

نسل چهارم نیروگاهها

- انواع سلول‌های سوختی
- اصول کار سلول‌های سوختی
- تجهیزات پشتیبانی
- دیدگاه‌های زیست محیطی
- کاربردها

• نشریه شماره ۲۵، پاییز ۱۳۷۳



پیشگفتار

امروزه بهره‌وری از منابع انرژی فسیلی به همراه دیدگاه‌های زیست‌محیطی بعنوان معیارهائی کلیدی در امر تولید انرژی شناخته شده‌اند. در این راستا بشر در جستجوی شیوه‌های جدید و مبتکرانه‌ای می‌باشد که ضمن توجیه پذیری اقتصادی، تأمین‌کننده معیارهای فوق نیز باشد.

جایگزینی انرژیهای نو بعنوان یکی از راه‌حلهای پیشنهادی برای اهداف میان مدت و بلند مدت مطرح شده است. البته در این رابطه ویژگیهای اقلیمی این نوع منابع و رقابت اقتصادی با دیگر روشها نیز باید مد نظر قرار گیرد.

تولید همزمان الکتریسیته و حرارت و در نتیجه استفاده بهینه از سوخت‌های فسیلی، از جمله مِتدهائی است که در برنامه‌های کوتاه مدت انرژی، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. لیکن روشهایی که از حرارت ایجاد شده توسط احتراق سوخت‌های فسیلی بهره می‌جویند، مشکلات محیط زیستی را جوابگو نیستند.

یکی از شیوه‌های مبتکرانه‌ای که تکنولوژی آن در دهه اخیر با سرعت توسعه یافته است، استفاده از سلولهای سوختی جهت تأمین همزمان الکتریسیته و حرارت به روش الکتروشیمیائی می‌باشد. در این روش که بعبارتی می‌توان آن را عمل الکترولیز معکوس قلمداد کرد، انرژی شیمیائی ذخیره شده در سوخته‌های فسیلی بدون احتراق، استخراج

می‌گردد. این متد در مقایسه با دیگر روشها از کارائی زیادی برخوردار بوده و آلودگی بسیار کمی تولید می‌کند. دست‌اندرکاران امور انرژی، این تکنولوژی را بعنوان نسل چهارم نیروگاهها نامگذاری کرده اند.

با این توصیفات، بخش انرژی مهندسين مشاور ره شهر اهتمام به انتشار چنین نشریه ای جهت معرفی این سیستمها نموده است. بر اساس اطلاعات مؤلف، معرفی تکنولوژی سلولهای سوختی و ویژگیهای فنی آن بگونه ای که در این نشریه عرضه شده است برای اولین بار در ایران توسط بخش انرژی مهندسين مشاور ره شهر صورت می‌پذیرد. متخصصین بخش انرژی این مهندس مشاور با عنایت به جوانب مختلف کاربرد سلولهای سوختی، از جمله سازگاری آن با محیط زیست و مناسب بودن آن بعنوان يك منبع انرژی پاک جهت تأمین الکتریسیته و حرارت در شهرهای سالم، با جدیت تمام آخرین دست‌آوردهای تحقیقاتی و تکنولوژیکی این سیستم ها را دنبال می‌کنند. بطوریکه اخیراً با اعزام یکی از کارشناسان خود به ژاپن جهت بحث و تبادل نظر و بازدید از کارخانجات و خطوط تولید سلولهای سوختی باب جدیدی را در این خصوص گشوده‌اند.

امید است که دست‌اندرکاران و مسئولین محترم با مطالعه این نشریه، این مهندسين مشاور را از نظریات و دیدگاههای سودمند خود بهره‌مند سازند.

سعید شهیدی

مدیر بخش تحقیقات و مطالعات

شبکه برق، بعنوان يك تکنولوژی مناسب قابل گزینش است.

با وجود شبکه های گسترده گازرسانی در مناطق شهری و روستائی ایران، اینگونه سیستمها آلترناتیو بسیار مناسبی جهت تأمین انرژی الکتریکی توسط بخش های دولتی و خصوصی خواهند بود. هرچند که این تکنولوژی هنوز بطور گسترده پا به بازار انرژی نگذاشته است، لیکن آینده بسیار خوبی برای آن پیش بینی می شود.

سلول‌های سوختی آلکالین بدلیل دارا بودن ضریب بالائی از نسبت انرژی به وزن، به صنایع فضائی راه یافتند. ناسا، مؤسسه هوا فضائی ایالات متحده، تحقیقات زیادی در خصوص توسعه سلول‌های سوختی بعمل آورده است که نتایج آن در پروژه‌های فعلی فضائی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هر چند که این تکنولوژی پیشرفت‌های زیادی در صنعت هوا فضا داشته است، لیکن بدلیل گرانی و نیاز به هیدروژن و اکسیژن بسیار خالص، کاربرد چندانی جهت تولید قدرت الکتریکی بر روی زمین پیدا نکرد.

در سال ۱۹۶۷ شرکت‌های گاز ایالات متحده در چهارچوب انجمن گاز این کشور با همکاری کمپانی یونایتد تکنولوژی، یک برنامه ۹ ساله جهت تحقیق و توسعه تکنولوژی سلول‌های سوختی را اعلام نمودند. هدف برنامه فوق که تحت عنوان TARGET^(۱) نامیده شد، استفاده از گاز طبیعی بعنوان سوخت اصلی و تأمین‌کننده هیدروژن مورد نیاز سلول‌های سوختی تعریف شد.

بدنبال تحریم نفتی سالهای ۷۴-۱۹۷۳ میلادی، علایق زیادی در بکارگیری سلول‌های سوختی بدلیل راندمان بسیار بالای آنها بوجود آمد. در اواخر دهه ۱۹۷۰، در راستای بکارگیری سلول‌های سوختی در پروژه‌های زمینی، حمایت‌های مالی زیادی از طرف دولت ایالات متحده بعمل آمد که اکثر این بودجه‌ها برای تحقیقات بر روی سلول‌های سوختی

۱- Team to Advance Research in Gas Energy Technology.

اسید فسفریک (PAFC)^(۱) صرف شد و در حال حاضر جهت گیری به سمت سلولهای سوختی نوع MCFC^(۲) می باشد.

پیشرفت های بعمل آمده در زمینه PAFC بجائی رسیده که اینگونه سیستمها در آستانه معرفی به بازار قرار گرفته اند. در ژاپن سرمایه گذاری های هنگفتی جهت توسعه و ساخت سلول های سوختی انجام گرفته و در اروپا نیز گرایشات جدی در این رابطه گزارش می شود.

اصول کار سلولهای سوختی

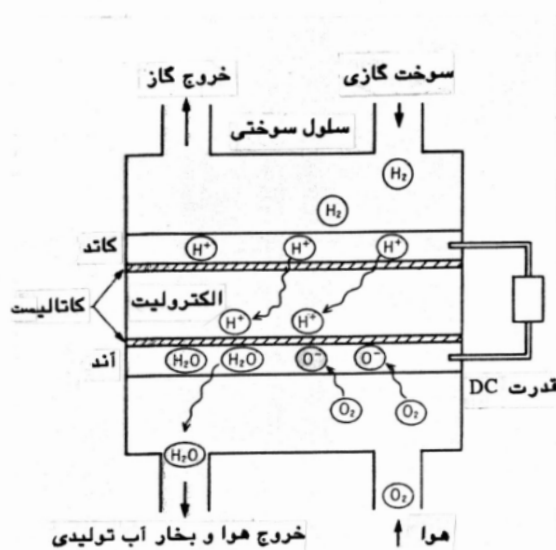
سلولهای سوختی يك وسیله الكتروشیمیائی هستند كه انرژی شیمیائی يك سوخت و اكسید كننده را مستقیماً و بدون احتراق به الكتریسیته جریان دائم (DC) تبدیل می نمایند، لذا سلولهای سوختی اصولاً يك مبدا سوخت به الكتریسیته می باشند.

از آنجائیکه هیچگونه مصرف و انباشتنی در این سلولها صورت نمی گیرد، لذا می توانند در زمانهای طولانی مورد بهره برداری قرار گرفته و برخلاف باتری ها انرژی آنها نقصان پیدا نمی کند.

^(۱)Phosphoric Acid Fuel Cell

^(۲)Molten Carbonate Fuel Cell

يك سلول سوختی متشكل از سه جزء می باشد: الكترود سوخت ^(۱) (آند)، الكترو اكسيد كننده ^(۲) (كاتد) و يك الكتروليت هادی يون ^(۳) كه بين آن دو قرار می گیرد. (شكل ۱)

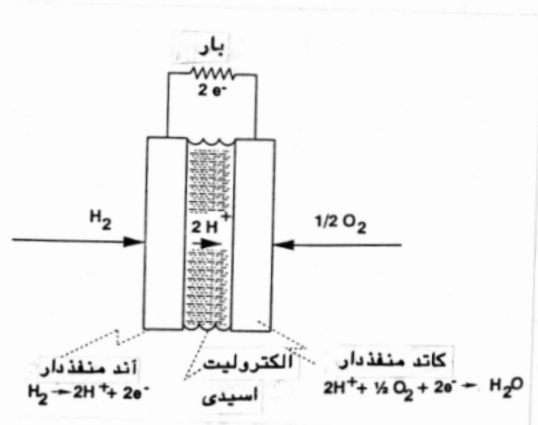


شكل ١: ساختار اصلی يك سلول سوختی

- Ψ -Fuel Electrode
 Υ -Oxidant Electrode
 Υ -Ion-Conducting Electrolyte

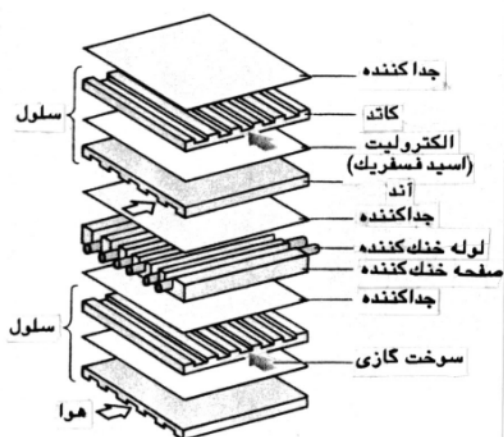
نوع الکترولیت بکار رفته تعیین کننده نوع سلول سوختی و نیز تعیین کننده شرایط کار و نحوه ترکیب الکترودها جهت دستیابی به فعالیت کاتالیستی مورد نظر می باشد. جهت درک بهتر شیوه عملکرد الکتروشیمیائی سلول سوختی با مراجعه به شکل ۲ به توضیحات زیر می پردازیم.

در این سلول سوختی که يك الکترولیت اسیدی بکار گرفته شده است هدایت یون هیدروژن از طریق الکترولیت بایستی در تعادل با جریان الکتریکی مدار خارجی هدایتگر الکترون باشد و با قرار دادن يك بار الکتریکی در مدار خارجی، انرژی استخراج می شود.

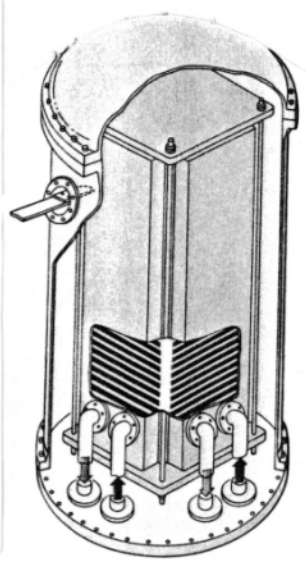
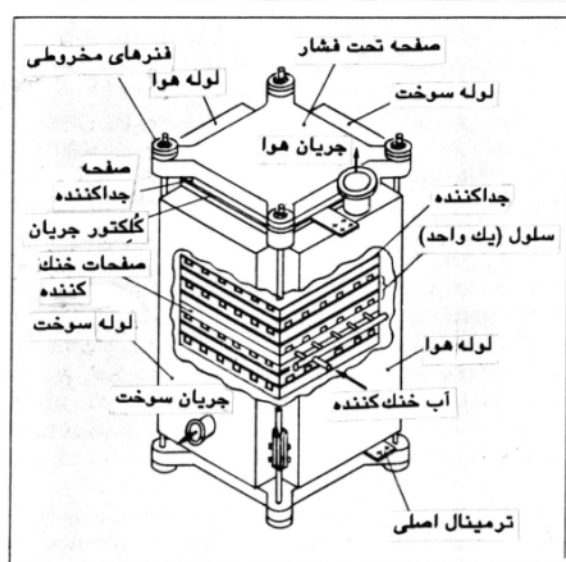


شکل ۲: تعادل الکترونی در يك سلول سوختی

در تئوری چنانچه فشار يك اتمسفر و حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد را بعنوان شرایط کار داشته باشیم ، چنین سلولی می بایست ۱/۲۲۹ ولت الکتریسیته تولید نماید، اما در عمل بدلیل پولاریزه شدن ، در شرایط



شکل ۳: سری قرار دادن سلول های سوختی



شکل ۴: شمای داخلی و ظاهری برج سلول سوختی

انواع سلول های سوختی

از انواع مختلف سلولهای سوختی که در تاریخ تکامل این تکنولوژی توسعه یافته اند، سه نوع آن از دیدگاه عملی بعنوان منابع تولید کلان قدرت الکتریکی شناخته شده اند که عبارتند از :

- سلول های سوختی نوع PAFC (۱)
- سلول های سوختی نوع MCFC (۲)
- سلول های سوختی نوع SOFC (۳)

هریک از انواع فوق الذکر از دیدگاه ساخت و مسائل مهندسی متفاوت می باشند. جدول شماره ۱ فعل و انفعالات مربوط به هر یک از این سه نوع و شرایط کار آنها را مشخص می نماید.

۱- Phosphoric Acid Fuel Cell

۲- Molten Carbonate Fuel Cell

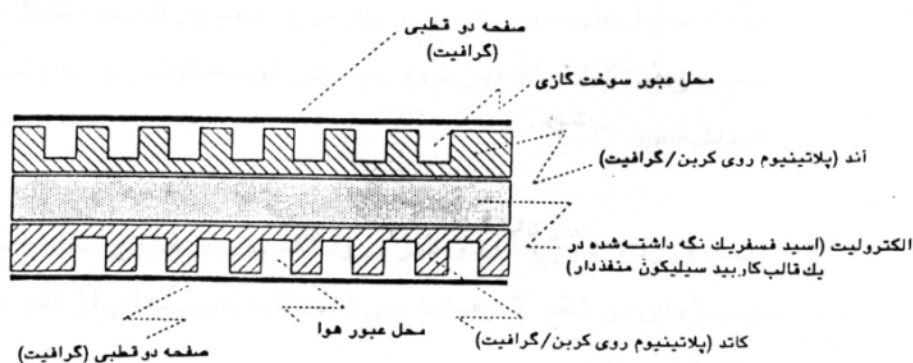
۳- Solid Oxide Fuel Cell

نوع سلول	واکنش در آند	یون‌های انتقالی در الکترولیت	واکنش در کاتد	حرارت نقطه کار (سانتیگراد)	فشار نقطه کار (اتمسفر)
PAFC	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$2H^+ \rightarrow$	$2H^+ + O_2 + 2e^- \rightarrow H_2O$	۱۵۰-۲۵۰	۱-۸
MCFC	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$CO_3^{2-} \leftarrow$	$\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$	۶۵۰	۱-۱۰
SOFC	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$	$O^{2-} \leftarrow$	$\frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$	۱۰۰۰	۱

جدول شماره ۱: فرآیندهای الکتروشیمیایی در انواع سلول‌های سوختی

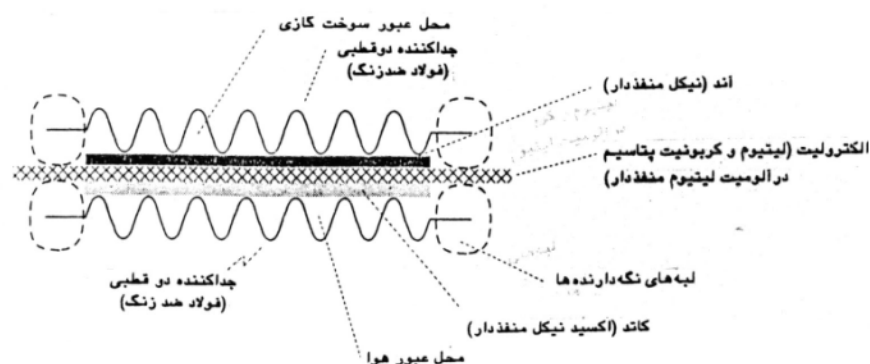
سلول‌های سوختی نوع PAFC

این نوع از سلول‌های سوختی بعنوان نسل اول سلول سوختی شناخته شده و در مقایسه با دیگر انواع، توسعه بیشتری یافته و در مرحله عرضه به بازار می‌باشد. هر چند که این سیستم قادر به کار در درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد اما با تکامل تکنولوژی مربوطه، امکان عملکرد در حرارت ۲۰۰ درجه سانتیگراد جهت کاهش اثر پولاریزاسیون و طراحی مناسب سیستم خنک‌کن فراهم شده است. شکل ۵ شمای دقیقی از یک سلول سوختی نوع PAFC را نمایش می‌دهد.



شکل ۵: شمای سلول سوختی نوع PAFC

چنانچه در شکل فوق ملاحظه می گردد، يك صفحه گرافیتی جهت اتصال الکتریکی آند يك سلول به کاتد سلول دیگر که بصورت سری با آن قرار می گیرد در نظر گرفته شده است درحالیکه آند (سوخت) مجزا از کاتد (هوا) قرار داده می شود. با تعبیه فواصلی بین صفحات گرافیتی، محل عبور سوخت از روی صفحه آند پیش بینی شده است و با ورود سوخت جدید، باقی مانده سوخت قدیم که لحظاتی قبل وارد شده است تخلیه می گردد. صفحه آند که از جنس کربن گرافیتی بوده و با پلاتین تلفیق شده است، تبدیل کننده گاز هیدروژن به یون های هیدروژن و الکترون ها می باشد. الکترون های بدست آمده از طریق عبور از يك مدار الکتریکی خارجی به کاتد منتقل می شوند و یون های هیدروژن پس از عبور از الکترولیت اسید فسفریک به مجرد رسیدن به کاتد با اکسیژن



شکل ۷: شمای سلول سوختی نوع MCFC

به عقیده کارشناسان فن، سلول‌های سوختی نوع MCFC مناسب‌ترین و قابل‌تطبيق‌ترین سیستم جهت تولید قدرت الکتریکی می‌باشند. لازم به ذکر است که راندمان تبدیل سوخت به الکتریسیته در این سلول‌ها می‌تواند به ۶۰ درصد برسد.

مزایای متعدد این سیستم بر دیگر سیستم‌ها عبارت است از :

- هزینه ساخت کمتر
- سادگی اجزاء
- راندمان بیشتر در مقایسه با دیگر انواع
- بازیافت حرارت با کیفیت بالا
- قابل استفاده با گاز طبیعی، گاز ذغال سنگ و دیگر سوختها

نوع سلول	آند	کاتد	الکتrolیت و قالب	صفحات جداکننده
PAFC	پلاتینیوم روی کربن/گرافیت	پلاتینیوم روی کربن/گرافیت	مربوطه H_3PO_4 کاربید سیلیکون	دو قطبی گرافیت
MCFC	نیکل	اکسید نیکل	$Li CO_3 + K_2 CO_3$ آلومینات لیتیوم	فولاد ضد زنگ
SOFC	نیکل اکسید زیرکونیوم	لانتانیم منگنات	اکسید ایتريوم یا اکسید کلسیم اکسید پایدار زیرکونیوم	ماده نگهدارنده، اکسید زیرکونیوم با ۱۵ درصد اکسید کلسیم

جدول ۲: مواد بکار رفته در انواع سلول های سوختی

تجهیزات پشتیبانی سلولهای سوختی

همانگونه که در بخش های گذشته عنوان شد برج سلول سوختی قلب اینگونه سیستم ها می باشد و جهت اطمینان از عملکرد صحیح آن يك سری تجهیزات پشتیبانی با طراحی مهندسی می بایست تعبیه شوند.

اصولاً سلولهای سوختی به سه گروه اصلی دسته بندی می شوند:

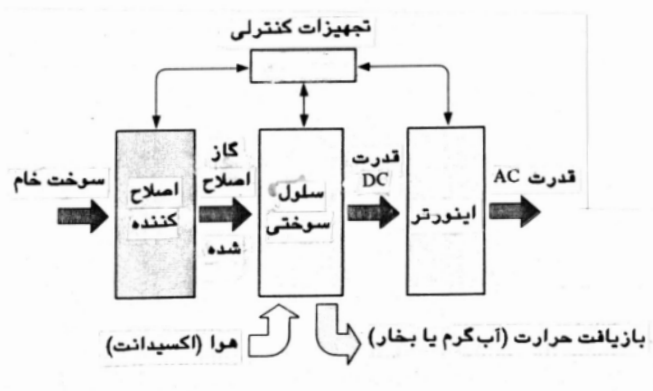
- سلول های سوختی نیروگاهی^(۱)
- سلول های سوختی محلی^(۲)
- سلول های سوختی متحرك (وسایل نقلیه)^(۳)

۱-Utility Operation Fuel Cell

۲- On-Site Operation Fuel Cell

۳-Portable (Vehicle) Operation Fuel Cell

برحسب اندازه، واحدهای بزرگتر بیشتر جنبه استفاده نیروگاهی داشته و به حضور اپراتور نیاز دارند، درحالیکه واحدهای کوچکتر کاربردهای محلی و مستقل داشته و بایستی قادر باشند بدون حضور اپراتور قابل بهره برداری باشند. در هر صورت تجهیزات اصلی پشتیبانی مشابه بوده و اهم آنها در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۹: تجهیزات پشتیبانی یک برج سلول سوختی

اصلاح کننده سوخت (۱)

در این قسمت، عملیات اولیه ای بر روی سوخت ورودی مثل گاز طبیعی و دیگر هیدروکربورهای سبک انجام می گیرد و پس از گوگردگیری، هیدروژن از متان موجود در سوخت استخراج می شود. چنانچه سلول

۱-Fuel Reformer

سوختی برای بار ثابت در نظر گرفته نشده باشد، اصلاح کننده سوخت بایستی قادر باشد در بارهای جزئی نیز بخوبی عمل کرده و نسبت به تغییرات بار پاسخ سریع داشته باشد. چنانچه ذغال سنگ بعنوان سوخت بکار گرفته شود يك سیستم مبدل ذغال به گاز^(۱) به مجموعه اضافه می گردد.

تغذیه کننده هوا (۲)

کلیه سلول های سوختی از هوا بعنوان منبع اکسیژن استفاده می کنند. هوای ورودی پس از فیلتر شدن فشرده شده و وارد برج سلول سوختی می شود.

خنک کننده برج (۳)

بدلیل تولید حرارت در برج، استفاده از سیستم کنترل دما و جابجائی حرارت اجتناب ناپذیر است. در سلول های نوع PAFC حرارت اضافی توسط هوا و یا آب جابجا می شود، درحالیکه در نوع MCFC و SOFC حرارت بوسیله چرخش مجدد هوا و گاز درون برج به بیرون از آن منتقل گشته و در سیستم بازیافت حرارت، به بخار و یا آب گرم تبدیل می شود.

۱-Coal Gasifier

۲-Air Feed System

۳-Stack Cooler

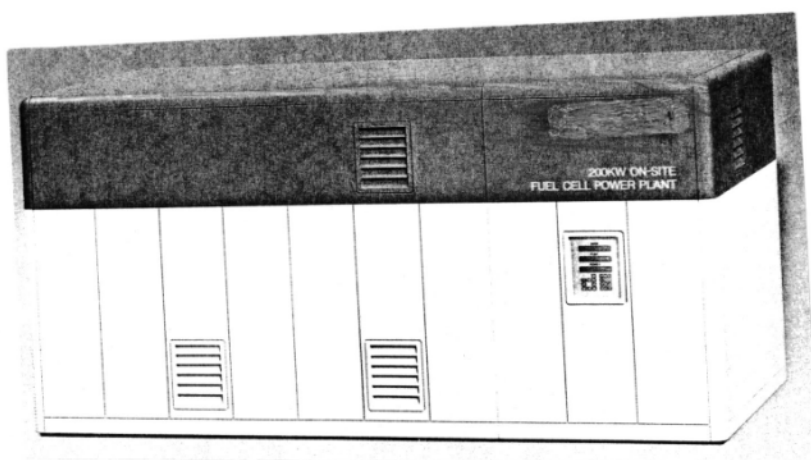
از آنجائیکه سیستم‌های سلول سوختی به وجود گوگرد در سوخت حساس می‌باشند لذا گاز ورودی بایستی به حد کافی عاری از گوگرد باشد که این خود کاهش زیادی در میزان ورود اکسیدهای گوگرد SO_x به محیط را بدنبال خواهد داشت. به همین ترتیب می‌توان با کاهش ترکیبات نیتروژن در سوخت، تخلیه اکسیدهای نیتروژن NO_x را نیز به حداقل رساند.

راندمان بالای سلول‌های سوختی موجب شده است که میزان دی‌اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت تولید شده کاهش چشمگیری داشته باشد بعنوان مثال در مقایسه با نیروگاههای ذغال‌سنگی این میزان به یک سوم کاهش پیدا می‌کند، ضمن اینکه حرارت منتشر شده در محیط نیز به نصف می‌رسد.

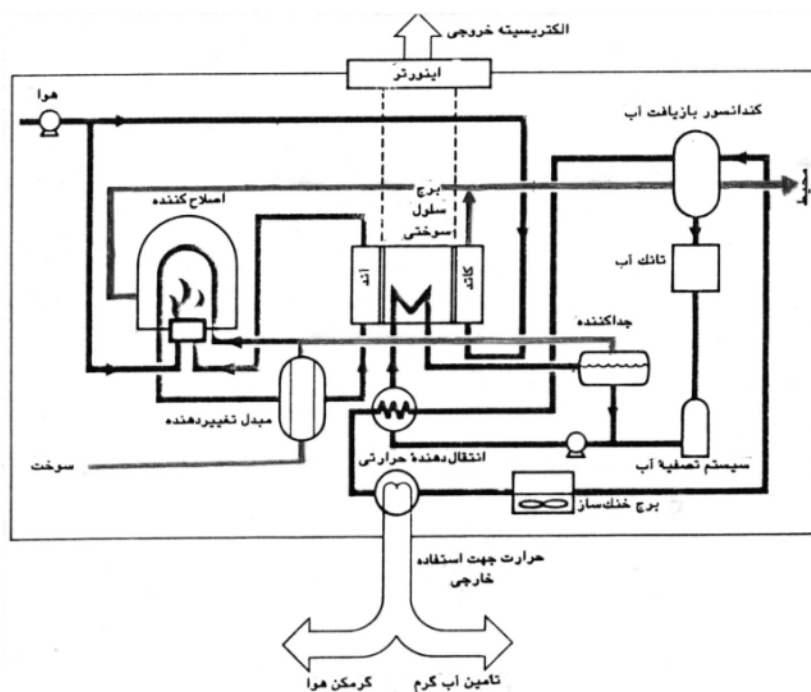
با توصیفات بعمل آمده بنظر می‌رسد که در مقایسه با دیگر روشهایی که از سوختهای فسیلی جهت تولید انرژی استفاده می‌شود، سلولهای سوختی در سازگاری بیشتری با محیط زیست می‌باشند. از این جهت بکارگیری گسترده این سیستمها در محیط‌های شهری و بخصوص کاربرد آن در شهر سالم در آینده‌ای نه چندان دور نوید یکی از شیوه‌های موثر در مبارزه با آلودگی محیط زیست را سر می‌دهد.

کاربردها

همانگونه که متذکر شدیم سلولهای سوختی بدلیل راندمان بالا و آلودگی کم، زمینه‌های کاربری زیادی را پیدا خواهند نمود. در شناسائی

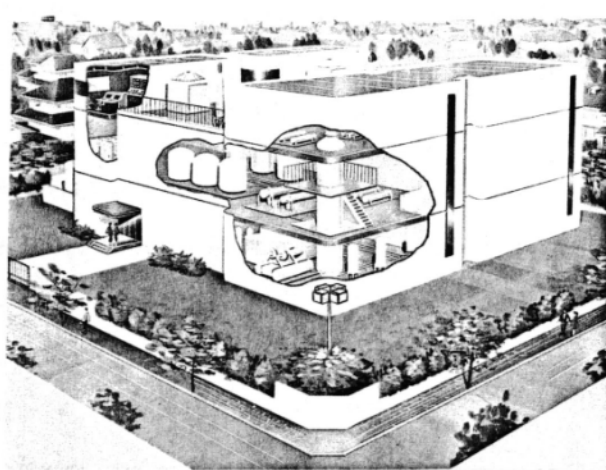


شکل ۱۰: شمای خارجی يك نمونه از سلول سوختی



شکل ۱۱: فلودیاگرام يك سیستم سلول سوختی

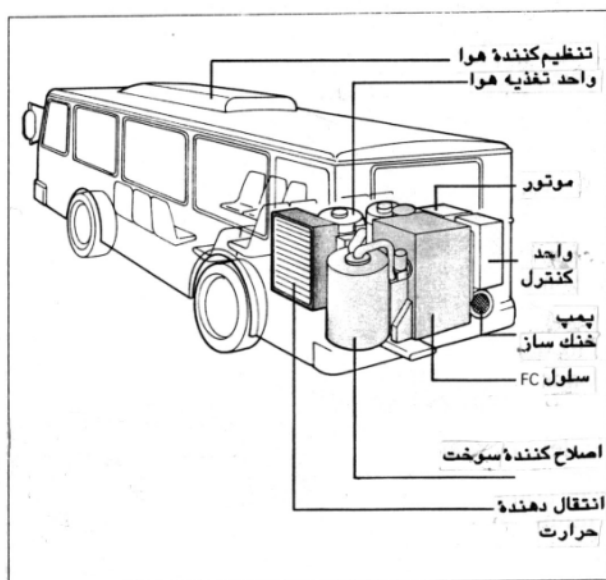
کاربردهای اولیه بیشتر بصورت تولید پراکنده قدرت^(۱) در مناطق شهری و حاشیه شهری خواهد بود و پیش‌بینی می‌شود واحدهای ۱۰ الی ۵۰ مگاواتی بکار گرفته شوند. یکی از دلایل علاقه شرکت‌های برق در بکارگیری اینگونه سیستم‌ها، تولید توأم بخار و الکتریسیته می‌باشد. شکل ۱۲ نمایش‌دهنده ایده یک نیروگاه ۱۰ مگاواتی که در منطقه شهری بنا خواهد گردید می‌باشد. قابل ذکر است که این نیروگاه متشکل از دو واحد مدولار ۵ مگاواتی می‌باشد و سوخت آن از شبکه گاز شهری تأمین می‌گردد.



شکل ۱۲: نیروگاه ۱۰ مگاواتی سلول سوختی از نوع PAFC

۱-Dispersed Power Generation

بازار انرژی می باشد. بر اساس يك مطالعه انجام گرفته در ایالات متحده چنانچه قیمت این سیستمها به حدود ۱۵۰۰ دلار برای هر کیلووات برسد مشتریان زیادی را جلب خواهد نمود. ضمناً عنوان شده است که چنانچه قیمت سوخت افزایش پیدا کرده و مشکلات ناشی از پدیده گلخانه ای جدی تر شود آنگاه فاکتورهای یادشده نیروی محرکه ای قوی در ورود سلولهای سوختی به بازار خواهند بود. یکی دیگر از مواردی که کاربرد سلولهای سوختی در آن پیش بینی می گردد، سیستمهای حمل و نقل می باشد، از جمله بکارگیری در اتوبوسهای درون شهری. نمونه ای از يك اتوبوس مجهز به سلول سوختی با ظرفیت ۵۰ کیلووات در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. لازم بذکر است که سوخت این وسیله نقلیه متانول بوده که از پروسس تخمیر الکلی (بیوماس) تهیه می گردد.



شکل ۱۳: اتوبوس شهری مجهز به سلول سوختی

در حال حاضر ایالات متحده، ژاپن و اروپا در خصوص توسعه سلولهای سوختی فعالیتهای زیادی را دنبال می کنند. بطور مثال در ژاپن با حمایت دولت و بخش صنعتی سالانه بیش از یکصد میلیون دلار صرف تحقیق و توسعه سیستمهای مزبور می گردد. دو موضوع عمده تکنیکی در تولید سلولهای سوختی پیش روی کشورهای فوق الذکر می باشد:

- ابداع شیوه های تولید جهت کاهش قیمت برج سلول سوختی
- تولید برج سلول سوختی که عمر مفیدی در حدود ۵ سال داشته باشد.

در این رابطه ساده سازی نحوه تولید اجزاء و ساختار برج نیز مد نظر می باشد.

نتیجه گیری

سلولهای سوختی روشی مبتکرانه در تولید قدرت الکتریکی می باشد و پیش بینی می شود که این سیستمها در سال های آتی با موفقیت بکار گرفته شوند. بهره برداری از این سلولها با استفاده از گاز طبیعی پرجاذبه تر از دیگر سوخت ها می باشد. از میان سیستمهای موجود سلولهای نوع PAFC در آستانه ورود به بازار می باشند.

با توجه به ویژگیها و مزایای ذکر شده سلولهای سوختی و نظر به اینکه کشور ایران دارای منابع گاز طبیعی سرشار و شبکه گازرسانی گسترده ای بوده و از طرفی با پراکندگی ساختار سکنی در کشور روبرو می باشد، لذا بعقیده این مهندسين مشاور بکارگیری سلول های سوختی

بعنوان نسل چهارم نیروگاهها در آینده نزدیک می‌تواند علاوه بر عدم نیاز به توسعه شبکه‌های انتقال نیرو در مناطق شهری و روستائی، زمینه‌های لازم جهت واگذاری سهمی از تولید انرژی الکتریکی به بخش خصوصی (مردم) را نیز فراهم نماید.

در این رهگذر مهندسین مشاور ره شهر با برداشتن اولین قدم در معرفی اینگونه سیستمها در ایران آمادگی خود را جهت هر گونه مطالعه و نیز دریافت نقطه نظرات مسئولین و دست اندرکاران محترم اعلام می‌دارد.

گروه بین‌المللی ره‌شهر تا کنون ۲۵ نشریه با عناوین زیر منتشر کرده است:

- ۱- کاربرد جدید شیشه در نمای ساختمان (تابستان ۱۳۷۱)
- ۲- پارکینگ مراکز تجاری (پائیز ۱۳۷۱)
- ۳- محافظت در مقابل زلزله (زمستان ۱۳۷۱)
- ۴- جمع‌آوری و دفع زباله و مسائل ناشی از آن (زمستان ۱۳۷۱)
- ۵- طرح اسکان و سریع (زمستان ۱۳۷۱)
- ۶- مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز (بهار ۱۳۷۲)
- ۷- مهار آب با آب (بهار ۱۳۷۲)
- ۸- تحول سبز در معماری (بهار ۱۳۷۲)
- ۹- روندیابی و مدیریت سیلاب (بهار ۱۳۷۲)
- ۱۰- مطالعات اقتصادی جهت احداث مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۹)
- ۱۱- نگاهی کوتاه بر طراحی فضای سبز - "تجربیات کشورهای مختلف" (تابستان ۱۳۷۲)
- ۱۲- بازیافت آب در صنایع شن و ماسه‌شوئی (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۳- بناهای چوبی (کنده‌ای) در ایران و تجربیات کشورهای دیگر (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۴- نکاتی در مورد طراحی ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته پیش‌تنیده در مناطق زلزله‌خیز (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۵- اتوماسیون و بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع الکتریکی (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۶- انرژی دریاها (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۷- پارکینگ‌های مکانیکی اتوماتیک و نیمه اتوماتیک (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۸- انرژی باد (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۹- اصول طراحی ساختمان‌های اداری و بانک‌ها (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۰- انرژی خورشیدی (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۱- طراحی مرکز خرید- جلد اول: مطالعات مقدماتی جهت طراحی مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۲- شهر سالم با آمورتون (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۳- شهر سالم - کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک از میلی وات تا مگاوات (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۴- شهر سالم- اصول طراحی برای افراد دارای کهولت، ناتوانی، اختلال و معلولیت (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۵- نسل چهارم نیروگاه‌ها (پائیز ۱۳۷۳)