

# تحلیل کارایی پیل سوختی غشاء پلیمری دوفازی غیر همدما

امین حسین حامد نه برادران، علیرضا حامد نه برادران، محمود ابوالحسن علوی

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد؛ [hamed\\_technical@yahoo.com](mailto:hamed_technical@yahoo.com)

<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد؛ [alireza2002nmb@yahoo.com](mailto:alireza2002nmb@yahoo.com)

<sup>3</sup> استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد؛ [m\\_a\\_alavi2002@yahoo.com](mailto:m_a_alavi2002@yahoo.com)

## چکیده

یک مدل دوبعدی دوفازی و غیرهمدما برای شبیه سازی تبادل کامل پروتون غشاء پیل سوختی آماده گردیده است. انتقال آب و واکنش های الکتروشیمیایی مطرح شده و تمام معادلات حاکمه برای کانال های جریان، کاتالیست ها، لایه های پخش گاز ( GDL ) و غشاء آن حل گردیده اند. مدل غیر همدما است و بسیاری از اثرات تغییر دما روی کارایی پیل لحاظ شده اند. دو فاز برای آب که شامل مایع و گاز است در این مدل در نظر گرفته شده است. ابعاد مقادیر واقعی هستند که از مجله منابع انرژی (۲۰۰۹) گرفته شده اند. میدان های جریان کانال های مستقیم هستند و جریان ها برای اکسید کننده و سوخت هم جهت در نظر گرفته شده اند. برای ملاحظه کردن اثرات جهت جریان، محاسبات برای یک آزمایش نمونه جریان مخالف نیز انجام شده اند. برخی مطالعات برای بررسی اثر پارامترهای زیر بر کارایی پیل انجام گردیده است که شامل: ضریب تخلخل لایه های پخش گاز، ضریب تخلخل کاتالیست، نسبت عرض به طول کانال، فشار آند، فشار کاتد، ضریب استوکیومتری اکسید کننده می شود. نقطه عمل بهینه برای کل پیل بدست آمده است. برای هر مورد حالت مبنا برای تمامی پارامترهایی که عوض نشده اند ثابت باقی مانده است.

## کلید واژه

پیل سوختی غشاء پلیمری، تحلیل عددی، شبیه سازی

## ۱- مقدمه

در هر قسمت پیل می توانند بدست آیند. تأثیرات گوناگون تغییر جهت جریانها و انتشار هیدروژن در GDL آند مورد مطالعه قرار گرفته و منحنی های دوقطبی آن برای فشارهای مختلف آند / کاتد ، انواع کاتالیست ، ضرایب تخلخل GDL و مقادیر مختلف نسبت طول به عرض رسم گردیده است. همچنین اثرات ضریب استوکیومتری اکسیژن بر کارایی، بررسی گشته است .

## ۲- ۱-معادلات حاکم

معادلات حاکم بر یک پیل سوختی، پیوستگی ، مومنتوم، انرژی ، بقاء نوع ، پخش میدان الکتریکی هستند که در فرم حالت پایدار نوشته شده اند [3]. این معادلات برای جریان حالت پایدار بدست آمده اند بنابراین ما میتوانیم تمامی مقادیر متغیر با زمان را نادیده بگیریم.

۱- پیوستگی :

$$\nabla \cdot \rho \vec{i} = 0 \quad (1)$$

۲- معادله مومنتوم :

$$\frac{1}{\sigma} \nabla \cdot \rho \vec{i} \vec{i} = -\nabla p + \nabla \cdot \rho \tau - \frac{\mu}{k} \vec{i} \quad (2)$$

که  $\epsilon$  ضریب تخلخل می باشد .

۳- معادله انرژی :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{i} h) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_{ene} \quad (3)$$

$$S_{ene} = h_{phase} + h_{reaction} + I^2 R_{ohm} \quad (4)$$

که  $q$  شار هدایتی گرما و

$$h_{phase} = \text{گرمای نهان آب}$$

$$h_{reaction} = \text{گرمای تولید آب}$$

$$I^2 R_{ohm} = \text{اتلاف مقاومت جریان}$$

امروزه تقاضا برای انرژی پاک و تجدید شذنی ، فعالیت های تحقیقاتی را برای یافتن منابعی بهتر شتاب داده است. پیل های سوختی ممکن است جوابی برای افزایش نیاز این نوع منبع انرژی باشد. پیل های سوختی دارای کاربردهایی در منابع نیروی ثابت ، توزیع شده ، قابل حمل، سیار و حتی بیولوژیکی هستند. پیل های سوختی انرژی شیمیایی را مستقیماً به الکتریسیته بوسیله اکسیداسیون آندی سوخت و احیاء کاتدی اکسیژن تبدیل می کنند. پروتون های تولید شده در آند به کاتد رفته ، جایی که آنها دوباره با آنیونهای اکسیژن به شکل آب ترکیب می شوند. پیل های سوختی متشکل از یک بخش آند و یک بخش کاتد و یک غشاء می باشند. بخش های آند و کاتد مشتمل بر کانال های جریان، لایه های پخش گاز ( GDL ) و کاتالیست ها هستند. دو صفحه که صفحات دو قطبی نامیده می شوند بر سطوح بیرونی پیل برای جمع آوری جریان الکتریکی قرار گرفته اند. یکی از انواع پیل های سوختی ، PEM ( تبادلی غشایی پروتون ) است که در آنها هیدروژن به عنوان سوخت و هوا به عنوان اکسید کننده بکار گرفته می شود. یکی از مهمترین بخشهای این شبیه سازی حل معادله انرژی است که تأمین کننده حرارت آب محصول ، اتلاف بعلت ماده عایق و گرمای نهان تبخیر آب می باشد. تمامی این عوامل موثر در محاسبه بکار گرفته شده اند. در این گزارش کار یک مدل دو بعدی دو فاز و غیر هم دما برای شبیه سازی یک پیل سوختی تبادلی غشایی پروتون کامل ( PEM FC ) مهیا گشته است . هندسه سه بعدی یک پیل سوختی غشاء پلیمری در شکل ۱ ، با دامنه محاسباتی که در برش سطحی عمودی نمایان گشته، نشان داده شده است. این برش در شکل ۲ نشان داده شده است. مدل های دو بعدی با مجاری افقی بوسیله هیدروژن به عنوان سوخت و هوا / اکسیژن تحت عنوان اکسید کننده تغذیه شده است. طرز کار معمول این پیل بر اساس ولتاژهای ثابت محاسبه گشته است . بسته به نتایج ، فشار ، درجه حرارت و دیگر پارامترها

۴- بقاء نوع :

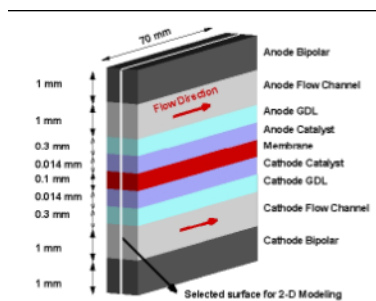
## ۲-۲- شبیه سازی:

مدل مش بندی شده با مشخصات هندسی پیل که در جدول (۱) نشان داده شده ، توسعه پیدا کرد. در اینجا ۵۸۸۰۰ (۸۴×۷۰۰) پیل ( سلول) در مدل مش بندی شده وجود دارد که نتایج خوبی در نسبت طول به عرض ( صفحه ) و همچنین نرخ همگرایی می دهد. این مدل توسط نسخه تجارتي نرم افزار Fluent حل گردیده است. پیوستگی ، مومنتوم ، انرژی ، الکتروشیمیایی، پخش، میدان الکتریکی و باقی معادلات مانند معادله حالت حل شده اند. شرایط مرزی و ابعاد برای مدل پایه در جدول (۱) نشان داده شده است [4].

جدول (۱) پارامترهای مدل پایه

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| ۷۰    | طول کانال (mm)             |
| ۱     | عرض کانال (mm)             |
| ۰.۳   | عرض GDL (mm)               |
| ۰.۰۱۴ | عرض لایه کاتالیست (mm)     |
| ۰.۱   | عرض غشاء (mm)              |
| ۰.۵   | عرض جمع کننده جریان (mm)   |
| ۰.۵   | ضریب تخلخل GDL             |
| ۰.۵   | ضریب تخلخل لایه کاتالیست   |
| ۳۱۳   | دمای ورودی (k)             |
| ۱     | فشار نسبی ورودی آند (atm)  |
| ۲     | فشار نسبی ورودی کاتد (atm) |

پیل سوختی دوبعدی در واقع سطح مرکزی پیل سه بعدی است که بطور شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- تصویر شماتیک ۳ بعدی پیل، قسمت دو بعدی انتخابی مورد استفاده در تحقیق حاضر.

$$\frac{\rho D_i}{\delta} (y_{i,surf} - y_{i,cent}) \eta = \frac{M_{O_2}}{\eta F} R_{O_2} \quad (5)$$

که

$$Di = \text{انتشار جرم } i \text{ امین بخش (m}^2/\text{s)}$$

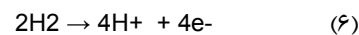
$$h = \text{نسبت سطح به حجم کاتالیست ها (1/m)}$$

$$y_{i,surf} = \text{کسر جرمی } i \text{ امین قسمت روی سطح واکنش}$$

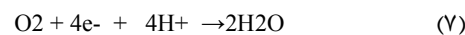
$$y_{i,cent} = \text{کسر جرمی } i \text{ امین قسمت مرکز المان ( عنصر )}$$

$$\delta = \text{طول میانگین بین سطح و مرکز هر المان ( عنصر )}$$

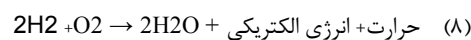
۵- معادلات الکترو شیمیایی:



معادله الکتروشیمیایی آند (۶) نشان می دهد که هیدروژن به یونهای مثبت هیدروژن و الکترون تبدیل می شود.

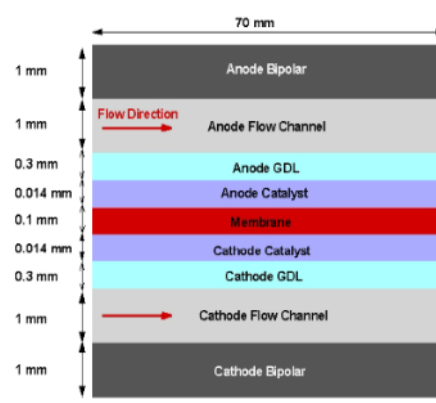


معادله الکتروشیمیایی کاتد (۷) نشان می دهد که اتمهای اکسیژن با یونهای  $H^+$  ( انتقال یافته توسط غشاء ) و الکترونها ( انتقال یافته توسط سیم بیرونی ) واکنش داده و به شکل آب در می آیند. با توجه به معادلات (۶) و (۷) معادله حاکم پیل می تواند به صورت معادله (۸) نوشته شود .



معادله (۸) نشان می دهد که در پیل حرارت و جریان الکتریکی و آب به عنوان محصولات این واکنش تولید می شوند. الکترونهای تولیدی اگر بوسیله سیمی از آند به کاتد انتقال یابند میتوانند کار انجام دهند [1,2].

صفحه انتخابی شکل ۱ مدل دو بعدی مطرح شده در تحقیق حاضر است. ( شکل ۲ ) همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده MEA شامل غشاء ، کاتالیست های قسمتهای کاتد و آند است. جهت جریان نشان داده شده در شکل ۲ هم جریان است . ابعاد نشان داده شده در شکل ( ونیز در جدول ۱) مقادیر مستدلی هستند که به عنوان مثال از مجله منابع انرژی برداشت شده اند .



شکل ۲. تصویر شماتیک دو بعدی پیل

## ۳-۲- آزمایشات عددی:

### ۱-۴- بررسی ضریب تخلخل:

ضریب تخلخل کاتالیست و DGL عوض شده و اثرات آنها در محاسبات بکار گرفته شده اند. منحنی دو قطبی پیل برای ضرایب تخلخل GDL ۰.۳ ، ۰.۴ ، ۰.۵ ، ۰.۶ و ۰.۷ بسط داده شده است. منحنی دو قطبی برای کاتالیست هایی با ضرایب تخلخل ۰.۳ و ۰.۵ بدست آمده است .

### ۲-۳-۲- بررسی نسبت عرض به طول کانال :

منحنی دو قطبی پیل برای عرض کانال ۱ mm و ۲ mm در زمانی که طول کانال برابر ۷۰ mm در نظر گرفته شده رسم گردیده است.

### ۳-۳-۲- بررسی فشار آند :

اثرات فشار بر کارایی پیل برای فشارهای ۱ و ۲ اتمسفری آند در نظر گرفته شده است( فشارهای نسبی ) . فشار کاتد برابر با همان مقدار مینا گرفته شده است. نتایج مورد بحث در منحنی دو قطبی جدیدی ارائه گشته است.

### ۴-۳-۲- بررسی فشار کاتد :

اثرات فشار بر کارایی پیل برای فشارهای ۱ و ۲ اتمسفری کاتد در نظر گرفته شده است.( فشارهای نسبی ) . فشار آند برابر با مقدار مینا گرفته شده است. نتایج مورد بحث در منحنی دو قطبی جدیدی ارائه گشته است.

### ۵-۳-۲- بررسی فشار پیل :

اثرات تغییر فشار آند و کاتد در یک زمان در محاسبات گنجانده شده و اهمیت تغییر فشار آند با تغییرات فشار کاتد مقایسه شده است.

### ۶-۳-۲- ضریب استوکیومتری کاتد :

جریان پیل برای ضرایب استوکیومتری ۰.۲ ، ۰.۲۵ ، ..... ، ۰.۷ اکسیژن در ولتاژ ۰.۷۵ v بسط داده شده است. اثرات افزایش ضرایب استوکیومتری O2 نیز مورد بحث قرار گرفتند .

### ۷-۳-۲- مطالعه جریان مخالف :

برای در نظر گرفتن تأثیر جهت جریان بر کارایی پیل ، حالت مینا در جهت مخالف جریان نیز مورد مطالعه قرار گرفته و منحنی دو قطبی آن رسم گردیده است.

### ۸-۳-۲- توزیع دما :

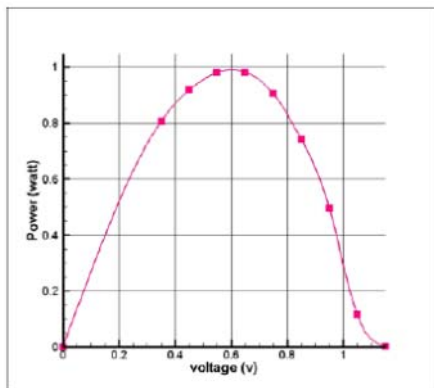
خط دما برای تمام لایه ها در پیل نشان داده شده اند.

### ۲-۳-۹- موازنه اکسیژن و آب :

کسر جرمی اکسیژن در GDL و کاتالیست کاند در غشاء نشان داده شده است. کسر جرمی آب برای آند و آتد GDLها و غشاء بسط داده شده است [5].

### ۲-۴- نتایج:

با شرایط مرزی که در جدول ۱ لیست شده نتایج برای حالت مبنا محاسبه شده اند. با استفاده از ولتاژ مدار باز ۱.۱۸۷ منحنی دو قطبی رسم گردیده است .



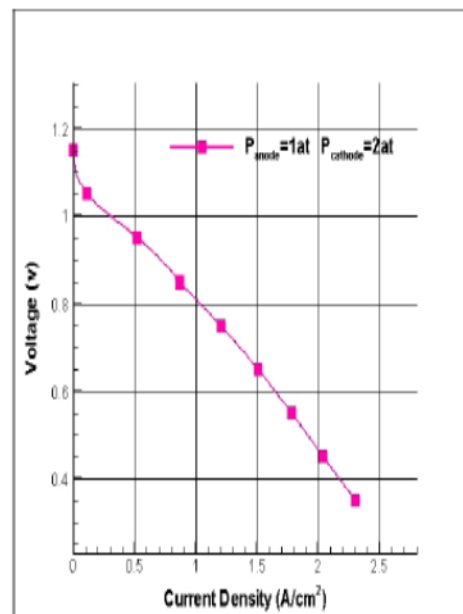
شکل ۴ - نمودار ولتاژ- توان

درصد رطوبت ( عاملی که مقدار آب در غشاء را بیان می کند ) عامل مهمی در شدت جریان است . برای تمام نقاط منحنی دو قطبی ، درصد رطوبت در محدوده معقولی است. بر مبنای نتایج، منحنی دارای مینیمم ۵ و ماکزیممی در حدود ۱۵ و مقدار میانگینی در حدود ۱۰ می باشد.

اتلافاتی که در منحنی دو قطبی اثر گذارند را می توان به ۴ نوع دسته بندی کرد:

- ۱ . اتلاف مدار باز به سبب تلفیق سوخت
- ۲ . سقوط سریع به علت اتلافات فعال سازی
- ۳ . سقوط خطی به دلیل اتلافات اهمی
- ۴ . اتلافات انتقال جرم در شدت جریان بالا

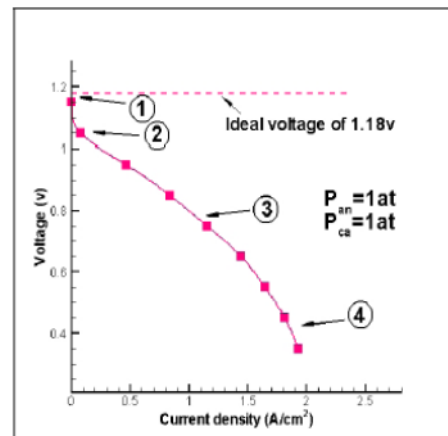
در شکل ۵ - منحنی دو قطبی برای فشارهای آند / کاند در ۱ فشار اتمسفر کشیده شده است و این چهار قسمت علامت گذاری شده اند. با مقایسه این منحنی با سایر منحنی ها اثرات پارامترهای گوناگون بر منحنی دو قطبی قابل مشاهده است. برای مثال با مقایسه شکل ۳ ( $P_{ca}=2atm$  and  $P_{an}=1atm$ ) با شکل ۵ ( $P_{ca}=P_{an}=1atm$ ) اختلاف اصل در قسمت ۴ یافت شده که بدین معنی است: در اثر انتقال، تلفات زمانی که فشار بالا می رود ، کاهش میابد. برخی دیگر از مقایسه



شکل ۳- منحنی دو قطبی برای حالت مبنا ( $P_{h_2 in}=1atm$  ,  $P_{o_2 in}=2atm$ )

نتایج با هم مقایسه شده [۵] و اختلافات بسیار کوچکی در حالتها ملاحظه می شود، که کیفیتی رضایتبخش حاصل می شود . بایستی ذکر شود که منحنی دو قطبی تا حد زیادی زمانی که ولتاژ مدار باز و فشارهای ورودی تغییر می کند ، متفاوت می شود. محاسبه توان و ترسیم ولتاژ ذخیره سازی توان برای حالت مبنا شکل ۴ را منجر شده که ماکزیمم توان که در ولتاژ ۰.۶۷ می توان بدست آورد نشان می دهد.

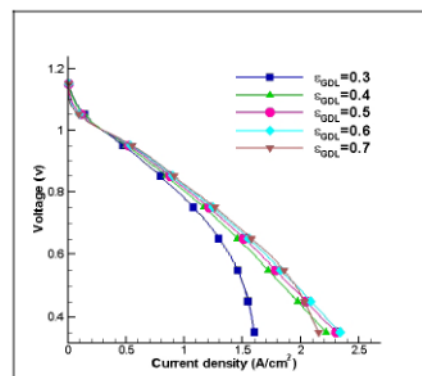
ها را می توان به همین طریق برای مشاهده اثر پارامترهای مختلف روی منحنی دو قطبی انجام داد. اتلاف مدار باز ماکزیمم ولتاژ قابل حصول را از 1.18v به حدود 1.1v کاهش می دهد. بنابراین سه اتلاف دیگر مهمتر می باشند که در بخش ۱-۵ بیشتر توضیح داده شده اند.



شکل ۵- نمودار ولتاژ-جریان

#### ۲-۴-۱- بررسی ضریب تخلخل :

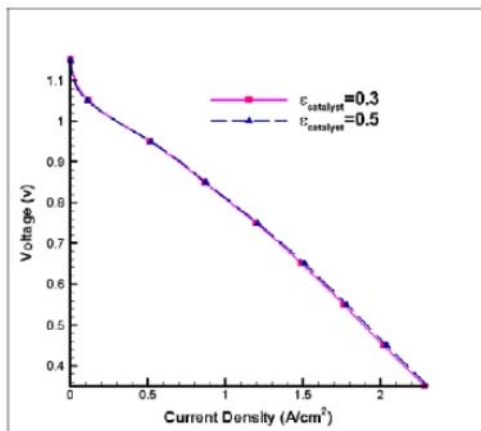
منحنی دو قطبی برای ضرایب تخلخل ۰.۳-۰.۷ GDL در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- منحنی دو قطبی برای ضرایب تخلخل ۰.۳-۰.۷ GDL

طبق آنچه که قبلاً بیان شد، منحنی دو قطبی میتوان

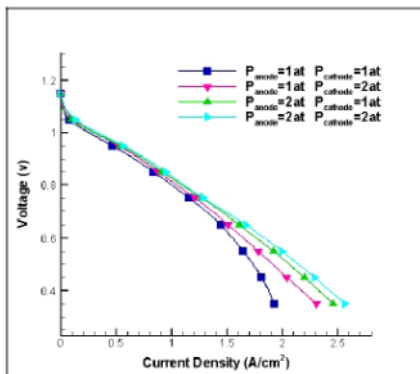
به سه بخش تقسیم گردد: ناحیه ولتاژ بالا ( بیشتر از 1v) که اتلافات فعال سازی نقش مهمی را ایفا می کنند ناحیه ولتاژ متوسط ( بین 0.7v و 1v) که اتلافات خطی اند و ناحیه ولتاژ پایین ( کمتر از 0.7v) که اتلافات انتقال جرم مهمترند. در ناحیه ولتاژ بالا شدت جریان زمانی که ضریب تخلخل افزایش می یابد کاهش پیدا می کند. در ناحیه ولتاژ متوسط شدت جریان زمانی که ضریب تخلخل افزایش می یابد بطور پیوسته زیاد می شود. در ناحیه ولتاژ پایین اتلافات انتقال جریان آنقدر مهم می شود که بقیه اتلافات نادیده می شوند. زمانی که ضخامت کاتالیست یک مرتبه بزرگی کوچکتر از GDL و بیشتر از ۲ مرتبه بزرگی کوچکتر از عرض کانال باشد، تغییر ضریب تخلخل کاتالیست خیلی محسوس نیست. برای مثال منحنی های دو قطبی برای ضرایب تخلخل ۰.۳ و ۰.۵ کاتالیست در شکل ۷ نشان داده شده اند.



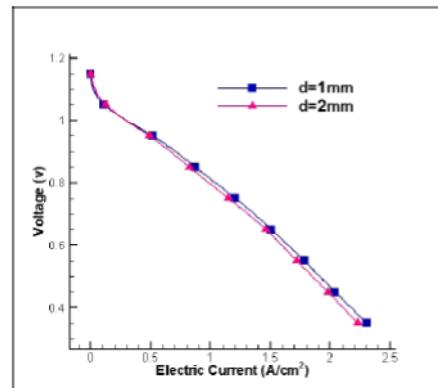
شکل ۷- منحنی دو قطبی برای ضرایب تخلخل ۰.۳ و ۰.۵ کاتالیست

#### ۲-۴-۲- بررسی نسبت عرض به طول کانال :

برای در نظر گرفتن اثر نسبت عرض به طول کانال، طول ثابت گرفته شده است (همانند حالت مینا برابر با 70mm) و منحنی دو قطبی برای عرض های 1mm و 2mm ترسیم شده است. (شکل ۸)



شکل ۹ - تأثیر فشار آند / کاتد بر منحنی دو قطبی

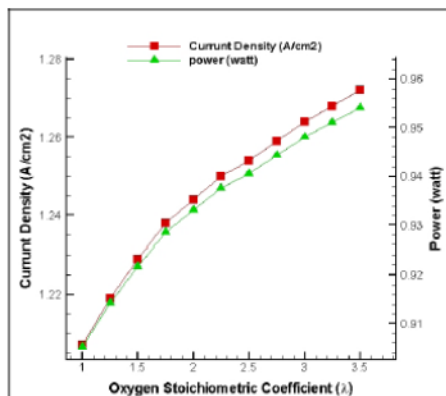


شکل ۸ - تأثیر نسبت عرض به طول کانال

با توجه به خاصیت ولتاژ بالا (بیش از 1V) می بینیم که این تأثیر معکوس می شود یعنی در ناحیه ولتاژ بالا فشار کاتد مهمتر می شود.

#### ۲-۴-۶- بررسی ضریب استوکیومتری کاتد :

با افزایش ضریب استوکیومتری ، شدت جریان بدست آمده است. ( شکل ۱۰ ) تمامی پارامترهای دیگر ثابت گرفته شده اند ( برابر با حالت مبنا ) . ولتاژ کاری 0.75V است هنگامی که ولتاژ ثابت است افزایش شدت جریان ، افزایش توان را نشان می دهد. در هر حال با توجه به محدودیت های اقتصادی برای تغذیه اکسیژن خالص ، توانهای بالاتر قابل دسترسی می باشد .



شکل ۱۰ - تأثیر ضریب استوکیومتری کاتد بر شدت جریان

#### ۲-۴-۳- بررسی فشار آند:

بر اساس قانون پخش دارسی [۲] جرم انتقال یافته از طریق محیطهای متخلخل افزایش می یابد چون گرادیان فشار افزایش می یابد. بنابراین احتمالاً در فشارهای بالاتر دارای شدت جریان های بالاتری می باشد. [۵] نتایج، درستی این مطلب را ثابت می کنند که در شکل ۹ می توانیم ببینیم.

#### ۲-۴-۴- بررسی فشار کاتد :

همانند بخش ۳-۴ بررسی فشار کاتد نشان می دهد که افزایش فشار شدت جریان را افزایش می دهد ( شکل ۹ )

#### ۲-۴-۵- مطالعه فشار پیل :

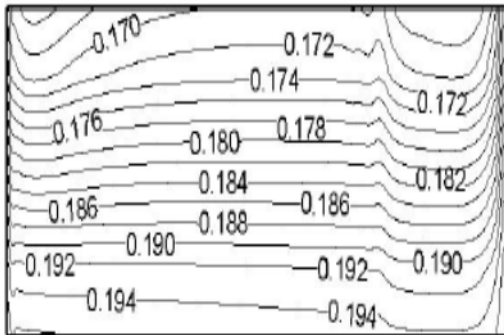
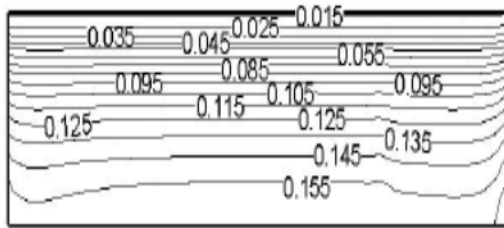
با تغییر فشارهای آند و کاتد ، می توانیم تأثیر فشار آند و کاتد را مقایسه نمائیم . همانطور که در شکل ۹ می توان دید افزایش شدت جریان زمانی رخ می دهد که فشار آند/کاتد از 1at به 2at برود [5].

نکته جالب توجه این واقعیت است که شدت جریان با فشار 2at و فشار 1at کاتد بیشتر است (منحنی سبز). این مورد را زمانی که فشار کاتد 2at و فشار آند 1at است مقایسه کنید ( منحنی قرمز ) که می توان گفت فشار آند نقش مهمتری را در کارایی پیل ایفا می کند.

## ۲-۴-۷- بررسی جریان مخالف:

## ۲-۴-۹- موازنه اکسیژن و آب:

اکسیژن در طرف کاتد برای رسیدن به غشاء در میان GDL و لایه های کاتالیست پخش می شود. در شکل ۱۲ توزیع کسر جرمی اکسیژن نشان داده شده است. کسر جرمی ورودی کاتد برای حالت مبنا که در بررسی موازنه اکسیژن بکار رفته ۰.۲ است. همچنان که می توان مشاهده کرد کسر جرمی اکسیژن با گذر از میان GDL (پایین) و کاتالیست و غشاء (بالا) کاهش می یابد، به عبارت دیگر می توان کاهش از ورود کسر جرمی تا صفر مشاهده نمود.



شکل ۱۲- کسر جرمی اکسیژن در غشاء (بالا) و GDL کاتد (پایین)

غشاء فقط زمانی می تواند H+ را عبور دهد که آنجا رطوبت داشته باشد. برای نمناک تر کردن غشاء، جریان هیدروژن ورودی بایستی مرطوب باشد. واکنش هایی که در معادله (۳) دیده می شود نیز آب تولید می کند. و همچنین غشاء بایستی مملو از آب باشد. آنجا یک ناحیه خاص برای کارایی بهتر وجود دارد بنابراین موازنه آب پیل خیلی مهم است [5].

با توجه به حالت مبنا با نتایج جهت مخالف، جدول (۲) نشان می دهد تغییر جهت جریان تأثیر ناچیزی بر کارایی پیل دارد. نتایج جهت مخالف نشان می دهد که بیشترین اختلاف بین حالت های جریان هم جهت و مخالف در حدود  $0.007 \text{ h/cm}^2$  است.

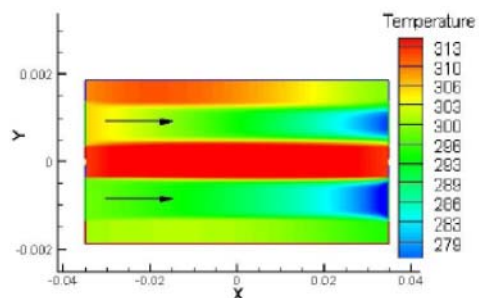
|      | co flow               | counter flow          | difference            |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| V(v) | i(A/cm <sup>2</sup> ) | i(A/cm <sup>2</sup> ) | i(A/cm <sup>2</sup> ) |
| 0.35 | 2.304                 | 2.297                 | 0.007                 |
| 0.45 | 2.04                  | 2.035                 | 0.005                 |
| 0.55 | 1.782                 | 1.778                 | 0.004                 |
| 0.65 | 1.509                 | 1.508                 | 0.001                 |
| 0.75 | 1.207                 | 1.207                 | 0                     |
| 0.85 | 0.873                 | 0.873                 | 0                     |
| 0.95 | 0.521                 | 0.521                 | 0                     |
| 1.05 | 0.1093                | 0.115                 | -0.0057               |
| 1.15 | 0.000666              | 0.000671              | -0.000005             |

جدول ۲- جریان های هم جهت و مخالف جریان

نتایج بدست آمده ارتباط کامل با نوشتجات را نشان می دهد. برای مثال در مقایسه با نتایج کومار (Kumar) و کراولو (Ceraolo) این نتایج مشابه یکدیگر هستند.

## ۲-۴-۸- توزیع دمائی :

شکل ۱۱ نشان می دهد که گرادیان های دما در عمق پیل در مقایسه با گرادیان ها در امتداد کانال های جریان بزرگتر هستند. دما در مرکز پیل به علت واکنش های الکتروشیمیایی بیشتر است.



شکل ۱۱- خط دما

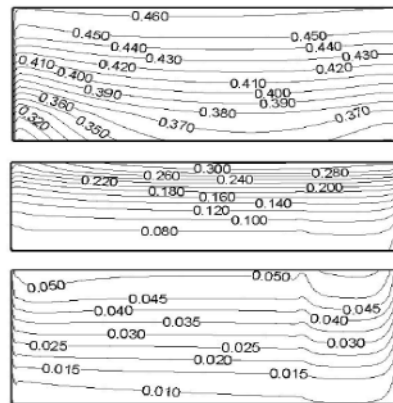


در این گزارش، برای پیل مورد مطالعه قرار گرفته، مقادیر بهینه به قرار زیر است:

عرض کانال = ۱ میلی‌متر،  $\varepsilon_{\text{catalyst}} = 0.5$ ،  $\varepsilon_{\text{GDL}} = 0.6$ ،  $\varepsilon_{\text{ca}} = 2$ ،  $P_{\text{an}} = P_{\text{ca}} = 2$  atm، ضریب استوکیومتری اکسیژن = ۳.۵ (بسته به محدودیت های اقتصادی و طراحی، فشار و ضریب استوکیومتری که افزایش پیدا کند، توان بیشتری را می توان بدست آورد). با توجه به آنچه که در بخش ۴-۴ ذکر شد اهمیت افزایش فشار آند بیشتر از کاتد است. در نتیجه در این مورد که محدودیتی برای تأمین فشار نداریم، با صرفه تر است که فشار طرف آند افزایش یابد..

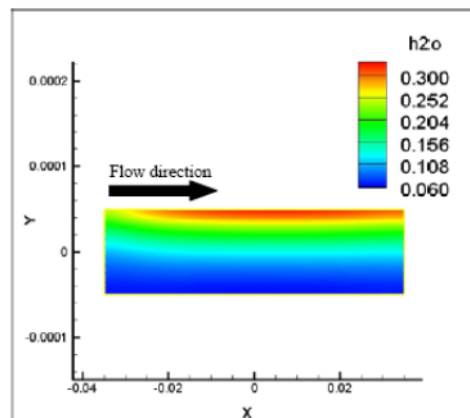
## مراجع

- [1] C.Marr and X.Li "An Engineering model of proton exchange membrane fuel cell performance."ARI,50,190,(1998).
- [2] M.Eikerling, A.Kornyshev and A.A.Kulikovsky. Physical modeling of fuel cells and their components. Bard-Stratmann Encyclopedia of Electrochemistry, vol. 5, Electrochemical Engineering, pp.447-543, Wiley, 2010.
- [3] Atul Kumar and R.G Reddy,"Modeling of polymer electrolyte membrane fuel cell with metal foam in the flow-field of the bipolar/end plates"Journal of power sources,114,54,(2009).
- [4]Sampath, Y.,Davari,A.,Feliachi,A.,Biswas,T., "Modeling and simulation of the dynamic-behavior of a polymer electrolyte membrane fuel cell," Journal of power sources, V124,pp 113, 2010.
- [5] Ceraolo,M., Miulli,C., Pozio,A., "Modeling static and dynamic behavior of proton exchange membrane fuel cells on the basis of electro-chemical description, Journal of Power Sources (1), 2008. pp. 131-144 p.



شکل ۱۳ کسر جرمی H2O در GDL آند (بالا)، غشاء (وسط) و GDL کاتد (پایین)

شکل ۱۳ موازنه آب در پیل را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، جهت انتقال آب از GDL به غشاء است. شکل ۱۴ خطوط کسر جرمی H2O در غشاء را نشان می دهد.



شکل ۱۴- خطوط کسر جرمی H2O در غشاء

## ۳- نتیجه گیری

در یک پیل سوختی مهمترین هدف تولید بیشترین توان است. برای دستیابی به این هدف دانستن این که در چه ولتاژی بیشترین توان بدست آمده ضروری است، که همانگونه که ملاحظه می کنید ما اکنون می توانیم نقطه کاری بهینه پیل را پیدا کنیم. با استفاده از شکل ۴ می توان گفت که بیشترین توان حدود ولتاژ  $V=0.6$  مدار باز رخ می دهد. در این حالت بیشترین توان در حدود ۱ وات است.