بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

دانشگاه صنعتی ارومیه

دانشکده مکانیک

گروه مکانیک

عنوان:

شبیه سازی سه بعدی پیل سوختی غشاء پلیمری (تبادل پروتونی)و بررسی تاثیر شرایط هندسی و محیطی بر عملکرد و تغییر میزان گونه ها در پیل سوختی

پژوهشگر:

رضا میرزائی

استاد راهنما:

دکتر ایرج میرزایی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

شهریور 1391

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه صنعتی ارومیه است.

چکیده

در این پایان نامه، پیل سوختی غشاء پلیمری (تبادل یونی) با کانال های گازی که سطح مقطع آنها مربعی است به عنوان مدل پایه انتخاب شده و بصورت عددی (سه بعدی) مدل سازی شده است.این شبیه سازی که بصورت غیر همدما می باشد با داده های آزمایشگاهی معتبر موجود اعتباردهی شده است. شرایط عملکرد پیل کاملا" پایدار و به دلیل پایین بودن گرادیان سرعت (و به تبع آن کم بودن عدد رینولدز) رژیم جریان آرام می باشد.تمامی واکنش دهنده ها و محصولات بصورت گاز ایده آل فرض شده اند. در تحقیق حاضر،به بررسی پارامتر های حاکم بر پیل سوختی پرداخته شده و تاثیر هر یک از پارامترها از قبیلِ تغییر ولتاژ کارکرد بررسی شده است.نتایج عددی نشان می دهند که با افزایش ولتاژ شدت واکنش به تدریج کاهش یافته و بیشینه دمای پیل کمتر می شود. در ولتاژهای بالا دمای پیل نسبتا" بالاست اما در انتهای پیل در این ولتاژها دما افت شدیدتری را از خود نشان می دهند.

در بخشی دیگر، به بررسی تاثیر دمای کارکرد و ضریب تخلخلِ غشاء بر عملکرد پیل و همچنین تمرکز گونه ها پرداخته شده است. اگر گازهای ورودی کاملا" مرطوب باشند،با افزایش دمای کارکرد عملکرد پیل سوختی افزایش می یابد.اگر رطوبت گازها کمتر از میزان لازم باشد،خشک شدن غشاء باعث کاهش قابلیت هدایت پروتونی غشاء می شود و در نتیجه عملکرد پیل کاهش می یابد.در مدل مورد مطالعه شاهد آن هستیم که افزایش ضریب تخلخل غشاء باعث کاهش کارایی پیل سوختی می شود. افزایش ضریب تخلخل غشاء منجر به افزایش دسترسی به اکسیژن در لایه کاتالیست میشود، ولی با این وجود افزایش ضریب تخلخل غشاء تاثیر معکوس بر روی رسانش الکترونها دارد و باعث افزایش مقاومت تماسی می شود. در هر صورت، تاثیر منفی افزایش ضریب تخلخل غشاء تاثیرگذارتر بوده و باعث کاهش عملکرد پیل سوختی می شود.

تغییرات هندسی در ساختمان پیل سوختی از جمله موارد مهم تاثیر گذار بر عملکرد پیل است. ابتدا تاثیر هندسه ذوزنقه در کانال گاز بر عملکرد پیل بررسی شده است. برای بررسی تاثیر هندسه ذوزنقه میزان ولتاژ خروجی برای جریان ثابت $2.295A.cm^{-2}$ مقایسه شده است. همانطورکه مشاهده می شود در یک جریان ثابت ولتاژ خروجی در حالت پایه بطور قابل ملاحظه ای بیشتر از حالت ذوزنقه می باشد. مشاهده می شود که با تغییر هندسه کانال عملکرد پیل کاهش می یابد.در ضمن تاثیر افزایش اندازه عرض کانال بر عملکرد پیل مطالعه شده است. مشاهده می شود که با افزایش عرض کانالها بدلیل افزایش افت اهمی عملکرد پیل کاهش می یابد. درنهایت کانالهای گاز از حالت مربعی مستقیم به مربعی شیبدار تغییر داده شده است. نتایج نشان دادند که بدلیل افزایش سرعت جریان و درنتیجه افزایش نفوذ گونه ها و همچنین افزایش رسانش پروتونی عملکرد پیل نسبت به مدل اصلی بهبود پیدا می کند.

کلمات کلیدی:دینامیک سیالات محاسباتی،پیل سوختی پلیمری،تخلخل لایه نفوذ گاز،انتقال جرم و حرارت، افتها، هندسه کانال

تقدیم به :

قطب عالم امکان **حضرت حجه ابن الحسن العسکری** روحی و ارواحنا فداه

و همه شهدای انقلاب اسلامی و جنگ تحمیلی

تقدیم به **پدر بزرگوارم** که با غیرت خود الفبای زندگی را به من آموخت

تقدیم به **مادر فداکارم** که از اول آفرینش، هیچ واژه ای نتوانسته مهر او را معنی کند

آنانکه بی صدا شکستند

تا طلوع سپیده را نظاره گر باشند

تقدیم **به خواهرم:**

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است

تقدیر و تشکر:

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

پروردگارا:

نه میتوانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دستهای پینه بسته شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم . پس توفیقم ده که هر لحظه شکر گزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

نمی توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استادان خویش آشکار نمایم، که هر چه گویم و سرایم ، کم گفته ام.

این پایان نامه را با احترام فراوان تقدیم به استاد راهنمای عزیز وگرانقدرم جناب آقای **دکتر ایرج میرزایی** می نمایم. در طی این مدت هم از لحاظ علمی و هم از لحاظ اخلاقی مطالب ارزشمندی را از این بزرگوار آموختم.

از داوران محترم که قبول زحمت نمودند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از زحمتهای دوستان عزیزم جناب آقای **سجاداله رضازاده** و **نیما احمدی** تشکر و قدردانی می نمایم.

رضا میرزائی

شهریور 91

دانشگاه صنعتی ارومیه
دانشکده مکانیک
گروه مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

شبیه سازی سه بعدی پیل سوختی غشاء پلیمری (تبادل پروتونی)و بررسی تاثیر شرایط هندسی و محیطی بر عملکرد و تغییر میزان گونه ها در پیل سوختی

پژوهشگر:
رضا میرزائی

در تاریخ 25 / 6/ 1391 توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ....19.. و درجه ....عالی.... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضا
1ـ استاد راهنمای اول	دکتر ایرج میرزایی	استاد	
2ـ استاد داور خارجی	دکتر نادر پور محمود	دانشیار	
3ـ استاد داور داخلی	دکتر باقر زاده	استادیار	
4– نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد صادقی آزاد	استادیار	

فهرست مطالب

مقدمه 1

فصل اول: انرژی های نو و تجدید پذیر

1-1 انرژی 3
1-1-1 انرژی زیست توده 6
1-1-2 انرژی هیدروژنی منبع انرژی آینده 6
1-1-2-1 نیروی محرک اصلی عصر هیدروژن 7
1-2 معرفی هیدروژن 9
1-2-1 مزایای استفاده از هیدروژن 9
1-3 روشهای تولید هیدروژن 10
1-4 روشهای مختلف ذخیره هیدروژن 11
1-5 شناخت کلی پیل سوختی 12
1-5-1 انواع پیل سوختی 14
1-5-2 پیل سوختی پلیمری 15
1-6 تاریخچه ی پیل سوختی 15
1-7 سینتیک واکنش ها در الکترود 16
1-8 عملکرد آرمانی 19
1-9 عملکرد واقعی پیل سوختی 20
1-10 قطبش فعال سازی 21
1-11 قطبش اهمی 21
1-12 قطبش غلطتی 21

فصل دوم: اجزا و شرایط عملکرد پیل سوختی پلیمری

2-1 الکترودها 23
2-2 الکترولیت یا غشاء پیل سوختی 23
2-3 مجموعه ی غشاء-الکترود 25
2-4 روش ساخت مجموعه غشاء الکترود 26

2-5 لایه های نفوذ گاز 27
2-6 مسیر جریان گاز در صفحات دو قطبی یا در صفحات انتهایی/گیرنده های جریان 29
2-6-1 صفحات دوقطبی 30
2-7 مزایا و معایب انواع پیل سوختی 31
2-7-1 مزایا و معایب پیل سوختی قلیایی 31
2-7-2 مزایا و معایب پیل سوختی اسید فسفریک 31
2-7-3 مزایا و معایب پیل سوختی کربنات مذاب 32
2-7-4 مزایا و معایب پیل سوختی اکسید جامد 32
2-7-5 مزایا و معایب پیل سوختی پلیمری 33
2-7-6 مزایا و معایب پیل سوختی متانولی 34
2-8 سیستم مدیریت حرارت 34
2-9 پیل سوختی غشاء پلیمری 36
2-10 مدیریت آب و سیستم مرطوب کننده 37
2-10-1 جریان هوا و تبخیر آب 38
2-10-2 پیل سوختی پلیمری بدون رطوبت زنی خارجی 41
2-10-3 رطوبت زنی خارجی 42
2-11 شرایط عملکرد پیل سوختی غشاء پلیمری 43

فصل سوم: مروری بر کارهای انجام شده

3-1 گروه بندی انواع مختلف مدلهای پیل سوختی 45
3-1-1 مدلهای تحلیلی 45
3-1-2 مدلهای نیمه تجربی 45
3-1-3 مدلهای تئوری 46
3-1-3-1 مدلهای تک ناحیه ای 47
3-1-3-2 مدلهای چند ناحیه ای 47
3-2 ملاحظات مدلسازی 48
3-2-1 مدلهای پارامتریک 48
3-2-2 اثرات انتقال جرم 48

3-3 مدیریت حرارتی 50
3-4 مدیریت آب 50

فصل چهارم: ساختار پیل سوختی غشاء یونی

4-1 لایه غشاء 52
4-1-1 جذب آب توسط غشاء 52
4-1-2 قابلیت های پروتونی غشاء 55
4-1-3 انتقال آب 55
4-2 خواص لایه کاتالیست 56
4-2-1 پدیده های لایه کاتالیست 58
4-3 خواص لایه نفوذ گاز یا الکترود 59

فصل پنجم: معادلات حاکم بر مدلسازی پیل سوختی

5-1معادلات حاکم بر غشاء 60
5-2 معادلات حاکم بر لایه کاتالیست 63
5-2-1 کاتالیست آند 63
5-2-2 کاتالیست کاتد 65
5-3 معادلات حاکم بر لایه نفوذ گاز 66
5-4 معادلات حاکم بر کانال تغذیه 67
5-5 معادلات حاکم بر صفحات دو قطبی 67

فصل ششم: نتایج مدلسازی

6- 1 مشخصات هندسی و پارامترهای حاکم بر مونوسل 69
6- 1-1 اجزاء مدل 69
6- 1-2 فرضیات مدل 72
6- 2 نتایج مدل سازی سه بعدی حالت پایه 73

6-2-1 تاثیرات تغییر ولتاژ کارکرد پیل بر عملکرد آن 74
6-2-1-1 تاثیرات تغییر ولتاژ کارکرد پیل بر تمرکز گونه ها 74
6-2-1-2 تاثیرات تغییر ولتاژ کارکرد پیل بر خاصیت پیل 80
6-2-1-3 تاثیرات ولتاژ کارکرد پیل بر توزیع دما در سراسر پیل 83
6-3 تاثیر ضریب تخلخل غشاء 86
6-4 تاثیر دمای کارکرد بر عملکرد پیل سوختی 88

فصل هفتم: تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد پیل سوختی پلیمری

7-1 تاثیر هندسه های مختلف کانال گازها بر عملکرد پیل 96
7-1-1 تاثیر هندسه کانال بر تراکم جریان و پارامترهای کارکرد 97
7-1-2 افت اهمی 99
7-1-3 پتانسیل اضافی کاتد 106
7-2 بررسی تاثیر شیب دار کردن کانال بر روی کارایی 109
7-2-1 تاثیر شیب دار کردن کانال بر روی توزیع دما و اکسیژن 109
7-2-2 مدیریت آب 116

فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

8-1 نتیجه گیری 124
8-2 پیشنهادات 124

فهرست اشکال

فصل اول

شکل 1- 1:الگوی فرآیند تبدیل انرژی 3

شکل 1-2:نمای کلی پیل سوختی به همراه گازهای واکنش دهنده و آب تولید شده و مسیر حرکت یونها 12

شکل 1- 3: نمای الگووار پیل سوختی پلیمری 16

شکل 1- 4:نمودار پلاریزیشن افتها در پیل سوختی پلیمری 22

فصل دوم

شکل 2- 1 :ساختار ساده شده و ایده آل الکترود پیل سوختی پلیمری 27

شکل 2- 2 :شمای مجموعه غشاء-الکترودبه همراه لایه های نفوذ گاز 28

شکل 2- 3 :نمونه هایی از مسیر جریان در صفحات دوقطبی 29

شکل 2- 4 :نمای الگووار انتقال حرارت با آب 36

شکل 2- 5 :مسیر حرکت آب در قسمت های مختلف پیل سوختی غشاء پلیمری 39

شکل 2- 6 :جهت مخالف جریان ها برای توزیع مناسب رطوبت در پیل سوختی پلیمری 42

شکل 2- 7 :استفاده از غشاء جهت عملیات رطوبت زنی در پیل سوختی 43

فصل چهارم

شکل 4- 1 :شاخه پلیمری Perfluoroulfonate 52

شکل 4- 2 :محتویات آب غشاء اندازه گرفته برای نفیون117 در دمای 30^0C 53

شکل 4- 3 : نمایش گرافیکی سطحی که در آن واکنش رخ می دهد. 57

شکل 4- 4 : سختار PREE 59

فصل پنجم

شکل 5-1 :شماتیک قسمت کاتد 63

فصل ششم

6- 1شماتیکی از پیل سوختی 70
6- 2 مسیر حرکت گاز در پیل سوختی 70
6- 3 شکل مش بندی مدل پایه 71
6- 4 منحنی پلاریزیشن و تراکم توان پیل سوختی برای مدل پایه 74
6- 5 کسر مولی اکسیژن در ورودی پیل برای دو ولتاژ مختلف کارکرد 0.7 و0.6 ولت 75
6- 6 کسر مولی اکسیژن در خروجی پیل برای دو ولتاژ مختلف کارکرد 0.7 و0.6 ولت 75
6- 7 نمودار کاهش میزان اکسیژن در طول پیل در ولتاژهای کارکرد مختلف 76
6- 8 کانتور مربوط به کسر مولی اکسیژن در دو ولتاژ(الف) 0.6 ولت (ب) 0.7 ولت در طول لایه کاتالیستی کاتد 77
6- 9 کانتور مربوط به کسر مولی بخار آب در دو ولتاژ(الف) 0.6 ولت (ب) 0.7 ولت در طول لایه کاتالیستی آند 78
6- 10 کانتور مربوط به کسر مولی بخار آب در دو ولتاژ(الف) 0.6 ولت (ب) 0.7 ولت در طول لایه کاتالیستی کاتد 79
6- 11 تغییرات کسر جرمی آب در طول پیل در جهت جریان برای ولتاژهای گوناگون 79
6- 12 کانتور مربوط به اکتیوایی آب در پیل برای ولتاژ 0.6 ولت در مابین لایه کاتالیستی کاتد و غشاء 80
6- 13 کانتور مربوط به اکتیوایی آب در پیل برای ولتاژ 0.7 ولت در مابین لایه کاتالیستی کاتد و غشاء 81
6- 14 نمودار مقایسه هدایت پروتونی برای دو ولتاژ مختلف کارکرد 0.7 و0.6 ولت در الکترود آند و در ورودی پیل 81
6- 15 نمودار مقایسه هدایت پروتونی برای دو ولتاژ مختلف کارکرد 0.7 و0.6 ولت در الکترود آند و در خروجی پیل 82
6- 16 نمودار مقایسه هدایت پروتونی در ورودی پیل برای دو ولتاژ مختلف کارکرد 0.7 و0.6 ولت در الکترود کاتد 82
6- 17 نمودار مقایسه هدایت پروتونی در خروجی پیل برای دو ولتاژ مختلف کارکرد 0.7 و0.6 ولت در الکترود کاتد 83
6- 18 مقایسه توزیع دما در طول پیل در جهت جریان در ولتاژهای مختلف(مابین الکترود کاتد و غشاء) 84

6- 19 توزیع دما در ولتاژ 0.4 ولت در پیل 85
6- 20 توزیع دما در ولتاژ 0.6 ولت در پیل 85
6- 21 توزیع دما در ولتاژ 0.8 ولت در پیل 86
6- 22 چگالی جریان بدست آمده برای مدلهای مختلف در ولتاژ ثابت0.6 V 87
6- 23 نمودار توزیع مولی اکسیژن در لایه میانی غشاء و کاتالیست در ورودی (a) و در خروجی (b) 88
6- 24 منحنی پلاریزیشن و تراکم توان پیل سوختی برای دمای عملکرد مختلف 89
6- 25 توزیع دما بر روی خط قرمز نشان داده شده است. 89
6- 26 توزیع دما در راستای عرض کانال$T=80^oC$ (a) $T=70^oC$(b) $T=90^oC$ (c) 90
6- 27 کانتور توزیع کسر مولی اکسیژن در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد (الف) $T=80^oC$(ب)$T=70^oC$(پ)$T=90^oC$ 91
6-28 نمودار مقایسه ای کسر مولی اکسیژن در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد در ورودی (a) و در خروجی (b) 91
6-29 کانتور توزیع کسر مولی آب در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد (الف)$T=80^oC$ (ب)$T=70^oC$ (پ)$T=90^oC$ 93
6-30 نمودار مقایسه ای کسر مولی آب در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد در ورودی (a) و در خروجی (b) 93
6-31 کانتور سه بعدی توزیع دما (الف)$T=80^oC$ (ب)$T=70^oC$(پ)$T=90^oC$ 95
6-32 نمودار مقایسه ای دما در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد در ورودی (a) و در خروجی (b) 95

فصل هفتم

7- 1 شماتیک هندسه های مختلف 96
7- 2 نمودار ولتاژ خروجی برای هندسه های مختلف در جریان ثابت $2.295A.cm^{-2}$ 97
7- 3 افتهای ولتاژ در (a)ورودی (b) خروجی پیل سوختی 98
7- 4 افت اهمی در لایه میانی غشاء و کاتالیست در ورودی(a) و در خروجی (b) 99
7- 5 نمودار رسانش پروتونی در لایه میانی غشاء و کاتالیست در ورودی (a) و در خروجی (b) 100
7- 6 میزان اکتیوایی آب در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد (الف)case1 (ب)case2 101

(پ)case3 (ت)case4
7- 7 میزان اکتیوایی آب برای هندسه های مختلف در مقطع عرضی پیل در (a) ورودی و (b)خروجی پیل 102
7- 8 کانتورهای سه بعدی دما (الف)case1(ب)case2(پ)case3(ت)case4 104
7- 9 نمودار مقایسه ای دما در لایه میانی غشاء و کاتالیست در ورودی (a) و در خروجی (b) 105
7- 10 نمودار پتانسیل اضافی کاتد(cop) در لایه میانی غشاء و کاتالیست در ورودی (a) و در خروجی (b) 107
7- 11 نمودار توزیع مولی اکسیژن در لایه میانی غشاء و کاتالیست در ورودی (a) و در خروجی (b) 108
7- 12 شماتیک (الف)case1 مدل اصلی(ب)case2(پ)case3 109
7- 13 نمودار کسر مولی اکسیژن در مرکز لایه نفوذ گاز در سمت کاتد در ورودی (a) و در خروجی (b) 110
7- 14 کانتور توزیع کسر مولی اکسیژن در لایه میانی غشاء و کاتالیست کاتد در ولتاژ0.6 (الف)case1 (ب)case2(پ)case3 111
7- 15 کانتور سه بعدی توزیع کسر مولی اکسیژن در ولتاژ0.6 (الف)case1 (ب)case2 (پ)case3 112
7- 16 کانتورهای دما برای ولتاژ0.4 (الف)case1 (ب)case2(پ)case3 114
7- 17 کانتورهای دما برای ولتاژ0.6 (الف)case1 (ب)case2(پ)case3 116
7- 18 کانتور توزیع بخار آب در ولتاژ 0.6 (الف)case1 (ب)case2(پ)case3 118
7- 19 نمودار ستونی ولتاژ تراکم جریان 119
7- 20 کانتور توزیع پتانسیل اضافی در لایه میانی کاتالیست و غشاء در سمت کاتد در ولتاژ 0.6 (الف)case1 (ب)case2(پ)case3 120
7- 21 کانتور توزیع رسانش پروتونی در لایه میانی کاتالیست و غشاء در سمت کاتد در ولتاژ 0.6 (الف)case1 (ب)case2(پ)case3 121
7- 22 سرعت جریان در مرکز کانال در سمت کاتد 122
7- 23 بهینه توان بهمراه بازده و گرادیان دمای مرتبط. 1-مدل اصلی 2- کانال ذوزنقه ای 3- عرض کانال 1.4 میلیمتر 4- عرض کانال 1.2میلیمتر 5- دمای کارکرد 70°C ،6- دمای کارکرد 90°C، 7- θ= 0.75° ،8- φ= 0.75° 123

فهرست جداول

فصل اول

جدول 1-1 :مقایسه هیدروژن مایع با سوخت های متعارف 8
جدول 1-2 :واکنش های الکترو شیمیایی پیل های سوختی 20

فصل دوم

جدول 2-1 :مزایا و معایب سیستم خنک کننده با مایع دی الکتریک 36

فصل چهارم

جدول 4-1 :مساحت موثر کاتالیست برای درصدهای مختلف پلاتین به کربن (Pt/C) 58

فصل پنجم

جدول 5-1 :معادلات حاکم بر لایه کاتالیست آند 64
جدول 5-2 : معادلات حاکم بر لایه کاتالیست کاتد 65
جدول 5-3 : معادلات حاکم بر لایه نفوذ گاز 66
جدول 5-4 : معادلات حاکم بر کانال تغذیه 67
جدول 5-5 :معادلات حاکم بر صفحات دو قطبی 67

فصل ششم

جدول 6-1 مشخصات هندسی پیل سوختی[65و69] $I_{ref}=14000 A/m^2$ 72

فصل هفتم

7- 1 مشخصات هندسی 97

فهرست علائم

حروف انگلیسی

ضریب فعالیت آب (بدون بعد)	a
ضریب دوگ الکترواسمتیک	n
غلظت گونه ($Kmol/m^3$)	C
ضریب پخش	D
پتانسیل تعادلی(Volt)	E
ثابت فارادی(96487 C/mol)	F
آنتالپی	h
جریان الکتریکی(A)	i
شار مولی ذرات واکنش دهنده	J
چگالی جریان الکتریکی(A/m^2)	j
ضریب نفوذ پذیری هیدرولیکی (m^2)	k
ضریب هدایت حرارتی	K
جرم مولکولی ذرات واکنش دهنده	M
فشار (Pa)	P
جریان الکتریکی حجمی	R
ثابت جهانی گاز	R
ترم چشمه	S
دما (K)	T
سرعت مخلوط گازها	v
کسر جرمی گازهای واکنش دهنده (بدون بعد)	w
کسر مولی (بدون بعد)	X
غلظت محلی ذرات	[ ]

حروف یونانی

ثابت انتقال (بدون بعد)	α
ضریب وابستگی غلظت (بدون بعد)	γ

ضریب تخلخل (بدون بعد)	ε
فوق پتانسیل (Volt)	η
میزان آب در غشا	λ
ضریب ویسکوزیته دینامیک	μ
چگالی مخلوط گازها (Kg/m^3)	ρ
ضریب هدایت الکتریکی (1/ohm-m)	σ
پتانسیل الکتریکی (Volt)	φ

سرنویس ها

مرجع	ref
استاندارد	0

زیر نویس ها

آند	an
کاتد	cat
هیدروژن	H_2
آب	H_2o
اکسیژن	O_2
نقطه اشباع	sat
غشا	m

مقدمه

نیاز گسترده انسان به منابع انرژی همواره از مسائل اساسی در زندگی بشر بوده و تلاش برای دستیابی به یک منبع تمام نشدنی انرژی از آرزوهای دیرینه انسان محسوب می شود.انسان همواره در تصورات خود نیروی تمام نشدنی را جستجو می کرد که در هر زمان و مکان در دسترس او باشد.

با پیشرفت تمدن بشری، گیاهان به ویژه درختان(چوب) و پس ازآن زغال سنگ، نفت و گاز وارد بازار انرژی شد، اما به دلایلی چون: نیاز روز افزون به انرژی، محدودیت منابع فسیلی و آلودگی های زیست محیطی ناشی از سوزاندن و متصاعد شدن گازهای سمی حاصل ازآن(که موجب مشکلات تنفسی، افزایش دمای هوا و تغییرات گسترده آب و هوایی می گردد) صاحب نظران و کارشناسان بر آن شدند که با استفاده از انرژی های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، هیدروژنی و... به جای انرژی های محدود فسیلی،از خطرات و چالش های ایجاد شده ممانعت کنند. این امر سبب شده است که کشورهای توسعه یافته با جدیت هرچه تمام تر استفاده از سایر انرژی های موجود در طبیعت، به خصوص انرژی های تجدید شونده را مورد توجه قرار دهند.