POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

# مواد، اجزاء، ساخت و عملکرد پیل سوختی غشای الکترولیت پلیمری انعطاف پذیر: یک مقاله مروری


## خلاصه

با توجه به تقاضای رو به گسترش دستگاه‌های الکترونیکی قابل پوشیدن، توجه به منابع انرژی قابل اعتماد و انعطاف‌پذیر، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. پیل‌های سوختی غشای الکترولیت پلیمری[1] (PEMFCs) به دلیل چگالی انرژی و پایداری بالا توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. با این حال، انعطاف‌ناپذیری، کاربرد آن‌ها را در دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر محدود می‌کند. برای سازگاری و انعطاف‌پذیری PEMFC ها، تلاش‌های قابل توجهی به ساخت اجزای مختلف انعطاف‌پذیر و تکنیک‌های پیشرفته مربوط به آن، اختصاص یافته است. بنابراین، این بررسی به پیشرفت اجزا و تکنیک‌های مربوط به PEMFC های انعطاف‌پذیر و عملکرد و دوام آن‌ها متمرکز است، موضوعی که در سایر منابع، توجه چندانی به دست نیاورده است. اجزا و تکنیک‌ها شامل غشاء، لایه کاتالیزگر انعطاف‌پذیر[2]، لایه نفوذ گاز انعطاف‌پذیر[3]، صفحات دوقطبی انعطاف‌پذیر[4]، مونتاژ تک‌سل[5] یا استک[6]، ذخیره یا عرضه سوخت و اکسیدکننده هستند. در هر بخش، مواد یا تکنیک‌هایی که معمولاً در PEMFC های معمولی استفاده می‌شوند، ابتدا به صورت خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرند، در ادامه دلایلی که چرا آیتم‌های موجود برای PEMFC های انعطاف‌پذیر قابل استفاده نیستند ارائه می‌شوند و در انتها تکنیک‌های مرتبط با ساخت اجزای انعطاف‌پذیر و سایر مسائل مرتبط با PEMFC های انعطاف‌پذیر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در گام بعدی، عملکرد و پایداری PEMFC های انعطاف‌پذیر بررسی می‌شود و توضیح داده می‌شود که بازه فعلی توان بین 100-200 میلی وات سانتی‌متر مربع و عمر مفید در حدود ده‌ها ساعت پیل‌های انعطاف‌پذیر هنوز بسیار کمتر از PEMFC های معمولی است. در نهایت، یک چشم‌انداز کوتاه در مورد چالش‌های باقی‌مانده و توسعه PEMFC های انعطاف پذیر در آینده ارائه شده است.


[1] Polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC)
[2] Flexible catalytic layer
[3] Flexible gas diffusion layer
[4] Flexible bipolar plates
[5] Single Cell
[6] Stack

## نتیجه‌گیری

در این بررسی، پیشرفت‌های اخیر مربوط به PEMFC های انعطاف‌پذیر، شامل اجزای انعطاف‌پذیر، مونتاژ تک‌پیل و استک، ذخیره‌سازی یا تامین سوخت و اکسیدکننده و همچنین عملکرد و دوام مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساخت PEMFC های انعطاف‌پذیر، مواد انعطاف‌پذیر مختلفی توسعه داده شده و برای آماده‌سازی اجزای انعطاف‌پذیر برای PEMFC های انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به جز PEM[7] های مبتنی بر الکترولیت‌های PFSA[8] یا PBI[9] که به صورت متداول مورد استفاده قرار می‌گیرند، اخیرا برخی الکترولیت‌های پلیمری یا فیلم‌های نازک سیلیکاتی توسعه داده شده‌اند که همزمان با انعطاف‌پذیری و عملکرد بسیار خوب، کاهش هزینه را هم در پی داشته‌اند. برای اطمینان از یکپارچگی CL[10] و تماس خوب با غشاء و GDL[11]، CL انعطاف‌پذیر مبتنی بر پایه‌ی CFC[۱۲] مورد مطالعه قرار گرفت که عملکرد بهتری نسبت به CL مبتنی بر ذرات Pt/C در خم شدن نشان داد. GDL های انعطاف‌پذیر عمدتاً شامل GDL های مبتنی بر CFC، GDL های مبتنی بر CFC اصلاح‌شده یا GDL های کامپوزیت مبتنی بر CNT[13] هستند. برای PEMFC انعطاف‌پذیر، صفحات دوقطبی سبک، نازک و انعطاف‌پذیر ضروری است که می‌توان آن‌ها را با استفاده از غشاء پلیمری انعطاف‌پذیر با لایه‌های کانال جریان به عنوان بستر و قرار دادن یک لایه فلزی نازک در جمع‌کننده جریان تهیه کرد.

این اجزای انعطاف‌پذیر معمولاً توسط گیره‌ها، فنر نگهدارنده یا گیره‌هایی با یا بدون چسبندگی، به هم مونتاژ می‌شوند. این مسیرهای مونتاژ، به نیروی نسبتاً کمی برای اطمینان از تماس کافی بین اجزای انعطاف‌پذیر نیاز دارند و انعطاف‌پذیری PEMFC را تضمین می‌کنند. برای دستیابی به استک PEMFC های انعطاف‌پذیر، پیل‌های منفرد منعطف متعدد معمولاً یکی‌یکی کنار هم گذاشته می‌شوند، که متفاوت از استک PEMFC معمولی است که با کنار هم قرار گرفتن لایه یه لایه‌ی تعداد زیادی از سل‌های منفرد ساخته می‌شوند.

برای توسعه PEMFC انعطاف‌پذیر، سیستم ذخیره‌ی سوخت سبک، فشرده، ایمن و حتی انعطاف‌پذیر و همچنین لوازم جانبی ساده برای تامین سوخت یا اکسیدکننده حیاتی است. بنابراین، برخی از مواد متخلخل، به عنوان مثال،

---

[7] Polymer Electrolyte Membrane (PEM)
[8] Perfluorosulfonic Acid
[9] Polybenzimidazole
[10] Catalyst layer (CL)
[11] Gas Diffusion Layer (GDL)
[12] Carbon Fiber Cloth (CFC)
[13] Carbon Nano Tube (CNT)

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

مواد متخلخل سیلیکا آئروژل[14] یا مواد مبتنی بر اسفنج، برای ذخیره سوخت مایع استفاده شده‌اند. معمولاً در PEMFC انعطاف‌پذیر خود تنفسی[15] به دلیل عدم تقاضا برای تامین هوای لوازم جانبی، استفاده می‌شود.

با توسعه اجزای مختلف انعطاف‌پذیر، تکنیک ساخت و ذخیره یا عرضه سوخت و اکسیدکننده، عملکرد و دوام PEMFC انعطاف‌پذیر به طور قابل توجهی بهبود یافته است. با این حال، PEMFC منعطف هنوز در مرحله اولیه است و هنوز راه درازی برای استفاده در دستگاه‌های الکترونیکی انعطاف‌پذیر به صورت عملی وجود دارد. چگالی توان، پایداری مکانیکی و دوام باید با ساخت مواد پیشرفته یا معرفی روش‌های آماده‌سازی جدید برای اجزای انعطاف‌پذیر به منظور افزایش انعطاف‌پذیری هر جزء و بهبود تماس آن‌ها توسعه یابد. همچنین بهینه‌سازی تکنیک های ساخت برای سل منفرد یا استک برای اطمینان از تماس مناسب بین قطعات در هنگام خم‌شدن، و اطمینان از ذخیره‌سازی ایمن، سازگار، بادوام و انعطاف‌پذیر سوخت، ضروری خواهد بود. به عنوان مثال، رسوب شیمیایی[16] کاتالیزگرهای مبتنی بر پلاتین ممکن است به دلیل افزایش چسبندگی CL های آماده شده به PEM، بهبود انتقال جرم ناشی از ضخامت بسیار نازک و استفاده زیاد پلاتین، برای آماده‌سازی CL برای PEMFC انعطاف‌پذیر قابل استفاده باشند [2,1]. این روش برای بهبود انعطاف‌پذیری CL و افزایش کیفیت تماس آن با PEM در هنگام خم‌شدن مفید خواهد بود. علاوه بر این، الکتروریسی[17] یک روش موثر و نسبتا آسان برای تهیه الیاف ریز است و برای ساخت غشاهای فیبری استفاده شده است [3]، که ممکن است برای آماده‌سازی اجزای انعطاف‌پذیر برای PEMFC انعطاف‌پذیر معرفی شود.

Keywords: Flexibility; Polymer electrolyte membrane fuel cell; Flexible components; Performance; Durability

کلمات کلیدی: انعطاف‌پذیری، پیل سوختی غشای الکترولیت پلیمری، اجزای انعطاف‌پذیر، عملکرد، طول عمر

[14] Silica aerogel
[15] Self-breathing
[16] Chemical Deposition (CD)
[17] Electrospinning

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

[1] Daniel, L.; Bonakdarpour, A.; Wilkinson, D.P.; Relationship between electroless Pt nanoparticle growth and interconnectivity at the membrane interface: implications for fuel cell applications. ACS Appl. Nano Mater; 2019, 2, 3127–3137

DOI: 10.1021/acsanm.9b00461

[2] Liu, H.; Qin, J.; Rockward, T.; Wu, J.; Li, J.; Li, G.; Mao, Q.; Lv, Y.; Wang, X.; Zhang, S.; Shi, W.; Chen, G.; He, Q.; Jiang, Y.; Yu, H.; Borup, R.L.; Wang, Y.; Song, Y. Photodriven growth of a monolayer of platinum spherical-nanocrowns uniformly coated on a membrane toward fuel cell applications. J. Mater. Chem, 2020, 8, 23284–23292

DOI: 10.1039/d0ta07189g

[3] Sagitha, P.; Reshmi, C.R.; Manaf, O.; Sundaran, S.P.; Juraij, K.; Sujith, A. Development of nanocomposite membranes by electrospun nanofibrous materials. in: Nanocomposite Membranes for Water and Gas Separation, 2020, 199–218.

Ref: Duan, Y.; Liu, H.; Zhang, W.; Khotseng, L.; Xu, Q.; Su, H. Materials, components, assembly and performance of flexible polymer electrolyte membrane fuel cell: A review. Journal of Power Sources, 2023, 555, 232369.

DOI: 10.1016/j.jpowsour.2022.232369