. *Mater Rio De Jan* 2008;13:560e8.
- [8] Ye XF, Wang SR, Hu Q, Chen JY, Wen TL, Wen ZY. Improvement of CueCeO2 anodes for SOFCs running on ethanol fuels. *Solid State Ionics* 2009;180:276e81.
- [9] Cimenti M, Hill JM. Direct utilization of ethanol on ceria based anodes for solid oxide fuel cells. *Asia-Pacific J Chem Eng* 2009;4:45e54.
- [10] Resini C, Delgado MCH, Presto S, Alemany LJ, Riani P, Marazza R. Ytria-stabilized zirconia (YSZ) supported NieCo alloys (precursor of SOFC anodes) as catalysts for the steam reforming of ethanol. *Int J Hydrogen Energy* 2008;33:3728e35.
- [11] Lin YB, Zhan ZL, Liu J, Barnett SA. Direct operation of solid oxide fuel cells with methane fuel. *Solid State Ionics* 2005;176:1827e35.
- [12] Meusinger J, Riensche E, Stimming U. Reforming of natural gas in solid oxide fuel cell systems. *J Power Sources* 1998;71:315e20.
- [13] Dokiya M. SOFC system and technology. *Solid State Ionics* 2002;152e153:383e92.
- [14] Rakass S, Oudghiri-Hassani H, Rowntree P, Abatzoglou N. Steam reforming of methane over unsupported nickel catalysts. *J Power Sources* 2006;158:485e96.
- [15] Jiang SP, Chan SH. A review of anode materials development in solid oxide fuel cells. *J Mater Sci* 2004;39:4405e39.

- [16] Amado RS, Malta LFB, Garrido FMS, Medeiros ME. Solid oxide fuel cells: materials, components and configurations. *Quim Nova* 2007;30:189e97.
- [17] Zhao XY, Yao Q, Li SQ, Cai NS. Studies on the carbon reactions in the anode of deposited carbon fuel cells. *J Power Sources* 2008;185:104e11.
- [18] Mermelstein J, Millan M, Brandon NP. The impact of carbon formation on NieYSZ anodes from biomass gasification model tars operating in dry conditions. *Chem Eng Sci* 2009;64:492e500.
- [19] Gavrielatos I, Drakopoulos V, Neophytides SG. Carbon tolerant NieAu SOFC electrodes operating under internal steam reforming conditions. *J Catal* 2008;259:75e84.
- [20] La Rosa D, Sin A, Lo Faro M, Monforte G, Antonucci V, Arico AS. Mitigation of carbon deposits formation in intermediate temperature solid oxide fuel cells fed with dry methane by anode doping with barium. *J Power Sources* 2009;193:160e4.
- [21] Baker RTK. Catalytic growth of carbon filaments. *Carbon* 1989;27:315e23.

بررسی تاثیر پارامترهای فرایند بر عیوب ظاهری نیم‌پیل سوختی اکسید جامد ساخته شده به روش ریخته‌گری نواری

(ارائه شده در دوازدهمین کنگره سرامیک ایران - اردیبهشت ۱۳۹۸)

امید شریفی^۱، حامد محبی^۲، محمد گل محمد^۳، ابوالفضل ملا احمد^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، پژوهشگاه نیرو، گروه انرژیهای تجدیدپذیر

۲- کارشناس پژوهشی گروه انرژیهای تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو

دانشجوی دکتری مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران hmohebbi@nri.ac.ir

۳- دکتری مهندسی مواد، عضو هیئت علمی پژوهشگاه نیرو، گروه انرژیهای تجدیدپذیر

۴- دانشجوی دکتری مهندسی مواد، پژوهشگاه نیرو، گروه انرژیهای تجدیدپذیر

چکیده: عملکرد مناسب یک پیل سوختی اکسید جامد علاوه بر انتخاب مواد و شرایط مناسب کاری نیازمند کامل و بدون عیب بودن هر یک از اجزای آن می‌باشد. یکی از مناسب‌ترین روش‌های به کار گرفته شده برای ساخت اجزای سل پیل سوختی اکسید جامد (آند و الکترولیت) روش ریخته‌گری نواری می‌باشد که علاوه بر هزینه پایین نسبت به سایر روش‌ها، قابلیت افزایش مقیاس تولید را نیز دارا است. در پژوهش حاضر تاثیر دو پارامتر ترکیب دوغاب و زمان آسیاب که نقش اساسی در بوجود آمدن عیوب مختلف به منظور ساخت دو لایه الکترولیت و آند (نیم پیل) دارند، مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج حاصل، الکترولیت‌هایی که در ترکیب آنها از تریپتئول به عنوان پراکنده ساز استفاده شده بود و آندهایی که ۶ ساعت بعد از افزودن چسب، بال میل (آسیاب) شده بودند به عنوان لایه‌های بهینه‌ی آند و الکترولیت انتخاب شدند. تصاویر میکروسکوپ نوری از سطح لایه‌های بهینه نشان داد سطوح این لایه‌ها کمترین عیوب ظاهری را داشتند. در ادامه لایه‌های بهینه در ضخامت مناسب با فشار ۶۰ مگاپاسکال پرس شد و نیم سل حاصل در دمای ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت زینتر شد. این لایه‌ها کمترین اعوجاج بعد از سیتتر، کمترین آگلومره و کمترین عیوب سطحی را داشتند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع نیم سل بهینه زینتر شده نشان داد که این نیم‌سل‌ها در قسمت آند شامل تخلخل‌های با توزیع همگن و اندازه‌های نزدیک به هم بوده و جدایش قابل توجهی بین لایه‌ها وجود ندارد. بعلاوه ریزساختار نشان داد که تخلخل در لایه الکترولیت بسیار کم است و این لایه دانسیته بالایی دارد.

مقدمه

انرژی‌های تجدید پذیر منابع بالقوه تأمین انرژی و جایگزین بی بدیل سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آیند. پیل سوختی اکسید جامد یکی از انواع انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر محسوب می‌شود که طی یک سری واکنش‌های الکتروشیمیایی سوخت را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند [۱]. راندمان بالا، انعطاف‌پذیری در به کارگیری انواع سوخت‌ها و پوشش طیف وسیعی از دماهای عملیاتی، از جمله مزایای این نوع از پیل‌های سوختی محسوب می‌شوند [۲, ۳]. تولید هم‌زمان توان و حرارت مزیت دیگری است که پیل سوختی اکسید جامد را از سایر انواع پیل سوختی متمایز ساخته است [۴]. ساختمان کلی پیل سوختی اکسید جامد از کنار هم قرار گرفتن تعدادی تک سل تشکیل می‌شود که هر سل شامل اجزاء بنیادی الکترولیت، آند و کاتد است. امروزه طراحی متداول پیکره‌ی سل‌ها به دو گروه صفحه‌ای ولوله‌ای طبقه‌بندی می‌شود [۵, ۶]. مروری بر منابع یک دهه‌ی گذشته نشان می‌دهد که تمرکز محققان بر بهینه‌سازی [۷] و تکامل اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی سل مانند الکترولیت و آند بوده است [۸] که شامل به‌کارگیری مواد نوین و روش ساخت مناسب در راستای ارتقاء عملکرد و پایداری بلند دامنه‌ی پیل سوختی اکسید جامد است. روش‌های عملی و مناسب برای ساخت تک پیل‌های بهینه اکسید جامد باید با دقت مورد توجه قرار گیرند. در انتخاب روش ساخت می‌بایست مواردی نظیر ایجاد ضخامت بهینه سل به منظور دارا بودن خواص مکانیکی مناسب و تولید چگالی توان بالا در کنار هدایت مناسب در نظر گرفته شود. از بین روش‌های متداول در ساخت لایه‌های سرامیکی اجزاء نیم پیل اکسید جامد، روش ریخته‌گری نواری با داشتن مزایایی چون سهولت در اجرا و راندمان بالا از اقبال بیشتری برخوردار است [۹-۱۱]. کیفیت نوار حاصل از این روش مستقیماً متأثر از کیفیت دوغاب تهیه شده است. تاثیر پارامترهای مختلف از جمله ویسکوزیته، اندازه و توزیع ذرات اولیه و بار جامد مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۲-۱۴]. در این میان تاثیر پارامترهایی مانند زمان

آسیا، ترتیب اضافه کردن افزودنی‌ها و ضخامت لایه بر روی کیفیت ظاهری و نهایی نوار کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر برخی از پارامترهای فرایند تهیه دوغاب، ریخته‌گری نواری در کیفیت لایه‌های آند و الکترولیت به منظور ساخت نیم پیل است. از آنجا که یکی از چالش‌های ساخت نیم‌پیل وجود عیوب ظاهری همچون آثار جزیره‌ای در لایه‌های آند و وجود آگلومره‌های مشهود در لایه‌های الکترولیت بود در این پژوهش سعی شد تا اثر پارامترهایی همچون ترکیب دوغاب و زمان آسیا روی این عیوب مورد بررسی قرار گیرند. در نهایت بعد از بهینه شدن این پارامترها لایه‌های آند و الکترولیت با روشی مناسب روی هم لایه‌ها شوند و نیم‌پیلی با کیفیت ظاهری و عملکردی مناسب تهیه شود.

مواد و روش تحقیق

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش جهت ساخت دوغاب در جدول (۱) ارائه شده است. برای ساخت نوار آند به روش ریخته‌گری نواری، دوغابی با ۴۲ درصد وزنی بار جامد ساخته شد. برای این منظور ۵۰٪ وزنی از پودر NiO-8YSZ (نسبت حجمی ۴۰ به ۶۰) با ۴۰٪ وزنی اتانول و تولوئن به عنوان حلال، ۴٪ وزنی نشاسته به عنوان تخلخل‌زا و ۳٪ وزنی پلاستیسایزر به همراه گلوله‌های زیرکونیایی به مدت ۱۲ ساعت توسط بال میل مخلوط شدند تا دوغابی همگن تهیه شود. سپس ۳٪ وزنی چسب نیز به این دوغاب اضافه شد و مجدداً فرایند اختلاط توسط بالمیل ادامه یافت. لازم به ذکر است به منظور اختلاط بهتر دوغاب نسبت گلوله به دوغاب ۲ به ۱ در نظر گرفته شد و نسبت حجم دوغاب به ظرف به گونه‌ای انتخاب شد که همواره یک سوم ظرف خالی باشد. دوغاب حاصل در زمان‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت بعد از افزودن چسب بوسیله‌ی دستگاه ریخته‌گری نواری به صورت نوارهایی به ضخامت ۴۵۰ میکرون شکل داده شد. برای

بررسی اثر زمان آسیاب بعد از افزودن چسب روی کیفیت سطحی نوارها، سطح نوارها توسط میکروسکوپ نوری و چشم غیر مسلح بررسی شد.

جدول ۱. مواد اولیه مورد استفاده برای ساخت دوغاب

نام ماده	نقش ماده در دوغاب	شرکت سازنده
NiO-8YSZ	پودر آند	Fuelcellmaterials
8YSZ	پودر الکترولیت	Tosoh
Ethanol	حلال	Merck
Toluene	حلال	Merck
Starch	تخلخل زا	Merck
Terpineol	پراکنده ساز	Merck
BBP	پلاستیسایزر	Sigma Aldrich
PVB	چسب	Sigma Aldrich

برای ساخت نوار الکترولیت، دوغابی با ۵۰٪ وزنی بار جامد با دو فرمولاسیون مختلف که یکی شامل تریپینول و دیگری بدون تریپینول بود ساخته شد. در همین راستا ۵۰٪ پودر سرامیکی 8YSZ با ۴۳٪ حلال و ۷٪ پلاستیسایزر و چسب یک بار با تریپینول (به نسبت ۲ در صد وزنی) و یک بار بدون تریپینول به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از بال میل مخلوط شدند. سپس دوغاب در زمانهای ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۲۴ ساعت بعد از افزودن چسب به صورت نوارهایی با ضخامت ۲۰۰ میکرون ریخته گری شد. دوغابهای حاصل برای بررسی اثر زمان آسیاب بعد از افزودن چسب و اثر تریپینول به عنوان پراکنده ساز روی مقدار و سایز آگلومره های دوغاب بوسیله دستگاه grindometer با نام تجاری elcometer مورد تست قرار گرفت و همچنین سطح نوارها با میکروسکوپ نوری بررسی شد. در نهایت برای ساخت نیم سل ابتدا نوارهای آند و الکترولیت بهینه شده در مراحل قبلی با ضخامت مناسب روی هم قرار داده شدند و به مدت ۱۵ دقیقه داخل

خشک کن در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. بلافاصله بعد از خروج از خشک کن تحت فشار ۶۰ مگاپاسکال پرس شدند. در نهایت از این لایه‌ها قرص‌هایی با قطر ۲,۵ سانتی متر پانچ شد. این قرص‌ها در دمای ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت زینتر شدند. ریز ساختار سطح شکست نمونه زینتر شده بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, Vega\TESCAN) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تصاویر میکروسکوپ نوری از سطح نوار آند ریخته‌گری شده پس از آسیاب در زمان‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. شکل (۱-الف) سطح نوار آند ریخته‌گری شده در ۲ ساعت بعد از افزودن بایندر را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این سطح دارای آثار جزیره‌ای شکل بوده و از یکنواختی قابل قبولی برخوردار نیست. این غیر یکنواختی ممکن است از کافی نبودن زمان اختلاط و حل نشدن چسب در دوغاب باشد. به این صورت که چسب فرصت کافی برای همگن شدن در دوغاب را نداشته به همین دلیل بعد از ریخته‌گری و به هنگام خشک شدن حلال به صورت نا همگن از سطح دوغاب و از قسمت‌هایی که چسب کمتری دارد سریع‌تر خارج شده است. این اتفاق می‌تواند مربوط به تشکیل زنجیره‌های ناقص پلیمری چسب در دوغاب نیز باشد. به این ترتیب که چون چسب فرصت کافی برای همگن شدن در دوغاب را نداشته است لذا زنجیره‌های ایجاد شده توسط آن نیز همگن نبوده و یا کامل نشده است و این غیر یکنواختی در سطح مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است آثار در نوارهای ریخته شده بعد از ۲ ساعت آنقدر شدت داشت که بعضاً با چشم غیر مسلح نیز مشاهده می‌شد. تصویری از این آثار روی نوار آند در شکل (۲) آورده شده است که با چشم غیر مسلح نیز دیده می‌شود. مقدار این آثار همانطور که در شکل (۱-ب) مشاهده می‌شود

در نوارهای ریخته شده ۴ ساعت بعد از افزودن بایندر کمتر شده و در نوارهای ریخته شده ۶ و ۸ ساعت بعد از افزودن چسب از بین رفته است (شکل (۱-ج) و (۱-د)).

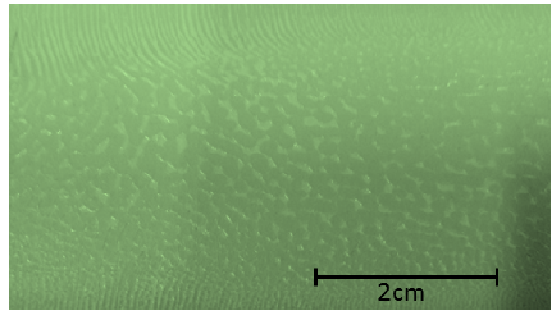


شکل ۱. تصویر میکروسکوپ نوری از سطح نوار آند: الف) ۲ ساعت، ب) ۴ ساعت، ج) ۶ ساعت، د) ۸ ساعت

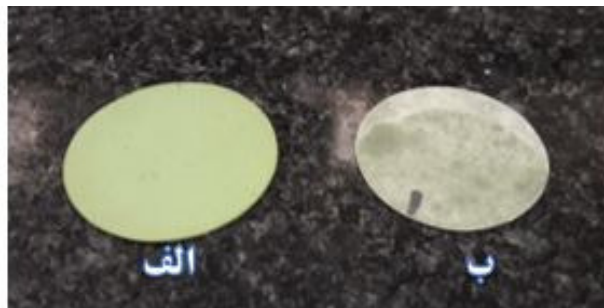
البته سطح نوارهای ریخته شده در ۸ ساعت بعد از افزودن کمی حالت براق پیدا کرده این موضوع در شکل (۱-د) مشهود است. علت این امر می تواند ناشی از حل شدن بیش از اندازه ی چسب در حلال باشد به این صورت که هنگام خشک شدن نوار و تبخیر حلال ها چسب نیز به همراه حلال به سطح نوار مهاجرت کرده ولی نمی تواند تبخیر شود لذا در سطح مقدار بیشتری چسب تجمع کرده و گیرش اتفاق می افتد. به همین علت سطح شفاف تری مشاهده می شود که ناشی از غلظت چسب زیاد است، چسبناک بودن سطح برخی از نوارها که زمان زیادی از هم خوردن چسب آن ها گذشته بود صحت این ادعا را تایید میکنند. کیفیت نوار خام آند روی کیفیت نمونه ی زینتر شده کاملاً تاثیرگذار است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می شود نمونه ی آندی که از نوار ریخته گری شده در ۶ ساعت بعد از افزودن بایندر ساخته و پخته شد (شکل (۳)-۳)

الف)) کیفیت ظاهری به مراتب بهتری از نمونه‌ی آند ریخته شده در ۲ ساعت بعد از افزودن بایندر(شکل ۳)-

ب)) دارد لذا نوار ریخته شده در ۶ ساعت بعد از افزودن بایندر به عنوان نوار بهینه انتخاب شد .



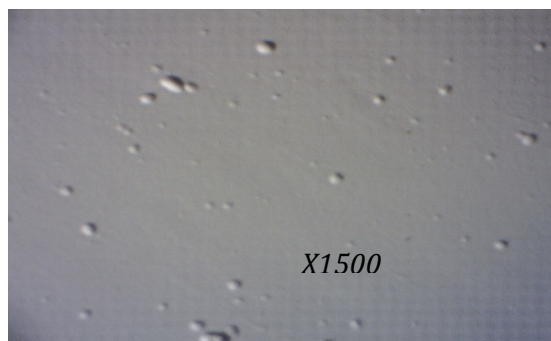
شکل ۲. عکس دیجیتالی سطح نوار آند ریخته شده بعد از ۲ ساعت



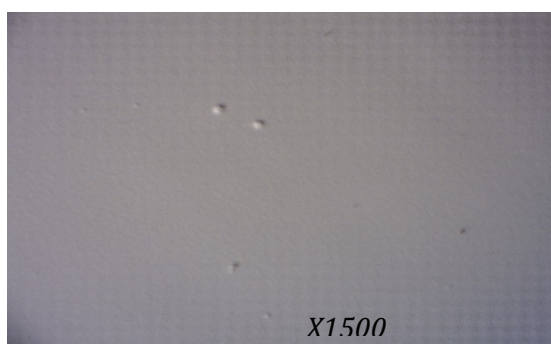
شکل ۳. آندهای حاصل از پخت نوارهای ریخته‌گری شده، الف) ۶ ساعت بعد از افزودن بایندر و ب) ۲ ساعت بعد از افزودن بایندر

تصویر میکروسکوپ نوری نوار الکترولیت فاقد تریپینئول ریخته شده در ۲ ساعت بعد از افزودن بایندر در شکل (۴) آورده شده است. وجود مقدار زیادی از آگلومره‌های درشت در این نوارها مشهود است. با افزایش زمان بال میل در نوارهایی که فاقد تریپینئول بودند مقدار آگلومره‌ها و سایز آنها کمتر شد ولی حتی پس از ۲۴ ساعت نیز این آگلومره‌ها از بین نرفت و همچنان مقداری آگلومره با سایز قابل توجه در نوارها دیده می‌شد (شکل (۵)). با افزودن مقادیری از تریپینئول به عنوان پراکنده ساز به دوغاب الکترولیت مشاهده شد که در زمان‌های ۲ و ۴ ساعت بعد از افزودن چسب، سایز و مقدار آگلومره‌ها نسبت به دوغاب‌های مشابه که تریپینئول

ندارند کمتر شده است. آگلومره‌ها در ۶ ساعت بعد از افزودن چسب به دوغاب‌های حاوی تریپینتول کاملاً از بین رفت و آثاری از آگلومره‌ها در میکروسکوپ نوری نیز دیده نمی‌شد.



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ نوری نوار الکترولیت فاقد تریپینتول ریخته شده ۲ ساعت بعد از افزودن چسب



شکل ۵. تصویر میکروسکوپ نوری نوار الکترولیت فاقد تریپینتول ریخته شده ۲۴ ساعت بعد از افزودن چسب

نتایج اندازه گیری سایز آگلومره‌ها در دوغاب‌های با زمان‌های بال میل مختلف بعد از افزودن بایندر در جدول (۲) آورده شده است. نتایج این جدول صحت مشاهدات در میکروسکوپ نوری را تایید میکند و همانطور که در این نتایج نیز دیده می‌شود آگلومره‌ها بدون حضور تریپینتول هیچگاه به‌طور کامل از بین نرفته ولی در دوغاب‌های حاوی تریپینتول بعد از ۶ ساعت تقریباً آگلومره‌ای مشاهده نشد. اهمیت حضور پراکنده‌ساز

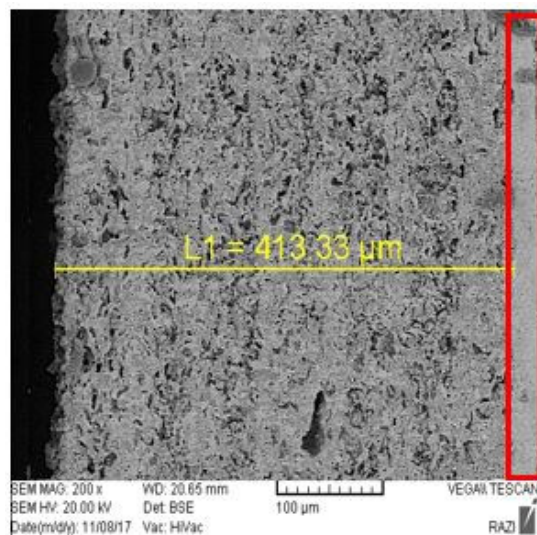
در دوغاب‌های الکترولیت مشهود است و مشاهده شد که بال میل به تنهایی توانایی شکستن تمامی آگلومرها را ندارد.

جدول ۲. سایز آگلومره‌های دوغاب در طول زمان بال میل

سایز آگلومره‌ها (میکرون)		زمان بال میل بعد از افزودن بایندر (ساعت)
دوغاب حاوی تریپتئول	دوغاب فاقد تریپتئول	
< ۱۰ میکرون	< ۵۰ میکرون	۲
< ۱۰ میکرون	< ۵۰ میکرون	۴
< ۵ میکرون	< ۵۰ میکرون	۶
< ۵ میکرون	< ۳۰ میکرون	۸
< ۵ میکرون	< ۳۰ میکرون	۱۰
< ۵ میکرون	< ۱۵ میکرون	۲۴

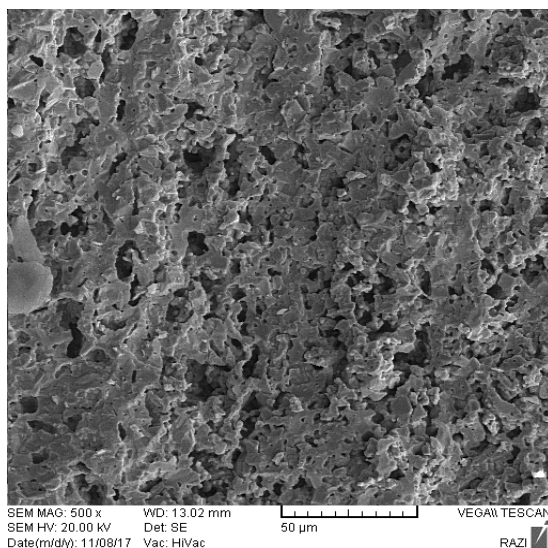
ترکیب بهینه‌ی الکترولیت نمونه حاوی تریپتئول و ریخته شده ۶ ساعت بعد از افزودن چسب، انتخاب شد.

تصویر ریز ساختار از سطح شکست نیم پیل تهیه شده از نوارهای بهینه شده‌ی آند و الکترولیت در شکل (۶) آورده شده است.



شکل ۶. تصویر SEM از سطح شکست نیم پیل تهیه شده از نوارهای بهینه

مطابق شکل فوق، ضخامت لایه آند ۴۱۳ میکرون اندازه گیری شد، تخلخل‌های موجود در آند همگن و شواهدی مبنی بر چسبندگی ضعیف بین لایه‌های آند مشاهده نشد. ناحیه‌ی محصور در کادر مستطیلی مندرج در شکل فوق مربوط به لایه‌ی چگال الکترولیت است. سایر لایه‌ها از برهم نشانی و پرس چندین لایه آند، ناحیه‌ی متخلخل ساپورت آند را تشکیل می‌دهند. لایه الکترولیت نیز دارای تراکم بالا (دانسیته ۹۵ درصد) و ضخامت ۱۵ میکرون و چسبندگی خوب به لایه آند است و به نظر میرسد بتواند کارایی لازم را به عنوان الکترولیت داشته باشد. در شکل (۷) تصویری با بزرگنمایی بالاتر از سطح یکی از لایه‌های آند آورده شده است. مشاهده می‌شود که توزیع تخلخل‌ها و سایز تخلخل‌ها نسبتاً همگن بوده و این نتیجه‌ی بهینه بودن عملیات مخلوط سازی دوغاب و ریخته گری می‌باشد. سایز تخلخل‌ها در آند بین ۵ تا ۱۰ میکرون می‌باشد.



شکل ۷. تصویر SEM از سطح شکست لایه‌ی آند

نتیجه گیری

- ۱- در ساخت نوار الکترولیت زمان بال میل در کیفیت سطحی نوار با اثر گذاشتن در نحوه‌ی حل شدن چسب اثر گذار است ولی نمی‌تواند به تنهایی همه‌ی آگلومره‌های دوغاب را از بین ببرد.
- ۲- در ساخت نوار آند زمان ۶ ساعت برای حل شدن چسب و از بین رفتن آگلومره به منظور رسیدن به نوارهای با کیفیت ظاهری و عملکرد مطلوب به عنوان زمان بهینه انتخاب شد.
- ۳- اهمیت بهینه سازی فرآیندهای ساخت و حساسیت‌های روش‌های دوغابی به پارامترهای فرآیند مثل زمان و انتخاب مواد مشاهده شد و لزوم استفاده از پراکنده ساز در دوغاب‌های الکترولیت نیم پیل سوختی در این پژوهش تایید شد.
- ۴- نیم سل بهینه زیتر شده در دمای ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت، منجر به ایجاد لایه آند یکپارچه با تخلخل همگن و لایه تقریباً متراکم الکترولیت شد.

مراجع

- [1] Torabi, M., et al., Experimental Investigation of a Solid Oxide Fuel Cell Stack using Direct Reforming Natural Gas. Iranian Journal of Hydrogen & Fuel Cell, 2017. 4(4): p. 301-306.
- [2] Mohebbi, H., et al., Development of Planar Solid Oxide Fuel Cell in Niroo Research Institute, Iran. ECS Transactions, 2011. 35(1): p. 543-549.
- [3] Bozorgmehri, S. and M. Hamed, Analysis of Design Parameters in Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cells Using Response Surface Methodology. Fuel Cells, 2013. 13(5): p. 751-760.
- [4] Burer, M., et al., Multi-criteria optimization of a district cogeneration plant integrating a solid oxide fuel cell-gas turbine combined cycle, heat pumps and chillers. Energy, 2003. 28(6): p. 497-518.

- [5] Minh, N.Q. and T. Takahashi, Chapter 2 - Principles of operation, in Science and Technology of Ceramic Fuel Cells, N.Q. Minh and T. Takahashi, Editors. 1995, Elsevier Science Ltd: Oxford. p. 15-40.
- [6] Singhal, S.C., Advances in solid oxide fuel cell technology. Solid State Ionics, 2000. **135**(1): p. 305-313.
- [7] Palazzi, F., et al., A methodology for thermo-economic modeling and optimization of solid oxide fuel cell systems. Applied Thermal Engineering, 2007. **27**(16): p. 2703-2712.
- [8] Bozorgmehri, S. and M. Hamedi, Modeling and Optimization of Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cells on Cell Parameters via Artificial Neural Network and Genetic Algorithm. Fuel Cells, 2012. **12**(1): p. 11-23.
- [9] Nishihora, R.K., et al., Manufacturing porous ceramic materials by tape casting—A review. Journal of the European Ceramic Society, 2018. **38**(4): p. 988-1001.
- [10] Myung, J.-h., et al., Development of solid oxide fuel cells (SOFCs) by tape-casting and single-step co-firing of monolithic laminates. International Journal of Hydrogen Energy, 2014. **39**(5): p. 2313-2319.
- [11] Costa, R., et al., Tape casting of proton conducting ceramic material. Journal of Applied Electrochemistry, 2009. **39**(4): p. 485-495.
- [12] Gutiérrez, C.A. and R. Moreno, Influence of slip preparation and casting conditions on aqueous tape casting of Al₂O₃. Materials Research Bulletin, 2001. **36**(11): p. 2059-2072.
- [13] Montinaro, D., et al., Tape casting fabrication and co-sintering of solid oxide “half cells” with a cathode–electrolyte porous interface. Solid State Ionics, 2006. **177**(19): p. 2093-2097.
- [14] Watanabe, H., T. Kimura, and T. Yamaguchi, Particle Orientation During Tape Casting in the Fabrication of Grain-Oriented Bismuth Titanate. Journal of the American Ceramic Society, 1989. **72**(2): p. 289-293.

کنگره جهانی زمین گرمایی در سال ۲۰۲۰



انجمن بین‌المللی ژئوترمال (IGA) که در سال ۱۹۸۸ تأسیس شد، یک سازمان غیرانتفاعی و غیر دولتی است و هدف از تشکیل آن ارائه مشوقهای مالی جهت انجام تحقیقات، توسعه و استفاده از منابع زمین گرمایی در سراسر جهان از طریق انتشار اطلاعات علمی و فنی در بین متخصصان زمین گرمایی، جامعه تجاری، نمایندگان دولت، سازمان‌های زیرمجموعه سازمان ملل متحد، جامعه مدنی و عموم مردم است. این انجمن به همراهی Iceland Geothermal Cluster initiative کنگره جهانی زمین گرمایی را از ۲۷ آوریل تا ۱ مه ۲۰۲۰ در ریکیاویک ایسلند برگزار می‌کند.

در این کنگره در زمینه‌های ژئوشیمیایی و جنبه‌های زیست محیطی توسعه زمین گرمایی، جنبه‌های مهندسی استفاده از زمین گرمایی، حفاری زمین گرمایی و مدیریت پروژه و امور مالی، دوره‌هایی با عناوین زیر برگزار می‌شود:

- مدل سازی مفهومی سیستم‌های زمین گرمایی
- مبارزه با تغییرات آب و هوایی در راستای اهداف توسعه پایدار: نقش زمین گرمایی
- سیاست‌ها، مقررات و تأثیرات اجتماعی
- استفاده از منابع زمین گرمایی با دمای پایین تا متوسط – نمونه انجام شده در ایسلند
- چالش‌ها و راه‌حل‌ها در عملیات نیروگاهی

- حفاری زمین‌گرایی: استانداردها، استراتژی‌ها و کاهش خطرات و هزینه‌ها
- مدیریت پروژه و امور مالی در توسعه زمین‌گرایی
- گسترش الگوی اقتصادی زمین‌گرایی
- عدم اطمینان، ریسک و تجزیه و تحلیل جهت تصمیم‌گیری برای منابع زمین‌گرایی

همچنین در این کنگره مقالاتی در زمینه‌های زیر نیز ارائه می‌گردد:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| ۱. تولید برق | ۱۶. فناوری حفاری و تکمیل |
| ۲. جنبه‌های زیست محیطی | ۱۷. مهندسی مخزن |
| ۳. جنبه‌های سیاسی، حقوقی و نظارتی | ۱۸. فناوری تزریق |
| ۴. اقتصاد و تأمین مالی | ۱۹. مدیریت میدانی |
| ۵. پایداری و تغییر آب و هوا | ۲۰. سیستم‌های جمع‌آوری بخار |
| ۶. جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی | ۲۱. همکاری‌های بین‌المللی |
| ۷. استراتژی‌های تجاری | ۲۲. خوردگی و مقیاس‌گذاری |
| ۸. آموزش زمین‌گرایی | ۲۳. کاربرد مستقیم |
| ۹. اکتشاف | ۲۴. پمپ‌های حرارتی زمین‌گرایی |
| ۱۰. زمین‌شناسی | ۲۵. EGS - سیستم‌های پیشرفته ژئوترمال |
| ۱۱. ژئوفیزیک | ۲۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها و داده‌های بزرگ |
| ۱۲. ژئوشیمی | ۲۷. نرم‌افزارهای کاربردی زمین‌گرایی |
| ۱۳. هیدروژئولوژی | ۲۸. بهداشت و گردشگری |
| ۱۴. ارزیابی منابع | ۲۹. استخراج و فرآوری مواد معدنی |
| ۱۵. سیستم‌های انرژی یکپارچه | ۳۰. فناوری پیشرفته (ماگما، ژئوپرسور و غیره) |

نشست تخصصی فناوری، توسعه پایدار و اقتصاد هیدروژنی



سلسله نشستهای تخصصی انجمن هیدروژن و پیل سوختی ایران

فناوری، توسعه پایدار و اقتصاد هیدروژنی

اقتصاد هیدروژنی پایدار
دکتر افسانه سادات لاریمی
عضو هیات علمی گروه پژوهشی شیمی و فرآیند پژوهشگاه نیرو

مهندسی سیستم‌های فرآیندی جهت طراحی زنجیره تامین هیدروژن
دکتر محمد فخرالاسلام
عضو هیات علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس

حامله‌های هیدروژن تجدیدپذیر جهت ذخیره و انتقال هیدروژن
دکتر مهرنضی حسین پور
عضو هیات علمی گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو

زمان: چهارشنبه ۴ دی ساعت ۹ تا ۱۲:۳۰
مکان: شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دامن، پژوهشگاه نیرو، سان رودکی
شرکت برای عموم علاقه‌مندان رایگان است
نیت نام تا یک روز پیش از برگزاری در آدرس WWW.NRI.ac.ir/NRI-Seminars
هزینه صدور گواهی: ۳۰۰,۰۰۰ ریال

دیرخانه انجمن هیدروژن و پیل سوختی:
آدرس: شهرک قدس، انتهای بلوار دامن، ساختمان انرژی‌های تجدیدپذیر تلفن: ۸۸۴۶۱۶۰۱ پست الکترونیکی: info@ihfca.ir

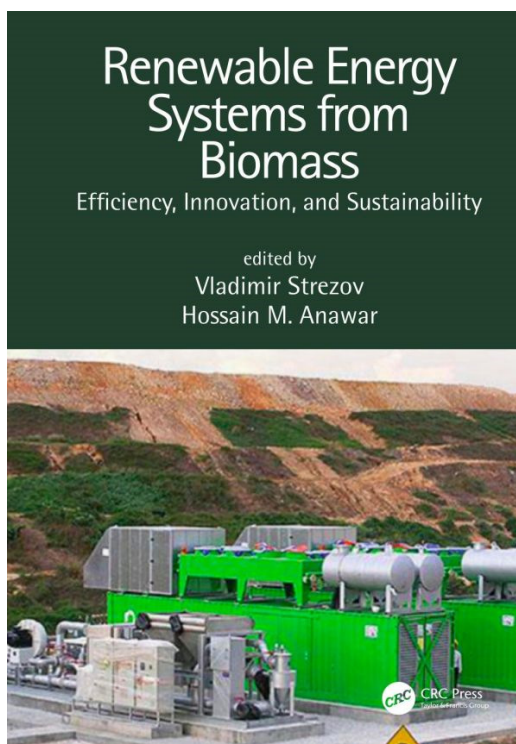
این نشست با همکاری گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو و انجمن هیدروژن و پیل سوختی ایران، در دی‌ماه ۱۳۹۸ و در پژوهشگاه نیرو برگزار گردید و به ۳ محور اقتصاد هیدروژنی پایدار، مهندسی سیستم‌های فرآیندی جهت طراحی زنجیره تامین هیدروژن و حامله‌های هیدروژن تجدیدپذیر جهت ذخیره و انتقال پرداخته شد.

در این نشست که سخنرانان آن آقایان دکتر فخرالاسلام و حسین پور و خانم دکتر لاریمی بوده‌اند، به شرح مختصری از منابع و سیستم های تولید و ذخیره سازی هیدروژن پرداخته شد و سپس مطالعات انجام شده در پژوهشگاه نیرو در خصوص انتخاب گزینه هایی که منجر به اقتصاد هیدروژنی پایدار می شوند، ارائه شد و در ادامه گزینه های استفاده نهایی از هیدروژن در راستای صنعت برق و انرژی مورد بررسی قرار گرفت و در انتها یک نقشه راه برای ایران پیشنهاد گردید.

معرفی کتاب (لاتین):

Title: Renewable Energy Systems from Biomass: Efficiency, Innovation, and Sustainability

عنوان: سیستم های انرژی تجدیدپذیر از نوع زیست توده: بهره وری ، نوآوری و پایداری



جمع‌آوری و ویرایش: ولادیمیر استرزوف و حسین آناوار

ناشر : CRC Press

تعداد صفحات : ۲۷۹

تاریخ انتشار : ۲۰۱۹

با توسعه فناوری استفاده پایدار از منابع زیست توده، فرصتی برای طراحی نسل چهارم فناوریهای زیست توده به وجود آمده است، که نه تنها مشکلات فعلی را از استفاده بیش از حد از سوخت های فسیلی برای تولید پایدار برق و انرژی برطرف می کند، بلکه بخشی از مشکلات زیست محیطی ناشی از پسماند را از بین می برد.

در همین راستا این کتاب به ارائه مباحث جدید در مورد سیستم های زیست توده که توسعه یافته اند یا در حال توسعه هستند، پرداخته است، تا از منابع زیست توده به طور کارآمدتری استفاده شود و باعث ارتقاء مزایای زیست محیطی و پایداری استفاده از این سیستمها شود. از جمله این مباحث وضعیت فعلی سیستمهای تولید انرژی مرتبط با منابع زیست توده، مدل سازی سیستم انرژی پایدار از منابع زیست توده تجدید پذیر، تولید انرژی پایدار از منابع پسماند تجدیدپذیر، ارزیابی فنی و اقتصادی بیوگاز، تولید انرژی تجدیدپذیر از محصولات زراعی، ترکیب سیستمهای زیست توده با سایر سیستمهای تجدیدپذیر، سیستم های تولید سوختهای زیستی با استفاده از انرژی خورشیدی، تولید هیدروژن از زیست توده، استفاده از سوختهای زیست توده در پیلهای سوختی و ترکیب سیستمهای تجدیدپذیر و استفاده از انرژی زیست توده در ساختمانهای ساخته شده می باشند.

معرفی کتاب (فارسی):

عنوان: پلت چوبی: منبع انرژی تجدیدپذیر (از تولید به مصرف)



پدیدآورنده: مهدی رضایی - ابوعلی گلزاری

ناشر: آوای قلم

تعداد صفحات: ۵۶۵

تاریخ انتشار: ۱۳۹۸

• شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۷۱۰-۲۷-۵

این کتاب که دارای ۷ فصل می‌باشد، در فصل اول استانداردهای مربوط به پلت را مورد بررسی قرار داده و در فصل دوم مراحل مربوط به تولید پلت را شرح داده است. سپس در دو فصل سوم و چهارم لجستیک و فناوری‌های احتراق مربوط به پلت را تحلیل کرده و در فصل پنجم به آنالیز هزینه و ارزیابی زیست محیطی پرداخته است. در پایان در دو فصل ششم و هفتم مروری بر بازار بین‌المللی کرده و دورنمای آن را مورد بررسی قرار داده است.

