

دینامیک حرارتی میکرو پیل سوختی اکسید جامد: تلفیق اندازه‌گیری‌های تجربی و تخمین‌های مبتنی بر مدلسازی در تحلیل حرارتی چند بعدی

چکیده

برای اینکه کنترلر در پیل سوختی اکسید جامد، به‌صورت کارآمد طراحی گردد و از افت عملکرد/خرابی پیل جلوگیری شود، باید حین مراحل مختلف عملکردی آن، مانند گرم شدن، شروع، نوسانات بار و خاموشی، رفتار گذرای آن به درستی درک شده و تخمین زده شود. دشوار بودن اندازه‌گیری و بازبینی جنبه‌های حرارتی پیل سوختی اکسید جامد، موجب ضرورت ارزیابی دینامیک حرارتی پیل سوختی اکسید جامد به وسیله ابزاری هیبرید گردیده که این ابزار هر دو روش تجربی و عددی را ترکیب می‌نماید. در این پژوهش، یک ابزار اندازه‌گیری هیبرید شامل مدلی در مقیاس میکرو و نیمه دو بعدی و یک دستگاه آزمون، مورد استفاده قرار گرفت تا دینامیک حرارتی پیل سوختی اکسید جامد را بررسی نماید. به وسیله روش هیبرید آزمون-مدلسازی، اختلاف دمایی حالت پایا روی ساختار مثبت-الکترولیت-منفی^۱ و در طول جهت جریان ثبت شده است. به‌علاوه، سرعت تغییرات اختلاف دما در دو بعد تخمین زده شد که برای تخمین تنش‌های حرارتی ناپایا حیاتی است. اندازه‌گیری‌های متعددی برای ارزیابی دینامیک حرارتی پیل‌های سوختی اکسید جامد استفاده گردید. با استفاده از روش مشخصات ولتاژ عملکردی متغیر (اندازه‌گیری ولتاژ غیرتناوبی)، اثر رژیم ولتاژ عملکردی بر دینامیک حرارتی پیل سوختی بررسی گردید. نتایج نشان داد بهینه‌سازی عملکرد پیل‌های سوختی اکسید جامد، نیازمند سازگاری بین مدیریت حرارتی و استفاده از سوخت است که به دلیل اثر نمایی به‌کارگیری سوخت در اختلاف دماهای حالت پایا است. اثرات رطوبت سوخت و حجم اکسیژن جریان اکساینده نیز بر دینامیک حرارتی پیل سوختی اکسید جامد آزمایش شد. نتایج، مسیر جنبه‌های دینامیک حرارتی پیل سوختی را روشن می‌نماید که این جنبه‌ها، گشایش‌گر طراحی کنترلرهای هوشمند در آینده است.

کلیدواژه‌ها: SOFC^۲، دینامیک حرارتی، ساختار مثبت-الکترولیت-منفی.

نتیجه‌گیری

^۱Positive-electrolyte-negative

^۲Solid oxide fuel cell

برخلاف مطالعات قبلی بر روی رفتار ناپایای SOFC [1] و به خصوص بررسی‌های فرآیند تغییر حالت [2]، برای اولین بار مفهوم رژیم ولتاژ عملکردی پیشنهاد گردید و در این مقاله برای تحلیل حرارتی SOFC به کار برده شد. نشان داده شد که شناسایی/در نظر گرفتن رژیم ولتاژ به‌طور چشمگیری برای ایجاد آنالیز جزئی رفتار حرارتی SOFC بسیار سودمند است. اثر استراتژی‌های عملکردی به علاوه‌ی به کار بردن هوای غنی از اکسیژن^۱ (OEA) و تنظیم رطوبت سمت آنود، بر روی دینامیک حرارتی به‌صورت کمی ارزیابی شد. نشان داده شد هر دو متغیر عملکردی بر روی دینامیک حرارتی SOFC تأثیرگذار بوده و باید در بهینه‌سازی پروژه‌های چند متغیره و چند منظوره در نظر گرفته شود. خروجی این تحقیق برای طراحی پیل حیاتی است و در آن نه تنها راندمان بهینه حاصل می‌گردد، بلکه استراتژی کنترلی نوینی نیز محقق می‌شود.

نتایج اصلی این پژوهش عبارتند از:

- دینامیک حرارتی به‌علاوه گرادیان دمای حالت پایا، اساس برآورد سیکل‌های حرارتی در عملکرد SOFC است. از این رو، موارد مذکور باید برای ده‌ها سناریویی که نیازمند مدل‌های با دقت بالا هستند، ارزیابی شوند.
- تحلیل مبتنی بر مدلسازی نشان می‌دهد که در تغییر یکسان ولتاژ، مدیریت حرارتی SOFC در ولتاژهای عملکردی پایین‌تر چالش‌انگیز خواهد بود. برخلاف نتایج حاصل از عملکرد در ناحیه با ولتاژ بالا، عملکرد در رژیم با ولتاژ کم منجر به زمان سکون طولانی‌تر، گرادیان بالاتر دما در حالت پایا و دینامیک حرارتی بسیار شدیدتر خواهد شد.
- عملکرد SOFC در هوای غنی از اکسیژن (تا 40% اکسیژن) می‌تواند منجر به بیشتر شدن شدیدتر دما در ناحیه ناپایدار و همچنین گرادیان بیشتر دما روی الکترود مثبت-الکترولیت-الکتروود منفی^۲ (PEN) شود؛ که حدود 50% و 20% بالاتر از زمانی است که هوای معمولی به کار گرفته می‌شود که به‌ترتیب برای عملکرد در رژیم ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط است. در نتیجه، مزایای هوای غنی از اکسیژن بر راندمان SOFC و طول عمر آن می‌بایست در نواحی با ولتاژ بالا (جریان کم) پروفیل‌های ولتاژ-جریان (V-I) مورد هدف قرار گیرد.
- اثر متغیر رطوبت در بازه 10% الی 30% بر گرادیان و دینامیک حرارتی، قابل توجه نیست.

^۱Oxygen enriched air

^۲Positive electrode-electrolyte-negative electrode



مرجع پلیمر در بازار ایران

- پیوندی غیر خطی بین به‌کارگیری سوخت (U_f) و گرادیان حرارتی نشان داد که ممکن است U_f بالا به وسیله ارتقای چالش مدیریت حرارتی، اتلافات افزایش یافته ولتاژ و عدم سوخت‌رسانی کافی، به سلامت SOCF آسیب رساند.

Reference

Zoupalis K., Amiri A., Sugden K., Kendall M., Kendall K., “Micro solid oxide fuel cell thermal dynamics: Incorporation of experimental measurements and model-based estimations for a multidimensional thermal analysis”, Energy Conversion and Management 277 (2023) 116650.

DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116650

Other References

[1] Huangfu Y, Gao F, Abbas-Turki A, Bouquain D, Miraoui A. Transient dynamic and modeling parameter sensitivity analysis of 1D solid oxide fuel cell model. Energ Conver Manage 2013; 71:172–85. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.029>.

[2] Li B, Wang C, Liu M, Yan J. Numerical investigation of the transient performance of a reversible solid oxide cell during the mode switching process. Energ Conver Manage 2022; 268:116048. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116048>.

مترجم: یاسمن باغبان