

توسعه و جایگاه پیل سوختی اکسید جامد در دنیا

حامد محبی، حامد اصلان نژاد، امیرحسین علیرضایی، امیرحسین قبادزاده، مسعود رضایی
انتهای بلوار پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، گروه انرژی های نو

چکیده

پیل های سوختی به دلیل راندمان بالا، عدم انتشار آلاینده های زیست محیطی، دانسیته توان بالا، عدم وجود قطعات متحرک و عدم ایجاد ارتعاش و صدا، تجهیزات مطلوبی برای تولید انرژی از ظرفیت های بسیار کم تا نیروگاههای بسیار بزرگ به حساب می آیند. یکی از پرکاربردترین انواع پیلها برای این منظور، پیل سوختی اکسید جامد است. دمای عملکردی بالای پیلهای سوختی اکسید جامد سبب شده تا در این نوع از پیلهای سوختی بتوان سوختهای متنوعی نظیر گاز طبیعی، بیوگاز و گازهای حاصل از زغال سنگ مورد استفاده قرار داد. علاوه بر این، گرمای تولید شده در این نوع پیلهای سوختی، قابل استفاده در سیکلهای ترکیبی و سیستمهای تهویه مطبوع منازل می باشند. خصوصیات منحصر به فرد پیل سوختی اکسید جامد، سبب کاربردهای گسترده آن گردیده است. وجود برنامه برای توسعه پیل سوختی اکسید جامد در سند راهبرد ملی فناوری پیل سوختی کشور، ضرورت شناخت این تکنولوژی را ایجاب می کند. در این مقاله روند توسعه این تکنولوژی در دنیا و کاربردهای مختلف آن مرور شده است. همچنین موسسات مهم توسعه دهنده این تکنولوژی معرفی شده است.

کلید واژه: پیل سوختی اکسید جامد، توسعه، چگالی توان، کاربردها.

۱ - مقدمه

شده است. نوع صفحه‌ای از لحاظ هزینه تولید و خواص مکانیکی و میزان توان تولیدی برتری دارند. شکل ۱، بازده بالای پیل سوختی اکسید جامد نسبت به سایر منابع تولید توان را نشان می‌دهد. [۱]. در این مقاله، کاربردها و جایگاه پیل سوختی اکسید جامد در دنیا مرور و بررسی می‌شود. انواع طراحی‌ها و شرکت‌های بزرگ سازنده و توسعه دهنده آنها معرفی می‌گردد.

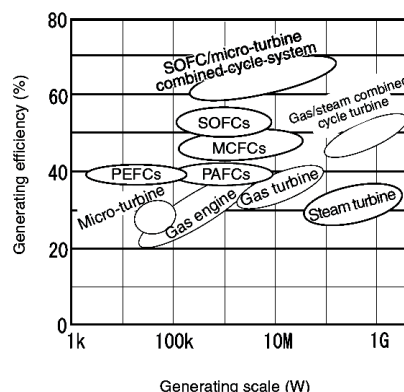
۲ - انواع پیل‌های سوختی اکسید جامد

از نظر ساختار سل و نوع طراحی، پیل‌های سوختی اکسید جامد را می‌توان به دو دسته عمده طراحی لوله‌ای و طراحی صفحه‌ای تقسیم بندی نمود. پیل سوختی اکسید جامد نوع صفحه‌ای به دو نوع الکتروکود ساپورت و الکتروولیت ساپورت تقسیم بندی می‌شود که در نوع الکتروکود ساپورت، الکتروولیت نازکترین لایه بوده و دو الکتروکود بروی آن نشاندن می‌شوند. این نوع از پیل سوختی صفحه‌ای به جهت داشتن کمترین میزان مقاومت اهمی و ساختار مناسب برای انجام واکنش‌های مربوطه در دمای پایین، مورد توجه می‌باشد. از این میان نوع آند ساپورت با الکتروولیت نازک که برای اولین بار توسط *Forschungs zentrum Julich* آلمان معرفی گردید، بجهت مقاومت کاتدی کمتر در جایگاه بهتری قرار دارد. سوخت مورد استفاده این نوع پیل سوختی عبارتند از هیدروژن، گاز طبیعی، بیوگاز، اتانول و گاز سنتز حاصل از گازی‌سازی. نسبت به انواع دیگر پیل سوختی، نوع اکسید جامد عملکرد بهتری در برابر ناخالصی سوخت نظیر مونوکسید کربن دارد. سوخت حاصل از زغال‌سنگ حاوی CO ، CO_2 و N_2 می‌باشد.

یکی از پارامترهای تعیین کننده در انتخاب نوع پایه، دمای عملکردی پیل سوختی است. شکل ۶ اثر نوع پایه را بر دمای عملکردی سل نشان می‌دهد. دمای عملکردی پایین تر سل، امکان استفاده از مواد ارزان تر را برای صفحات اتصال دهنده فراهم می‌نماید. همچنین مزایایی از قبیل مدیریت گرمایی ساده تر، راه اندازی و خاموش شدن سریعتر را به همراه دارد. با این حال، با کاهش دما، فعالیت کاتالیستی الکتروکودها و رسانایی یونی الکتروولیت بشدت کاهش می‌یابد. برای رفع این مشکل از دو راه حل (الف) استفاده از مواد با رسانایی بهتر در دمای پایین و (ب) کاهش ضخامت الکتروولیت و استفاده از لایه‌های نازک استفاده می‌شود.

امروزه تولید نیرو و مسائل زیست محیطی وابسته به آن مورد توجه محافل جهانی قرار گرفته است. در حال حاضر جریان الکتروسیسته عموماً توسط روشهای سنتی و با استفاده از سوخت فسیلی تولید می‌گردد که خروجی این سیستمها ترکیبات سولفور، کربن و ناکس می‌باشد که نتیجه آن آلودگی محیط زیست است. بنابراین سیستمهای جدید تولید انرژی پاک باید جایگزین سیستمهای بر پایه سوختهای فسیلی گردد. در سال ۱۹۹۷ دپارتمان انرژی آمریکا برنامه ۲۱ام تولید انرژی خود را با توجه ویژه به سیستمهای تولید انرژی الکتروسیسته تصویب کرد و رویکرد کلی این برنامه توجه به تنوع سوخت و بازده بالای سیستم در حد ۷۵٪ برای سوخت گازی و ۶۰٪ برای سوخت زغال سنگ بود.

در سال ۱۸۳۹ برای اولین بار *Willam Robert* اکسیژن را با هیدروژن مخلوط کرد و الکتروسیسته تولید کند. بدین وسیله اولین باطری گازی که بعدها *Fuel Cell* نامگذاری شد. در عملکرد پیل سوختی هیچ جز متحرکی دخیل نیست، لذا میتوان عمر بیشتر و کاهش هزینه‌های نگهداری را از چنین سیستمی انتظار داشت. چنین سیستمی به جهت داشتن بازدهی بالا و بازیابی انرژی گرمایی و تنوع در نوع سوخت اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. از میان انواع مختلف پیل سوختی که در جدول ۱ ارائه شده است،

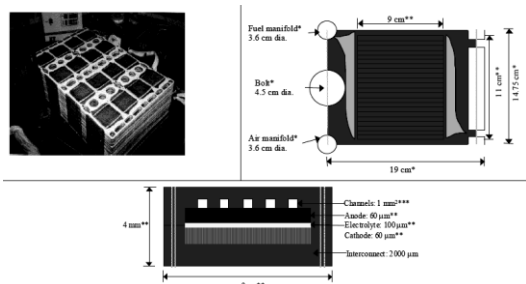


شکل ۱: مقایسه روشهای مختلف تولید توان.

نوع اکسید جامد (SOFC) به جهت عملکرد در دمای بالا و داشتن ساختار جامد قابلیت استفاده از انواع مختلف سوختهای بر پایه هیدروژن را دارا می‌باشد. این نوع از پیل سوختی در دو نوع لوله‌ای و صفحه‌ای توسعه داده

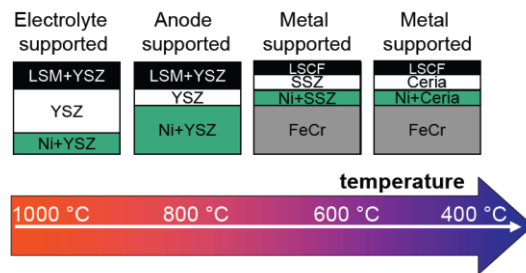
جدول ۱: مقایسه انواع مختلف پیل سوختی.

انواع پیل سوختی						
پارامترها	اکسید جامد	غشای تبادل یونی	متانولی	اسید فسفریک	آلکالین	مولتی کریبیت
دمای عملیاتی C ⁰	۸۰۰-۱۰۰۰	۵۰-۱۰۰	۶۰-۲۰۰	۲۰۰	۵۰-۲۰۰	۶۵۰
سوخت	و سایر H ₂ , CO, CH ₄ هیدروکربنها	H ₂	CH ₃ OH	H ₂	H ₂	و سایر H ₂ , CO, CH ₄ هیدروکربنها
دانسته توان	۰.۱-۱.۵	۳.۸-۶.۵	۰.۶	۰.۸-۱.۹	۱	۱.۵-۲.۶
هزینه نصب (\$/KW)	۳۰۰۰	> ۱۵۰۰	-	۲۱۰۰	۱۸۰۰	۳۰۰۰-۲۰۰۰
ظرفیت	۱KW-۱.۷MWh	۳۰W-۲۵۰kW	۱W-۱MW	۱۰۰kW-۱.۳MW	۱۰-۱۰۰kW	۱۵۵kW-۳MW
الکترولیت	YSZ	نفیون	غشای پلیمری جامد	اسید فسفریک	KOH	کربنات لیتیوم و پتاسیم
بازایی حرارتی	بلی	-	خیر	بلی	-	بلی
مزایا	الکترولیت جامد، بازدهی بالا	دانسته توان بالا، شروع بکار سریع، الکترولیت جامد	عدم نیاز به ریفرمر	کاراکترهای الکترولیت ثابت	دانسته توان بالا، شروع بکار سریع	بازده بالا، عدم نیاز به کاتالیست فلزی
معایب	هزینه بالا، شروع بکار زمانبر	کاتالیست پلاتینیوم گران، حساس به ناخالصی‌ها	دانسته توان و بازده کم	خورنده، حساس به ناخالصی خوراک	کاتالیست پلاتینیوم گران، حساس به ناخالصی‌ها	هزینه بالا، شروع بکار زمانبر، الکترولیت مایع خورنده
مصارف	مسکونی، بازبایهای حرارتی صنعتی، حمل‌ونقل	مسکونی، برق اضطراری بیمارستان، بانک، حمل‌ونقل	تامین نیرو موبایل، لپ‌تاب	تولید نیرو قابل حمل، حمل‌ونقل، بازبای حرارتی صنعتی	حمل‌ونقل، ایستگاه‌های فضایی، تولید نیرو قابل حمل	حمل‌ونقل، صنعت، واحدهای تولید نیرو



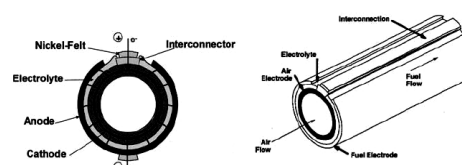
شکل ۴: طراحی های صفحه ای.

چگالی توان نوع صفحه ای بیشتر از نوع لوله ای است. در طراحی لوله ای به علت مسیر های هدایت الکتریکی طولانی تر، افت ها بیشتر بوده و ماکزیمم چگالی توان آنها محدود به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع است. نوع صفحه ای بدلیل داشتن مسیرهای هدایت کوتاهتر از توان بیشتری برخوردار است. چگالی توان بالا و هزینه ساخت کمتر، سبب توجه ویژه ای به این نوع از پیل سوختی شده است. هرچند مشکل اساسی در این نوع از پیل سوختی، آب بندی است. جدول ۲ مقایسه بین این دو پیل سوختی را نشان می دهد. چگالی توان پایین پیل های سوختی اکسید جامد لوله ای سبب شده از آنها تنها در کاربردهای تولید توان ساکن استفاده شود و تمایل چندانی برای استفاده از آنها در کاربردهای متحرک وجود ندارد. نوع صفحه ای به دلیل داشتن چگالی توان بالا، قابلیت استفاده در سیستم های متحرک را دارد. اولین کاربرد این نوع از پیل های سوختی مربوط به واحدهای توان یدکی آن بورد (On-board auxiliary power units (APU) است که از سوخت خود



شکل ۲: تاثیر انتخاب نوع پایه بر روی دمای عملکردی پیل.

در طراحی لوله ای، الکترودها و الکترولیت به شکل یک لوله و یا یک جعبه قرار گرفته اند. در برخی از این طراحی ها، الکترولیت و یا یکی از الکترودها نقش پایه را دارد و در برخی دیگر لوله ای جدا این نقش را بر عهده دارد. طراحی لوله ای خود به دو دسته جریان بالا و ولتاژ بالا تقسیم می شود [۳]. ساختار لوله ای سل امکان آب بندی آسان را فراهم نموده است. در طراحی صفحه ای (شکل ۳) الکترودها و الکترولیت به صورت تخت بر روی هم قرار می گیرند. این نوع طراحی خود به دو دسته طراحی دایره ای و مستطیلی تقسیم می گردد.



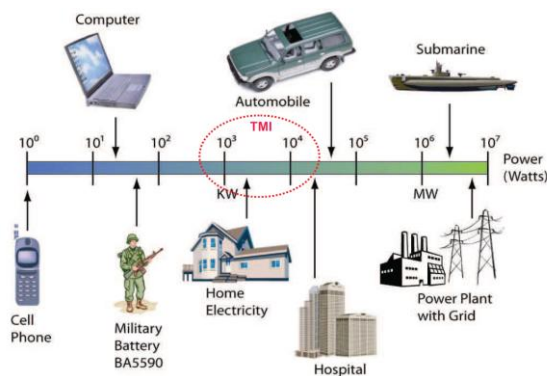
شکل ۳: پیل سوختی لوله‌ای.

استفاده از سیستمهای SOFC به ۳ گروه اصلی زیر تقسیم می شود:

الف) کاربردهای ساکن (Stationary) که خود به دو دسته کاربرد بزرگ (بزرگ تر از ۱۰ کیلووات) و کاربرد کوچک (کوچکتر از ۱۰ کیلووات)

ب) کاربردهای حمل نقل متفرقه (Niche transportation)

ج) کاربردهای پرتابل (Portable) که خود به سه دسته میکرو (کمتر از ۵ وات)، کوچک (۵۰۰-۵ وات) و بزرگ (بیشتر از ۵۰۰ وات) ۹ تقسیم می شوند.



شکل ۵: توزیع کاربردهای پیل سوختی.

خودرو استفاده می کنند. این سیستم های بدلیل صرفه جویی در مصرف سوخت، بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. سیستم های اتوموبیل دلفی، یک APU با استفاده از پیل سوختی اکسید جامد صفحه ای ۵ کیلووات برای تامین برق سیستم تهویه مطبوع توسعه داده است [۱].

جدول ۲- مقایسه پیل سوختی لوله ای و صفحه ای اکسید جامد [۵]

پیل لوله ای	پیل صفحه ای	
۰.۲-۰.۲۵	۰.۶-۲	توان ویژه
نسبتا پایین	نسبتا بالا	توان حجمی
نسبتا بالا	نسبتا پایین	هزینه تولید
لازم نیست	لازم	آیندی دما بالا

مقیاس های کوچک برای تولید نیرو و گرما به صورت ترکیبی و ایجاد واحدهای تولید و توزیع توان که الکتریسیته و گرما را برای محیط های خانگی فراهم می کند، توسعه می دهد [۷]. این شرکت یک کارخانه ساخت را در آلمان برای تولید استک های پیل سوختی اکسید جامد راه اندازی کرده است [۶].

جدول ۳. کاربردهای مختلف SOFC در سیکل های ترکیبی.

۳ - کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد

ساختار	کاربرد	منبع انرژی	وضعیت توسعه
ریفورمر بخار+SOFC+سیکل برایتون و رانکینگ	تولید نیرو، کشتی	گاز طبیعی	مفهومی
تولید ترموشیمیایی هیدروژن+SOFC+سیکل برایتون و هلیوم برایتون	تجهیزات دریایی، تولید نیرو	راکتور هسته ای	مفهومی
گازی سازی زغال سنگ+SOFC+سیکل برایتون و رنکینگ	تولید نیرو	زغال سنگ	مفهومی
سیکل برایتون+SOFC	تولید نیروی پراکنده	گاز طبیعی	طرح تایید شده ^۱
SOFC+سیکل برایتون و چنچ	تولید نیروی پراکنده	گاز طبیعی	مفهومی
SOFC+CHP	تولید نیروی پراکنده + ساختمان	گاز طبیعی	طرح تایید شده ^۲
SOFC + سیکل یخچالی	ساختمان	گاز طبیعی	مفهومی
SOFC+ریفورمر بنزین	تامین نیروی کمکی برای اتومبیل و هواپیما	بنزین	طرح تایید شده ^۳
SOFC+ریفورمر دیزل	تامین نیروی کمکی برای اتومبیل	دیزل	طرح تایید شده ^۴
گازی سازی بیومس+SOFC	تولید نیروی پراکنده	بیومس	مفهومی

و تدوین دانش استفاده از SOFC ها در APU (۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴)، ساخت اولین یونیت با توان پایین و سپس توسعه آن برای دستیابی به توانهای هرچه بیشتر (۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹) و ساخت سیستمهای هیبریدی (۲۰۰۹ تا کنون) آمده است [۱۱].

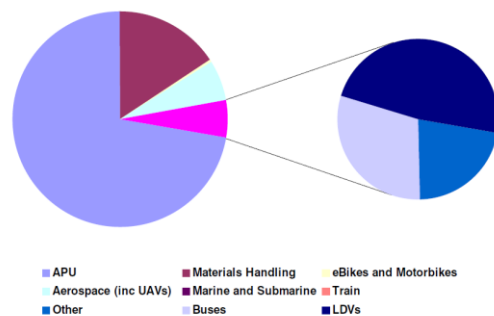
پیلهای سوختی احیا شونده به عنوان کلاس جدید هواپیماها بدون محدودیت توان پرواز که در هنگام روز از توان الکتریکی تولید شده توسط سلولهای خورشیدی استفاده می‌کنند، در حالیکه همزمان آب در پیل سوختی (در نقش الکترولیزر) در حال الکترولیز و تبدیل به اکسیژن و هیدروژن است. در شب از گازهای تولید و ذخیره شده در پیل برای تولید توان حرکتی استفاده می‌کنند. در هواپیماهای بدون سرنشین نیز از پیل سوختی استفاده میشود. مزایای استفاده از پیل سوختی در UAV عبارتند از حداقل آلوده‌سازی، عملکرد بدون صدا، شتاب سریع، بازده ترمودینامیکی بالا و مناسب بودن آن برای هواپیماهای بدون سرنشین با ابعاد مختلف. اولین UAV با سیستم تولید توان SOFC در دنیا توسط شرکت Adaptive Materials, Inc. در آمریکا در سال ۲۰۰۶، و نخستین نمونه آن در آسیا توسط National Cheng Kung University (NCKU) در ۱۳ می سال ۲۰۱۰ آزمایش شد. توان لازم در این نمونه از هیبرید باتری لیتیومی به علاوه SOFC برای پروازی به مدت ۱۵ دقیقه بین ۱۰۰kph-۸۰ با ارتفاع کمتر از ۳۰۰ متر تولید شد.

۴ - توسعه سیستم پیل سوختی اکسید جامد

از نظر فعالیت بر روی SOFC، قاره اروپا با حدود ۳۵ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. آمریکا شمالی مقام دوم را دارد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، حدود ۱۹ درصد فعالیتها مربوط به کمپانیها هستند که اعتقاد دارند که تجارتشان جهانی است و به کشور خاصی محدود نیست [۷].

فعالیتها بر روی SOFC در زمینه های مختلفی صورت می‌گیرد. یافته ها نشان می‌دهد که حدود یک سوم فعالیتها بر روی SOFC در زمینه تحقیق و توسعه است [۷]. حدود ۴۲ درصد آنها، به عنوان تجاری شدن به آن می‌نگرند. در مقایسه با PEM که حدود ۷۵ درصد از

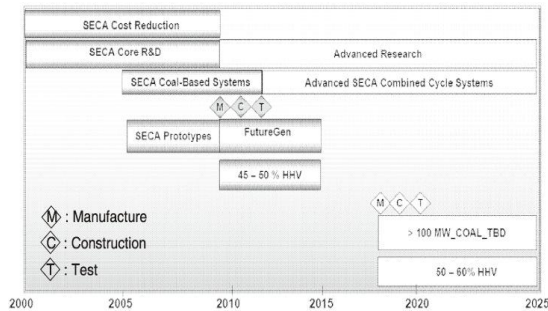
استفاده از SOFC در بخش حمل و نقل متفرقه بیش از کاربردهای ساکن بزرگ است. SOFC های ساخته شده در بخش حمل و نقل، می‌تواند به عنوان سیستمهای مستقل در APU ها، برای تامین توان یدکی خودروها بکار روند. با استفاده از این سیستم کارایی سیستم الکتریکی افزایش یافته و در صورت استفاده در کامیونهای کشنده مصرف سوخت از ۱ گالن بر دقیقه، به ۰,۲ گالن بر دقیقه کاهش می‌یابد. استفاده از SOFC در صنعت خودرو نیز در حال افزایش می‌باشد. این حرکت از سال ۲۰۰۵ شروع شده و شرکتهایی چون تویوتا، سوزوکی و هندو در حال گسترش این صنعت هستند. پیش‌بینیها حاکی از تولید انبوه این خودروها تا سال ۲۰۱۵ و توجیح‌پذیری کامل اقتصادی این طرح تا سال ۲۰۲۰ است. اکثریت واحدهای SOFC نصب شده برای کاربردهای ساکن کوچک هستند. این گروه شامل واحدهای ساکن مورد استفاده برای تامین برق خانگی، کاربردهای صنعتی، UPS و کاربردهای نظامی هستند. همانطور که پیش تر اشاره شد، بازده بالا و دماهای عملکردی بالا، SOFC را برای این کاربردهای بسیار مناسب نموده است. از نوع ساکن در بخشهایی چون تامین انرژی منازل، بیمارستانها، مراکز خرید و نهایتاً واحدهای تولید نیرو در مقیاس گسترده استفاده می‌شود. نوع پرتابل بمنظور استفاده در لپ تابها، موبایل و تجهیزات تواید نیرو سربازان استفاده می‌شود.



شکل ۶: توزیع کاربردهای مختلف پیل سوختی.

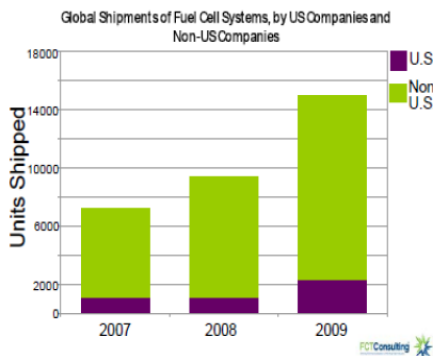
۳-۱- کاربرد در صنایع هوایی

سازمانهای فضایی همچون ناسا و شرکتهای بزرگی نظیر بوئینگ تولید و توسعه پیلهای سوختی اکسید جامد را از اواسط دهه ۹۰ در برنامه خود قرار دادند. به عنوان نمونه در نقشه راه تدوین شده توسط بوئینگ، ساخت تک سل با دانسیته توانهای مختلف (تا سال ۲۰۰۳)، امکان سنجی



شکل ۸: نقشه راه توسعه پیل‌های سوختی اکسید جامد تدوین شده توسط گروه انرژی آمریکا [۷].

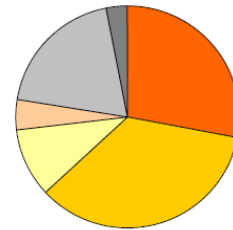
با اینکه کشور آمریکا موفقیت‌های قابل توجهی را در توسعه پیل‌های سوختی کسب نموده است، ولی کشورهای دیگر نیز همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، در حال پیشرفت سریع در زمینه توسعه و تجاری‌سازی این سیستم‌ها هم در تعداد محموله‌های تولیدی و صادر شده و هم در ظرفیت توان تولیدی، هستند [۶].



شکل ۹- مقایسه توسعه و تجاری‌سازی شرکت‌های کشور آمریکا با دیگر کشورها [۶].

در اروپا، کمیسیون اروپا-حمایت‌کننده و عهده‌دار مشارکت در طرح‌های پیل سوختی و هیدروژن (FCH JU) که از همکاری بین انجمن هیدروژن و پیل سوختی اروپا و کمیسیون اروپا در سال ۲۰۰۸ تأسیس گردیده است، برای سال ۲۰۱۰ براساس طرح اجرایی خود برای پروژه‌های تحقیقاتی، توسعه‌ای و آزمایشگاهی در پنج حوزه اصلی شامل حمل و نقل و زیرساخت‌های سوخت‌رسانی، تولید و توزیع هیدروژن، تولید توان ساکن، تولید توان و حرارت ترکیبی و تجاری‌سازی، سرمایه-

فعالیتها بر روی تجاری شدن است، SOFC هنوز جا برای کار دارد.



شکل ۷: فعالیت بر روی پیل سوختی اکسید جامد بر حسب موقعیت جغرافیایی [۷]

در چند سال اخیر توسعه‌های قابل توجهی در زمینه تولید و تجاری‌سازی سیستم‌های پیل سوختی انجام گرفته است و بیشتر شرکت‌های فعال در این زمینه در حال گذار از فاز تحقیقاتی و آزمایشگاهی به تجاری‌سازی اینگونه سیستم‌ها می‌باشند و رقابت‌های تنگاتنگی بین آنها به وجود آمده است [۱]. در کشور آمریکا، برای مثال شرکت ایدتک^۱ بیش از ۴۴۵ سیستم که پنج برابر بیشتر از حجم تولیدی خود در سال ۲۰۰۸ بود را تولید نمود که از این جمله می‌توان به سیستم ۳۰/۸ مگاواتی سفارش کشور کره جنوبی و ۱/۶۵ مگاواتی ایالت کالیفرنیا، اشاره نمود. گروه انرژی آمریکا در زمینه پیل‌های سوختی، هیدروژن و تحقیقات وابسته به آنها، سرمایه‌گذاری ۳۸۰ میلیون دلاری را در سال ۲۰۰۹ برای سرعت بخشیدن و تجاری‌سازی پیل‌های سوختی انجام دادند [۶] و برای توسعه سیستم‌های پیل سوختی اکسید جامد برنامه نقشه راه SECA^۲ را که در شکل ۱ نشان داده شده است، تدوین نموده است [۷].

³ European Commission-Supported Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking

¹ Ide Tech

² Solid State Energy Conversion Alliance

۵- نتیجه گیری

توسعه تک سل پیل سوختی اکسید جامد به طور عمده در دو نوع لوله ای و صفحه ای انجام می گیرد. چگالی توان پایین نوع لوله ای سبب شده که از آنها تنها در کاربردهای ساکن تولید برق استفاده شود. در حالیکه از نوع صفحه ای در بسیاری از کاربردهای متحرک استفاده می شود. مطالعات نشان داده که عمده کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد در کاربردهای ساکن کوچک شامل واحدهای ساکن مورد استفاده برای تامین برق خانگی، کاربردهای صنعتی، UPS و کاربردهای نظامی است. عمده فعالیت های صورت گرفته روی پیل سوختی اکسید جامد در حوزه تحقیق و توسعه است و موسسات بسیاری در نقاط مختلف جهان بر روی توسعه آن کار می کنند. از لحاظ میزان فعالیت قاره اروپا، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است.

تشکر و قدردانی

از حمایت های مالی سازمان انرژی های نو ایران (سانا) در انجام این تحقیق تشکر می گردد.

1 S.E. Veyo, L.A. Shockling, J.T. Dederer, J.E. Gillett, W.L. Lundberg, ASME J. Eng. Gas Turbines Power 124 (2002) 845-849.

2 T. Kabata, M. Nishiura, K. Tomida, S. Koga, N. Mataka, et al., 2008 Fuel Cell Seminar & Exposition, Phoenix, 2008, pp. 263-267 (DEM41-2).

3 C. Severin, S. Pischinger, J. Ogrzewalla, J. Power Sources 145 (2005) 675-682.

4 A. Lindermeir, S. Kah, S. Kavurucu, M. Muhlner, Appl. Catal. B: Environ. 70 (2007) 488-497.

5 Oldham, Charles. U.S. FUEL CELL COUNCIL. INDUSTRY OVERVIEW 2010. Washington, DC : s.n., 2010.

6 Vincent, Bill. 2009 FUEL CELL MARKET REPORT. s.l. : U.S. Department of Energy, 2010.

7 Kawamoto, Hiroshi. Research and Development Trends in Solid Oxide Fuel

گذاری ۱۱۳ میلیون دلاری را انجام داده است [۸]. یکی از بزرگترین پروژه های اروپا در این زمینه، پروژه Callux می باشد که بزرگترین پروژه در زمینه کاربردهای انرژی خانگی می باشد. در این پروژه همکاری هایی با شرکتهای سازنده دستگاههای پیل سوختی با چندین سال تجربه شامل Baxi Innotech, Hexis و Vaillant برای توسعه دستگاههای گرمایی پیل سوختی براساس تکنولوژی پیل سوختی اکسید جامد و پلیمری انجام گرفته است که هماهنگ کننده این پروژه، شرکت ZSW می باشد که تجربه فراوان و وسیعی در انجام پروژه های سرمایه گذاری شده، دارد [۹]. در آسیا کره جنوبی در حال تحقیقات جامع و وسیعی برای تبدیل شدن به یک کشور پیشرو جهانی در تکنولوژی پیل سوختی می باشد [۶]. در کشور ژاپن با تدوین پروژه NEDO ۱ که به عنوان "راکتور سرامیکی پیشرفته ۲" شناخته می شود، توسعه پیل های سوختی اکسید جامد در حال انجام می باشد [۱۰] و توسعه های قابل توجهی برای پیل های سوختی در سال ۲۰۰۹ با همکاری شرکت های ژاپنی در انجام تحقیقات یکپارچه بر روی توسعه تکنولوژی های با سوخت هیدروژن، انجام گرفت. شرکت تویوتا نیز در عرصه تولید دستگاههای پیل سوختی ترکیبی توان و حرارت از سال ۲۰۰۹ وارد گردیده و در حال کار با همکاران خود برای توسعه این سیستم ها می باشد [۶]. در استرالیا، شرکت استرالیایی Ceramic Fuel Cell Ltd. یک شرکت پیشرو جهانی در توسعه تکنولوژی پیل های سوختی اکسید جامد برای فراهم نمودن الکتریسیته با تولید کمترین گازهای آلاینده، کارایی بالا و مطمئن از گاز طبیعی و سوخت های تجدید پذیر می باشد و محصولات پیل سوختی اکسید جامد خود را در مقیاس های کوچک برای تولید نیرو و گرما به صورت ترکیبی و ایجاد واحدهای تولید و توزیع توان که الکتریسیته و گرما را برای محیط های خانگی فراهم می کند، توسعه می دهد [۷]. این شرکت یک کارخانه ساخت با حجم بالا را در آلمان برای تولید استک های پیل سوختی اکسید جامد راه اندازی کرده است.

¹ the New Energy & Industrial Technology Development Organization of Japan

² Advanced Ceramic Reactor

Cell Materials, From the Viewpoint of Electrolyte-Related R&D as Key. Science & Technology Trends, 2008, Vol. 26.

8 Barrett, Steve. European Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking kickstarts 2010 action plan. Fuel Cells Bulletin, 2010.

9 Heyen, Ewald. callux, calluxField Test of Residential Fuel Cells. 2010

10 Ceramic Fuel Cells Limited. [Online] 20 11, 2010. <http://www.cfcl.com.au/>.

11 B. M. Steinetz, N. P. Bansal, F. W. Dynys, J. Lang, C. C. Daniels, J. L. Pako, S. R. Choi, Solid Oxide Fuel Cell Seal Development at NASA Glenn Research Center, .