

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# طول عمر و اطمینان پذیری پیل سوختی

## اکسید جامد

چالش‌های بحرانی در پیل‌های سوختی

ویرایش شده توسط

نایجل برندون، انریکه روئیز-ترخو و پائول بولدترین

امپریال کالج لندن، انگلستان

مترجمان

خالد آذری - شهریار بزرگمهری - مرتضی ترابی

حمید عبدلی - محمد گل محمد - حامد محبی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۱

TK ۲۹۳۳

طول عمر و اطمینان‌پذیری پیل سوختی اکسید جامد: چالش‌های بحرانی پیل‌های سوختی / [ویراستاران نایجل پی. براندن، انریکه روئیث- ترخو، پل بالدردین]؛ مترجمان خالد آذری ... [و دیگران]. ویراستار ادبی: نازنین محمدی‌نام. تهران: پژوهشگاه نیرو، انتشارات، ۱۴۰۱.

۳۳۹ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (رنگی)

ISBN: ۹۷۸-۶۲۲-۵۶۷۳-۰۳-۸ ؛ ریال ۱،۵۰۰،۰۰۰

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیپا

عنوان اصلی Solid oxide fuel cell lifetime and reliability : critical challenges in fuel cells, 2017

مترجمان خالد آذری، شهریار بزرگمهری، مرتضی ترابی، حمید عبدلی، محمد گل محمد، حامد محبی.

واژه‌نامه

کتابنامه

عنوان دیگر: چالش‌های بحرانی در پیل‌های سوختی.

الف. براندن، نایجل پی.، ویراستار ب. Brandon, Nigel P. ج. روئیث-ترخو، انریکه، ویراستار د. Ruiz-  
Trejo, Enrique ه. بالدردین، پل، ویراستار و. Boldrin, Paul ز. آذری، خالد، ۱۳۶۵-، مترجم

۱. پیل‌های سوختی اکسید جامد. ۲. Solid oxide fuel cells

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۲۴۲۹

شماره کتابشناسی ملی: ۸۹۳۱۶۹۱



انتشارات پژوهشگاه نیرو

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

ویراستاران علمی: دکتر حمید عبدلی (عضو هیأت علمی پژوهشگاه نیرو)،  
دکتر خالد آذری (عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرمانشاه)  
طراحی جلد و بازطراحی شکلها: دکتر حامد محبی (پژوهشگاه نیرو)

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: [www.nri.ac.ir](http://www.nri.ac.ir)

پست الکترونیک انتشارات: [publications@nri.ac.ir](mailto:publications@nri.ac.ir)

## فهرست مطالب

مقدمه مترجمین..... ۱۱

فصل اول: مقدمه‌ای بر مواد، فناوری و کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد

مقدمه ..... ۱۴

تاریخچه‌ای مختصر از پیل‌های سوختی اکسید جامد..... ۱۴

اصول پیل سوختی اکسید جامد..... ۱۷

طراحی پیل سوختی اکسید جامد..... ۱۹

مواد و دمای عملکردی پیل سوختی اکسید جامد..... ۲۲

پیل‌های سوختی اکسید جامد تجاری شده - وضعیت کنونی فناوری..... ۲۹

مقدمه‌ای بر افت عملکرد تدریجی..... ۳۰

نتیجه‌گیری..... ۳۵

منابع..... ۳۵

فصل دوم: الکترولیت‌های پیل سوختی اکسید جامد - فاکتورهای مؤثر بر طول عمر

مقدمه ..... ۴۰

پایداری ساختاری الکترولیت‌ها..... ۴۰

|         |                           |
|---------|---------------------------|
| ۴۲..... | برهم‌کنش‌های شیمیایی..... |
| ۴۷..... | افت عملکرد مکانیکی.....   |
| ۶۰..... | نتیجه‌گیری.....           |
| ۶۱..... | منابع.....                |

فصل سوم: اثر سوخت‌ها بر طول عمر آند پیل سوختی اکسید جامد: ارتباط بین ترکیب سوخت، ناخالصی‌های سوخت، طول عمر و اطمینان‌پذیری

|         |  |
|---------|--|
| ۶۴..... | مقدمه.....                                   |
| ۶۶..... | مشخصه‌های تولید توان برای انواع سوخت‌ها..... |
| ۶۹..... | ناخالصی‌های سوخت.....                        |
| ۷۳..... | طول عمر آند.....                             |
| ۷۷..... | اطمینان‌پذیری.....                           |
| ۸۱..... | چشم‌انداز.....                               |
| ۸۱..... | منابع.....                                   |

فصل چهارم: تأثیر چرخه ردوکس بر عمر پیل سوختی اکسید جامد

|          |  |
|----------|--|
| ۸۶.....  | مقدمه.....   |
| ۸۹.....  | ساخت و ریزساختار پیل‌های سوختی اکسید جامد پایه آندی.....   |
| ۹۱.....  | سیستیک چرخه ردوکس.....                                     |
| ۹۴.....  | ملاحظات مکانیکی.....                                       |
| ۱۰۰..... | تغییرات ریزساختاری.....                                    |
| ۱۱۷..... | راه‌حل‌هایی برای افت تدریجی عملکرد ناشی از چرخه ردوکس..... |
| ۱۲۲..... | نتیجه‌گیری.....  |
| ۱۲۳..... | منابع.....   |

فصل پنجم: تخریب تدریجی ریزساختار: مکانیسم‌ها، تبیین فرایند، مدل‌سازی و طراحی  
استراتژی‌ها برای افزایش دوام الکترودهای پیل سوختی اکسید جامد

|   |     |
|---|-----|
| مقدمه .....   | ۱۲۸ |
| مکانیسم‌های تخریب تدریجی ریزساختار.....   | ۱۲۹ |
| امپدانس برای شناسایی تغییرات در ریزساختار.....                                  | ۱۳۱ |
| اندازه‌گیری تخریب تدریجی با استفاده از تصویربرداری از الکترودها و کمی کردن آنها |     |
| .....   | ۱۳۴ |
| مدل‌سازی تخریب تدریجی ریزساختار.....  | ۱۴۵ |
| استراتژی‌های طراحی ریزساختار.....   | ۱۴۸ |
| نتیجه‌گیری .....  | ۱۴۹ |
| منابع .....   | ۱۵۰ |

فصل ششم: مروری بر افت عملکرد تدریجی کاتد ناشی از آلودگی جریان هوا

|  |     |
|--|-----|
| مقدمه .....  | ۱۵۶ |
| افت تدریجی عملکرد در سیستم‌های پیل سوختی اکسید جامد .....                  | ۱۵۸ |
| مواد کاتد.....   | ۱۶۰ |
| افت تدریجی عملکرد کاتد در بلندمدت.....                                     | ۱۶۳ |
| آلودگی در جریان هوا (ناخالصی‌های درونی).....                               | ۱۶۵ |
| تبخیر ناخالصی‌های حاوی کروم تحت شرایط سیستم‌های پیل سوختی اکسید جامد ..... | ۱۶۹ |
| روش‌های کاهش افت تدریجی عملکرد کاتد ناشی از حضور کروم.....                 | ۱۷۲ |
| نتیجه‌گیری و چشم‌انداز.....  | ۱۷۵ |
| منابع .....  | ۱۷۶ |

## فصل هفتم: طول عمر اتصال‌دهنده‌های پیل سوختی اکسید جامد

|                      |     |
|----------------------|-----|
| مقدمه                | ۱۸۴ |
| اتصال‌دهنده‌های فلزی | ۱۸۶ |
| نتیجه‌گیری           | ۲۰۷ |
| منابع                | ۲۱۰ |

## فصل هشتم: طول عمر و اطمینان‌پذیری رفرم‌های سوخت در پیل سوختی اکسید جامد

|  |     |
|--|-----|
| مقدمه‌ای بر فرآوری سوخت در پیل‌های سوختی اکسید جامد                    | ۲۱۶ |
| افت تدریجی عملکرد کاتالیست در رفرم                                     | ۲۲۲ |
| طراحی رفرم‌های سوخت مایع جهت افزایش اطمینان‌پذیری                      | ۲۲۸ |
| فرایندهای ثانویه در رفرم کردن برای افزایش عمر پیل‌های سوختی اکسید جامد | ۲۳۷ |
| تخمین عمر رفرم‌های سوختی   | ۲۴۳ |
| نتیجه‌گیری   | ۲۵۰ |
| منابع  | ۲۵۰ |

## فصل نهم: مروری بر عمر و قابلیت اطمینان محصولات بر پایه پیل سوختی اکسید جامد

|  |     |
|--|-----|
| مقدمه  | ۲۵۴ |
| استراتژی‌های پایداری و اطمینان‌پذیری به کارگرفته‌شده برای توسعه پیل سوختی اکسید جامد | ۲۶۲ |
| نتیجه‌گیری   | ۲۷۳ |
| منابع  | ۲۷۵ |

## فصل دهم: مواد جدید به منظور بهبود دوام و مقاومت در پیل سوختی اکسید جامد

|     |       |                                    |
|-----|-------|------------------------------------|
| ۲۸۰ | ..... | مقدمه                              |
| ۲۸۲ | ..... | الکترولیت‌های پیل سوختی اکسید جامد |
| ۲۸۷ | ..... | آنها                               |
| ۲۹۵ | ..... | کاتدها                             |
| ۳۰۲ | ..... | مواد استک                          |
| ۳۰۷ | ..... | آزمایش‌های تسریع شده               |
| ۳۰۸ | ..... | نتیجه‌گیری                         |
| ۳۱۰ | ..... | منابع                              |
| ۳۱۷ | ..... | واژه‌نامه                          |



## مقدمه مترجمین

در میان انواع مختلف پیل‌های سوختی، پیل‌های سوختی اکسید جامد به دلیل راندمان بالاتر، امکان استفاده از انواع سوخت‌های غیر هیدروژنی نظیر هیدروکربن‌ها، گاز زغال سنگ و غیره و حرارت قابل استفاده به منظور تولید همزمان برق و حرارت، بسیار مورد توجه واقع شده‌اند. علی‌رغم همه این مزایا، بازار پیل‌های سوختی اکسید جامد مطابق انتظارات و پیش‌بینی‌های انجام شده، توسعه نیافته است. بازار پیل سوختی به فناوری نیاز دارد که برای کاربر نهایی قابل پذیرش باشد. آنچه باعث می‌شود کاربر نهایی یک فناوری نوین را آسان‌تر بپذیرد هزینه، عملکرد (به‌عنوان مثال کارایی و قابلیت اطمینان) و اثرات زیست محیطی آن است. در خصوص فناوری پیل‌های سوختی اکسید جامد، برتری کارایی و اثرات زیست محیطی آن نسبت به فناوریهای رقیب (مانند موتورهای احتراق داخلی و توربین‌های گازی و غیره) اثبات شده است. لذا قابلیت اطمینان و هزینه بهره‌برداری از این فناوری‌ها، عمده چالش‌های پیش روی توسعه بازار فناوری پیل‌های سوختی اکسید جامد است. تاکنون تلاش‌های بسیاری برای کاهش هزینه پیل‌های سوختی اکسید جامد به انجام رسیده است و پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که در آینده نزدیک هزینه تولید سیستم‌های تولید توان مبتنی بر این فناوری کاهش چشمگیری پیدا کند. موضوعی که در این میان کمتر به آن پرداخته شده است اطمینان پذیری و بهبود طول عمر این فناوری است.

در میان منابع موجود کتاب "Solid Oxide Fuel Cell Lifetime and Reliability, Critical Challenges in Fuel Cells" که توسط انتشارات الزویر منتشر و هر فصل آن توسط متخصصین حوزه مربوطه نگاشته شده، به صورت جامعی به بررسی اطمینان‌پذیری و بهبود طول عمر پیل‌های سوختی اکسید جامد پرداخته است و از جنبه‌های مختلفی این موضوعات را مورد بررسی قرار داده و به فراخور راه‌حل‌های متناسب را ارائه نموده است. همین امر در کنار لزوم توجه به توسعه بازار فناوری پیل سوختی اکسید جامد در کشور، مترجمان را برآن داشت تا این کتاب را ترجمه و در دسترس علاقه‌مندان و ذینفعان این حوزه فناوری قرار دهند تا کمکی باشد بر ارتقا و توسعه فناوری پیل‌های سوختی اکسید جامد در کشور.

با توجه به جامعیت مطالب کتاب، هر فصل توسط متخصصین حوزه مربوطه ترجمه شده است اما تلاش شده است تا یکنواختی ادبیات در سرتاسر کتاب حفظ شود؛ لغات تخصصی تا جایی که درک مفهوم را با مشکل مواجه نساخته به معادل‌های فارسی برگردانده شده‌اند. در مواردی که چندین معادل فارسی برای یک واژه وجود داشته، از معادلی که میان متخصصین فراگیری بیشتری داشته استفاده شده است. مترجمان تمام تلاش خود را به کار گرفته‌اند تا نوشتاری وفادار به متن اصلی، سلیس و عاری از خطا ارائه دهند. با این حال قطعاً نظرات سازنده خوانندگان کتاب، کیفیت اثر حاضر را در چاپ‌های آتی ارتقا خواهد داد.

گروه مترجمین

بهار ۱۴۰۱