ماهنامه علمى پژوهشى





mme.modares.ac.ir

طراحی جدید و بررسی عملکرد میدان جریان پیل سوختی غشاء پلیمری جهت بهبود عملکرد برای کاربرد در یک وسیله هوایی

آرمان عبدلی¹، مجتبی دهقان منشادی^{2*}، ابراهیم افشاری³

1– دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

2– دانشیار، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

3– دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

*شاهين شهر، صندوق پستى mdmanshadi@mut-es.ac.ir ،153/83145

New interior design for polymer flow membrane fuel cell flow field to improve performance for use in an aerial vehicle

Arman Abdoli¹, Mojtaba Dehghan Manshadi^{2*}, Ebrahim Afshari²

1- Faculity of Mechanical and Aerospace Enginerring, malek ashtar University, Esfahan, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Esfahan University, Esfahan, Iran

* P.O.B. 153/83145, Tehran, Iran, mdmanshadi@mut-es.ac.ir

| ARTICLE INFORMATION | ABSTRACT |
|---|--|
| Original Research Paper Received 16 September 2017 Accepted 01 November 2017 Available Online 15 December 2017 | One of the most important parts of the polymer fuel cell is the bipolar plate, which through the channel paths as the flow field in these plates, the availability of reactive gases to the surface of the catalyst layer is possible to carry out the electrochemical reactions of the fuel cell. So far, many researchers have been designing different flow streams for fuel cells, although each of the models has its own advantages |
| <i>Keywords:</i> Polymer membrane fuel cell Flow field design Fuel cell lifespan Uniform distribution of reactive gases Aerial application | and disadvantages, but a suitable design for the fuel cell flow field, which has a uniform distribution of reactive gases on the surface of the catalyst layer, Access to higher performance and longer fuel cell life is very important. In this paper, we introduce a new flow pattern for fuel cell flow field, and the numerical results obtained with a conventional parallel model are compared. The flow-shaped designs have been modified with a spiral and the total dimensions of the cell are 6400mm ² , which has allowed access to a uniform distribution of reactive gases, flow density and temperature distribution. An increase of 66% was achieved with a limited density and increased 1.7 times the power density by adjusting the arrangement for the flow field. Therefore, considering the design of the fuel cell based on the power density curve presented in the new model, the specific characteristics and power of the fuel cell in an air mission have been addressed and the availability of high specific power that is of particular importance in aerial applications is achieved. |

A. abdoli, M. dehghan manshadi, E. afshari, New interior design for polymer flow membrane fuel cell flow field to improve performance for use in an aerial vehicle, Modares

از سوخت هیدروژن برای تولید انرژی به دلایل گوناگون به خصوص راندمان

مناسب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است در حال حاضر استفاده از

Mechanical Engineering, Vol. 17, No. 12, pp. 297-308, 2018 (in Persian)

1- مقدمه

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

در میان روشهای نوین جایگزینی سوختهای فسیلی و تولید انرژی، استفاده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-06

[4] یک میدان جریان شبه موجی استفاده کردند و ابعاد این شکل را بهینه

نمودند. مین نیز یک پژوهش [5] دیگر در زمینه کانال با شکل پله مانند از

نوع مارپیچ انجام داد و به بهینهسازی ابعاد کانال پیل سوختی پرداخت.

افشاری و همکاران [6] به بررسی پیل سوختی با سه هندسه پرداختند. کانال

موازی، کانال موازی به همراه موانع و در حالت سوم فوم فلزی را بهجای کانال

فلزى به كار برده و نشان دادهاند كه استفاده از فوم فلزى به توزيع يكنواخت ر

چگالی جریان و واکنشدهندهها در سطح کاتالیست و افزایش چگالی جریان و عملکرد پیل منتج میشود. در تحقیق انجامشده توسط رنوا و همکاران [7]

طراحی بهینه برای پهباد سبک که با استفاده از پیل سوختی غشاء پلیمری

کار میکند و در ارتفاع کاری بالا مأموریت دارد، انجام شده است. برای

سقفهای پروازی بالاتر از 10 کیلومتر یک وسیله هوایی برخی مشکلات ایجاد

می شود که توسط شرایط کاری نامناسب محیطی اتفاق می افتد. از این رو

استفاده از یک استراتژی جدید جهت مدیریت گرمای تولیدی توسط

واکنشهای الکتروشیمیایی پیل سوختی لازم است. گادالا و زفر [8] به

بررسى سيستم قدرت تركيبى براى وسايل هوايى بدون سرنشين پرداخته

است. سیستم قدرت پیشنهادی از پیل سوختی هیدروژنی و صفحات خورشیدی و باتری تشکیل شده است. سطح بال از صفحات نوری پوشیده

شده است و پیل سوختی از نوع پلیمری به کار برده شده و باتری استفادهشده

از نوع لیتیوم پلیمری است. وسایل هوایی کوچک بدون سرنشین برای

مطالعات و بررسی هایی استفاده می شود که وزن شروع به پرواز کمی لازم

داشته و دارای ابعاد کوچک باشد تا قابلیت حمل توسط افراد را دارا باشد. تحلیل با توجه به آزمایشهای مختلف بهدست آمده از تستهای مختلف انجام

شده صورت گرفته است. با توجه به مقدار وزن، نیروی لیفت و درگ، توان

موردنياز براى وسيله مشخص شده است. نتايج تحقيق نشان داده شده با

استفاده از سیستم قدرت ترکیبی، مداومت پروازی وسیله از 470 دقیقه به

970 دقيقه افزايش پيدا مىكند و مطالعات تحقيق سودمندى سيستم توان

توزیع غیریکنواخت چگالی جریان در سطح فعال پیل سوختی، به دست

آوردن چگالی جریان بالا و توزیع دمای مناسب و توزیع یکنواخت گازهای

واکنش گر برای پیل سوختی پیشنهاد شده است. این مدل جدید براساس

آرایش اصلاح شده مارپیچ با آرایش متداول کانال موازی مقایسه شده است و افزایش عملکرد پیل مورد ارزیابی واقع شده است. در ادامه با بررسی حجم

پیل سوختی و محاسبه وزن تشکیل دهنده آن، به محاسبه تعداد سل لازم

جهت تأمين توان مشخصي از وسيله هوايي در حين گردش (فاز كروز) آن

یرداخته شده است و پارامتر چگالی توان ویژه نیز که در افزایش مداومت

در میان انواع پیلهای سوختی، پیلهای سوختی پلیمری دارای مزایایی است

که آن را به مناسبترین گزینه برای منبع تأمین توان پهپاد تبدیل نموده

است. مهمترین مزایای استفاده از پیلهای سوختی پلیمری در وسایل هوایی

را می توان در بازدهی بالاتر نسبت به فناوری سوختهای فسیلی، چگالی انرژی و توان بالاتر که منجر به مداومت بیشتر خواهد شد، قابلیت اطمینان

بالا، عدم ایجاد صدا و عدم وجود اجزای متحرک، زمان راهاندازی سریع و

مشکل عمده استفاده از پیلهای سوختی کاهش عمر کاری آنها در

پروازی وسایل بدون سرنشین مطرح است اندازه گیری شده است.

2- میدان جریان طراحی شدہ

دمای کاری پایین خلاصه کرد.

در این مدلسازی یک طرح جدید برای میدان جریان جهت غلبه بر

ترکیبی را برای وسایل هوایی بدون سرنشین نشان داده است.

پیلهای سوختی بهعنوان یک فناوری در حال توسعه برای تأمین منبع توان بسیاری از کاربردها، مانند صنعت حملونقل، نیروگاههای تولید توان، زیردریایی، کاربرد در صنایع نظامی، تولید توان غیرمتمرکز در منازل و ... مطرح شده است.

انگیزه اصلی در تمایل به استفاده از پیلهای سوختی پلیمری در پهپاد و وسایل هوایی، افزایش مداومت پروازی و درعین حال تأمین قابلیت پنهان کاری با توجه به دمای کاری پایین پیل پلیمری، برای وسایل هوایی میباشد. پیلهای سوختی به دلیل عملکرد آرام، بدون صدا و بدون اجزایی متحرک و عدم انتشار یا انتشار کم گازهای گلخانهای امروزه در حال رشد بوده و موردتوجه بسیاری از صنایع در بسیاری از کشورها قرار گرفته است. در حال حاضر تمامى وسايل نقليه بدون سرنشين از باترىها، موتورهاى احتراق داخلى یا ترکیبی از این دو بهعنوان سیستم پیشرانش بهره میبرند. سیستمهای پیل سوختی چون قدرت موردنیاز را در قالب فرآیندهای احتراقی تولید نمیکنند؛ دارای مصرف سوخت ویژه¹ کمتری نسبت به موتورهای سوخت سنگین پیشرفته یا ژنراتورهای قدرت دیزلی هستند.

کومار و همکاران [1] به بهبود عملکرد یک پیل سوختی غشاء پلیمری از طریق بهینهسازی ابعادی آن پرداختند. آنها ابعاد کانالهای میدان جریان صفحات دوقطبی را با یک الگوی کانال مارپیچ مورد بررسی قرار دادند. شبیهسازی برای ابعاد 0.05 تا 4 میلیمتر برای عرض کانال، عمق و ناحیه شانه كانال، انجام گرفته شده است. بهينهترين ابعاد براي مصرف هيدروژن بالا (حدود 80 درصد) بهدست آمده است. عرض کانال 1.5میلیمتر، عمق کانال 1.5 میلیمتر و برای حاشیه کانال مقدار 0.5 میلیمتر حاصل شده است طراحي نامناسب يک پيل سوختي غشاء پليمري منجر به پخش غيريکنواخت واکنشدهندههای پیل سوختی شده که کاهش عملکرد و عمر مجموعه را به دنبال دارد. گرچه تحقیقهای زیادی در زمینه طراحی میدان جریان برای پیل سوختی پلیمری انجام شده است؛ ولی طرح موازی- سری برای پیلهای سوختی کمتر مطالعه شده است. در تحقیق لیمجراجاروس [2]، مطالعه عددی روی توزیع جریان در شش شکل میدان جریان با مساحت پنج سانتیمتر مربع انجام شده است. این کار با تکنیکهای عددی با نرمافزار فلوئنت صورت گرفته است. نتایج نشان میدهد که در اندازههای کوچک پیل سوختی، میدان جریان با تعداد کمتر کانالها عملکردی بهتر و یکنواختتری را دارا است و تعداد کانال از شکل خود کانالها در این اندازهها مهمتر و تأثیر گذارتر است. ولی دیده شده وقتی تعداد کانال زیادتر شود، بحث هندسه کانال مهم می گردد. با تعداد کانال برابر هندسه سری- موازی برای میدان جریان توزیع یکنواختتر و عملکرد بهتری نسبت به هندسه چند مارپیچ ازنظر توزيع جريان و همچنين مديريت آب نشان داده است. افشاری و همکاران [3] به بررسی کاتد پیل به صورتی که بخشی از کاتد به وسیله صفحات تیغهای مسدود شده است، پرداخته و تأثیر محدودیت ایجاد شده با نسبتهای مختلف گپ تحلیل شده است. بدین منظور یک مدل دوبعدی پیل سوختی که کانال کاتد آن مسدود شده است، در نظر گرفته شده و با تحلیل عددی، میدان سرعت، نرخ جریان جرم و شار اکسیژن وارد به لایه کاتالیست، غلظت بخارآب تولیدی و نسبت گاز ورودی به لایه پخش گاز در شرایط مختلف بررسی شده است. نتایج بیان کننده این است که کاهش اندازه گپ و يا افزايش تعداد تيغهها به انتقال گازهای واکنشدهنده کمک میکند؛ اما منجر به افزایش افت فشار می شود. هندسه های مختلفی برای میدان جریان پیل سوختی توسط محققان به کار گرفته شده است. از جمله یو و همکاران

¹Specific Fuel Consumption

صورت کار کرد مداوم در شرایط کاری دائم در کاربرد هوایی می باشد. طراحی مناسب یک میدان جریان مناسب برای پیلهای سوختی غشاء پلیمری حائز اهمیت است، این اهمیت هم از لحاظ عملکرد و کارایی بهتر پیل سوختی به خاطر دسترسی و توزیع مناسب واکنش دهندهها به سطح لایه کاتالیست و هم از سمت دیگر برای جمع آوری و خروجی آب تولیدی از واکنشهای انجام شده در پیل اتفاق می افتد. توزیع مناسب گازهای واکنش گر باعث افزایش عمر و دوام کاری پیل شده و آب تولیدی در پیل مانعی برای دسترسی واکنش دهنده در سطح لایه کاتالیست بوده و کاهش عملکرد پیل را منجر می شود.

طراحی جدید برای میدان جریان، الگوی اصلاحشدهای از کانالهای مارپیچ دارد. هدف از ایجاد این طرح استفاده از کانالهای نیمه مارپیچ بهجای کانالهای طولانی و ممتد مارپیچ جهت مصرف گازهای واکنش گر بهصورت یکنواخت در تمامی سطح پیل و عدم افزایش افت فشار با کوتاهتر شدن مسیرهای مارپیچ است. ایده اصلی برای این طراحی، تغییر آرایش کانالهای مارپیچ برای کم تر شدن مسیر حرکت گازهای واکنش گر از ورودی تا خروجی کانال پیل، جهت توزیع مناسبتر گازهای واکنش گر و وجود مقادیر مناسب سوخت در قستهای مرکزی و انتهایی کانال است. همچنین مسیرهای ورودی کانال و مسیرهای خروجی کانال به صورتی طراحی شده که در کنار هم باشند و با برابر بودن فشار در آنها، از تلفات جرمی جلوگیری گردد. این شکل از میدان جریان از یک بخش منبع گازهای واکنشدهنده تشکیلشده و یک قسمت شاخه مشترک برای تمامی کانالهای مارپیچ در سمت ورودی و خروجی داشته و یک منبع تخلیه برای گازهایی که واکنش انجام نداده و آبهای خروجی از خود دارد. مزیت دیگر این طرح نسبت به استفاده از طرحی که کانالهای مارپیچ به صورت ساده باشد در این است که فشار بالای داخل کانال مارپیچ عبوری از سمت خروجی در کنار قسمت انتهای خود که فشار كمترى دارد قرار نگرفته و امكان تلف شدن واكنش دهندهها و انتقال براساس گرادیانهای بالای فشار از طریق لایه متخلخل از بین میرود. از معایب این طرح هم می توان به محل قرار گیری منیفولد ورودی و عرض آن اشاره کرد که نیازمند بهینه سازی جهت انتخاب مقدار مناسب دارد. برای مقایسه بهتر الگوی جدید بر اساس "شکل 2" برای میدان جریان با یک مدل موازی مطابق با "شکل 1" برای میدان جریان مقایسه شده است.

3- معادلات حاكم بر مسأله

معادلات حاکم بر پیلهای سوختی شامل معادلات بقایی شامل بقای جرم، مومنتوم، انرژی و انتقال گونهها بهعلاوه معادلات بیانگر واکنشهای الکتروشیمیایی در اجزای داخلی آن است. شکل کلی و عمومی معادلات حاکم بر پیل سوختی به شکل زیر است.



Fig. 1 Flow field with parallel channel

شكل 1 ميدان جريان با كانال موازى



Fig. 2 The flow field is designed for fuel cell in shape of modified serpentine

شکل 2 میدان جریان طراحیشده برای پیل سوختی به شکل مارپیچ اصلاحشده

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varphi) + \nabla \cdot (\rho\varphi\overline{V}) = \nabla \cdot \left(\Gamma_{\varphi}\nabla\varphi\right) + S_{\varphi} \tag{1}$$

فرضیات در نظر گرفته شده برای مدلسازی سهبعدی پیل سوختی بهصورت مدلسازی پایای پیل، عدم وجود اثرات گرانش، در نظر گرفتن رژیم جریان آرام برای جریان سیال در کانال گازی، صرفنظر از تغییر فاز و چگالش بخارآب و شبیهسازی بهصورت تک فازی است.

با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده برای شبیهسازی زمانی در معادلات انتقال پیل سوختی از بین می ود متغیر φ در معادلات بقای جرم، گونهها، مومنتوم و انرژی به صورت معادله (2) است که در آن X_k کسر جرمی اجزاء گازی است.

$$\varphi = \begin{cases} 1, & generate generat$$

برای ترم پخشی T_{φ} نیز برای هر معادله مقادیر معادله (3) صادق است \tilde{k} که μ ویسکوزیته دینامیکی مخلوط گازی، D_k ضریب پخش مؤثر است و \tilde{k} ضریب هدایت گرمایی مؤثر است.

ترم چشمه یا چاه معادلات برای هر قسمت از پیل سوختی متفاوت است و در جدول 1 ارائه شده است.

عامل به وجود آورنده واکنشهای الکتروشیمیایی در پیل سوختی، اختلاف پتانسیل بین فاز مربوط به بخش جامد و فاز پتانسیل غشاء پیل است. بنابراین معادله کلی پتانسیل پیل سوختی به شکل زیر است.

$$\nabla \cdot (\Gamma_{\varphi} \nabla \varphi) + S_{\varphi} =$$

$$\begin{cases} \forall \nabla \cdot (\sigma_{s} \nabla \phi_{s}) + R_{s} = 0 & \text{if } | \forall \forall \sigma_{s} \nabla \phi_{s} \rangle + R_{s} = 0 \\ \forall \nabla \cdot (\sigma_{m} \nabla \phi_{m}) + R_{m} = 0 & \text{if } \forall \sigma_{s} \nabla \phi_{m} \rangle + R_{m} = 0 \end{cases}$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(5)$$

$$(4)$$

$$(4)$$

$$(5)$$

$$(4)$$

$$(5)$$

$$(5)$$

$$(5)$$

$$(6)$$

$$(6)$$

$$(7)$$

$$(6)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

سوحتی است که کار پناسیل انگتریسی جامع النقال الکترون از میان اجرای جامد و هادی الکتریسیته پیل سوختی را نشان میدهد. پتانسیل پروتونی نیز به توضیح درباره انتقال پروتونها از غشاء پیل سوختی میپردازد. $\sigma_{\rm m}$ هدایت پروتونی و $\sigma_{\rm s}$ هدایت الکتریکی را نشان داده و $\sigma_{\rm s}$ پتانسیل فاز جامد و $\phi_{\rm m}$ پتانسیل غشاء پیل سوختی است. $R_{\rm m-s}$ نمایشدهنده جریان حجمی

انتقالی بین دو فاز الکتریکی و یونی (غشاء) است که بهعنوان ترم چشمه و چاه در معادله وجود دارد. این ترم به علت انجام واکنشهای الکتروشیمیایی در لایه کاتالیست پیل سوختی است و تنها در این لایه در دو سمت آند و کاتد پیل اضافه میشود و برای سایر بخشهای پیل سوختی صفر میباشد. مقدار این ترم در دو سمت آند و کاتد برای فاز جامد و غشاء بهصورت زیر است.

$$R_{s} = \begin{cases} -R_{\text{anode}} & \text{ware } \tilde{l}_{\text{cathode}} & \\ +R_{\text{cathode}} & \text{ware } \tilde{l}_{\text{cathode}} & \\ R_{m} = \begin{cases} +R_{\text{anode}} & \text{ware } \tilde{l}_{\text{cathode}} & \\ -R_{\text{cathode}} & \text{ware } \tilde{l}_{\text{cathode}} & \\ \end{array}$$
(5)

(6) سمت كاتد -R_{cathode} (6) مقادیر R_{anode} و R_{cathode} طبق معادله باتلر- ولمر بهدست میآیند. در این مدلسازی جهت گرفتن نتایج مناسب، معادله باتلر- ولمر در حالت کلی حل شده است.

$$R_{\text{anode}} = \zeta_{\text{an}} i_{0,\text{an}}^{\text{ref}} \left(\frac{[\text{H}_2]}{[\text{H}_2]_{\text{ref}}} \right)^{\gamma_{\text{an}}} \left(e^{\frac{\alpha_{\text{an}} F \eta_{\text{an}}}{RT}} - e^{\frac{-\alpha_{\text{an}} F \eta_{\text{an}}}{RT}} \right)$$
(7)

$$P_{\text{cathode}} = \zeta_c i_{0,c}^{\text{ref}} \left(\frac{[O_2]}{[O_2]_{\text{ref}}} \right)^{rc} \left(-e^{\frac{-\alpha_{an}F\eta_c}{RT}} + e^{\frac{-\alpha_c F\eta_c}{RT}} \right)$$
(8)

در معادله باتلر- ولمر $[0_2]$ و $[H_2]$ غلظت اکسیژن و هیدروژن در لایه کاتالیست سمت کاتد و آند پیل سوختی است که غلظت مرجع آنها با $[H_2]_{ref}$ و $[0_2]_{ref}$ و $[0_2]_{ref}$ و $[H_2]_{ref}$ $[H_2]_{ref}$

4- مدلسازی عددی

جهت طراحی پیل سوختی، ابعاد انتخابی براساس اطلاعات جمع آوری شده از پیلهای سوختی در مرجع [11] ساخته شده برای وسایل هوایی بدون سرنشین مطابق با جدول 3 در نظر گرفته شده است.

پیل سوختی طراحی شده در این تحقیق دارای مساحت کلی فراحی میدان جریان، 6400 mm² میباشد و شامل صفحات دوقطبی با کانالهای میدان جریان،

جدول 1 ترمهای تولید چشمه و چاه در معادله (1) [9,10]

| able I Product | tion terms in equation | 1[9,10] | | |
|---|---|--|----------------|-----------------|
| غشاء مبادله کننده يون | لايه كاتاليست | لایه پخش گاز | کانال جریان | معادله |
| $S_D = -\frac{\mu}{K}\varepsilon\vec{V}$ | $S_D = -\frac{\mu}{K} \varepsilon \vec{V}$ | $S_D = -\frac{\mu}{K}\varepsilon\vec{V}$ | $S_D = 0$ | بقای مومنتوم |
| $S_T = rac{I^2}{\sigma_{ m m}}$ | $S_T = R_s \left(\eta + T \frac{\Delta S}{nF} \right) + \frac{I^2}{\sigma_s} + \frac{I^2}{\sigma_m}$ | $S_T = 0$ | $S_T = 0$ | بقای انرژی |
| $S_k = -\nabla \cdot \left(\frac{n_{\rm d}}{F}I\right)$ | $S_{k} = -\nabla \cdot \left(\frac{n_{\rm d}}{F}I\right) - \frac{S_{k}R_{\rm s}}{nF}$ | $S_k = 0$ | $S_k = 0$ | بقای گونهها |
| | | | | |

لایه پخش گاز، لایه کاتالیست برای دو سمت آند و کاتد بوده است و غشاء پیل سوختی نفیون 112 انتخاب شده است. طراحی طوری انجام شده که سطح فعال پیل سوختی در لایه کاتالیست جهت مقایسه بهتر بین الگوهای طراحی شده برابر باشند و سطح فعال در نظر گرفته برای پیل سوختی به میزان 6162 میلیمتر مربع است. اطلاعات جزئیتر در خصوص سایر ابعاد در نظر گرفته شده برای پیل سوختی در جدول 2 آورده شده است.

جهت بررسی استقلال از شبکه پیل سوختی تعداد شبکهبندی در راستای عمود بر لایه پخش کننده گاز، لایه کاتالیست و غشاء پیل سوختی مورد مطالعه قرار گرفته است.. با توجه به "شکل 5" دیده میشود بیشترین میزان اختلاف برای چگالی جریان به میزان 1.5 درصد برای حالت (10-52) به ترتیب برای لایه پخش گاز-لایه کاتالیست و غشاء پیل سوختی نسبت به حالت پایه (3-3-2) می باشد. تعداد المان در نظر گرفته شده برای شبیه سازی (6-6-5) برای این سه لایه از پیل سوختی که واکنش های الکتروشیمیایی در آن ها رخ می دهد، بدون زیاد کردن هزینه می باشد و تعداد المان کل شبکه پیل سوختی 824808 ایجاد می گردد.

جهت حل عددی مسأله بعد از طراحی پیل سوختی، هندسه به شبکههای محاسباتی مانند "شکل 3" گسسته میشود.

درنهایت با اعمال شرایط مرزی مناسب به صورت روش تک ناحیهای به پیل مطابق با معادلات (9) تا (11) و پارامترهای عملکردی پیل سوختی، خواص مواد و پارامترهای مربوط به معادلات الکتروشیمیایی پیل سوختی مطابق جدول 3، به حل معادلات به روش حجم محدود توسط نرمافزار فلوئنت پرداخته شده است.

شرط مرزی دبی جرمی در ورودی آند و کاتد پیل، اعمال میشود.

$$m_{\rm air-in} = \frac{S_{0_2} M_{\rm air} I}{X_{0_2} 4F} \tag{9}$$

$$m_{\rm H_2-in} = \frac{S_{\rm H_2} M_{\rm H_2} r}{X_{\rm H_2} 2F}$$
(10)

جدول 2 ابعاد هندسی پیل سوختی طراحی شده

| | ons of Designed Fu | etric Dimension | Table 2 Geome |
|---------------------|--------------------|-----------------|---------------|
| پارامترهای ابعادی | مقدار | واحد | مرجع |
| طول | 80 | mm | [11] |
| عرض | 80 | mm | [11] |
| ارتفاع | 3.66 | mm | [2] |
| سطحفعال | 6162 | mm ² | [11] |
| عرض کانال | 1 | mm | [12] |
| عمق كانال | 1 | mm | [12] |
| شانه کانال | 1 | mm | [12] |
| ضخامت صفحه دوقطبى | 1.6 | mm | [13][2] |
| ضخامت لایه پخش گاز | 0.19 | mm | [14][2] |
| ضخامت لايه كاتاليست | 0.015 | mm | [14][2] |
| ضخامت غشاء | 0.05 | mm | [10][2] |
| عرض منيفولد كانال | 1 | mm | [15] |



مهندسی مکانیک مدرس، اسفند1396، دورہ 17 شمارہ 12



Fig. 4 Grid independence test for the designed fuel cell at the cell voltage of 0.7V

شکل 4 آزمون استقلال شبکه برای پیل سوختی طراحی شده در ولتاژ سلول 0.7 ولت

جدول 3 پارامترهای عملکردی در نظر گرفتهشده برای پیل سوختی Table 3 Functional parameters considered for fuel cell

| مرجع | مشخصه | مقدار | پارامتر |
|---------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | ى | پارامترهای عملکرد | |
| | К | 333 | دمای کاری |
| | atm | 2 | فشار کاری |
| | %RH | 100 | رطوبت نسبى آند |
| | %RH | 50 | رطوبت نسبى كاتد |
| | S | 1.5 | استوكيومترى كاتد |
| | S | 1.5 | استوكيومتري آند |
| | | پارامترهای انتقال | |
| [16] | V | 1.06 | ولتاژ مدار باز |
| [14][2] | Kmol/m ³ | 0.0008814 | غلظت مرجع |
| [14][2] | A/m ³ | 7.17 | چگالی جریان مبادله شده آند |
| [14][2] | A/m ³ | 7.17×10 ⁻⁵ | چگالی جریان مبادله شده کاتد |
| [14][2] | $\alpha_{anode/cathode}$ | 1 | ضریب انتقال بار آند و کاتد |
| [14][2] | Yanode/cathode | 1 | توان غلظت آند و کاتد |
| [17] | m²/s | 6×10 ⁻⁵ | پخش گاز هيدروژن |
| [17] | m²/s | 3.5×10 ⁻⁵ | پخش گاز اکسیژن |
| [17] | m²/s | 6×10 ⁻⁵ | پخش آب بهصورت بخار |
| [17] | m ² /s | 8×10 ⁻⁵ | پخش سایر گازها |
| | | خواص مواد | |
| [18] | ε | 0.4 | تخلخل پخش گاز |
| [18] | ε | 0.4 | تخلخل لايه كاتاليست |
| | ئاز | لایه پخشکننده گ | |
| [19] | kg/m ³ | 490 | چگالی |
| [19] | 1/Ωm | 5000 | هدايت الكتريكى |
| [19] | Watt/mK | 1.6 | هدایت گرمایی |
| | | لايه كاتاليست | |
| [19] | kg/m ³ | 2010 | چگالی |
| [19] | $1/\Omega m$ | 1000 | هدايت الكتريكى |
| [14][2] | $m^2 - Pt/m^3$ | 1.127×10 ⁻⁷ | نسبت سطح به حجم كاتاليزور |
| | | غشاء | |
| [2] | kg/kmol | 1100 | وزن معادل غشاء |
| [2] | kg/m ³ | 1980 | چگالی غشاء |
| [2] | Watt/mK | 0.16 | هدایت گرمایی |
| | | صفحات دوقطبي | |
| [20] | kg/m ³ | 1780 | چگالی |
| [20] | $1/\Omega m$ | 68000 | هدايت الكتريكى |
| [20] | Watt/mK | 95 | هدایت گرمایی |

در خروجی شرط مرزی به صورت توسعه یافته و با شار صفر در نظر گرفته شده است.

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial n} = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad \frac{\partial \phi_e}{\partial n} = 0 \quad \frac{\partial X_i}{\partial n} = 0 \tag{11}$$

5- نتايج و بحث

1-5- اعتبار سنجی

جهت اعتبارسنجی نتایج، مدلسازی پیل سوختی با کانال تک مارپیچ انجام شده است و منحنی قطبیت برای پیل سوختی در "شکل 5" ارائه شده است. ابعاد پیل سوختی و شرایط کاری براساس تحقیق انجام شده توسط ليمجراجاروس و همكاران [2] انتخاب شده است. منحنى قطبيت بهدست آمده از شبیهسازی همخوانی خوبی با نتایج تحقیق در چگالیهای پایین جریان دارد؛ اما اختلاف نتایج در چگالیهای بالای جریان ایجاد شده است. علت اصلی این اختلاف افت غلظتی اتفاق افتاده در پیل سوختی بوده که در چگالیهای بالای جریان بر منحنی قطبیت حاکم میباشد. با تشکیل آب بیشتر در چگالیهای بالای جریان، عملکرد پیل سوختی مختل میشود و بر نفوذپذیری گازهای واکنش گر اثر گذاشته و با کاهش دسترسی گازهای واکنش گر به سطح فعال لایه کاتالیست پیل سوختی، در منحنی قطبیت پیل سوختی اثر خود را بهصورت کم شدن چگالی جریان نمایش میدهد. در نظر گرفتن تغییر فاز بخارآب در پیل سوختی و تشکیل آب مستلزم در نظر گرفتن معادلات مربوطه و پیچیدگیهای زیاد است [21,22,23]، از اینرو در تحقیق حاضر مدلسازی با فرض در نظر گرفتن تنها فاز بخار برای پیل سوختی انجام گرفته است و نتایج بهدست آمده با وجود مقادیر افت غلظتی کمتر در چگالی بالای جریان نسبت به حالت دوفازی حاصل شده است [24,25,26,27]

2-5- عملكرد پيل سوختى

کارآمدی میدان جریان طراحی شده برای پیل سوختی در مقایسه یا میدان جریان متداول موازی مشخص است. توزیع کسر جرمی و نحوه توزیع اکسیژن ورودی در پیل در مرز لایه کاتالیست و پخش گاز در سمت کاتد پیل سوختی آورده شده است. همان طور که در "شکلهای 7 و 6" مشاهده می شود، یکنواختی توزیع اکسیژن در پیل سوختی در میدان جریان طراحی شده در مقایسه با کانال موازی بهبود زیادی پیدا کرده است که عملکرد بالاتر پیل سوختی را ایجاد می کند. توزیع گازهای واکنش گر از ورودی کانال در سمت کاتد تا خروجی آن روند کاهشی دارد؛ زیرا واکنش دهنده های پیل سوختی با





Fig. 8 Distribution of mass fraction of water vapor at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 8 توزیع کسر جرمی بخارآب در فصل مشترک لایه پخش گاز و کاتالیست سمت کاتد پیل سوختی ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل موازی



Fig. 9 Distribution of mass fraction of water vapor at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine)

شكل 9 توزيع كسر جرمى بخارآب در فصل مشترك لايه پخش گاز و كاتاليست سمت كاتد پيل سوختى ولتاژ كارى 0.5 ولت، مدل طراحىشده (مارپيچ اصلاحشده)

آنجا که توزیع یکنواخت محتوای آب در غشای پیل به افزایش کارکرد و عمر پیل سوختی کمک زیادی می کند [28]، به بررسی آن در مرز لایه کاتالیست و غشاء سمت کاتد و آند پیل سوختی پرداخته شده است. محققان [29] به دنبال توسعه طرحی از میدان جریان بودهاند که محتوای آب یکنواختی را در پیل سوختی ایجاد نماید. مطابق "شکلهای 11 و 10" با اصلاح طراحی شکل کانال از حالت موازی به حالت مارپیچ اصلاح شده، یکنواختی محتوای آب غشاء بهبود پیدا کرده است و بهجز قسمتهای مرکزی غشا، در بقیه قسمتها عشاء در سمت کاتد، ایجاد مشکل سرریز شدن باوجود مقادیر آب بالاتر از 14-توزیع مناسبی مشاهده می شود. نکته حائز اهمیت در خصوص محتوای آب غشا در سمت کاتد، ایجاد مشکل سرریز شدن باوجود مقادیر آب بالاتر از 14-آن نسبت به میدان جریان طراحی شده جدید، رخ داده است. در قسمتهای ورودی کانال محتوای آب بسیار کمتر از سایر بخشها می باشد که به دلیل خروج آب از کانالهای میدان جریان در این نواحی از پیل می باشد.

از آنجا که به دلیل کشش الکترو- اسمزیک آب از سمت آند به کاتد و همچنین تولید آب در سمت کاتد، مقادیر آب غشا در سمت کاتد بیشتر از آند است، به بررسی این مشخصه در سمت آند پیل نیز پرداخته شده است. یکنواختی بیشتر محتوای آب غشاء با بررسی آند پیل سوختی با توجه به



Fig. 6 Distribution of mass fraction of oxygen at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 6 توزیع کسر جرمی اکسیژن در فصل مشترک لایه پخش گاز و کاتالیست سمت کاتد پیل سوختی ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل موازی



X(m)**Fig. 7** Distribution of mass fraction or oxygen at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine)

شکل 7 توزیع کسر جرمی اکسیژن در فصل مشترک لایه پخش گاز و کاتالیست سمت کاتد پیل سوختی ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل طراحی شده (مارپیچ اصلاح شده)

مصرف خود در واکنشهای الکتروشیمیایی پیل سوختی شرکت میکنند. ازاینرو غلظت اکسیژن در قسمتهای ورودی پیل سوختی بالاتر است.

در سمت آند، مخلوط گاز ورودی به پیل شامل دو جزء هیدروژن و بخار آب است. کسر جرمی بخار آب در سمت آند در خطوط همتراز نمایش داده شده مقادیری مخالف هیدروژن دارد و هر کجا هیدروژن زیاد باشد بخار آب کم است. در مورد کاتد سه جز مخلوط گازی شامل اکسیژن، بخار آب و نیتروژن است و در مورد کسر جرمی بخار آب کاتد قضاوت دقیقی نمیتوان کرد. از اینرو نحوه توزیع بخار آب در سمت کاتد پیل در "شکلهای 8 و 9" ارائه شده است. با مشاهده توزیع کسر جرمی بخارآب دیده میشود که مقادیر بخار آب در جایی که کسر جرمی اکسیژن کم است، بالا میباشد. از ابتدای کانال تا انتهای آن به دلیل مصرف سوخت و تولید آب، کسر جرمی آب روندی افزایشی دارد. ولی نکته بسیار مهم این است که در مناطقی از پیل سوختی که هم کسر جرمی اکسیژن و هم مقادیر کسر جرمی آب پایین است مناطقی راکدی است که واکنشهای الکتروشیمیایی در آن اتفاق نمیافتد. یکی از نکات مهم در طراحی پیل ایجاد نشدن این مناطق است که در میدان جریان موازی این مناطق وجود دارد.

محتوای آب غشا یکی از خواص فیزیکی مهم غشاء محسوب میشود. از

الکتروشیمیایی اصلی در سمت کاتد پیل، برای این قسمت از پیل سوختی استخراج شده است. براساس "شکلهای 16 و 17" در برخی از نواحی مدل موازی چگالی جریانهای پایین مشاهده شده و در برخی مقادیر بالای چگالی جریان مشهود است. این توزیع بسیار نامتوازن چگالی جریان را در ارتباط با نحوه توزیع اکسیژن در سطح لایه کاتالیست میتوان دنبال کرد در حالی که



Fig.12 Distribution of membrane water content at the interface between the catalyst bed and the anode side membrane of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 12 توزیع محتوای آب غشا در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء سمت آند پیل سوختی ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل موازی



Fig. 13 Distribution of membrane water content at the interface between the catalyst bed and the anode side membrane of the fuel cell. voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine)

شکل 13 توزیع محتوای آب غشا در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء سمت آند پیل سوختی ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل طراحیشده (مارپیچ اصلاح شده)



Fig. 14 Distribution of hydrogen mass fraction at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst anode side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 14 توزیع کسر جرمی هیدروژن در فصل مشترک لایه پخش گاز و کاتالیست در سمت آند پیل سوختی، ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل موازی



Fig. 10 Distribution of membrane water content at the interface between the catalyst bed and the chatode side membrane of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 10 توزیع محتوای آب غشا در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء سمت کاتد پیل سوختی ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل موازی



Fig. 11 Distribution of membrane water content at the interface between the catalyst bed and chatode side membrane of the fuel cell. voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine) شكل 11 توزيع محتواى آب غشا در فصل مشترك لايه كاتاليست و غشاء سمت كاتد پيل سوختي ولتاژ كارى0.5 ولت، مدل طراحي شده (مارييچ اصلاح شده)

"شکلهای 12 و 13" در مدل جدید طراحی شده برای میدان جریان بهصورت واضحتری مشخص میباشد. با مشاهده توزیع محتوای آب برای مدل موازی مناطقی از پیل سوختی با تجمع آب زیاد مشاهده میشود که علت آن کمبود و عدم نبودن واکنشدهنده و سوخت در این نواحی از پیل سوختی است که در صورت وجود با ایجاد با آزاد کردن الکترون و تشکیل دادن پروتون باعث انتقال آب از سمت آند به کاتد میشده و این تجمع زیاد

بررسی موضوع عدم رسیدن سوخت مناسب به نواحی از پیل سوختی که محتوای آب غشاء بالا را ایجاد نموده است، با مطالعه توزیع کسر جرمی هیدروژن در سمت آند پیل سوختی مشخص میشود. با مشاهده توزیع کسر جرمی هیدروژن در "شکلهای 15 و 14" برای مدل موازی و مدل طراحی شده پیل سوختی، ادعای ذکر شده در مورد کم بودن مقادیر سوخت در محلهایی با محتوای آب غشاء بالا ثابت میشود و همین طور توزیع یکنواخت هیدروژن برای مدل جدید میدان جریان طراحی شده نسبت به آرایش موازی دیده می شود.

توزیع چگالی جریان تولید شده پیل سوختی در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء در ولتاژ کاری 0.5 ولت بهعلت انجام واکنش



Fig. 15 Distribution of hydrogen mass fraction at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst anode side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine)

شکل 15 توزیع کسر جرمی هیدروژن در فصل مشترک لایه پخش گاز و کاتالیست در سمت آند پیل سوختی، ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل طراحیشده (مارپیچ اصلاحِشده)



Fig. 16 Distribution of current density at the interface between the catalyst bed and the chatode side membrane of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 16 توزیع چگالی جریان در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء پیل سوختی

در سمت کاتد پیل سوختی، ولتاژ 0.5 ولت، مدل موازی



Fig. 17 Distribution of current density at the interface of the gas diffusion layer and the catalyst cathode side of the fuel cell.voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine)

یکنواخت در پیل سوختی به دلیل تولید جریان یکنواخت در مدل جدید طراحی شده حاصل شده است. تنشهای حرارتی که باعث کاهش عمر پیل سوختی می گردد یکی از عوامل مهم در طراحی به حساب می رود؛ از این رو مدل موازی کارایی کمتری دارد و طراحی جدید به شکل مارپیچ اصلاح شده از خرابی اجزای گران قیمت پیل سوختی جلوگیری کرده و افزایش عمر آن را نتیجه می دهد. توزیع نایکنواخت دما در پیل همچنین می تواند به توزیع نایکنواخت چگالی جریان تأثیر بگذارد؛ زیرا در نقاطی که دما بالا است نرخ واکنش های شیمیایی پیل افزایش پیدا می کند و بالعکس.

مشخصه عملکردی یک پیل سوختی را با نمودار قطبیت نمایش می دهند. این نمودار رایج ترین روش برای توصیف عملکرد پیل های سوختی براساس شرایط عملکردی مختلف مانند دما، رطوبت، بار اعمالی، دبی جریان ورودی سوخت و ... می باشد. "شکل 20" نمودار قطبیت چگالی جریان های مختلف براساس ولتاژ پیل را نمایش می دهد. این نمودار از تفاضل افتهای پتانسیل موجود در پیل سوختی از ولتاژ برگشت پذیر آن به دست می آید. منحنی چگالی توان نیز مطابق با "شکل 21" یک منحنی مهم است که از حاصل ضرب مقادیر چگالی جریان در ولتاژ پیل سوختی حاصل می شود.



Fig. 18 Distribution of fuel cell temperature at the interface of the catalyst layer and memberance at cathode side of the fuel cell. voltage 0.5 volts, parallel model

شکل 18 توزیع دمای پیل سوختی در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء در سمت کاتد پیل سوختی، ولتاژ کاری 0.5 ولت، مدل موازی



Fig. 19 Distribution of fuel cell temperature at the interface of the catalyst layer and memberance at cathode side of the fuel cell.voltage 0.5 volts, designed model (modify serpentine)

شکل 19 توزیع دمای پیل سوختی در فصل مشترک لایه کاتالیست و غشاء در سمت

كاتد پيل سوختي، ولتاژ كاري0.5 ولت، مدل طراحي شده (مارپيچ اصلاح شده)

Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-06

DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.12.31.3

توزیع یکنواخت واکنش دهندهها در مدل جدید طراحی شده برای میدان جریان پیل سوختی منجر به ایجاد چگالی جریان یکنواخت، دمای یکنواخت، محتوای آب یکنواخت و درنهایت عملکرد بهتر و مناسبتر شده است. با مشاهده منحنی قطبیت برای دو مدل موازی و طراحی شده در "شکل 20 و 21" دیده می شود که چگالی جریان محدود به خاطر تمام شدن و عدم وجود سوخت کافی برای مدل موازی به بیشترین مقدار 11400 آمپر بر مترمربع میرسد درحالی که با طراحی مناسب مدل جدید بهعلت سوخترسانی یکنواخت تر چگالی جریان محدود به ای 1920 آمپر بر مترمربع رسیده است. بر مترمربع در مدل جدید زمار پیچ اصلاح شده) افزایش پیدا کرده است. این افزایش 70 درصدی، اهمیت میدان جریان طراحی شده و عملکرد مناسب آن را نشان می دهد. همچنین با افزایش نسبت استوکیومتری کاتد از مقدار 1.5 توزیع جریان در مدل جدید، بهبود عملکرد پیل در "شکلهای 20 و 20" توزیع جریان در مدل جدید، بهبود عملکرد پیل در "شکلهای 20 و 20"

3-5- بەكارگیری پیل سوختی طراحیشدہ جہت تأمین توان وسیله هوایی

چگالی توان بالا یکی بهترین ویژگیهای یک منبع توان جهت کاربرد در



Fig. 20 Comparation of polarization curve between parallel model and designed model (modify serpentine)

شکل 20 مقایسه منحنی قطبیت بین دو مدل موازی و مدل طراحیشده (مارپیچ اصلاحشده)



Fig. 21 Comparation of power density curve between parallel model and designed model (modify serpentine)

شکل 21 مقایسه منحنی چگالی توان بین دو مدل موازی و مدل طراحیشده (مارپیچ اصلاح شده)

مصارف گوناگون است. ازاینرو با توجه به رسیدن به چگالی توان بالاتر در مدل جدید ارائه شده برای پیل سوختی، تأمین توان سیستم پیشرانش برای یک وسیله هوایی بدون سرنشین با استفاده از پیل سوختی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

رسیدن به ذخیره انرژی بالا برای مداومت پروازی، ظرفیت توان بالا جهت تأمین توان بالا موقع برخاست و ارتفاع گرفتن وسیله و وزن پایین با استفاده از یک سیستم تأمین توان مانند پیل سوختی یا باتری قادر به دسترسی نبوده و با استفاده از ترکیب این دو سیستم میتوان به این سه مهم فاز کروز جهت تأمین توان و برای افزایش مداومت پروازی استفاده شده و در مرحله بلند شدن و ارتفاع گرفتن از باتری جهت تأمین توان استفاده میشود. از پیل سوختی برای شارژ مجدد باتری در مرحله حرکت مستقیم و کروز استفاده میشود.

با توجه به نحوه پرواز یک پرنده بدون سرنشین براساس مرجع [30] در قسمتهای مختلف حرکت خود مطابق با جدول 4 به بررسی استفاده از پیل سوختی در آن پرداخته شده است.

جهت تأمین فاز گشت زنی مستقیم (کروز) وسیله هوایی به محاسبات تعداد سل پیل سوختی و وزن آنها برای ایجاد و تشکیل توده پیل سوختی پرداخته میشود. حجم بخشهای مختلف پیل سوختی برای مدل طراحی شده پیل سوختی که توسط نرم افزار از مدل طراحی شده گرفته شده است به همراه چگالی آن که از مراجع مشخص شده آورده شده است، جهت محاسبه وزن در جدول 5 ارائه شده است. وزن کلی با دو برابر کردن وزن تمامی اجزاء به جز غشاء، با توجه به وجود تمامی اجزاء در دو سمت آند و کاتد پیل به اضافه وزن غشاء پیل حاصل شده است.

جدول 4 پارامترهای عملکردی در نظر گرفته شده برای پیل سوختی[30] Table 4 Functional parameters considered for fuel cell

| | [] |
|----------------------|--|
| توان و زمان موردنیاز | وضعيت پروازي |
| 2 min –12 Watt | انتظار برای بلند شدن (قبل از بلند شدن) |
| 30 sec – 800 Watt | برخاستن |
| 2 min – 350 Watt | صعود به ارتفاع بالا |
| 2 h – 194 Watt | گشت زدن (قاز کروز) |
| 2 min –12 Watt | فرود آمدن |
| | |

جدول 5 مشخصات اجزاى مختلف پيل سوختى طراحى شده و وزن آن Table 5 Specifications of different fuel cell components and weighed in designed model

| designed mo | uei | | | |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|
| وزن (kg) | چگالی (kg/m ³) | جنس | حجم (mm ³) | اجزای پیل |
| 0.02513 | 1780 | گرافيت | 7060 | صفحه دوقطبی [20] |
| 0.001147 | 490 | پارچه یا کاغذ کربنی | 170.78 | لايه پخش گاز [19] |
| 0.00037 | 2010 | ذرات پلاتينوم و كربن | 92.43 | لايه كاتاليست [19] |
| 0.00061 | 1980 | نفيون | 308.1 | غشاء [2] |
| 0.034 | 2700 | آلومينيوم | 6400 | صفحه جمع کننده [20] |
| 0.028 | 2200 | تفلون | 6400 | صفحات عايق [31] |
| كل: 0.08925 | وزن ک | | | |
| | | | | |

اکنون با داشتن وزن پیل سوختی و سطح فعال آن، از منحنی چگالی توان بهدست آورده شده برای میدان جریان جدید طراحی شده (مارپیچ اصلاح شده) در "شکل 21" برای پیل سوختی، قادر به یافتن توان ویژه و همچنین تعداد سلها برای ساخت توده پیل سوختی جهت تأمین توان فاز حرکت در مسیر مستقیم یا (کروز) پیل سوختی مقدور است. لازم به تذکر است از آنجا که راندمان پیل سوختی طبق رابطه (12) به ولتاژ مرتبط است، بنابراین معمولاً پیلهای سوختی در نقطه ماکزیمم چگالی توان ساخته نشده و در ولتاژ کاری حدود 0.7 ولت ساخته می شوند [10].

$$\gamma = \frac{V}{1.482 S_{\text{fuel}}} \tag{12}$$

در رابطه (12)، *S* نسبت استوکیومتری است که در اینجا منظور استوکیومتری هیدروژن است. محاسبات برای دو نقطه طراحی از منحنی چگالی توان پیل سوختی مدل طراحی شده (مارپیچ اصلاح شده) در ولتاژهای کاری 0.6 و 0.7 ولت مطابق با "شکل 22" جهت ایجاد راندمان بالا انجام گرفته شده است. همچنین جهت تأمین توان های بالا، تعداد سل های لازم برای ساخت توده پیل سوختی با توان 2.5 کیلووات نیز محاسبه شده است.

با انتخاب نقاط طراحی طبق "شکل 23" و دانستن سطح فعال پیل سوختی به میزان 6162 میلیمتر مربع و همچنین میزان وزن آن در جدول 5. چگالی توان پیل سوختی بهصورت جدول 6 محاسبه شده است.

توان مخصوص بهدست آمده از این وسیله تبدیل مستقیم انرژی در نقطه طراحی 1 به میزان 530.07 وات بر کیلوگرم است که مقدار مناسبی بوده و در مقایسه با باتریهای توان بالا که توان مخصوصی در حدود 250 وات بر کیلوگرم دارد، تقریباً دو برابر میباشد؛ از اینرو با استفاده از چندین مجموعه از سلهای پیل سوختی یک توده پیل سوختی جهت ایجاد توان سیستم پیشران برای وسیله هوایی بدون سرنشین در نظر گفته میشود از اینرو تعداد سلهای لازم جهت تأمین توان فاز گردش مستقیم وسیله هوایی و همچنین بررسی تعداد سلهای لازم جهت دسترسی به توانهای بالاتر مورد



Fig. 22 The design point of the fuel cell intended for use with aerial application

شکل 22 نقاط طراحی در نظر گرفته شده جهت بهکارگیری پیل سوختی با کاربرد هوایی

جدول6 توان مخصوص برای نقاط طراحی در نظر گرفته شده در مدل طراحی شده برای پیل سوختی

Table 6 Special powers for design points are considered inr a model

 designed for fuel cell

| توان مخصوص W/kg | نقطه طراحي |
|-----------------|--------------|
| 530.07 | نقطه طراحي 1 |
| 302.15 | نقطه طراحي 2 |

جدول 7 محاسبه تعداد سل لازم جهت تأمين توان خروجی لازم برای سيستم پيشرانش وسيله هوايی برای دو حالت توان خروجی 200 وات و 2500 وات

Table 7 Calculation number of cell to provide the power of the air propulsion vehicle for two output power modes of 200 watts and a power output of 2500 watts

| توان مخصوص (وات بر کیلوگرم) | وزن توده پيل (کيلوگرم) | تعداد سل 2.5 كيلووات | توان مخصوص (وات بر کیلوگرم) | وزن توده پيل (کيلوگرم) | تعداد سل 200 وات | نقطه طراحی |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------|
| 531 | 4.7 | 53 | 454 | 0.44 | 5 | نقطه 1 |
| 301.2 | 8.30 | 93 | 281 | 0.71 | 8 | نقطه 2 |

ارزیابی قرار گرفته شده است.

مطابق جدول 7، تعداد سل برای ایجاد توان 200 وات و 2500 وات در نقطه طراحی اول به ترتیب 5 و 53 سل است و برای نقطه طراحی دوم که چگالی توان پایین تری دارد با تعداد سلهای بیشتری می توان به توان موردنظر رسید؛ ازاین رو انتخاب نقطه طراحی برای ساخت پیل سوختی در اختیار سازنده پیل با توجه به کاربرد موردنظر است. در کاربردهایی مانند وسایل بدون سرنشین که اندازه مطرح است از نقطه طراحی 1 استفاده می شود ولی در صورت عدم محدودیت ابعادی و نیاز به راندمان بالاتر، نقطه طراحی 2 مناسب تر می باشد.

6- نتیجه گیری

یک عامل اساسی که باعث کاهش عمر پیلهای سوختی غشاء پلیمری می گردد، توزیع غیریکنواخت گازهای واکنش گر در سطح لایه کاتالیست پیل سوختی است. با توزیع غیریکنواخت گازهای واکنشگر، واکنشهای الكتروشيميايي حاصل از پيل سوختي بهصورت غيريكنواخت رخ داده و موجب افزایش تنشهای حرارتی و توزیع نامناسب چگالی جریان میگردد. در این تحقیق ضمن بررسی مدل متداول موازی در میدان جریان پیلهای سوختی به طراحی مدلی جدید برای میدان جریان پیل سوختی پلیمری به شکل مارپیچ اصلاح شده پرداخته شده است. با ایجاد طراحی جدید برای میدان جریان، دسترسی به توزیع یکنواخت تر گاز اکسیژن در سطح لایه كاتاليست نسبت به مدل موازى بهصورت قابل ملاحظهاى بهبود پيدا كرده است. مشکل تجمع محتوای آب غشاء در سمت آند پیل سوختی که به خاطر عدم رسیدن مناسب گازهای واکنشدهنده ایجاد می گردد در مدل موازی مشاهده شده که با اصلاح هندسه میدان جریان این مشکل برطرف شده است. ایجاد یکنواختی توزیع چگالی جریان در مدل جدید طراحی شده برای میدان جریان با توجه به مقادیر مینیمم 800 آمیر بر مترمربع در مقابل مقدار 8 آمپر بر متر مربع در مدل موازی به صورت مناسبی بهبود پیدا کرده است. در منحنی قطبیت پیل سوختی که عملکرد پیل را مشخص میکند، چگالی جریان محدود پیل سوختی به میزان 60 درصد در مدل مارپیچ اصلاح شده نسبت به موازی افزایش پیدا کرده است و همچنین بیشترین چگالی توان خروجی از پیل سوختی نیز در حدود 1.5 برابر افزایش پیدا کرده است و مقدار آن به میزان 8250 وات بر مترمربع رسیده است که مقدار مناسبی برای پیل سوختی میباشد. با توجه به توان خروجی مناسب بهدستآمده از پیل سوختی، استفاده از آن در یک وسیله هوایی جهت تأمین توان موردنیاز در فاز حركت مستقيمالخط براى افزايش مداومت پروازى وسيله مورد بررسى قرار گرفته شده و با به دست آوردن وزن پیل با مدل جدید طراحی شده، توان مخصوص 530 وات بر کیلوگرم حاصل شده است که افزایش مداومت پروازی

- [2] N. Limieerajarus, P. Charoen-Amornkitt, Effect of different flow field designs and number of channels on performance of a small PEFC, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 40, No. 22, pp. 7144-7158, 2015
- [3] E. Afshari, Investigation of gas transfer in fuel cells of polymer membrane with blocked cathode channel, Proceedings of the 4th Conference on Fuel Cell, Shahid Rajaee University, Tehran, Iran, 2010. (in Persian فارسى)
- [4] J. K. Kuo, T. H. Yen, Three-dimensional numerical analysis of PEM fuel cells with straight and wave-like gas flow fields channels, Journal of Power Sources, Vol. 177, No. 1, pp. 96–103, 2008
- [5] C. H. Min, Performance of a proton exchange membrane fuel cell with a stepped flow field design, Journal of Power Sources, Vol. 186, No. 2, pp. 370-376, 2009.
- E. Afshari, M. Mosharaf-Dehkordi, H. Rajabian, An investigation of the [6] PEM fuel cells performance with partially restricted cathode flow channels and metal foam as a flow distributor, Energy, Vol. 118, pp. 705-715, 2017.
- J. Renau, J Barroso, A Lozano, A Nueno, Design and manufacture of a high-[7] temperature PEMFC and its cooling system to power a lightweight UAV for a high altitude mission, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 41, No. 43, pp. 19702-19712, 2016.
- [8] M. Gadalla, S. Zafar, Analysis of a hydrogen fuel cell-PV power system for small UAV, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 41, No. 15, pp. 6422-6432, 2016.
- [9] E. Afshari, S. A. Jazayeri, Y. M. Barzi, Effect of water phase change on temperature distribution in proton exchange membrane fuel cells, Heat and mass Transfer, Vol. 46, No. 11-12, pp. 1295-1305, 2010.
- [10] F. Barbir, PEM Fuel Cells: Theory And Practice, Second Edittion, pp. 73-155, United States of America: Academic Press, 2012.
- [11] A. Mendez, T. J. Leo, M. A. Herreros, Current state of technology of fuel cell power systems for autonomous underwater vehicles, Energies, Vol. 7, No. 7, pp. 4676-4693, 2014.
- [12] C. C. Chen, D. Shaw, K. L. Hsueh, Optimization of the electrodes humidification temperature and clamping pressure to achieve uniform current density in a commercial-sized proton exchange membrane fuel cell, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 42, No. 5, pp. 3185-3196, 2017.
- [13] J. M. Sierra, J. Moreira, P. J. Sebastian, Numerical analysis of the effect of different gas feeding modes in a proton exchange membrane fuel cell with serpentine flow-field, Journal of Power Sources, Vol. 196, No. 11, pp. 5070-5076, 2011.
- [14] N. Limjeerajarus, Y. Nishiyama, H. Ohashi, T. Ito, T. Yamaguchi, Modeling for PEFC MEAs based on reaction rate on Pt surface and microstructures of catalyst layers, Journal of Chemical Energy, Japan, Vol. 42, No. 8, pp. 616-631, 2009
- [15]X. Li,I. Sabir, Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, No. 4, pp. 359-371, 2005
- [16] J. J. Baschuk, X. Li, A general formulation for a mathematical PEM fuel cell model, Journal of Power Sources, Vol. 142, No. 1, pp. 134–153, 2005. [17] J. G. Carton, A. G. Olabi, Three-dimensional proton exchange membrane
- fuel cell model: comparison of double channel and open pore cellular foam flow plates, *Energy*, Vol. 136, pp. 185–195, 2017. [18] T. Monsaf, B. M. Hocine, S. Youcef, M. Abdallah, Unsteady three-
- dimensional numerical study of mass transfer in PEM fuel cell with spiral flow field, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 42, No. 2, pp. 1237-1251, 2017.
- [19] W. Yuan, Y. Tang, M. Pan, Z. Li, B. Tang, Model prediction of effects of operating parameters on proton exchange membrane fuel cell performance, Renewable Energy, Vol. 35, No. 3, pp. 656-666, 2010.
- [20] H. Kahraman, M. F. Orhan, Flow field bipolar plates in a proton exchange membrane fuel cell: Analysis & modeling, Energy Conversion and Management, Vol. 133, pp. 363-384, 2017.
- [21] D. Spernjak, A. K. Prasad, S. G. Advani, Experimental investigation of liquid water formation and transport in a transparent single-serpentine PEM fuel cell, Journal of Power Sources, Vol. 170, No. 2, pp. 334-344, 2007.
- [22] A. Iranzo, P. Boillat, J. Biesdorf, A. Salva, Investigation of the liquid water distributions in a 50 cm 2 PEM fuel cell: Effects of reactants relative humidity, current density, and cathode stoichiometry, Energy, Vol. 82, pp. 914-921, 2015.
- [23] J. P. Owejan, T. A. Trabold, D. L. Jacobson, D. R. Baker, D. S. Hussey, M. Arif, In situ investigation of water transport in an operating PEM fuel cell using neutron radiography: Part 2-Transient water accumulation in an interdigitated cathode flow field, International Journal of Heat and Mass
- Transfer, Vol. 49, No. 25, pp. 4721–4731, 2006.
 M. Jang, M. Ciobotaru, V. G. Agelidis, A single-phase grid-connected fuel cell system based on a boost-inverter, *IEEE Transactions on Power* Electronics, Vol. 28, No. 1, pp. 279–288, 2013. [25] C. A. García, F. Llorens, P. García, L. M. Fernández, F. Jurado, Improving
- voltage harmonic compensation of a single phase inverted-based PEM fuel cell for stand-alone applications, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 39, No. 9, pp. 4483-4492, 2014.
- [26] H. Sun, C. Xie, H. Chen, S. Almheiri, A numerical study on the effects of temperature and mass transfer in high temperature PEM fuel cells with ab-PBI membrane, Applied Energy, Vol. 160, pp. 937-944, 2015.
- [27] B. Najafi, A. H. Mamaghani, A. Baricci, F. Rinaldi, A. Casalegno, Mathematical modelling and parametric study on a 30 kW el high

را نتیجه میدهد.

7- فهرست علايم ضريب يخش (m²/s) D ثابت فارادی (C/mol) F غلظت هيدروژن (kmol/ m³) $[H_2]$ چگالی تبادل جریان (A/m²) i ضریب هدایت گرمایی (W/m.K) Ñ نفوذپذیری (m²) Κ دبی جرمی (kg/sec) mضريب كشش الكترو- اسمزى (mol/ m².s) n غلظت اكسيژن (kmol/ m³) $[0_2]$ فشار (kg/m.s²) P جريان الكتريكى حجمى(A/m³) R نسبت استوكيومترى S زمان (s) t دما (K) Т

> بردار سرعت (m/s) \overline{V}

کسر جرمی علايم يوناني

Χ

| α | ضريب انتقال بار |
|----------------|----------------------------|
| γ | ضريب غلظت |
| ε | تخلخل |
| μ | لزجت دینامیکی (kg/m.s) |
| ζ | سطح مخصوص كاتاليزور (1/m) |
| ρ | چگالی (kg/m ³) |
| σ | هدایت (l/(ohm.m) |
| Ø | پتانسیل (V) |
| η | اضافه پتانسیل سطحی(V) |
| زيرنويسھ | t |
| air | هوا |
| anode | آند |
| cathode | کاتد |
| d | درگ الکترو- اسمزي |
| D | ترم مرجع معادله مومنتوم |
| fuel | سوخت |
| H ₂ | ھيدروژن |
| k | ترم مرجع معادله بقاي گونه |
| Т | ترم مرجع معادله انرژي |
| arphi | متغير |
| k | جزء گازی |
| m | فاز يونى |
| s | فاز جامد |
| ref | ه خې |
| | <i>C F</i> |

8- مراجع

A. Kumar, R. G. Reddy, Effect of channel dimensions and shape in the flowfield distributor on the performance of polymer electrolyte membrane fuel cells, Journal of Power Sources, Vol. 113, No. 1, pp. 11-18, 2003..

DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.12.31.3

International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, No. 11, pp. 6795-6808, 2011.

- [30] N. Lapeña-Rey, J. A. Blanco, E. Ferreyra, J. L. Lemus, S. Pereira, E. Serrot, A fuel cell powered unmanned aerial vehicle for low altitude surveillance missions, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, No. 10, pp. 6926–6940, 2017.
- [31] E. C. M. Sanga, A. S. Mujumdar, G. S. V Raghavan, Simulation of convection-microwave drying for a shrinking material, *Chemical Engineering* and Processing. Process Intensification., Vol. 41, No. 6, pp. 487–499, 2002.

temperature PEM fuel cell based residential micro cogeneration plant, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 40, No. 3, pp. 1569–1583, 2015.

- [28] S. Shimpalee, S. Greenway, J. W. Van Zee, The impact of channel path length on PEMFC flow-field design, *Journal of Power Sources*, Vol. 160, No. 1, pp. 398–406, 2006.
 [29] A. P. Manso, F. F. Marzo, M. G. Mujika, J. Barranco, A. Lorenzo, Numerical
- [29] A. P. Manso, F. F. Marzo, M. G. Mujika, J. Barranco, A. Lorenzo, Numerical analysis of the influence of the channel cross-section aspect ratio on the performance of a PEM fuel cell with serpentine flow field design,