



اثر شرایط کاری مختلف بر عملکرد تک سل پیل سوختی پلیمری

امید صبوری^۱، احمد رضا پیشه‌ور^۲، احمد محب^۳، علی ابراهیمیان^۴

اصفهان، کیلومتر هفت خیابان امام خمینی، مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان

OmidSabouri@me.iut.ac.ir

چکیده

پیل سوختی پلیمری دارای محیطی با واکنش‌پذیری بالا است، در این محیط فرایندهای مختلفی به صورت هم زمان و وابسته به یکدیگر صورت می‌گیرد و به این دلیل بررسی و اندازه‌گیری فرایندهای موجود در پیل در حین کار کردن تقریباً غیر ممکن می‌باشد. در این مقاله، یک تک سل پیل سوختی پلیمری به صورت سه بعدی و تک فاز توسط نرم‌افزار فلوئنت مدل سازی شده است. از آنجایی که عملکرد یک پیل سوختی پلیمری به پارامترهای مختلفی از جمله شرایط کاری و مشخصات و ساختار اجزای مختلف آن وابسته است آگاهی از چگونگی اثر هر کدام از این پارامترها بر عملکرد پیل در طراحی بهینه و ساخت پیل سوختی پلیمری مفید می‌باشد. در این مطالعه اثر فشار کاری، دمای گازهای مورد استفاده در پیل و نوع اکسید کننده مورد استفاده (اکسیژن خالص یا هوا) به عنوان شرایط کاری و تأثیر میزان هدایت پروتونی غشا که از اجزای اصلی پیل می‌باشد بر منحنی قطبیت مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است رفتار منحنی قطبیت شاخصی بر عملکرد پیل می‌باشد. افزایش ۲ برابری فشار کاری گاز از یک بار به دو بار سبب بهبود شرایط کاری شده به طوری که جریان گرفته شده در ولتاژ ۰/۶ ولت در حدود ۸٪ افزایش یافته است. همانطور که انتظار می‌رفت استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا سبب بهبود کارایی پیل شد نکته قابل ملاحظه این است که تأثیر چنین تغییری بیشتر در بارهای بالا که مشکل کاهش غلظت سوخت پیش می‌آید خود را نشان می‌دهد به طوری که برای شدت جریان پایین ۰/۹۵ (A.cm²) افزایش ۱۹٪ مشاهده شده در حالی که در شدت جریان ۱/۲۵ (A.cm²) افزایش ۴۶٪ جریان حاصل شده است. افزایش دما و افزایش هدایت پروتونی پیل کارایی بهتر پیل را در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: پیل سوختی پلیمری، منحنی قطبیت، غشا، هدایت پروتونی

۱- مقدمه

پارامترهای مختلفی بر عملکرد و کارایی پیل سوختی پلیمری تأثیر گذار می‌باشد که بعضی از این پارامترها به جنس و ویژگی اجزای مختلف سازنده پیل و شرایط کاری آن وابسته هستند. برای طراحی هر چه بهتر یک پیل سوختی و احتساب از صرف هزینه‌های اضافی در اثر سعی و خطا مدل سازی اجتناب ناپذیر است. در این راستا کارهای متعددی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به بررسی اثر شرایط کاری بر راندمان استک (Stack) پیل سوختی پلیمری توسط یوربانی (Urbani) و

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

۲- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک

۳- دانشیار دانشکده مهندسی شیمی

۴- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

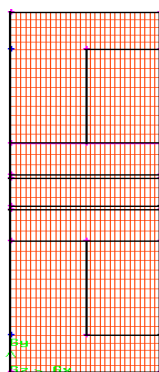


باربرا (Barbera) [۱]، تأثیر نوع کانال عبور گازها در پیل سوختی پلیمری بر کارایی آن توسط چن (Chen) و ین (Yen) [۲]، مدل سازی جریان آب در لایه دیفیوژن گاز پیل سوختی پلیمری توسط بنزیگر (Benziger) و برننان (Brennan) [۳] و استخراج یک مدل عددی برای پیل سوختی پلیمری با کانالهای مارپیچ [۴] توسط برنینگ (Berning) و نیوین (Nguyen) اشاره کرد.

در این مطالعه با شبیه سازی سه بعدی پیل توسط نرم افزار فلوئنت تأثیر تعدادی از این پارامترها بر عملکرد پیل بررسی شده است. تک سل پیل سوختی پلیمری مورد بررسی شامل دو کانال مستقیم برای عبور سوخت است که در آن سوخت و هوا به صورت هم جهت جریان می یابند. منحنی قطبیت پیل که یک پارامتر مهم و اساسی برای دانستن چگونگی کارایی پیل است برای مدل فوق استخراج شده و در ادامه اثر پارامترهای مختلفی همچون اثر فشار کاری، دمای گازهای ورودی به پیل، نوع اکسید کننده مورد استفاده و تأثیر میزان هدایت پروتونی غشا بر منحنی قطبیت مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل مورد بررسی

مدل هندسی مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. در این مدل از هیدروژن خالص به عنوان سوخت در سمت کانال آند و هوا در سمت کانال کاتد استفاده شده است. هیدروژن با رطوبت ۱۰۰٪ و هوا به صورت خشک به پیل وارد می شوند. تک سل مورد بررسی دارای کانالهایی به طول ۴۰ سانتی متر با مقطع مربع شکل به عرض ۰/۷۶۲ میلی متر است. ضخامت لایه دیفیوژن گاز و لایه کاتالیست برای پیل فوق به ترتیب ۰/۲۵۴ و ۰/۰۲۸۷ میلی متر می باشد. در این مدل ولتاژ سل در حالت مدار باز (V_{oc})، ۱/۱ ولت است. شبکه به کار رفته برای گسسته سازی معادلات شامل $40 \times 22 \times 32$ سلول می باشد که به ترتیب در عرض، ارتفاع و طول سل به صورت یکنواخت توزیع شده اند.



شکل ۱- نمای شماتیکی از مدل مش خورده.

۲-۱- فرض های حاکم بر مدل

ناحیه ای از تک سل پیل که شبیه سازی شده است در شکل (۲) دیده می شود. در این مدل جریان در کانالها موازی در نظر گرفته شده است. برای صرفه جویی در هزینه محاسبات نیمی از کانال مورد بررسی قرار گرفته و از شرط مرزی تقارن در صفحه میانی سل استفاده شده است.

فرض های به کار رفته در مدل به شرح زیر می باشد.

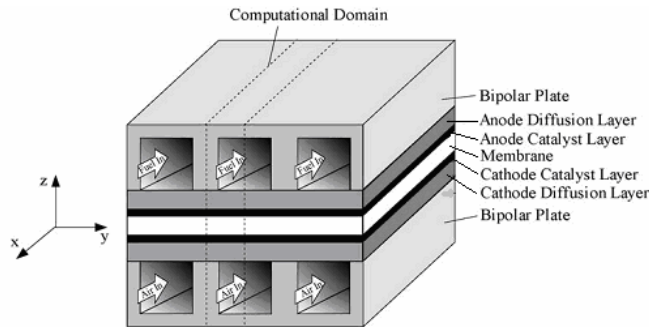
- فرایندهای تمام کانالها مشابه می باشند.

- شرایط حاکم بر شروع یا پایان هر کدام از پدیده ها و هر فرایند گذرای دیگری در این مدل در نظر گرفته نشده

است (حالت پایدار بر مدل حاکم است).



- فرض جریان لایه‌ای در طول کانال‌های گاز بر اساس سرعت پایین جریان و گرادیان‌های کوچک فشار استوار است.
- محیط‌های متخلخل موجود در پیل همگن فرض شده‌اند در نتیجه میزان تخلخل در این نواحی مقداری ثابت است.
- مخلوط گاز موجود در پیل به عنوان سیال تراکم ناپذیر ایده‌آل در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- ناحیه مدل سازی شده تک سل پیل سوختی

۲-۲- معادلات حاکم بر مدل

فرایندهای فیزیکی که در پیل سوختی پلیمری اتفاق می‌افتد عموماً با حل معادلات بقای جرم، مومنتم، انرژی، گونه‌های شیمیایی و جریان الکتریکی نشان داده می‌شوند.
معادله بقای جرم:

$$\nabla \cdot (\rho_g \mathbf{u}_g) = S_m \quad (1)$$

در معادله فوق S_m ترم چشمه، ρ چگالی (kgm^{-3}) و \mathbf{u} بردار سرعت (ms^{-1}) می‌باشد.
معادله بقای مومنتم:

$$\nabla \cdot (\rho_g \mathbf{u}_g \mathbf{u}_g) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu^{eff} \nabla \mathbf{u}_g) + S_u \quad (2)$$

در این معادله S_u ترم چشمه و μ^{eff} ویسکوزیته متوسط مخلوط ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) را نشان می‌دهد.
معادله بقای گونه شیمیایی:

$$\nabla \cdot (\rho_g \mathbf{u}_g X_k) = \nabla \cdot (\rho_g D_{k,eff} \nabla X_k) + S_k \quad (3)$$

در معادله بالا X کسر جرمی گونه شیمیایی، D ثابت نفوذ (m^2s^{-1}) و اندیس k نوع گونه شیمیایی را نشان می‌دهد که در اینجا شامل اکسیژن، هیدروژن و بخار آب است.
معادله بقای شارژ الکتریکی:

$$\nabla \cdot (\kappa_s^{eff} \nabla \varphi_s) = S_{\varphi,s} \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\kappa_m^{eff} \nabla \varphi_m) = S_{\varphi,m} \quad (5)$$

در معادله فوق κ_s^{eff} هدایت الکتریکی در فاز جامد (Scm^{-1})، κ_m^{eff} هدایت یونی در غشای پلیمری (Scm^{-1})، φ_s پتانسیل فاز جامد (V)، φ_m پتانسیل غشا (V) و S_{φ} ترم چشمه معادله می‌باشد.
معادله بقای انرژی:

$$\nabla \cdot (\rho_g \mathbf{u}_g T) = \nabla \cdot (\lambda_{eff} \nabla T) + S_T \quad (6)$$

در معادله بالا T درجه حرارت (K)، λ میزان آب غشا و S_T ترم چشمه معادله را نشان می‌دهند.
ترم‌های چشمه به کار رفته در معادلات بالا برای نواحی مختلف پیل متفاوت می‌باشد که در جدول (۱) آورده شده است.



در جدول مذکور S_w , S_o و S_h به ترتیب ترمهای مربوط به تولید و مصرف آب، اکسیژن و هیدروژن می‌باشند. μ مقدار ویسکوزیته ($kg\ m^{-1}\ s^{-1}$), K نفوذ پذیری مطلق (m^2), M جرم مولی ($kg\ mol^{-1}$), η افت پتانسیل (V), V_{oc} مقدار ولتاژ سل در حالت مدار باز (V) و K میزان هدایت الکتریکی را نشان می‌دهند. F ثابت فارادی ($C\ mol^{-1}$) نام دارد. اندیس m فاز غشا و اندیس s فاز جامد را نشان می‌دهند. ترمهای چشمه در معادلات (۴) و (۵) مربوط به جریان الکتریکی هستند که در اثر واکنش‌های الکتروشیمیایی تولید می‌شود و این جریان تولیدی توسط معادله باتلر-ولمر بیان می‌شود [۵]:

$$i_a = j_a^{ref} \left(\frac{c_h}{c_{h,ref}} \right)^{1/2} \left[\exp\left(\frac{\alpha_a F \eta_a}{RT} \right) - \exp\left(-\frac{\alpha_c F \eta_a}{RT} \right) \right] \quad (7)$$

$$i_c = j_c^{ref} \left(\frac{c_o}{c_{o,ref}} \right) \left[-\exp\left(\frac{\alpha_a F \eta_c}{RT} \right) + \exp\left(-\frac{\alpha_c F \eta_c}{RT} \right) \right] \quad (8)$$

در معادلات فوق C_h و C_o به ترتیب نشان دهنده غلظت هیدروژن و اکسیژن بر حسب $kg\ mol\ m^{-3}$ هستند و Z معرف چگالی جریان تبدیلی ($A\ m^{-2}$) می‌باشد. پارامتر α ثابت انتقال و اندیس‌های a و c به ترتیب سمت آند و کاتد پیل را نشان می‌دهند.

جدول ۱- ترمهای چشمه معادلات حاکم در نواحی مختلف پیل سوختی پلیمری

غشا	لایه کاتالیست	لایه دیفیوژن	کانال عبور گاز	
$S_m=0$	Anode: $S_m=S_h+S_w$, Cathode: $S_m=S_o+S_w$	$S_m=0$	$S_m=0$	بقای جرم
$S_u=0$	$S_u = -\frac{\mu_g}{KK_{rg}} u_g$	$S_u = -\frac{\mu_g}{KK_{rg}} u_g$	$S_u=0$	بقای مومنتم
$S_o=0$ $S_h=0$	$S_o = -(i_c/4F)M_o$ $S_h = -(i_a/4F)M_h$	$S_o=0$ $S_h=0$	$S_o=0$ $S_h=0$	اکسیژن هیدروژن
$S_{\phi,s} = 0$ $S_{\phi,m} = 0$	$S_{\phi,s} = -1$ $S_{\phi,m} = 1$	$S_{\phi,s} = 0$ $S_{\phi,m} = 0$	$S_{\phi,s} = 0$ $S_{\phi,m} = 0$	بقای شارژ الکتریکی فاز جامد فاز غشا
$S_T = \frac{l^2}{\kappa_m}$	$S_T = i \left(\eta + T \frac{dV_{oc}}{dT} \right) + \frac{l^2}{\kappa_m}$	$S_T = 0$	$S_T = 0$	بقای انرژی

در این مدل فرض شده است که ساختار پیل در راستای محور y به صورت متوالی تکرار می‌شود و شرط مرزی تقارن بر وجه سمت راست و شرط دیوار بر وجه سمت چپ ناحیه محاسباتی (شکل ۲) حاکم است. در ورودی کانال‌های گاز نرخ جریان ورودی و نسبت غلظت جرمی ثابت در نظر گرفته شده است. پارامترهای حاکم بر مدل در جدول (۲) مشاهده می‌شوند.

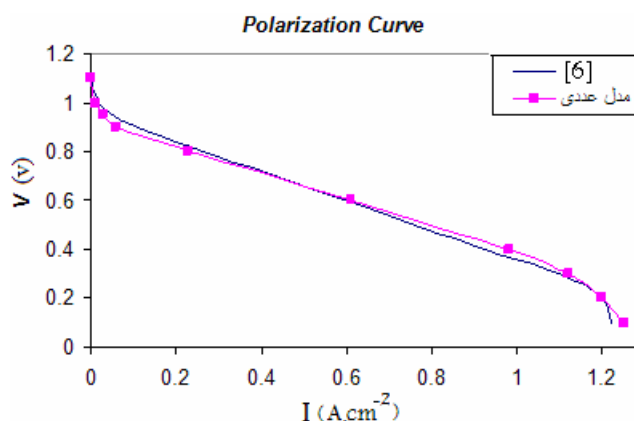
جدول ۲- مشخصات و پارامترهای به کار رفته در سیستم شبیه سازی شده [۶]

۳۵۳ K	درجه حرارت گازهای ورودی
۱ atm	فشار سمت آند و کاتد
$0.915 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	ثابت نفوذ هیدروژن در حالت مرجع
$0.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	ثابت نفوذ اکسیژن در حالت مرجع
$0.256 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	ثابت نفوذ بخار آب در حالت مرجع
۰/۳	تخلخل لایه دیفیوژن
۰/۲۸	تخلخل لایه کاتالیست
53 Sm^{-1}	میزان هدایت الکتریکی فاز جامد
6 Sm^{-1}	میزان هدایت الکتریکی غشا
$3/39 \text{ mol m}^{-3}$	غلظت مرجع اکسیژن
$56/4 \text{ mol m}^{-3}$	غلظت مرجع هیدروژن
$5 \times 10^{-1} \text{ A m}^{-2}$	چگالی جریان تبدالی آند
35400 A m^{-2}	چگالی جریان تبدالی کاتد

۳- نتایج حاصل از مدل سازی

۳-۱- منحنی قطبیت پیل

منحنی قطبیت مهمترین مشخصه یک پیل سوختی است که نقش اساسی در طراحی و ساخت پیل بازی می کند. به همین دلیل بررسی اینکه هر کدام از پارامترهای موجود در پیل، چه اثری بر روی شکل منحنی قطبیت دارد مفید می باشد. در این مطالعه ابتدا منحنی قطبیت مدل مورد نظر استخراج شده است و به دلیل عدم وجود امکان مقایسه با نتایج تجربی، نتیجه حاصله با نتایج ارائه شده توسط لیو (Lio) و تاو (Tao) [۶] مقایسه شده است (شکل ۳).



شکل ۳- منحنی قطبیت حاصل از مدل در این مطالعه در مقایسه با نتیجه مرجع [۶].

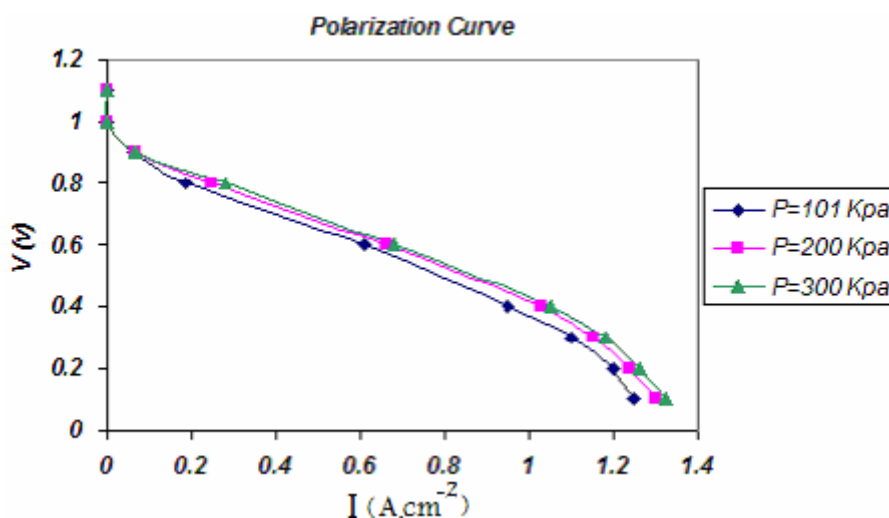
همانطور که از شکل مشخص است منحنی قطبیت به دست آمده به خوبی با نتایج مرجع [۶] تطابق دارد و بنابراین تأییدی بر نحوه مدل سازی می باشد.

۳-۲- فشار کاری پیل

با توجه به معادله نرنست (معادله ۹) افزایش فشار کاری پیل سبب بالا رفتن پتانسیل الکتریکی پیل سوختی می شود:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{P_{H_2} P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}} \right) \quad (9)$$

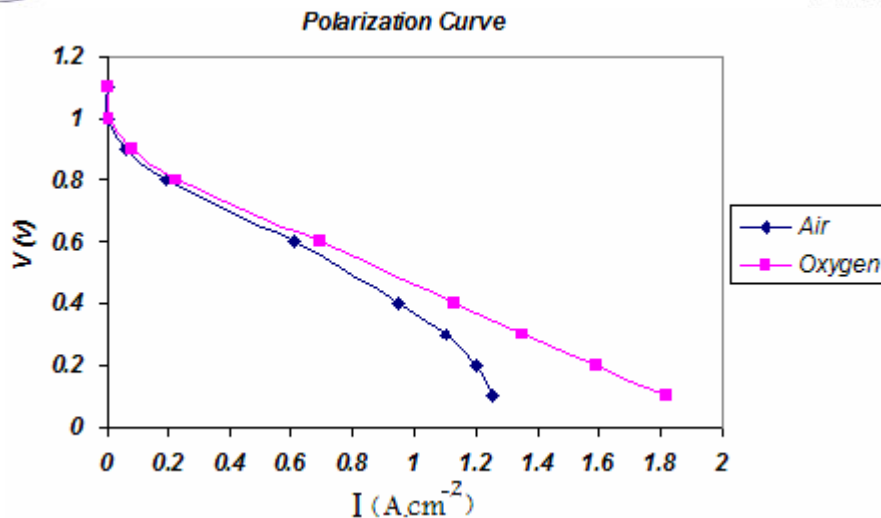
از سوی دیگر افزایش فشار به دلیل بالا بردن غلظت گازهای واکنش دهنده در ناحیه واکنش سبب افزایش چگالی جریان تبادل پیل سوختی و به سبب آن بهبود عملکرد پیل می شود (شکل ۴). در این تحقیق با ۲ برابر کردن فشار کاری پیل و رساندن فشار به ۲ اتمسفر جریان گرفته شده در ولتاژ ۰/۶ ولت به میزان ۸٪ افزایش پیدا کرده است.



شکل ۴- اثر فشار کاری بر منحنی قطبیت پیل.

۳-۳- بررسی اثر استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا بر منحنی قطبیت پیل

از آنجایی که فقط ۲۱٪ هوا شامل اکسیژن است انتظار می رود استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا در پیل سوختی سبب بهبود عملکرد پیل شود. با مقایسه منحنی قطبیت پیلی که با هوا کار می کند با پیلی که از اکسیژن استفاده می کند (شکل ۵) مشخص است که در یک ولتاژ معین آمپر بیشتری از پیل گرفته شده است در ضمن شیب منحنی در قسمت مربوط به افت ناشی از غلظت سوخت کم شده است و محدوده کاری پیل از نظر مقدار آمپری که می توان از پیل کشید وسعت قابل ملاحظه ای پیدا کرده است. در شدت جریان های کم چون با مشکل افت غلظت سوخت مواجه نیستیم اثر استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا چندان چشمگیر نمی باشد ولی هرچقدر به سمت جریان های بالا پیش می رویم اثر این موضوع روشن تر می شود. به طوری که برای شدت جریان ۰/۹۵ (A.cm²) که در ولتاژ ۰/۴ ولت از پیل گرفته می شود افزایش ۱۹٪ مشاهده می شود ولی در شدت جریان بالای ۱/۲۵ (A.cm²) که افت ولتاژ ناشی از کاهش غلظت سوخت چشمگیر است استفاده از اکسیژن سبب افزایش ۴۶٪ شدت جریان شده است.



شکل ۵- اثر استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا در عملکرد پیل سوختی.

۳-۴- بررسی دمای سوخت ورودی به پیل بر منحنی قطبیت

ارزش گرمایی به عنوان مقدار انرژی ورودی پیل سوختی به حساب می‌آید. به عبارتی معرف بیشترین مقدار انرژی گرمایی که در هیدروژن ذخیره شده است، می‌باشد. هرچند الکتروسیسته محصول نهایی پیل سوختی می‌باشد ولی واضح است که تمام این مقدار انرژی موجود در هیدروژن نمی‌تواند به الکتروسیسته تبدیل شود. از آنجایی که در هر واکنش شیمیایی مقداری آنتروپی تولید می‌شود بخشی از ارزش گرمایی بالای هیدروژن نمی‌تواند به کار مفید الکتریکی تبدیل شود. بخشی از آنتالپی واکنش که می‌تواند در پیل سوختی به الکتروسیسته تبدیل شود توسط رابطه انرژی آزاد گیبس (Gibbs) داده می‌شود:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (10)$$

در معادله (۱۰)، ΔH اختلاف بین گرمای شکل‌گیری محصولات و مواد اولیه می‌باشد:

$$\Delta H = (h_f)_{H_2O} - (h_f)_{H_2} - \frac{1}{2}(h_f)_{O_2} \quad (11)$$

و ΔS اختلاف بین آنتروپی محصولات و واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد:

$$\Delta S = (s_f)_{H_2O} - (s_f)_{H_2} - \frac{1}{2}(s_f)_{O_2} \quad (12)$$

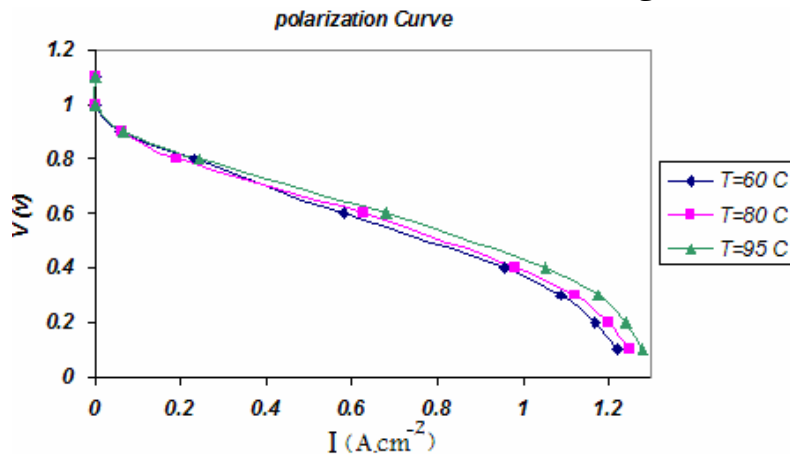
حداکثر پتانسیل پیل سوختی از رابطه (۱۳) به دست می‌آید با جایگذاری رابطه گیبس در معادله فوق رابطه (۱۴) که وابستگی حداکثر پتانسیل پیل با درجه حرارت را نشان می‌دهد حاصل می‌شود.

$$E = \frac{-\Delta G}{nF} \quad (13)$$

$$E = -\left(\frac{\Delta H}{nF} - \frac{T\Delta S}{nF}\right) \quad (14)$$

عملکرد پیل سوختی معمولاً با افزایش دما بهبود می‌یابد، هر چند این موضوع را نمی‌توان با معادلات حاکم بر منحنی قطبیت به راحتی شرح داد. با توجه به معادله (۱۴) افزایش درجه حرارت باعث افزایش افت پتانسیل به سبب وجود ترم $(T\Delta S)/(nF)$ می‌شود. از سوی دیگر افزایش درجه حرارت باعث بالا رفتن چگالی جریان تبدیلی و افزایش هدایت پروتونی غشا

می‌شود که به نظر می‌رسد اثرات مثبتی که افزایش درجه حرارت بر عملکرد پیل دارد بیش از اثرات منفی آن می‌باشد. اثر درجه حرارت کاری پیل بر روی منحنی قطبیت در شکل (۶) قابل مشاهده است.

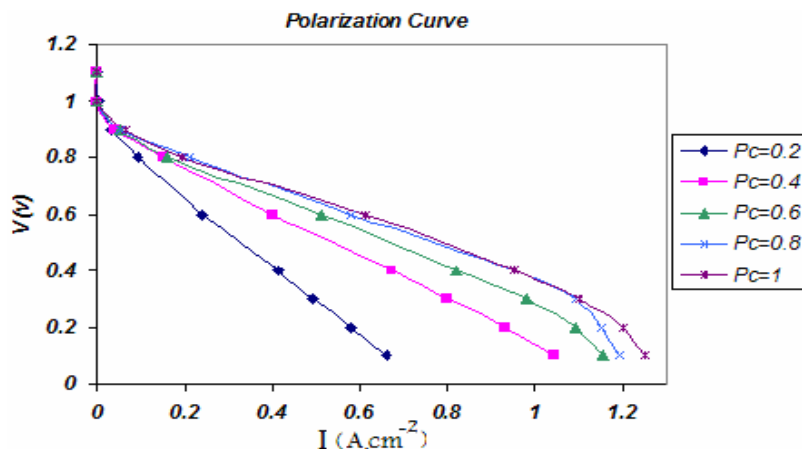


شکل ۶- اثر درجه حرارت سوخت ورودی به پیل بر منحنی قطبیت.

در شدت جریان پایین ۰/۰۶ (A.cm²) با تغییر دمای گازهای ورودی به پیل از ۶۰ به ۸۰ درجه سانتیگراد و سپس افزایش تا ۹۵ درجه سانتیگراد به ترتیب افزایش ۶/۷٪ و ۴/۷٪ در شدت جریان دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از افزایش چگالی جریانی به دلیل افزایش دما باشد. همین میزان افزایش دما در شدت جریان بالا (۱/۲ A.cm²) افزایش جریانی در حدود ۲/۵٪ و ۳/۳٪ را در پی داشت که دلیل این افزایش را می‌توان نفوذ راحت‌تر و بیشتر گازهای واکنش‌دهنده به دلیل بالا رفتن دما، در محیط‌های متخلخل پیل دانست.

۳-۵- تأثیر میزان هدایت پروتونی غشا بر منحنی قطبیت پیل

در این قسمت به بررسی اثر هدایت پروتونی غشا بر عملکرد پیل سوختی پلیمری پرداخته می‌شود. با توجه به شکل (۷) مشخص است افزایش هدایت پروتونی غشا سبب بهبود عملکرد پیل می‌شود که این اثر در مقادیر پایین چشمگیرتر می‌باشد.



شکل ۷- اثر میزان هدایت پروتونی بر کارایی پیل سوختی پلیمری.



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3rd Fuel Cell Seminar of Iran



رابطه هدایت پروتونی غشا با رسانایی الکتریکی آن توسط معادله (۱۵) بیان شده است [۷]:

$$\sigma_{mem} = \beta \varepsilon (0.514\lambda - 0.326)^{\omega} e^{1268 \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T} \right)} \quad (15)$$

β در رابطه فوق بیانگر هدایت پروتونی غشا می‌باشد و همان‌گونه که مشخص است رابطه مستقیم با میزان رسانایی الکتریکی غشا دارد.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه منحنی قطبیت یک تک سل پیل سوختی پلیمری با در نظر گرفتن گرمای ناشی از مقاومت اهمی در لایه کاتالیست آن استخراج شد و اثر پارامترهای مختلف بر کارایی پیل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با ۲ برابر کردن فشار کاری پیل و رساندن فشار به ۲ اتمسفر، جریان گرفته شده در ولتاژ ۰/۶ ولت به میزان ۰/۸٪ افزایش پیدا کرده است چرا که افزایش فشار به دلیل بالا بردن غلظت گازهای واکنش دهنده در ناحیه واکنش سبب افزایش چگالی جریان تبدالی پیل سوختی و به سبب آن بهبود عملکرد پیل می‌شود.

اثر استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا در شدت جریان‌های کم به دلیل آنکه مشکل افت غلظت سوخت وجود ندارد چندان چشمگیر نمی‌باشد ولی با بیشتر شدن جریان کشیده شده از پیل اثر این موضوع روشن‌تر می‌شود. به طوری که برای شدت جریان ۰/۹۵ (A.cm²) که در ولتاژ ۰/۴ ولت از پیل گرفته می‌شود افزایش ۰/۱۹٪ مشاهده می‌شود ولی در شدت جریان بالای ۱/۲۵ (A.cm²) که افت ولتاژ ناشی از کاهش غلظت سوخت چشمگیر است استفاده از اکسیژن سبب افزایش ۰/۴۶٪ شدت جریان شده است.

افزایش درجه حرارت باعث افزایش افت پتانسیل به سبب وجود ترم (TΔS)/(nF) می‌شود. از سوی دیگر افزایش درجه حرارت باعث بالا رفتن چگالی جریان تبدالی و افزایش هدایت پروتونی غشا می‌شود نتایج نشان می‌دهد اثرات مثبتی که افزایش درجه حرارت بر عملکرد پیل دارد بیش از اثرات منفی آن می‌باشد.

افزایش هدایت پروتونی غشا سبب بهبود عملکرد پیل می‌شود نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که این اثر در مقادیر پایین چشمگیرتر می‌باشد.

مراجع

- 1- Urbani, F., Barbera, O., Giacoppo, G., Effect of operative conditions on a PEFC stack performance(2008). J. of Hydrogen Energy, 33, 3137-3141.
- 2- Chen, C.K., Yen, T.S., Kuo, J.K., Improvement of performance of gas flow channel in PEM fuel cells(2008). J. of Energy Conversion and Management.
- 3- Benziger, J., Nehlsen, J., Blackwell, D., Brennan, T., Itescu, J., Water flow in the gas diffusion layer of PEM fuel cells(2005). J. of Membrane Science, 261,98-106.
- 4- Nguyen, P.T., Berning, T., Djilali, N., Computational model of a PEM fuel cell with serpentine gas flow channels(2004), J. of Power Sources, 130,149-157.
- 5- Fluent help, Chapter 1. PEM Fuel Cell Model theory.
- 6- Tao, W.Q., Min, C.H., Liu, X.L., He, Y.L., Yin, B.H., Jiang, W., Parameter sensitivity examination and discussion of PEM fuel cell simulation model validation(2006), J. of Power Sources, 160,359-373.
- 7- Barbir, F., (2005). Pem fuel cells: theory and practice, Elsevier Academic Press.