

طراحی و ساخت سیستم کنترلی و تک سل پیل سوختی متانولی برای کاربرد قابل حمل

سید جواد ایمن، علی اصغر قریشی*، سید مهدی رخت اعلاء رستمی، محمد فلاح، حسین کریم نیا

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، گروه پژوهشی پیل سوختی

تاریخ پذیرش: ۸۶/۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۲/۱۶

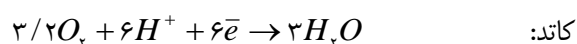
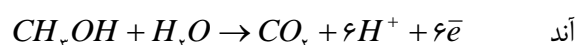
چکیده

استفاده از پیل سوختی متانولی برای کاربردهای قابل حمل و مصارف شخصی میدانی یکی از بهترین کاندیدا در میان انواع پیل سوختی است. طراحی میدان جریان آندی و کاتدی بهینه در هر ظرفیت معین و بهینه کردن شرایط عملیاتی جهت رسیدن به حداکثر توان الکتریکی در پیل‌های سوختی متانولی (DMFC) امری ضروری می‌باشد. در این مطالعه تجربی یک تک سلول پیل سوختی متانولی با استفاده از غشاء نافیون ۱۱۷ و کاتالیست آندی با ظرفیت $4 \text{ mg/cm}^2 \text{ PtRu}$ و کاتالیست کاتدی با ظرفیت $4 \text{ mg/cm}^2 \text{ Pt}$ و با سطح موثر به ابعاد $10 \times 10 \text{ cm}$ طراحی و ساخته شد. همچنین دستگاه تست تک سل شامل سیستم‌های تغذیه کاتدی و آندی به همراه سیستم کنترل آن به صورت یک مجموعه کامل آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. نتایج ولتاژ-جریان به دست آمده از آزمایش سلول تحت شرایط عملیاتی مختلف بیانگر عملکرد موفقیت آمیز سلول بوده است. بهترین نتیجه سلول در دمای 70°C و غلظت متانول یک مولار به دست آمده که دانسیته جریان در این شرایط 202 mA/cm^2 و ولتاژ 0.413 V بوده است. این نتایج راه را برای طراحی و ساخت یک مجموعه سل (stack) با توان $1/25 \text{ KW}$ که هدف نهایی این پروژه تحقیقاتی می‌باشد هموار ساخته است.

واژه های کلیدی: پیل سوختی متانولی، دستگاه تست، منحنی قطبیت، الکتروکاتالیست، MEA

۱- مقدمه

متانول با آب در مجاورت یک الکترولیت در حضور یک کاتالیزور، تعدادی پروتون را تولید می‌کند. در نتیجه در این سمت، بار منفی جمع می‌شود. در سمت کاتد یک اکسید کننده (هوا یا اکسیژن) در مجاورت کاتالیزو با ترکیب اکسیژن و پروتون‌های عبور کرده از میان غشاء، آب، گرما و اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کند. واکنش کلی اکسیداسیون متانول به دی اکسید کربن و آب در دو طرف سل به قرار زیر می‌باشد:



پیل سوختی متانولی (DMFC) گونه‌ای از پیل‌های سوختی است که با استفاده از غشاء تبادلگر پروتون کار می‌کند. این نوع پیل، به دلیل عدم نیاز به مبدل (reformer) در کاربری‌های قابل جابجایی و ادوات متحرک جذابیت‌هایی دارد. نقطه ضعف DMFC نسبت به گونه‌های دیگر، پایین بودن کارایی تبدیل انرژی آن است. در یک سلول DMFC، به طوری که در شکل ۱ نشان داده شده، در سمت آند محلول

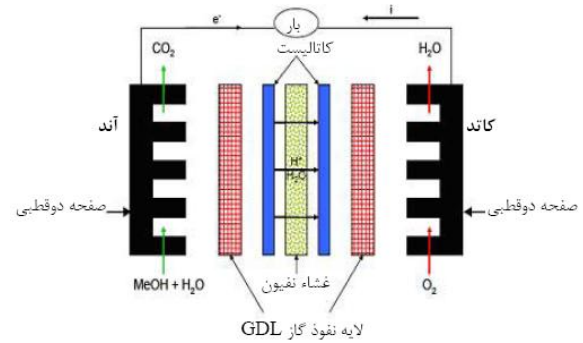
*- نویسنده مکاتبه کننده

می‌سازند. برای آماده سازی شرایط تداوم عملکرد سلول‌های سری، سیستم جانبی لازم است که این سیستم وظیفه فراهم کردن شرایط محیطی مناسب برای واکنش‌های الکتروشیمیایی (درجه حرارت، فشار ...) و تغذیه واکنشگرها و خروج مواد زائد از محیط واکنش را بر عهده دارد.

۲- نگاه اجمالی بر سابقه تحقیقات

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در رابطه با ساخت و توسعه پیل‌های DMFC صورت گرفته است. یکی از کارهای جالب از رن و همکاران [۱] گزارش شده که دانسیته‌های توان بالای (۳۸ mW.cm^{-۲}) با استفاده از MEA برپایه نفیون ۱۱۲، ۱۱۵ و ۱۱۷ تهیه شده از Pt-RuOx پشتیبانی شده با میزان بار گذاری (۲/۲ mg/cm^{-۲}) به عنوان کاتالیست کاتدی (از شرکت Etek) و پلاتین سیاه به عنوان کاتالیست آندی (از شرکت Johnson Matthey) به دست آمده است. تأثیر نوع غشاء از این نظر جالب توجه بود که گرچه استفاده از نفیون نازک‌تر، بالاترین دانسیته توان را داد ولی نفیون ۱۱۵ بهترین عملکرد در دانسیته جریان پایین می‌دهد چراکه در محدوده جریان پایین در غشای نازک‌تر، انتقال^۵ متانول واکنش نکرده بزرگ‌تر بوده است. در سال‌های اخیر، مقایسه‌ای بین عملکرد نفیون ۱۱۵ و ۱۱۷ برای DMFC دمای عملیاتی ۹۰ °C گزارش شده است [۲]. کاتالیست‌های استفاده شده، برای آند، Pt-Ru/C با پشتیبان کربنی (۰/۶۵ mgPt.cm^{-۲})، (۵۴wt%) و برای کاتد (Pt/C mgPt.cm^{-۲})، (۴۶ wt%) بوده‌اند. باز هم، نفیون ۱۱۲ عملکرد بالایی در دانسیته‌های جریان

($150 \text{ mA.cm}^{-2} >$) نشان داد در حالی که نفیون ۱۱۷ در ناحیه پلاریزاسیون کم، مناسب‌ترین بود [۲]. مشاهده گردید سرعت عبور متانول واکنش نکرده با کاهش غلظت تغذیه‌ای متانول در محدوده ۳ تا ۹٪ حجمی، تقریباً به طور خطی کاهش می‌یابد. مقایسه بین غشاهای مختلف همچنین در این مطالعه انجام شده و بازهم مشاهده گردید عبور متانول واکنش نکرده با بیشترین شدت برای نفیون ۱۱۲ بوده گرچه نفیون ۱۱۲ دارای عملکرد خوبی به ویژه در دانسیته‌های جریان بالا (حتی برای ۹۰ درصد حجمی) بوده است. در ناحیه



شکل ۱- شمای یک سلول پیل سوختی

الکترولیت، در این پیل، یک غشاء پلیمری جامد است که خصوصیات آن به شدت وابسته به چگونگی چیدمان مولکول‌ها دارد، و ساخت آن مستلزم داشتن تکنولوژی بالا است. برای این که کاتالیزور وظیفه خود را به خوبی انجام دهد، میزان تماس آن با غشاء باید بسیار زیاد باشد و روی آن به خوبی بنشیند و الکترودها (آند و کاتد)، باید کاملاً در تماس با غشاء باشند. این مجموعه ظریف برای کارکرد، نیاز به تبادل ماده و جریان الکتریکی با محیط اطراف خود دارد. این مجموعه غشاء (همراه با کاتالیست‌ها) و الکترودها، به شکل یکپارچه مورد استفاده قرار می‌گیرد که به MEA^۲ موسوم است و عموماً شامل ۳، ۵ یا ۷ لایه است و به طور کلی فرآیند الکتروشیمیایی پیل در آن انجام می‌شود. جهت تماس مناسب بین واکنشگرها و MEA و نیز هدایت الکترون‌ها به مدار خارجی از صفحات جمع‌کننده (نوعاً گرافیتی) تک قطبی^۳ یا دو قطبی^۴ استفاده می‌گردد. مجموعه صفحات هدایتگر (صفحات گرافیتی) و MEA باید به نحوی با هم مونتاژ می‌شوند که از محیط خارج کاملاً ایزوله گشته است. این مجموعه را در یک پیل سوختی سلول می‌نامند.

خروجی اصلی پیل، رفتار الکتریکی آن است که عموماً به صورت منحنی ولت-آمپر قطبیت که بر واحد سطح یک سلول نمایش داده می‌شود، این منحنی شدیداً به پارامترهای نوع MEA، تعادل شیمیایی، الگوی جریان آندی و کاتدی، شرایط فیزیکی (دما، فشار ...) و نوع و غلظت واکنشگرها وابسته است. چون در اغلب موارد، یک سلول فاقد خصوصیات الکتریکی (جریان و ولتاژ کافی) مورد نظر است، گروهی از آنها را با هم ترکیب (معمولاً سری) کرده و یک مجموعه سل (stack)

^۲ Membrane Electrode Assembly

^۳ Unipolar

^۴ Bipolar.

^۵ Cross Over-

سوختی متانولی و سیستم نرم افزاری وسخت افزار کنترلی آن می پردازیم.

۳- ساخت تک سلول پیل سوختی متانولی و سیستم کنترلی و نرم افزاری آن

کارایی یک پیل سوختی به ترکیب MEA، نوع مدل جریان آندی و کاتدی، روش و دقت ساخت و مونتاژ، و شرایط عملیاتی سلول بستگی دارد. مستندات زیادی در سابقه تحقیقاتی آمده مبتنی بر این که عملکرد بهینه سلول و یا حتی کارکرد عادی آن نیاز به کنترل دقیق شرایط عملیاتی مانند دما، فشار، دبی، غلظت سوخت و هوا ورودی و خروجی دارد. اما برای تست یک پیل سوختی باید انواع حالات و شرایط مختلف ورودی و خروجی و یا اعمال بار مختلف بر روی پیل اقدام نمود تا با بررسی همه پارامترها و شرایط بتوان نقطه کارکرد بهینه پیل را پیدا نمود. جهت این امر از دستگاه تست که به آن test station می گویند استفاده می شود.

۳-۱- ساخت و آماده سازی سلول پیل سوختی متانولی ۳-۱-۱- صفحات دوقطبی:

بر اساس تجربیات موجود در کشور و پیشینه تحقیق در پیل های سوختی متانولی درجهان، گرافیت مدل کامپوزیتی و EK20 و فولاد ضدزنگ ST-316L برای صفحات دو قطبی در نظر گرفته شده است. با توجه به مطالعات انجام شده، الگوی Serpentine برای مدل جریان آند انتخاب شده است و مهم ترین عامل پخش یکنواخت متانول بر روی MEA و افت فشار در مسیر تشخیص داده شد. در این راستا سه الگو مطابق شکل ۲ به شرح زیر انتخاب شد.

الف) تک کانال با پهنای کانال ۱ mm و عمق ۱ mm و طول مسیر ۵ متر

ب) دو کانال با پهنای کانال ۱ mm و عمق ۱ mm و طول کل مسیر برای هر کانال ۲/۵ متر

ج) تک کانال با پهنای کانال ۲ mm و عمق ۱/۵ mm و طول کل مسیر ۳/۲ متر

بر اساس مطالعات انجام شده در قسمت کاتدی از الگوی موازی استفاده شده. که عمق کانال ۱ mm و پهنای کانال ۱ mm در نظر گرفته شد چون پخش اکسیژن بر روی سطح موثر کاتد به خوبی انجام می گرفت و خروج آب تشکیل شده نیز بدون هیچ مشکلی انجام می گرفت (شکل ۳). مهمترین

پارامترهای پایین تنها در غلظت های پایین متانول (۳ درصد حجمی) عملکرد خوبی مشاهده گردیده است.

اریکو و همکاران [۳] دانسیته توان 110 mW.cm^{-2} را برای یک DMFC با تغذیه بخار، با نفیون ۱۱۷ در فشار هوای ۵ بار گزارش نموده اند آنها مشاهده کردند که دانسیته توان با افزایش غلظت متانول تا ۲ مولار، افزایش می یابد. ولیکن، فقط بهره نسبتاً کمی در عملکرد به وسیله افزایش فشار هوا یا اکسیژن از ۳ به ۵ بار به دست آمده است. نکته قابل توجه این که افزایش فشار طرف آند (بالای ۲/۵ بار) باعث افزایش توان به طور قابل توجهی گردیده که به سبب بهبود در انتقال جرم متانول در ساختار کاتالیست می باشد.

تحقیقاتی در زمینه [۷] بر روی عملکرد DMFC با بار کاتالیست نسبتاً بالا (به طور مثال $4-8 \text{ mg/cm}^{-2}$) همراه با دماهای بالا (به طور مثال 130°C) و اکسیژن تحت فشار جهت دستیابی به دانسیته توان بالا ($> 200 \text{ mW.cm}^{-2}$) صورت گرفته است. کارهای جدیدتر این گروه، دستیابی به یک سطح توان مشابهی در 110°C را با استفاده از نصف بار کاتالیست قبلی نشان می دهد. ولیکن از آنجایی که هوای محیط به عنوان اکسید کننده در اغلب کاربردها ترجیح داده می شود. تمرکز برای حد اکثر توان تحت چنین شرایطی انتقال یافته است. اخیراً یک DMFC عملیاتی با غلظت متانول ۰/۵ مولار در 80°C و هوای ۱/۵ بار، دانسیته توان 90 mW.cm^{-2} را داده است. هم چنین یافته شده افزایش سرعت جریان هوا و دما [۴] باعث بهبود در عملکرد سل گردیده اند.

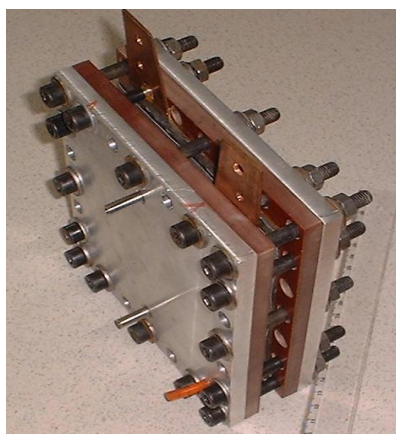
تحقیقات در کمپانی JPL جهت بهبود عملکرد سل DMFC از طریق بهینه سازی روش ساخت MEA ادامه یافته است. دانسیته های توان بیش از 200 mW.cm^{-2} با استفاده از $Pt - Ru$ $2/5 \text{ mg.cm}^{-2}$ و فشار ۲/۵ بار هوا به دست آمده است. افزایش در بارگذاری کاتالیست بالاتر از این سطح نتیجه ای در بهبود عملکرد براساس روش تهیه آنها، نداشته است [۶]. کار در شرکت LANL با پیشرفت در جهت کاهش بارگذاری کاتالیست و کاهش فشارهای هوا ادامه یافته است. رن و همکاران [۵] گزارش نموده اند یک سل با سطح موثر 50 cm^2 توانایی ایجاد بیش از 80 mW.cm^{-2} (150 mA.cm^{-2} در ۰/۴ ولت) را در فشار ۰/۷۵ بار و 60°C دارا می باشد که ۷۵٪ چیزی است که در فشار ۳ بار به دست آمده است. در اینجا به موضوع طراحی یک تک سلول پیل

۳-۱-۳- ماشینکاری صفحات دوقطبی و سایر اجزاء :

با توجه به این که ابعاد کانال در صفحات دوقطبی به ۱mm می‌رسد و تعداد این کانال هم بسیار زیاد می‌باشد ضروری است که سوراخ راهنما تمام قطعات با دقت در حد $1\ \mu\text{m}$ ماشینکاری شوند. برای ماشینکاری صفحات گرافیتی باید کلیه سوراخ‌های راهنما و مجرای ورودی و خروجی محلول متانول و هوا و کانال‌های روی صفحات با دقت $1\ \mu\text{m}$ ماشینکاری شوند.

۳-۱-۴- غشاء MEA و محلول متانول:

از غشاء MEA با نفیون ۱۱۷ و با سطح موثر به ابعاد $10 \times 10\ \text{cm}$ به صورت ۵ لایه و با بارگذاری $4.0\ \text{mg/cm}^2$ Pt-Ru در آند و $4.0\ \text{mg/cm}^2$ Pt در کاتد از شرکت Fuelcellstore خریداری گردید. محلول متانول با استفاده از متانول خالص خریداری شده از شرکت مرک و آب مقطر تهیه گردید. شکل ۵ نمای یک سلول کامل مونتاژ شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمونه‌ای از سلول مونتاژ شده

۳-۲- طراحی و ساخت یک دستگاه تست تک سلول پیل سوختی

متانولی به همراه سیستم کنترلی و نرم افزاری

دستگاه تست پیل سوختی طراحی شده از سه قسمت عمده تشکیل شده است که هر قسمت یک وظیفه خاص را به عهده دارد. قسمت اول وظیفه هدایت و کنترل تغذیه در آند را به عهده دارد. قسمت دوم، وظیفه تامین و کنترل تغذیه در کاتد را فراهم می‌سازد و قسمت سوم وظیفه خشک کردن پیل سوختی، بعد از آزمایش را دارد. کنترل همه قسمت‌ها به صورت نیمه خودکار می‌باشد. در این سیستم در طرف آند ابتدا محلول متانول (به عنوان سوخت) که با غلظت معین آماده

پارامتر در قسمت کاتد، فشار تزریق اکسیژن به کانال بوده است.



مدل ج مدل ب مدل الف

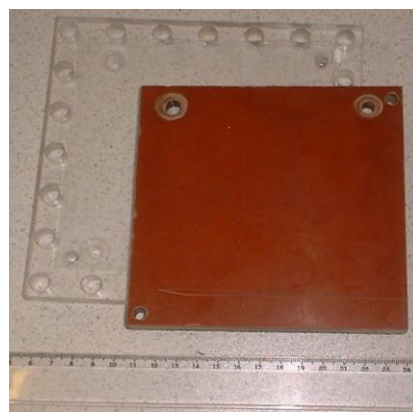
شکل ۲- مدل‌های مختلف جریان در قسمت آند



شکل ۳: مدل‌های مختلف جریان در قسمت کاتد

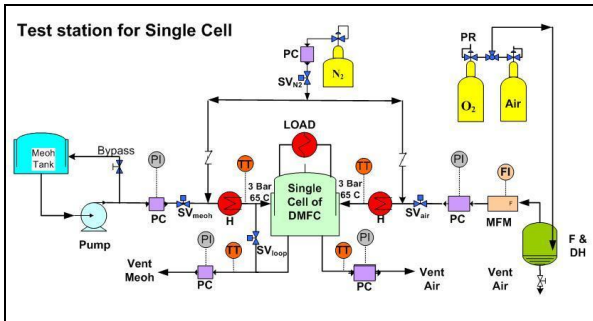
۳-۱-۳- صفحات عایق

برای صفحات عایق بین صفحات مسی جمع کننده جریان و صفحات آلومینیومی از صفحات PVC و فیبر استخوانی استفاده شده است صفحات PVC در اثر درجه حرارت تغییر فرم داده باعث کاهش نیروی نگهدارنده سلول می‌شوند. فیبر استخوانی از استحکام حرارتی خوبی برخوردار بوده و به عنوان عایق مناسب برای طرح اصلی پیشنهاد می‌گردد (شکل ۴).

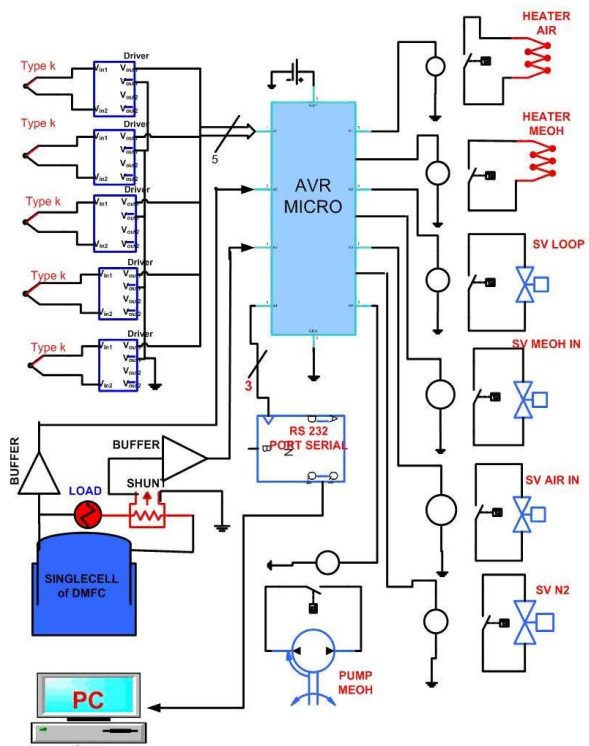


شکل ۴- صفحات عایق از جنس فیبر استخوانی

دمایی هیترها، خشک کردن، اندازه‌گیری و نمایش نموداری دماها، ولتاژ و جریان پیل و ...). شکل ۶ شمای دستگاه تست پیل سوختی ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۶- شمای دستگاه تست و ملحقات آن



شکل ۷: بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل

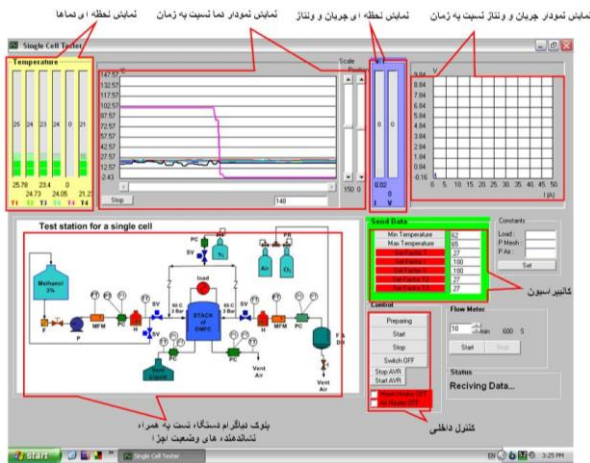
۳-۲-۱- سیستم کنترلی دستگاه تست تک سلول پیل سوختی

سیستم کنترل طراحی شده وظیفه کنترل خودکار دستگاه تست و اجرای فرامین سیستم نرم افزاری را به عهده دارد. عمده فعالیت‌های این سیستم دریافت و ارسال داده‌ها دو طرفه سیستم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری دستگاه تست که شامل کنترل هیترها برای کنترل درجه حرارت سوخت و هوا و دریافت جریان و ولتاژ کاری پیل، دریافت و نمایش درجه

شده، در ظرف ذخیره محلول متانول ریخته می‌شود. سپس توسط یک پمپ چرخنده‌ای با سرعت قابل کنترل با دبی حداکثر ۱/۵ LPM و حداکثر فشار ۷ bar به داخل سیستم فرستاده می‌شود. با کنترل نرم‌افزاری خروجی پمپ می‌توان دبی و فشار سیال ورودی به پیل را به صورت دستی تنظیم نمود. جهت اندازه‌گیری فشار و دبی سیال به ترتیب از یک فشارسنج و یک ظرف مدرج که در خروجی پیل، دبی سیال را اندازه‌گیری می‌کند استفاده می‌شود. سپس محلول در حین عبور از لوله از طریق یک هیترنوری که توانی در حدود ۵۰۰ وات دارد گرم می‌شود. یک عدد ترموکوپل نیز در خروجی هیتر دمای محلول را اندازه‌گیری می‌کند. محلول متانول وارد پیل سوختی شده و پس از خروج از آن توسط یک ترموکوپل و یک فشارسنج، و فشار آن سنجیده می‌شود. در نهایت محلول پس از عبور از یک شیر کنترل فشار دستی که قادر به تنظیم فشار سلول است در طرف خروجی جمع‌آوری می‌شود.

در طرف کاتد، هوای ورودی پس از گذشتن از یک محفظه و رطوبت‌زدایی وارد یک فلومتر (ترامتر) جهت اندازه‌گیری دبی و یک فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار هوا می‌شود. سپس هوا از یک هیتر عبور می‌کند که از یک لوله بلند استنلس‌استل st316 که المنت نوری روی آن پیچیده شده و به صورت مارپیچ در آمده تشکیل شده است. در ادامه مسیر هوا یک ترموکوپل قرار دارد که دمای هوا را اندازه‌گیری می‌نماید و بعد وارد پیل می‌شود. پس از خروج هوا از پیل مانند قسمت آند دما و فشار آن اندازه‌گیری می‌شود و سپس از طریق شیر کنترل فشار دستی که وظیفه تنظیم فشار سمت کاتد را دارد به هوای محیط هدایت می‌شود.

جهت تست الکتریکی پیل و سنجش مشخصات آن باید پیل را تحت بار الکتریکی قرار داده و مشخصات آن را ثبت نمود. این عمل توسط مدار کنترلی انجام می‌گیرد. به این سیستم تست یک مدار کنترلی هم اضافه شده که وظایفی مانند کنترل اجزای کنترل پذیر (مانند پمپ، هیترها و یا شیرهای برقی)، اندازه‌گیری پارامترها (مانند دما، ولتاژ و جریان)، کالیبراسیون مقادیر و نمونه برداری و ثبت اطلاعات در مدت زمانی طولانی را به عهده دارد. این سیستم کنترل شامل یک مدار الکترونیکی به همراه کامپیوتر و یک نرم‌افزار پشتیبان می‌باشد. تمامی فرآیندهایی که قابلیت کنترل خودکار را در این سیستم دارا می‌باشد توسط نرم‌افزار دستگاه تحت کنترل است. مانند (فرآیند Stop و Start ، کنترل دما و بازه



شکل ۸- نمایی از محیط گرافیکی برنامه

حرارت نقاط مختلف روی کل مسیر دستگاه تست و کنترل جریان و ولتاژ پمپ جهت کنترل دبی و فشار سوخت می‌باشد. در یک تقسیم بندی کلی می‌توان سیستم کنترلی دستگاه تست تک سلول پیل سوختی را به شرح ذیل ارائه نمود:

- ۱- پردازشگر و کنترلر داده‌ها
 - ۲- داده‌های ورودی (Input Data)
 - ۳- داده‌های خروجی (Output Data)
 - ۴- ارتباط سریال با PC (ارتباط RS 232)
 - ۵- منبع تغذیه (Power Supply)
- بلوک دیاگرام کلی این قسمت‌ها و نحوه ارتباط آنها با هم در شکل ۷ آمده است.

۵- نتایج آزمایش‌ها و بحث

کارایی یک پیل سوختی به ترکیب MEA و روش ساخت و شرایط عملیاتی سلول بستگی دارد. مستندات زیادی در گزارش‌های تحقیقاتی وجود دارد مبتنی بر این که عملکرد سلول در دمای بالاتر از $60^{\circ}C$ به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به طوری که در دمای بالا $90^{\circ}C$ ، دانسیته توان به 200 mw/cm^2 می‌رسد. در این آزمایش دو نوع مجموعه غشاء- الکتروکود (MEA) استفاده شده که ترکیب هر یک از آنها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- مشخصات انواع MEA به کار رفته در آزمایش‌ها

نوع II	نوع I	MEA
4.0 mg/cm^2 Pt-Ru	4.0 mg/cm^2 Pt-Ru	آند
4.0 mg/cm^2 Pt	2.0 mg/cm^2 Pt	کاتد
Fuelcellstore	Fuelcellstore	سازنده
نفیون ۱۱۷	نفیون ۱۱۷	نوع غشاء

۵-۱- تاثیر غلظت متانول

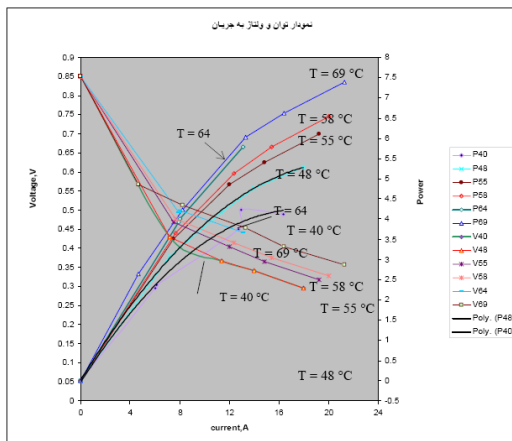
براساس سوابق تحقیقاتی ارائه شده، بهترین غلظت محلول متانول در پیل‌های سوختی متانولی بین 0.5 تا 2 مولار پیشنهاد شده است. به طوری که در غلظت‌های بیشتر از 2 مولار مسئله عبور متانول واکنش نکرده زیاد شده و در غلظت‌های کمتر از 0.5 مولار کاهش ویژه در عملکرد سلول مشاهده می‌شود. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که محلول یک مولار از بازدهی مناسب‌تری در مقایسه با سایر درصد‌های مولاریتی برخوردار است. لذا محصول یک مولار جهت انجام تست محلول نهایی انتخاب گردیده است.

۴- سیستم نرم افزاری دستگاه تست

این برنامه در حقیقت یک DataLogger و UserInterface برای سیستم کنترل می‌باشد که با استفاده از درگاه RS232 کامپیوتر، با میکروکنترلر در ارتباط است. اطلاعات ورودی از میکروکنترلر با فرمت مشخص و به صورت وقفه ای به برنامه وارد شده و بعد از تصحیح و اعمال ضرایب تبدیل، درماتریس مربوطه در داخل حافظه قرار می‌گیرد. سپس این اطلاعات طی یک زمانبندی مشخص به صورت نمودار و گراف نمایش داده می‌شود. جهت جمع آوری و ثبت اطلاعات، دیتای موجود در حافظه هر 30 ثانیه به مجموعه اضافه می‌شود و بعد از 10 دقیقه روی حافظه دائمی به صورت فایلی با فرمت Excel ثبت می‌شود. این دیتاها خام بوده و می‌تواند توسط کاربر ویرایش شده و به فرم دلخواه تبدیل شود. جهت کنترل عناصر کنترل پذیر مانند سوییچ، ولوها و یا پمپ، امکاناتی به این برنامه اضافه شده است که می‌تواند وضعیت لحظه‌ای این عناصر را نشان و یا تغییر دهد. جهت سهولت تنظیم و کالیبره کردن کل سیستم، ضرایب کالیبراسیون دماها، ولتاژ یا جریان می‌تواند از طریق همین برنامه به میکروکنترلر انتقال یابد. تمامی اطلاعاتی که از این برنامه باید به میکروکنترلر منتقل شود ابتدا تبدیل به فرمت مشخصی شده و سپس از طریق درگاه RS232 به میکروکنترلر منتقل می‌شود. نمایی از محیط گرافیکی برنامه و نیز نمونه‌ای از فایل خروجی را می‌توانید بترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده نمایید.

۴-۵- اثر درجه حرارت روی عملکرد سلول

شکل ۱۲ تغییرات ولتاژ و توان خروجی سلول را در درجه‌های مختلف نشان می‌دهد. آزمایش در درجه‌حرارت‌های بین ۴۰° تا ۷۰° انجام گرفته است. همان طوری که در شکل پیداست عملکرد سلول در درجه‌حرارت‌های بالاتر بهبود یافته است در این سری آزمایشات از MEA نوع I استفاده شده است. به طوری که مشاهده می‌کنید عملکرد آن نسبت به MEA نوع II پائین‌تر بوده و به طوری که حداکثر دانسیته توان آن 75 mW/cm^2 می‌باشد.



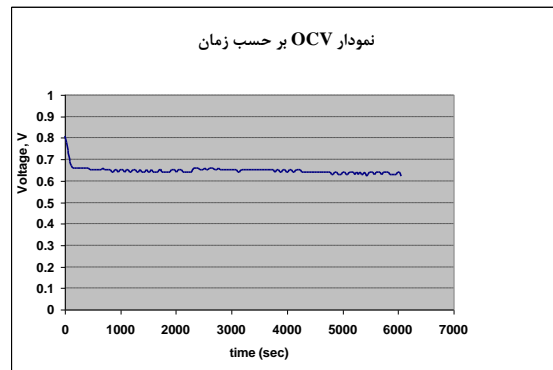
شکل ۱۲- عملکرد سلول در درجه‌حرارت‌های مختلف با محلول متانول یک مولار با MEA نوع I

۵-۵- تأثیر دبی و فشار جریان در قسمت آندی و کاتدی

در دبی‌های کمتر از 1.0 ml/min عملکرد سل همراه با تولید جباهای بزرگ و بلوک شدن کانال‌های صفحات دو قطبی همراه بوده است با افزایش دبی عملکرد سل همراه با انتقال سریع‌تر حباب‌ها بوده و منجر به ثبات نسبی و افزایش ولتاژ می‌گردد. در دبی بالاتر از 25 ml/min افزایش دبی تأثیر چندانی ندارد. با افزایش فشار در قسمت آند، افزایش در ولتاژ و جریان خروجی مشاهده شده است. افزایش فشار تا آنجا که باعث از بین بردن آب‌بندی لوله‌های ورودی جریان و بست‌ها نگردد انجام گردیده است، افزایش فشار اکسیژن تا حدود ۲ بار مورد آزمایش قرار گرفته و تأثیرات مثبت کمی را در بر دارد که می‌توان آن را به کاهش عبور متانول واکنش نکرده از میان غشاء نسبت داد. آزمایشات مختلف با دبی‌های مختلف جریان شدت جریان ایتیم اکسیژن را 2 lit/min نشان می‌دهد.

۵-۲- ولتاژ مدار باز (OCV)

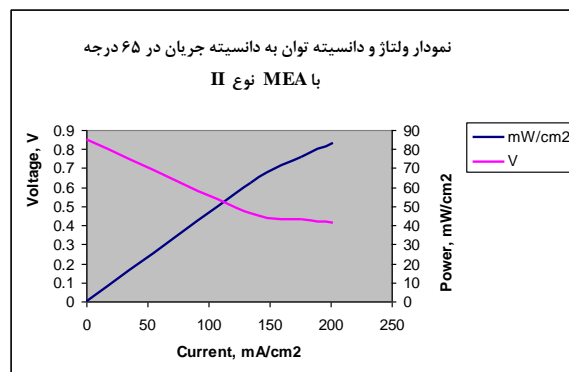
آزمایش ولتاژ مدار باز با MEA نوع I در صد دقیقه انجام گرفته است. شکل ۱۰ منحنی ولتاژ مدار باز این سلول را نشان می‌دهد. همان طوری که از شکل پیداست بعد از یک افت اولیه در ۵ دقیقه اول، ولتاژ برحسب زمان تقریباً مقدار ثابت و پایدار 0.64 V ولت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- منحنی ولتاژ مدار باز در درجه‌حرارت 60°C و محلول متانول یک مولار با MEA نوع I

۵-۳- منحنی قطبیت

شکل ۱۱ منحنی ولتاژ و دانسیته توان را برحسب دانسیته جریان را نشان می‌دهد. آزمایش در درجه‌حرارت 65°C و فشار 0.1 bar انجام گرفته است. ماکزیمم دانسیته توان 14 mW/cm^2 در 0.413 A ولت به دست آمده است. که یک نتیجه رضایتبخش بوده و می‌تواند مبنائی برای طراحی مجموعه سل (stack) یک کیلوواتی باشد



شکل ۱۱- عملکرد سلول در درجه‌حرارت 65°C و محلول متانول یک مولار با MEA نوع II

۵-۶- تاثیر الگوی جریان آندی

مجموعه سل (stack) و نیز بزرگنمائی مقیاس برای ساخت سل‌های بزرگ‌تر هموار می‌سازد.

همان طور که در قسمت ساخت سلول گفته شد، سه نوع الگوی جریان آندی مورد آزمایش قرار گرفت. در الگوی الف جریان کاملاً یکنواخت بوده و خروج CO_2 از کانالی تحت فشار بالای جریان به خوبی انجام می‌گرفت البته در زمان تشکیل CO_2 حباب‌های تشکیل شده نوسانات کوچکی را در ولتاژ ایجاد کرده است.

تشکر و قدردانی

نگارنده‌گان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مادی، معنوی و فنی مدیریت و کارکنان محترم صنایع شهید بصیر مازندران وابسته به سازمان صنایع هوایی در انجام این پروژه قدردانی نمایند.

در الگوی ب، یکی از کانال‌ها توسط حباب CO_2 برای لحظه مسدود می‌گشت که باعث نوسانات ولتاژ را برای لحظه کوتاه می‌گشت و یا به عبارت دیگر وقتی که یکی از کانال‌ها مسدود می‌گشت پخش جریان در کل سطح مؤثر MEA انجام نمی‌گرفت. در الگوی ج، با وجود این که اصلاً مسدود شده مسیر توسط حباب انجام نگررفت ولی ولتاژ نهائی در مقایسه با الگوی الف بسیار پایین‌تر بوده است که می‌توان علت آن را زمان کوتاه ماند واکنشگر بخاطر شدت جریان سیال نام برد.

مراجع

1. X. Ren, M.S. Wilson, S. Gottesfeld, "High Performance Direct Methanol Polymer Electrolyte Fuel Cells", Journal of The Electrochemical Society, Vol. 143, L12-L15 (1996).
2. S. Hikita, K. Yamane, Y. Nakajima, Measurement of methanol crossover in direct methanol fuel cell, JSAE review 22, pp. 151-156 (2001).
3. A.S. Arico, P. Creti, C.P.L, V. Antonucci, "Comparison of Ethanol and Methanol Oxidation in a Liquid-Feed Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell at High Temperature", Electrochemical and Solid State letters. Vol. 1 pp. 66-68 (1998).
4. M. Baldauf. W. Preidel, "Status of the development of a direct methanol fuel cell", Journal of Power Sources, Vol. 84, Issue 2, (1999) 161-166
5. X. Ren, T.E. Springer, T.A. Zawodzinski, S. Gottesfeld, "Methanol Transport Through Nafion Membranes. Electro-osmotic Drag Effects on Potential Step Measurements", Journal of The Electrochemical Society, Vol. 147, (2000) 466-474
6. S.R. Narayanan, W. Chun, T.I. Valdez, B. Jeffries-Nakamura, H. Frank, M. Smart. Surampudi, S. Kosek, J. Cropley, C. LaConti, A.B. Wang, Q.j. Prakash, S. HelbertG, G. Olah, Recent Advances in High Performance Fuel Cell, NASA JPL web site, (1996).
7. H. Grune, G. Kruft, M. Waidaus, UPDATE ON STATUS OF DIRECT METHANOL FUEL CELLS, Fuel Cell Seminar, San Diego, CA, Nov28-Dec1, (1994) 474-479

در مجموع بهترین حالت، الگوی الف تشخیص داده شد که هم ولتاژ و آمپر جریان یکنواخت بوده و هم حداکثر جریان به خاطر پخش بهتر جریان سیال بر سطح مونر MEA انجام می‌گرفت.

نتیجه گیری

در این تحقیق تجربی یک سلول پیل سوختی با تمام ملحقات آن به همراه دستگاه کامل تست آن طراحی و ساخته شد سیستم طراحی و ساخته شده جهت یافتن شرایط بهینه عملیاتی مورد آزمایش قرار گرفت، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که عملکرد پیل سوختی به نوع MEA به کار رفته (میزان بار گذاری)، غلظت سوخت، درجه حرارت و تا حدی به دبی جریان‌های آندی و کاتدی وابسته است. با افزایش دما عملکرد پیل به دلیل افزایش سرعت واکنش‌های الکترو شیمیائی افزایش می‌یابد اما با توجه محدودیت دمائی که به واسطه استفاده از غشاء نافیون وجود دارد، عملاً استفاده از درجه حرارت‌های بالاتر از $75^{\circ}C$ امکان پذیر نمی‌باشد. حصول دانسیته توان 14 mw/cm^2 در 0.413 ولت یک نتیجه قابل قبول بوده که این امر زمینه را برای طراحی یک