POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

مروری بر مدل‌های پیل سوختی غشای تبادل پروتون دما پایین بر پایه فیزیک در مطالعات مدیریت آب و حرارت در سطح سیستم

چکیده

مدیریت آب و حرارت برای طراحی و عملکرد پیل‌های سوختی غشای تبادل پروتون دما پایین، ضروری بوده و نیازمند درکی عمیق از رفتار سیستم پیل سوختی است. برای مطالعات در سطح سیستم مدل‌های عددی سریع و ساده لازم است، اما با چالش پیچیدگی پدیده انتقال رو به رو است. مدل‌های متعددی در منابع موجود است، که سطوح متفاوتی از پیچیدگی دارند و فرضیه‌های مختلف با هدف ساده‌سازی نمایش پدیده انتقال وجود دارد. این مقاله مروری، به خلاصه سازی فرضیه‌ها و روش‌های مدل‌سازی منتخب در مدل‌های محاسباتی کم هزینه بر پایه فیزیک پیل سوختی غشای تبادل پروتون و با تمرکز بر روی جنبه‌های مرتبط با مدیریت آب و حرارت پرداخته است. همچنین روش‌های مدل‌سازی اجزای سیستم کمکی و تست‌های اعتبارسنجی را توضیح داده و راندمان محاسباتی مدل‌های مختلف را مقایسه می‌نماید. نویسندگان این مقاله گوناگونی فرضیات و روش‌های مدلسازی منتخب در منابع را نشان دادند که بازتاب دهنده آنچه میان هزینه محاسباتی، پیچیدگی مدل و دقت می‌باشد، است. آن‌ها نتیجه گرفتند که در عوض توسعه دادن مدل‌ها از پایه، تلاشی مضاعف برای اعتبارسنجی مدل‌های موجود نیاز است و شیوه اعتبارسنجی استاندارد باید توسعه یابد.

خلاصه و دورنما

در این مقاله مروری، نویسندگان تلاش نمودند روش‌های مدلسازی و فرضیه‌های معمول اتخاذ شده در مدل‌های پیل سوختی غشای تبادل پروتون بر پایه فیزیک را شناسایی نمایند که می‌تواند برای مطالعات مدیریت آب و حرارت در سطح سیستم کارآمد باشد. آن‌ها گوناگونی روش‌های منتخب در منابع را نشان دادند که درباره موارد زیر است: ولتاژ پیل و اختلاف پتانسیل، انتقال گازها، آب مایع و گرمای درون پیل، ناهمگونی فضایی در سطح پیل یا دسته[1] و دینامیک پدیده‌های گوناگون. این گوناگونی منجر به مدل‌های با زمان محاسباتی (در بازه 1x تا بیشتر از 50x سریعتر از زمان واقعی)، پیچیدگی و دقت در سطوح مختلف می‌شود. اما مقایسه مدل‌های مختلف و روش‌های مدل‌سازی به صورت هدفمند، بعنوان کاری چالش برانگیز باقی مانده است. متاسفانه، پیاده سازی عددی بیشتر مدل‌ها به صورت آزاد در دسترس نیست. علاوه بر این، تنها مدل‌های بسیار کمی به روشنی عنوان نموده‌اند

[1] Stack

که زمان محاسباتی مورد نیاز برای اجرای شبیه‌سازی با مدل‌هایشان چقدر است. از آن وخیم‌تر، هیچ اعتبار سنجی و محک استانداردی موجود نیست. از آن جایی که مطالعات در سطح سیستم نیازمند مدل‌هایی است که از نظر محاسباتی بهینه باشد و با داده‌های تجربیِ مرتبط اعتبارسنجی شده باشد، نویسندگان معتقدند که توسعه شیوه اعتبارسنجی استاندارد امری اضطراری است. در حالی که بیشتر مدل‌های موجود در این پژوهش در مورد دسته پیل سوختی است، برخی نویسندگان مقالات مدل‌هایی برای اجزای سیستم ارائه نموده‌اند، مانند کمپرسور، رطوبت زن هوا یا رادیاتور با چرخه خنک کننده. بار دیگر باید اشاره نمود که تنها در موارد بسیار اندکی این مدل‌ها اعتبار سنجی شده‌اند.

با در نظر گرفتن گوناگونی مدل‌هایی که در منابع در دسترس است، بهتر است به جای توسعه دادن مدل‌های جدید از پایه، یکی ازمدل‌های موجود را برگزید و می‌توان تغییراتی به آن افزود. این تغییرات را می‌توان با مقایسه آن‌ها با مدل اصلی اعتبار سنجی نمود. انتخاب مدل موجود به اهداف مدل‌سازی و دسترسی به داده‌ها، بستگی دارد. برای مثال، اگر قابلیت‌های تخمین و پیش‌بینی نیاز است و جزئیات اطلاعات درباره جنس پیل در دسترس است، مدل یانگ و همکاران [1] می‌تواند انتخاب گردد. اگر انتظار می‌رود انتقال آب مایع در کانال‌های گاز مهم باشد، پارامترسازی نرخ لغزش که توسط تانگ و دیگران [2] پیشنهاد گردیده، می‌تواند به آن مدل اضافه شود. اگر نواحی با جریان کم مد نظر است، دینامیک رشد اکسید پلاتین پیشنهاد شده توسط گشتاسبی و همکارانش [3] می‌تواند اضافه گردد. اگر هزینه محاسباتی مورد بحث است، مدل گونگ و دیگران [4] راهی جایگزین است. اگر درباره جنس پیل اطلاعات اندکی در دسترس است و هدف تناسب یک مدل بهینه محاسباتی برای داده‌های عملکردی است، مدل‌های شرودر و همکارانش [5] یا ریتزبرگر و همکارانش [6] شاید بهترین گزینه باشد. مدل گشتاسبی و دیگران [3] گونه نسبتا پیچیده‌ای در مورد لایه کاتالیست و تعداد بالای پارامترهای فیت شده دارد، در حالی که توجه به چنین پیچیدگی‌ای برای نشان داده شدن باقی می‌ماند. جای شناسی شبکه[1]، مدل پیشنهاد شده توسط تانگ و همکاران [2]، در نگاه اول ساده به نظر نمی‌رسد. برای بررسی حالت پایا، که در آن جزئیات داده‌های جنس پیل در دسترس است، مدل در دسترس وِتر و شوماخر [7] انتخابی سریع است. مدل شو و همکارانش [8] که از حل‌های تحلیلی انتقال آب و گاز در لایه انتشار گاز[2] یا به اختصار GDL استفاده می‌کند می‌تواند سازگاری خوبی بین حصول اثرات دینامیکی آب دو فازی و هزینه محاسباتی ایجاد نماید. هرچند، استفاده از آن نیازمند اعتبارسنجی بیشتری در شرایط کاری متفاوت است. اگر اثرات دینامیکی مهم نیستند مدل جیانگ

[1] Network topology
[2] Gas diffusion layer

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

و دیگران [9] می‌تواند استفاده شود. در نهایت هنگامی که تعداد داده‌های اندکی در دسترس است و کاربر علاقمند به مدیریت حرارتی در شرایط کاری نرمال (غشای کاملا مرطوب) است، مدل شینگ و همکاران [10] مورد توجه قرار می‌گیرد. بعنوان جمع بندی، اگر چندین مدل با سطوح زمان محاسباتی، پیچیدگی و دقت متفاوت در منابع موجود باشد، همچنان تلاش زیادی نیاز است تا به درک اثر روش‌های مدل‌سازی و فرضیه‌های مختلف برسیم؛ که فقط به وسیله اعتبارسنجی جامع مدل‌های توسعه یافته در برابر داده‌های تجربی و در مقابل هم حصول خواهد یافت. این مورد منجربه مدل‌های پیل سوختی غشای تبادل پروتون و در نتیجه مطالعات در سطح سیستم، قابل اطمینان و بهینه خواهد شد.

Reference

Nobrega P. H. A., “A review of physics-based low-temperature proton-exchange membrane fuel cell models for system-level water and thermal management studies”, Journal of Power Sources 558 (2023) 232589.

DOI: 10.1016/j.jpowsour.2022.232585

Other References

[1] Z. Yang, Q. Du, Z. Jia, C. Yang, J. Xuan, K. Jiao, A comprehensive proton exchange membrane fuel cell system model integrating various auxiliary subsystems, Appl. Energy 256 (2019) 113959, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113959

[2] T. Tang, S. Heinke, A. Thüring, W. Tegethoff, J. Kȯhler, A spatially resolved fuel cell stack model with gas–liquid slip phenomena for cold start simulations, Int. J. Hydrogen Energy 42 (22) (2017) 15328–15346, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.236.

[3] A. Goshtasbi, B.L. Pence, J. Chen, M.A. DeBolt, C. Wang, J.R. Waldecker, S. Hirano, T. Ersal, A mathematical model toward real-time monitoring of automotive PEM fuel cells, J. Electrochem. Soc. 167 (2) (2020) 024518, http://dx.doi.org/10.1149/1945-7111/ab6dd1.

[4] Z. Gong, B. Wang, K. Wu, T. Miao, K. Yang, S. Zhai, R. Ma, F. Gao, K. Jiao, A 1 + 1-D multiphase proton exchange membrane fuel cell model for Real- Time simulation, IEEE Trans. Transp. Electrification 8 (2) (2022) 2928–2944, http://dx.doi.org/10.1109/TTE.2021.3115794.

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

[5] M. Schroder, F. Becker, J. Kallo, C. Gentner, Optimal operating conditions of PEM fuel cells in commercial aircraft, Int. J. Hydrogen Energy 46 (66) (2021) 33218–33240, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.099.

[6] D. Ritzberger, J. Hoflinger, Z.P. Du, C. Hametner, S. Jakubek, Data-driven parameterization of polymer electrolyte membrane fuel cell models via simultaneous local linear structured state space identification, Int. J. Hydrogen Energy 46 (21) (2021) 11878–11893, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.037.

[7] R. Vetter, J.O. Schumacher, Free open reference implementation of a two-phase PEM fuel cell model, Comput. Phys. Comm. 234 (2019) 223–234, http://dx.doi.org/10.1016/j.cpc.2018.07.023.

[8] L. Xu, Z. Hu, C. Fang, L. Xu, J. Li, M. Ouyang, A reduced-dimension dynamic model of a proton-exchange membrane fuel cell, Int. J. Energy Res. 45 (12) (2021) 18002–18017, http://dx.doi.org/10.1002/er.6945.

[9] Y. Jiang, Z. Yang, K. Jiao, Q. Du, Sensitivity analysis of uncertain parameters based on an improved proton exchange membrane fuel cell analytical model, Energy Convers. Manage. 164 (2018) 639–654, http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.002.

[10] L. Xing, H. Chang, R. Zhu, T. Wang, Q. Zou, W. Xiang, Z. Tu, Thermal analysis and management of proton exchange membrane fuel cell stacks for automotive vehicle, Int. J. Hydrogen Energy 46 (64) (2021) 32665–32675, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.143.

مترجم: یاسمن باغبان