

هیدروژن و پیل سوختی

HYDROGEN AND FUEL CELL



کمیته راهبری پیل سوختی

نشریه هیدروژن و پیل سوختی سال پنجم / شماره ۵۳ / بهمن ۱۳۸۹

Vol 5 | No.53 | February 2011



صاحب امتیاز: سازمان انرژی‌های نو ایران
مدیر مسئول: مهندس مهنام رحیم‌زاده
شورای سردبیری: دکتر مرتضی صادقی،
مهندس مولود شیوا، مهندس مینو غلامی
مهندس مسعود رضایی، مهندس میترا غلامی
مدیر داخلی: مهندس سمیه خطی
ویراستار: مهندس فاطمه کریمی
طراح گرافیک: علیرضا قراگوزلو
روابط عمومی: مهدیه رحیم‌پور
همکاران این شماره: مهندس مینا اعتمادی،
مهندس مهرداد طاهران

○ نشانی: تهران، شهرک قدس، بلوار شهید دادمان،
ساختمان معاونت امور انرژی، سازمان انرژی‌های نو ایران،
صندوق پستی ۱۱۶۹-۱۴۶۶۵ ○ تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۹۸۹۹۹
○ استفاده از مطالب مندرج در نشریه هیدروژن و پیل سوختی با ذکر منبع مجاز است.
○ کمیته راهبری پیل سوختی آماده دریافت مطالب علمی،
خبری و همچنین پیشنهادات و انتقادات خوانندگان محترم می‌باشد.

www.fcc.gov.ir / info@fcc.gov.ir



HYDROGEN AND FUEL CELL



۴ ○ هیدروژن، گاز طبیعی، یا
بنزین؟ کدام یک؟



۲ ○ طراحی و ساخت
اولین مخزن هیدرید
فلزی در کشور



۱۳ ○ ذخیره سازی هیدروژن
در سال ۲۰۱۰ در یک نگاه



۱۰ ○ اخبار جهان



۸ ○ دستاورد ملی، نگاه ملی



۶ ○ گفتگو با
سید مصطفی ساداتی

ارزیابی عملکرد پروژه‌ها بایستی به گونه‌ای باشد که امکان سنجش و اندازه‌گیری کار و نتیجه به دست آمده از کار را با مقیاس و شاخصی که کمیت و کیفیت مورد نظر را به دقت و به گونه‌ای عینی و به دور از داورهای شخصی و ملاک‌های مبهم، ارزشیابی و اندازه‌گیری کند فراهم نماید. ارزیابی در انتهای پروژه در شناخت نقاط ضعف و همچنین روش‌های ارتقا و بهبود عملکردهای مختلف، خصوصاً مدیریت پروژه‌ها مؤثر بوده و امکان اتخاذ شیوه‌های بهتر در مدیریت‌های آینده را فراهم می‌آورد. بدیهی است ارزیابی در خلال پروژه‌ها به جهت درک هرگونه مغایرت در هدایت صحیح پروژه‌ها که می‌تواند در انتهای پروژه منجر به ضرر و زیان گردد و با اعمال سیاست‌ها و تصمیمات و خط‌مشی‌های مقتضی می‌توان آنها را اصلاح و بهبود نمود نیز می‌تواند کارایی خود را داشته باشد. در مقوله ارزیابی آنچه بایستی به دقت مدنظر قرار گیرد شاخص‌های ارزیابی عملکرد است که باید:

- مخصوص، معین، مشخص، جامع، مانع و شفاف
- قابل اندازه‌گیری و سنجش
- قابل دستیابی و حصول
- واقع‌گرایانه و مطابق با فعالیت‌ها و ماموریت‌ها و خط‌مشی‌ها و
- دوره‌زمانی معینی داشته باشد

به منظور فراهم نمودن ارزیابی عملکرد پروژه «طراحی و ساخت سیستم تولید همزمان برق و حرارت پیل‌سوختی ۵ کیلووات پلیمری با هدف تدوین دانش فنی» و بنا به سنت ارائه نتایج پروژه‌ها در سازمان انرژی‌های نو ایران و هم‌چنین با توجه به پیشنهاداتی که در نشست حاشیه‌ای سمینار پیل‌سوختی در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی و آخرین جلسه کمیته راهبری پیل‌سوختی مطرح گردید، سمینار ارائه نتایج پروژه مذکور با اطلاع‌رسانی ویژه و دعوت گسترده از ذینفعان از جمله وزارت نیرو، کمیسیون امور زیربنایی صنعت و محیط زیست، مرکز همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری، پژوهشگاه صنعت نفت، سازمان حفاظت محیط زیست، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران، وزارت جهاد کشاورزی، وزارت دفاع، معاونت پژوهش و فناوری وزارت نفت، اعضای کمیته راهبری پیل‌سوختی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، پژوهشگاه مواد و انرژی، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فناوری دفاعی شمال، پژوهشگاه هوا فضا، دانشگاه‌های خواجه نصیرالدین طوسی، صنعتی شریف، صنعتی اصفهان، تربیت مدرس، صنعتی نوشیروانی بابل، تهران، علم و صنعت ایران، صنعتی امیرکبیر، تربیت دبیر شهید رجایی، کاشان، صنعت آب و برق اصفهان و آزاد اسلامی و انجمن‌های برق و الکترونیک، مکانیک، شیمی، پلیمر و شرکت‌های خصوصی فعال در این حوزه با حضور بیش از ۱۵۰ نفر از مدعوین در تاریخ ۸۹/۱۰/۲۱ برگزار گردید که با تلاش‌های به عمل آمده و حضور مدیران، اساتید و نخبگان و دانشجویان و فعالان این حوزه فضای نقد منصفانه و بررسی نقاط قوت و ضعف این پروژه فراهم گردید.

این مجال نه فقط به منظور صحنه‌گذاری بر نتایج ارائه شده فراهم شد (اگرچه این امر نیز توسط نخبگان و اساتید حاضر در جمع مورد تأیید قرار گرفت و به عنوان یک دستاورد ارزشمند علمی برای کشور ارزیابی گردید) بلکه به منظور به چالش کشیدن نتایج پروژه و بالابردن سطح فناوری و به تبع آن افزایش انتظارات ذی‌نفعان، هم‌اندیشی به منظور تصحیح اهداف و مسیرهای آتی و همچنین وفاق بیشتر در علاقه‌مندان و فعالان این فناوری تشکیل گردید که امید آن می‌رود که حاصل نقد نقادان منصف چراغ راه مسیر رهروان باشد و هم‌اندیشی‌ها، منجر به هم‌افزایی گردد.

چکیده

در این مقاله، طراحی و ساخت مخزن هیدرید فلزی با ظرفیت ذخیره سازی ۲۰۰ لیتر استاندارد هیدروژن با مشخصات هیدروژنی آن گزارش شده است. برای پر کردن این مخزن از ترکیبات پایه AB_5 استفاده شده است. درصد ذخیره سازی وزنی نیز ۱/۶۴ به دست آمده است که قابل رقابت با نمونه های خارجی است. برای ارزشیابی بهتر مخزن ساخته شده مقایسه ای بین این مخزن و مخزن SC-0300 ساخت شرکت HBank Technology صورت گرفته است.

مقدمه

پایان یافتن سوخت های فسیلی از یک سو و آلاینده های آنها از سوی دیگر دستیابی به فناوری های انرژی های پاک و تجدیدپذیر را اجتناب ناپذیر کرده است. از جمله مهم ترین فناوری های روز که تحقیقات وسیعی برای توسعه و کاربردی کردن آن صورت گرفته است، فناوری پیل سوختی و سوخت پاک هیدروژنی است. اما مهم ترین مشکل در استفاده از سوخت هیدروژنی، ذخیره سازی با بهره بالا می باشد. بنابراین ذخیره سازی هیدروژن به عنوان سوخت، عامل مهمی در کاربردی کردن این فناوری به شمار می آید. روش هایی همچون مخازن پرفشار، مخازن هیدروژن مایع، مخازن هیدرید فلزی، نانولوله های کربنی و MOF ها برای ذخیره سازی هیدروژن مطرح می باشند. با توجه به قابلیت انفجار و احتراق هیدروژن، مخازن هیدروژنی پرفشار و مایع از امنیت کمی برخوردار هستند، علاوه بر اینکه استفاده از مخازن هیدروژن مایع بسیار هم پرهزینه می باشد. ذخیره سازی هیدروژن در نانولوله های کربنی هنوز در مرحله تحقیقات قرار دارد و نتیجه مطلوبی حاصل نشده است. اما ذخیره سازی هیدروژن به روش هیدرید فلزی علاوه بر امنیت بالای این مخازن به خاطر فشار پایین آنها، بهره ذخیره سازی نسبتاً قابل قبولی نسبت به مخازن پرفشار و مایع دارد و استفاده از آنها نیز هزینه کمتری نسبت به مخازن هیدروژن مایع در بر دارد. این مخازن علاوه بر ایمنی بالا دارای ظرفیت زیادی برای ذخیره هیدروژن بوده و در دمای محیط به راحتی هیدروژن را با شار ثابت تحویل می دهند. این مخازن با توجه به فشار خروجی آنها، برای کاربردهای پیل سوختی بسیار مناسب و قابل قبول می باشند.

از میان آلیاژهای جاذب هیدروژن آلیاژهای AB_5 به علت دارا بودن مشخصات هیدروژنی مناسب همچون کار در دمای محیط، فعال سازی آسان، واکنش سریع فرآیند جذب و واجدنی که تقریباً هم برابر هستند و سیکل پذیری فوق العاده به عنوان آلیاژ کاربردی و تجاری ذخیره کننده هیدروژن مطرح و مورد استفاده می باشند به نحوی که اکثر مخازن هیدرید فلزی موجود در بازار معمولاً از نوع آلیاژهای AB_5 ساخته شده اند. بیشتر آلیاژهای پایه AB_5 حاکی کمیاب معمولاً دارای ساختار هگزگونال $CaCu_5$ با گروه فضایی $P6/mm$ هستند.

در مقاله ای که در سومین سمینار پیل سوختی توسط نویسنده ارائه شد به تولید و فعال سازی آلیاژ $LaNi_5$ و مشخصات هیدروژنی آن اشاره شد. در این مقاله با استفاده از آلیاژ پایه AB_5 تولید شده مخزنی جهت ذخیره سازی هیدروژن طراحی و ساخته شد که در ادامه به مشخصات آن اشاره می شود. از طرف دیگر برای بررسی بهتر مخزن ساخته شده مشخصات هیدروژنی آن با مخزن SC-0300 تولید شده توسط شرکت HBank Technology که در حال حاضر به صورت تجاری در بازار موجود می باشد مقایسه ای انجام شده است. علت این انتخاب نزدیکی ابعاد و مشخصات مخزن ساخته شده و این مخزن می باشد.

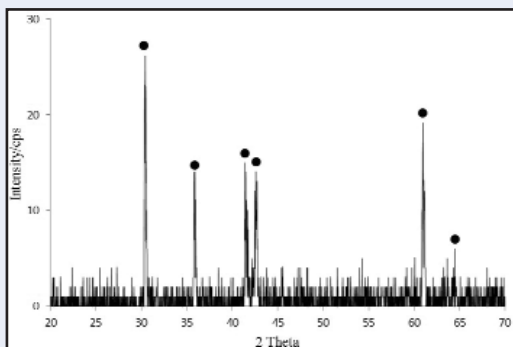
روش آزمایش

مقدار ۱۵۰۰ گرم مواد اولیه با خلوص بالای ۹۹/۹٪ برای تولید آلیاژ $LaNi_5$ به روش ذوب با کوره القایی (VIM) استفاده شده و جهت همگنی بیشتر آلیاژ نیز دو دفعه بازذوب شده است. آلیاژ تولید شده به کمک دستگاه خردکن تا ابعاد میلی متری خرد گردید. مقداری از مواد جهت آنالیز XRD و مقدار ۱۰۰۰ گرم نیز برای پر کردن مخزن استفاده شد. برای فعال سازی آلیاژ، ماده درون راکتوری از جنس استیل قرار داده شده و با استفاده از کوره الکتریکی و تحت خلاء 10^{-6} میلی بار گاززدایی و عملیات حرارتی انجام شد. دمای کوره با گام های ۱۰۰ درجه ای افزایش یافته و در هر مرحله به مدت نیم ساعت دما ثابت نگه داشته شد و در نهایت نیز به مدت ۳ ساعت در دمای ۸۷۳ کلوین تحت خلاء نگه داشته شد. سپس مواد درون محفظه خنثی با اتمسفر آرگون به مخزنی از جنس استیل منتقل شدند. در ادامه فعال سازی، عملیات تزریق هیدروژن و واجد آن چندین بار تکرار شد تا نمونه فعال شده و به مقدار بیشینه جذب خود برسد. سپس با استفاده از دستگاه سیورت ساخته شده، سینتیک جذب و واجد مخزن در دو حالت انتقال حرارت با آب و هوا در دمای ثابت ۲۹۰ کلوین اندازه گیری و نمودارهای آن رسم شد. گاز هیدروژن استفاده شده دارای خلوص ۹۹/۹۹٪ و فشار تزرفی آن حداکثر ۲۰ بار بود.

شرح آزمایش

در شکل ۱ طیف XRD نمونه تهیه شده نشان داده شده است که با بررسی آن تشکیل فاز میان فلزی $LaNi_5$ به اثبات رسید. قله های موجود در طیف که با دایره سیاه رنگ نشان داده شده اند، نشان دهنده تشکیل کامل آلیاژ میان فلزی $LaNi_5$ می باشند.

شکل ۱. طیف XRD آلیاژ $LaNi_5$ تهیه شده به روش ذوب



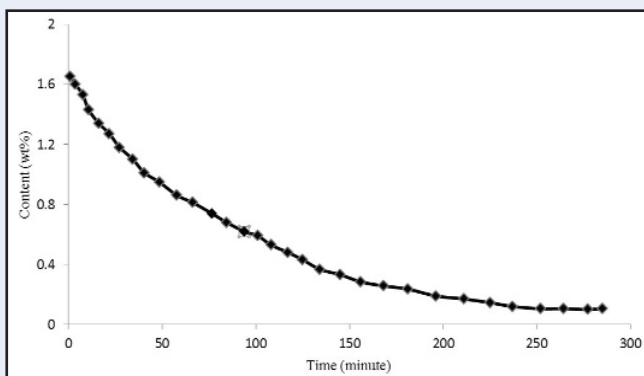
همانطور که از شکل ۱ مشخص است تمام قله ها فاز $LaNi_5$ را نشان می دهند و هیچ قله ای دال بر وجود عناصر La و Ni نمی باشد.

طراحی و ساخت اولین مخزن هیدرید فلزی در کشور

نویسندگان: سید مصطفی ساداتی، حسین تارقلی زاده و امید بیات از دانشگاه صنعتی مالک اشتر چاپ شده در چهارمین سمینار پیل سوختی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی



شکل ۴ سینتیک وا جذب اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. از مزایای آلیاژ LaNi₅ وا جذب نسبتاً کامل مقدار هیدروژن جذب شده است. با انجام آزمایشات مختلف مشخص شد که مخزن در دمای محیط تا دمای ۷۰ درجه دشارژ می‌شود. اما در صورتی که در دمای محیط بخواهد دشارژ شود برای دشارژی پایدار باید حتماً در آب گرم قرار گیرد. زیرا افت دمای مخزن، ناشی از وا جذب گاز، مانع از وا جذب کامل و پایدار می‌شود. لذا برای داشتن جریان پایدار از گاز دشارژ شده در هر دمایی باید دما ثابت نگه داشته شود.



شکل ۴- سینتیک وا جذب LaNi₅ در دمای ۳۲۳ K

از نکات قابل توجه به دست آمده مقایسه فشار گاز تزریقی در حین شارژ کردن مخزن است. همانطور که در جدول ۱ نیز آمده است مخزن SC-0300 با فشار ۲۵ الی ۳۵ بار شارژ می‌شود در حالی که مخزن ساخته شده با فشار ۱۷ الی ۲۵ بار شارژ می‌شود.

پارامتر	مخزن ساخته شده	HB-SC-0300-N	واحد
ظرفیت ذخیره‌سازی هیدروژن	۲۰۰	۳۰۰	لیتر
درصد ذخیره‌سازی هیدروژن	۱/۶۴	۱/۶۵	درصد وزنی
خلوص هیدروژن شارژ	۹۹/۹۹۹	۹۹/۹۹	درصد
خلوص هیدروژن دشارژ	۹۹/۹۹۹۹	۹۹/۹۹۹۹	درصد
دمای شارژ	۰-۳۰	۰-۳۵	سانتی‌گراد
دمای دشارژ	۵-۷۰	۵-۶۰	سانتی‌گراد
فشار لازم برای شارژ	۱۷-۲۵	۲۵-۳۵	بار
فشار هیدروژن دشارژ	۲ >	۲ >	بار
زمان شارژ	در هوا	۱۸۰	۳۰ دقیقه
	در آب	۲۰	۳۵ دقیقه
روش انتقال حرارت	با هوا/ با آب	با هوا/ با آب	-
ابعاد	۶۰×۲۲۰	۶۰×۲۸۰	میلی‌متر
وزن مخزن	۲۵۰۰	۳۱۰۰ >	گرم
وزن ماده	۱۰۰۰	۱۴۵۰	گرم

جدول ۱- مقایسه مشخصات هیدروژنی مخزن ساخته شده و مخزن خارجی

نتیجه‌گیری

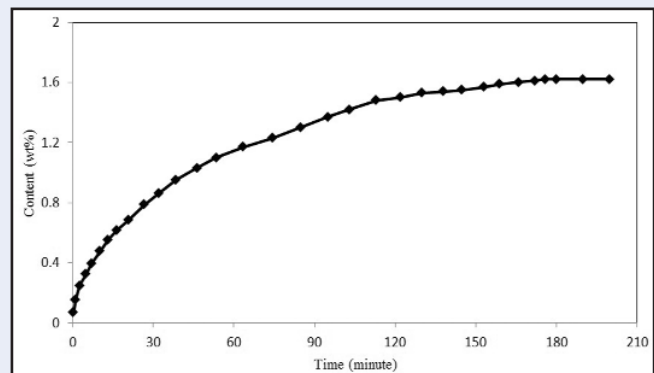
در این کار برای اولین بار در کشور مخزن هیدرید فلزی طراحی و ساخته شد و مقایسه مشخصات هیدروژنی آن با مخزن تجاری شرکت HBank Technology نشان‌دهنده موفقیت و صحت تمامی مراحل از تولید آلیاژ، فعال‌سازی و جذب هیدروژن و طراحی و ساخت مخزن می‌باشد. با موفقیت در این کار و دستیابی به دانش فنی مخازن هیدرید فلزی، زمینه برای طراحی و ساخت مخازن بزرگتر که به وسیله آب‌گرد خنک می‌شوند فراهم شده است. دسترسی به این فناوری گام بسیار مهمی در زمینه توسعه پیل‌های سوختی و حمل و نقل پاک خواهد بود. از طرفی می‌توان از این مخزن برای پیل‌های سوختی مورد آزمایش کوچک نظیر خودروهای کوچک نیز استفاده نمود.

اکسیدهای سطحی و گازهایی که به‌طور ناخواسته جذب سطحی ماده شده‌اند و تنش‌ها و خرابی‌های آلیاژ مانع از فعال‌سازی درست آلیاژ و رسیدن به حداکثر ظرفیت جذب می‌شوند، لذا قبل از فعال‌سازی به روش شارژ و دشارژ هیدروژنی، ماده تحت گاززدایی و تحت عملیات حرارتی قرار گرفت. زمانی که دمای نمونه به ۶۲۳ تا ۶۷۳ درجه کلوین رسید فشار راکتور افزایش یافت که نشان‌دهنده آزاد شدن گازها و اکسیدهای سطحی ماده می‌باشد.

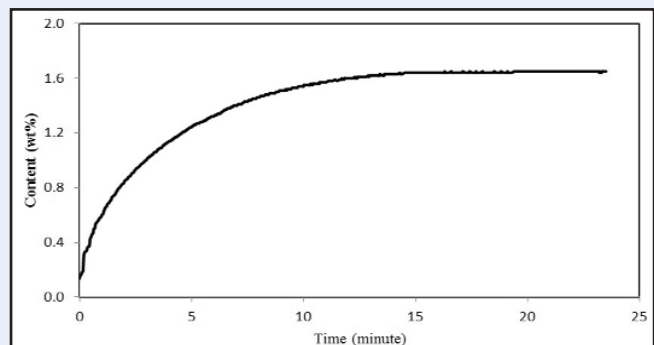
انتقال ماده از راکتور به مخزن در هوای باز، باعث کثیف شدن مجدد سطح ماده می‌شود لذا از محفظه خنثی برای این امر استفاده شد. پس از قرار دادن ماده درون مخزن با تکرار سه سیکل جذب و وا جذب هیدروژن، ماده فعال گشته و به بیشینه جذب خود رسید. در هر مرحله جذب، نمونه تحت فشار حداکثر ۲۰ بار گاز هیدروژن قرار گرفت و مرحله به مرحله مقدار جذب افزایش پیدا کرد. در حین جذب هیدروژن، به دلیل گرمای آزاد شده از واکنش ماده با هیدروژن، دمای بدنه مخزن تا ۳۵۳ درجه کلوین افزایش پیدا کرد که برای جذب کامل، لازم است این گرما دفع شود. لذا مخزن درون آب سرد قرار داده شد. در حین وا جذب نیز به علت گرماگیر بودن واکنش، دمای مخزن تا ۲۷۳ درجه کلوین افت کرد بنابراین برای وا جذب کامل، مخزن درون آب گرم ۳۴۳ درجه کلوین قرار گرفت.

پس از فعال‌سازی کامل، به دو روش سینتیک ذخیره‌سازی مخزن اندازه‌گیری شد: ابتدا با آب‌گرد و برداشت حرارتی به وسیله آب و سپس بدون آب‌گرد و برداشت حرارتی به وسیله هوا و محیط اطراف. شکل‌های ۲ و ۳ نمودار سینتیک جذب هیدروژن توسط مخزن را در این دو حالت نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود سرعت جذب مخزن ساخته شده قابل رقابت با مخزن HB-SC-0300-N می‌باشد. در هر دو حالت یعنی انتقال حرارت به وسیله آب و هوا جذب کامل به ترتیب در مدت زمان ۲۰ دقیقه و ۳ ساعت رخ داده که در مقایسه با مخزن SC-0300 کمتر است. علت این امر به سه دلیل می‌تواند باشد: ۱. مقدار ماده موجود در مخزن ساخته شده کمتر از مخزن SC-0300 می‌باشد. مقدار ماده بیشتر یعنی تولید حرارت بیشتر و انتقال حرارت سخت‌تر. ۲. در مخزن SC-0300 از قرص‌های متخلخل آلیاژ استفاده شده که باعث افت شدت انتقال حرارت می‌گردد. در حالیکه در مخزن ساخته شده از قرص استفاده نشده است. ۳. روش ساخت، فعال‌سازی، خلوص مواد اولیه و پارامترهای صنعتی دو مخزن نیز متفاوت می‌باشد که همگی می‌توانند عاملی بر تفاوت مشخصات هیدروژنی باشند.

در جدول ۱ مشخصات هیدروژنی مخزن ساخته شده با مخزن تجاری SC-0300 محصول شرکت H-Bank Technology مقایسه شده است.



شکل ۲- سینتیک جذب هیدروژن توسط مخزن با انتقال حرارت از طریق هوا



شکل ۳- سینتیک جذب هیدروژن توسط مخزن با انتقال حرارت از طریق آب

هیدروژن، گاز طبیعی، یا بنزین؟ کدام یل؟

هیدروژن به دنبال سکوی برتر

نویسندگان: مینا اعتمادی، مهرداد طاهران
منابع: کتاب هیدروژن، تولید، ذخیره سازی و ایمنی، عبدالله میرزایی
alternativefuel.com . hydrogenassociation.org

خودروهای گاز سوز نسبت به خودروهای بنزینی تمیزتر بوده و به میزان ۶۰ درصد مونوکسیدکربن و ده درصد دی‌اکسیدکربن کمتر تولید می‌کند ولی بازم این آلودگی قابل توجه است و برای از بین بردن آلودگی ایجاد شده توسط مشتقات نفتی، انجام عملیات پاکسازی لازم است و در نهایت نیز با وجود این تلاش‌ها باز هم به خاطر جذب این مواد صدمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد می‌شود.

• رنگ، بو و مزه

هیدروژن بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه است در نتیجه شناسایی آن به‌وسیله حواس انسان ممکن نیست از این‌رو در صنعت از حسگرهای هیدروژن برای شناسایی نقاط نشت و بالا بردن ضریب ایمنی در طول سالیان کاربرد این گاز استفاده می‌شود. گاز طبیعی هم از همین ویژگی‌ها برخوردار است اما به دلیل افزودن مرکبات‌ها به آن به گازی قابل تشخیص برای مردم تبدیل شده است. ولی از آن‌جا که برای معمول‌ترین کاربرد هیدروژن یعنی پیل‌های سوختی وجود ناخالصی به‌ویژه ترکیبات گوگرد در این گاز اثرات سوئی بر عملکرد آن‌ها دارد، نمی‌توان از افزودنی‌های بودار استفاده کرد. امروزه محققان به دنبال روش‌ها و دستگاه‌هایی برای شناسایی بهتر هیدروژن هستند.

• اشتعال پذیری

شاید باور عمومی این باشد که هیدروژن از همه سوخت‌ها خطرناک‌تر است اما در صورتی که نگهداری و حمل آن مانند سایر سوخت‌ها مطابق استانداردها انجام شود، خطرات احتمالی آن مشابه دیگر سوخت‌ها خواهد بود. از طرفی سبکی، ضریب نفوذ بالا و کوچک بودن اندازه مولکول هیدروژن موجب شده این گاز به راحتی مشتعل نشود. به منظور مقایسه ایمنی سوخت‌های مطرح شده توجه به چندین فاکتور دیگر از جمله انرژی مورد نیاز برای شروع احتراق، سرعت اشتعال، دمای احتراق خودبه‌خودی، نقطه اشتعال و عدد اکتان ضروری است.

۱. انرژی مورد نیاز برای شروع احتراق

انرژی مورد نیاز برای شروع احتراق هیدروژن به مقدار قابل توجهی کمتر از سایر سوخت‌ها مانند بنزین و گاز طبیعی است ولی با این اوصاف در غلظت‌های کم (زیر ۱۰ درصد) این انرژی بسیار شبیه به انرژی مورد نیاز برای شروع احتراق گاز طبیعی و بنزین در محدوده قابلیت اشتعال آن‌هاست. اما با افزایش غلظت و رسیدن به نسبت استوکیومتری در هوا (معمولاً ۲۹ درصد) این انرژی به ترتیب تا حد یک پانزدهم و یک دهم همین انرژی برای گاز طبیعی و بنزین افت می‌کند. بنابراین هیدروژن به سرعت می‌سوزد ولی چنانچه تحت فشارهایی مانند فشارهای وارده در حین تصادفات قرار گیرد و محیط بسیار باز باشد، قبل از آن که مشتعل شود به سرعت پخش شده که در این صورت با کاهش غلظت هیدروژن در محیط خطر آن مانند سایر سوخت‌ها و یا حتی کمتر خواهد بود. البته اگر محیط بسته باشد دیگر این بحث صادق نیست.

۲. سرعت اشتعال

سرعت اشتعال که به سرعت انتشار شعله احتراق درون یک گاز قابل انفجار گفته می‌شود، برای هیدروژن ۳/۲۵-۲/۶۵، گاز طبیعی ۰/۶۷ و بنزین ۰/۸۳ متر بر ثانیه است. بنابراین آتش حاصل از سوختن هیدروژن سریع و در نتیجه نسبتاً کم دوام است. این مسأله تحت شرایط استوکیومتری، به این معناست که موتورهای هیدروژنی به سیکل ترمودینامیکی ایده‌آل نزدیکتر هستند و برای موتورهای

امروزه بنزین و گاز طبیعی به عنوان رایج‌ترین سوخت‌ها شناخته می‌شوند و هیدروژن به عنوان یکی از سوخت‌های جدید با در نظر گرفتن مزایای چشمگیر آن از جمله توانایی تولید از مجموعه متنوعی از منابع به‌ویژه منابع تمام نشدنی و پاک سوز بودن آن همه توجهات را برای حرکت به سوی انرژی پاک به سمت خود جلب کرده است و در این راستا بیشتر مراکز تحقیقاتی دنیا به دنبال جایگزینی هیدروژن با بنزین و گاز هستند. ولی به راستی هیدروژن چه مزیتی غیر از منابع تمام نشدنی و عدم تولید گازهای گلخانه‌ای دارد؟ آیا از لحاظ محتوای انرژی و ایمنی نیز برتری با هیدروژن است؟

برای ارایه تصویر روشنی از مزایا و معایب هیدروژن می‌توان این‌گونه بیان کرد:

• محتوای انرژی

محتوای انرژی همان مقدار ثابت انرژی حاصل از سوختن واحد جرم یک سوخت به طور کامل با هواست و با کمیتی تحت عنوان ارزش گرمایی پایین و بالا بیان می‌شود. بر اساس بخش انرژی کتاب «هیدروژن» نوشته دکتر زیتل، با مقایسه چگالی جرمی انرژی (محتوای انرژی) سوخت‌های مختلف می‌توان دریافت که هیدروژن بالاترین نسبت انرژی به جرم را داراست چراکه هیدروژن کوچک‌ترین و سبک‌ترین عنصر دنیاست. انرژی یک کیلوگرم هیدروژن برابر انرژی ۲/۴ کیلوگرم گاز طبیعی و ۲/۷ کیلوگرم بنزین است. این رده بندی در مورد چگالی حجمی انرژی که نشان‌دهنده میزان تراکم اتم‌های یک سوخت است، برقرار نمی‌باشد؛ زیرا هیدروژن از چگالی کمی برخوردار است (0.089 kg/m^3) در مقایسه با چگالی 0.717 kg/m^3 گاز طبیعی و 7.17 kg/m^3 بخارات بنزین (به‌گونه‌ای که مقدار این چگالی 2.36 kWh/l برای هیدروژن مایع، 5.8 kWh/l برای گاز طبیعی و 12.8 kWh/l برای بنزین می‌باشد) یعنی برای تبدیل یک خودروی بنزینی به هیدروژنی، با هدف تولید مقدار انرژی یکسان به مخزنی با حجم چهار برابر نیاز است البته ناگفته نماند که هیدروژن $1/33$ برابر مؤثرتر از بنزین در خودرو می‌سوزد. از طرفی پایین بودن چگالی انرژی حجمی هیدروژن با بالاتر بودن بازدهی سامانه‌های مصرف‌کننده این سوخت مانند پیل‌های سوختی جبران می‌شود.

• فراریت

با توجه به این واقعیت‌ها که هیدروژن به دلیل چگالی پایین ۱۵ برابر سبک‌تر از هواست و با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه در هوا حرکت می‌کند که شش برابر سرعت انتشار گاز طبیعی است و از ضریب نفوذ بالایی در هوا برخوردار است، اگر در محیط آزاد شود، به راحتی پراکنده شده و به سرعت محیط را ترک می‌کند و احتمال وقوع آتش‌سوزی بسیار پایین می‌آید. در مقابل بخارات بنزین که تقریباً چهار برابر سنگین‌تر از هوا هستند و ضریب نفوذ نسبتاً پایینی در هوا دارند به سرعت غلظت آن‌ها در محیط بالا رفته و همین امر خطر آتش‌سوزی را جدی‌تر می‌نماید.

• سمیت

هیدروژن سمی نیست و نه آب‌های زیرزمینی و نه اتمسفر را آلوده می‌کند. سوختن آن هم دود به همراه ندارد. از طرفی خروجی خودروهای هیدروژنی هم چیزی جز آب خالص نیست. در مقابل بنزین و دیگر مشتقات نفتی به دلیل داشتن ترکیبات آروماتیکی بسیار سمی هستند و هنگامی که در محیط رها می‌شوند به انسان‌ها و دیگر جانداران آسیب جدی می‌رسانند. هر چند گازهای خروجی از آگزوز

بی‌امو با انجام یک سری تست تصادف خودرو نشان داد ایمنی سوخت هیدروژن در حد قابل قبولی است.



درون سوز، توربین‌های گازی و موتورهای جت سوخت مناسبی به شمار می‌آیند

۳. نقطه اشتعال

کمترین دمایی است که سوخت‌های مایع فرار می‌توانند در آن تبدیل به بخار شده و مخلوطی قابل احتراق با هوا پدید آورند و برای سوخت‌های گازی مانند هیدروژن این دما کمتر از دمای مایع شدن می‌باشد. نقطه اشتعال هیدروژن کمتر از ۲۵۳- (نقطه مایع شدن)، گاز طبیعی ۱۸۸- و بنزین ۴۳- درجه سانتی‌گراد است. بنابراین می‌توان دریافت که در دماهای معمول و در صورت فراهم بودن شرایط احتراق، خطر اشتعال هیدروژن به مراتب بسیار بیشتر از سایر سوخت‌هاست.

۴. دمای احتراق خودبه‌خودی

این حداقل دما برای آغاز احتراق در شرایط عدم حضور یکی از منابع آتش و احتراق برای هیدروژن بالا بوده و نزدیک ۵۸۵ درجه سانتیگراد است که این نشان می‌دهد مخلوط هیدروژن و هوا به سختی بدون اضافه شدن منبع حرارت آتش می‌گیرند. دمای احتراق خودبه‌خودی بنزین ۴۸۰- تا ۲۳۰ و گاز طبیعی ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بنابراین هیدروژن از همه سوخت‌ها در این خصوص ایمنی بالاتری دارد.

۵. عدد اکتان

عدد اکتان نشان دهنده پایداری در احتراق خودبه‌خودی سوخت، تحت فشار تراکم بوده و در اندازه‌گیری به‌سوزی به کار می‌رود که در رابطه با بنزین این عدد بین ۸۰ تا ۹۸ گاز طبیعی ۱۱۰ تا ۱۲۵ و هیدروژن ۱۳۰ می‌باشد. عدد اکتان بالاتر به معنای اجازه نسبت تراکم بالاتر در موتور و بالتبع افزایش توان و بالا رفتن راندمان سوخت می‌باشد.

۶. محدوده قابلیت اشتعال

هیدروژن در مقایسه با دیگر سوخت‌ها در محدوده وسیعی قابل اشتعال است (۴-۷۵٪) یعنی موتور می‌تواند در نسبت‌های مختلفی از مخلوط هوا به سوخت کار کند. یک مزیت مهم آن مشتعل شدن هیدروژن حتی در مخلوط‌های رقیق می‌باشد و به همین علت است که موتورهای هیدروژنی واقعاً به‌آسانی روشن می‌شوند. اشتعال گاز طبیعی فقط در محدوده خاصی از نسبت‌های اختلاط با هوا اتفاق می‌افتد که حد پائین آن ۵/۳ و حد بالای آن ۱۵ درصد حجمی در هوا می‌باشد و این محدوده برای بنزین ۷/۱۶-۱/۴ است. بنابراین هر چند هیدروژن به انرژی بسیار کمی برای شروع احتراق احتیاج دارد ولی به دلیل این‌که در عمل حد پایین اشتعال‌پذیری از اهمیت بیشتری برخوردار است، مقایسه حد پایین اشتعال این سه نوع سوخت حاکی از خطر کمتر هیدروژن نسبت به بنزین و خطر بیشتر نسبت به گاز طبیعی است.

۷. انفجار

تا زمانی که هیدروژن به تنهایی در مخزنی وجود داشته باشد، انفجار رخ نمی‌دهد ولی حضور یک اکسیدکننده مانند اکسیژن با غلظت حداقل ۱۰ درصد به صورت خالص و یا ۴۱ درصد هوا موجب انفجار خواهد شد. هیدروژن در محدوده غلظت ۱۸/۳ تا ۵۹ درصد در هوا در محیط بسته قابل انفجار است. هرچند این گستره وسیع است ولی باید به خاطر داشت که خطر انفجار بنزین در غلظت‌های بسیار پایین‌تر یعنی ۱/۱ تا ۳/۳ درصد وجود دارد. از طرفی مقایسه انرژی ناشی از انفجار این سوخت‌ها (بر اساس داده‌های جدول) نشان‌دهنده خطر بسیار بالای انفجار بنزین می‌باشد. همچنین احتمال انفجار هیدروژن در یک محیط باز بسیار کم است چرا که به‌سرعت در هوا منتشر شده که دقیقاً برعکس رفتاری است که از گازهای سنگین‌تر مانند بخارات بنزین دیده شده است.

۸. شعله و تشعشع حرارتی

شعله‌های هیدروژن به رنگ آبی بسیار کم‌رنگ است و از این رو تقریباً نامرئی است که ناشی از نداشتن دود است. اما مزیت آتش حاصل از هیدروژن، وجود آن فقط در منطقه نشت می‌باشد چرا که گاز هیدروژن به علت سبکی و قابلیت نفوذ بالا به سرعت منتشر شده و آتش حاصل از آن عمودی و

بسیار متمرکز و موضعی است و همین مسأله باعث ایمن‌تر بودن آتش آن است. اگر مخزن یک خودروی هیدروژنی به دلیل نقص آتش بگیرد چنانچه در تصویر بالا (۶۰ ثانیه بعد از شروع اشتعال) دیده می‌شود، شعله‌های آتش از خودرو فاصله دارند و در حال فروکش کردن است، در حالی که آتش بنزین بسیار فراگیر بوده و به سرعت در حال گسترش است. بعد از ۱۰۰ ثانیه کل ذخیره‌ی هیدروژن به اتمام می‌رسد و آتش خاموش می‌شود بدون این‌که به داخل خودرو آسیبی رسیده باشد (حداکثر دمای داخل خودرو در نزدیکی شیشه عقب تنها ۲۰ درجه سانتی‌گراد است) ولی خودروی بنزینی چندین دقیقه در آتش می‌سوزد و کاملاً تخریب می‌شود.

از طرفی آتش حاصل از هیدروژن درخشش شعله و تشعشع حرارتی بسیار کمی دارد زیرا از سوختن هیدروژن ابتدا آب و حرارت تولید می‌شود که به دلیل عدم حضور کربن، حرارت تولیدی توسط بخارابی که در حین سوختن تولید شده جذب می‌گردد و نتیجه مستقیم آن بسیار کم شدن میزان تشعشع حرارتی شعله‌های آتش هیدروژن نسبت به آتش هیدروکربن‌هاست. بنابراین با توجه به این‌که فقط خود شعله داغ است و گرمای کمی به اطراف منتشر می‌کند، خطر ثانویه آتش کم بوده و این امر از نظر عموم و به‌ویژه مأموران آتش‌نشانی بسیار حائز اهمیت است. خلاصه فاکتورهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

بر طبق اعلام ناسا، در ۷۱ درصد از حوادث مربوط به حمل و جابه‌جایی هیدروژن، نشت این گاز منجر به آتش‌سوزی نشده است.

خواص		بنزین	گاز طبیعی	هیدروژن
انرژی گرمایی پایین (چگالی جرمی انرژی) (kJ/g)				
۴۴/۵	۵۰/۰۲	۱۱۹/۹۳		
ضریب نفوذ در هوا (cm ² /s)				
۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۶۱		
حداقل انرژی احتراق (mJ)				
۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۱۹		
سرعت اشتعال (m/s)				
۰/۸۳	۰/۶۷	۲/۶۵-۳/۲۵		
نقطه اشتعال (°C)				
۴۳	-۱۸۸	< -۲۵۳		
دمای احتراق خودبه‌خودی (°C)				
۲۳۰-۴۸۰	۵۴۰	۵۸۵		
عدد اکتان				
۸۰-۹۸	۱۱۵-۱۲۰	۱۳۰		
محدوده قابلیت انفجار (درصد حجمی در هوا)				
۱/۱-۳/۳	۵/۷-۱۴	۱۸/۳-۵۹		
انرژی انفجار (kg TNT.m ³)				
۴۴/۲۲	۷/۰۳	۲/۰۲		
محدوده قابلیت اشتعال (درصد حجمی در هوا)				
۱/۴-۷/۶	۵/۳-۱۵	۴-۷۵		

جدول ۱- ویژگی‌های سوخت‌های بنزین، گاز طبیعی و هیدروژن

نتیجه‌گیری

نمی‌توان گفت خطر هیدروژن کمتر یا بیشتر از سایر سوخت‌های اشتعال‌پذیر مانند بنزین و گاز طبیعی است. در حقیقت برخی از تفاوت‌های هیدروژن واقعاً باعث برتری این سوخت به لحاظ ایمنی نسبت به سوخت‌های دیگر شده است. جایگزینی هیدروژن با سوخت‌های رایج نظیر بنزین و گاز طبیعی علاوه بر رفع نگرانی از بابت کمبود انرژی و همچنین آلودگی هوا، مزیت‌های نسبی دیگری برای جامعه جهانی به همراه خواهد داشت. با استفاده از هیدروژن به جای بنزین، در صورت نشر آن امکان انفجار و ایجاد آسیب‌های زیست‌محیطی تا حد امکان کاهش می‌یابد. حتی در مقایسه با گاز طبیعی نیز استفاده از هیدروژن با توجه به چگالی انرژی بیشتر باعث کاهش وزن سامانه‌های قابل حمل تولید انرژی می‌شود. بنابراین در کل هیدروژن از بنزین ایمن‌تر است، چراکه ویژگی‌های سوختن آن به‌گونه‌ایست که در مجموع برای خودرو خطر کمتری به همراه دارد.

هیدروژن به‌طور بالقوه نسبت به بنزین سوخت بهتری است؛ در صورتی که روش‌های کنترلی مناسبی اتخاذ گردد.

گفتگو با سید مصطفی ساداتی دانشگاه صنعتی مالک اشتر

s.mo.sadati@gmail.com



دانشگاه صنعتی مالک اشتر

سید مصطفی ساداتی، سازنده اولین مخزن ذخیره‌سازی هیدروژن از نوع هیدرید فلزی در کشور، پژوهشگر دانشگاه صنعتی مالک اشتر است. وی متولد سال ۱۳۶۱ و فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای از دانشگاه اراک می‌باشد و در تمامی مقاطع تحصیلی حائز رتبه اول بوده است. مهندس ساداتی، پایان نامه کارشناسی ارشد خود با موضوع طراحی و ساخت ستون شتاب‌دهنده الکترواستاتیکی ۲۰۰ کیلوولت را در سازمان انرژی اتمی انجام داد که در طی آن اولین ستون شتاب‌دهنده ایران با موفقیت طراحی، ساخته و آزمایش شد. او به مدت یک سال به عنوان محقق در سازمان انرژی اتمی مشغول به کار شده و از چهار سال پیش تاکنون پژوهشگر و محقق دانشگاه صنعتی مالک اشتر و کارشناس آزمایشگاه خلاء این مرکز می‌باشد. وی جایزه ساخت بهترین دستگاه آموزشی کشور را نیز در سال ۱۳۸۶ از انجمن فیزیک دریافت نمود. در حاشیه چهارمین سمینار پیل سوختی ایران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی گفتگویی با وی انجام شد تا با نوع و وسعت فعالیت‌ها و تحقیقات و هم‌چنین نقطه نظرات او بیشتر آشنا شویم.

● سابقه آشنایی خود با فناوری پیل سوختی و فعالیتی که در این زمینه دارید را بیان کنید.

از اوایل سال ۱۳۸۶ با موضوع فناوری پیل سوختی، سوخت هیدروژن و مخازن هیدرید فلزی آشنا شده و از آن موقع بر روی آلیاژهای جاذب هیدروژن، چگونگی تولید و فعال‌سازی آنها و طراحی و ساخت مخازن هیدرید فلزی مشغول به کار شدم. در حقیقت کار من با آغاز پروژه ساخت مخزن هیدرید فلزی با هدف دستیابی به دانش فنی شروع شد. این پروژه برای اولین بار در کشور انجام شد و به عنوان یک پروژه داخلی در دانشگاه صنعتی مالک اشتر تعریف شده که خوشبختانه با موفقیت کامل و دستاوردهای بی‌نظیری به اتمام رسید. برای انجام پروژه در ابتدا مطالعه و بررسی مواد مختلف جاذب هیدروژن شامل ترکیبات پایه Ti، پایه Mg، پایه La، پایه Pa، پایه Ti-V، پایه Zr و نانولوله‌های کربنی انجام شد. پس از مطالعه و انتخاب آلیاژهای مختلف اقدام به تولید آلیاژها و آزمایش آنها کردیم که به دو مشکل اصلی برخوردیم:

۱. عدم وجود دستگاه سیورت در داخل کشور که برای اندازه‌گیری مشخصات هیدروژنی مواد جاذب هیدروژن لازم است و جزو اقلام تحریمی است. ۲. بالا بودن هزینه تهیه آلیاژ با کوره‌های ذوب VIM و VAR موجود در دانشگاه‌ها. به همین دلیل عزم خود را بر روی طراحی و ساخت دستگاه سیورت و دستگاه ذوب قوس الکتریک ربائیک تحت خلاء (VAR) جزم کرده و در عرض یکسال این دستگاه‌ها با قیمت بسیار پایین‌تر از نمونه‌های خارجی طراحی و ساخته شد.

بعد از آن، با تولید نمونه‌های مختلف به روش ذوب و آلیاژسازی مکانیکی، مشخصات هیدروژنی مواد اندازه‌گیری و تعیین شد. در نهایت با مطالعه انواع مخازن هیدرید فلزی و چگونگی طراحی آنها دو نوع مخزن خنک شونده با هوا و سیال، در ابعاد مختلف و با مواد مختلف جاذب هیدروژن طراحی و ساخته شد. در حال حاضر نیز به دنبال بهینه کردن شرایط شارژ و دشارژ و تولید مواد جاذب هیدروژن با مشخصات بهتر و بهبود مخازن ساخته شده هستیم.

● از مقالات، جوایز و ثبت اختراعات خود بگویید.

تاکنون مقالات متعددی در کنفرانس‌های داخلی از جمله کنفرانس‌های اول، سوم و چهارم پیل سوختی، کنفرانس فیزیک، کنفرانس ماده چگال و ... ارائه نمودم. هم‌چنین هفت اختراع مربوط به هیدروژن در مرحله ثبت است.

● دستاوردهای فنی خود در زمینه فناوری ذخیره‌سازی هیدروژن را به

تفصیل شرح داده و مزایای آن را نسبت به نمونه‌های خارجی برشمرد.

مهم‌ترین هدف پروژه ساخت مخازن هیدرید فلزی دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت از مرحله آلیاژسازی و فعال‌سازی آن تا طراحی و ساخت خود مخزن و سرهم کردن آن بود. برای رسیدن به هدف دو موضوع اصلی تولید آلیاژ جاذب هیدروژن و طراحی و ساخت مخزن مطرح بود. بعد از ساخته شدن دستگاه‌های سیورت و کوره ذوب قوس الکتریک، نمونه‌های آزمایشگاهی زیادی تولید شد و روش‌های فعال‌سازی مختلفی روی مواد اعمال شد تا اینکه بر روی آلیاژهای مختلف با پایه‌های مختلف به جواب‌های مطلوب و منطقی رسیدیم که قابل مقایسه با مقالات و نمونه‌های خارجی بود. همین عمل با آلیاژهایی که با کوره ذوب القایی تهیه شده بود نیز تکرار شد.

در مورد طراحی و ساخت مخزن پس از مطالعات گسترده و بررسی پارامترهای مختلف طراحی مفهومی انجام گرفت و مخازنی در حجم‌ها و ابعاد مختلف طراحی و ساخته شد. در ساخت این مخازن هر دو روش خنک کردن با هوا و سیال ساخته و آزمایش شد. مخازن ساخته شده نه تنها قابل رقابت با نمونه‌های خارجی است بلکه برخی از آنها نتایجی به مراتب بهتر از نمونه‌های خارجی نشان دادند. مهم‌تر اینکه قیمت تجاری این مخازن پایین‌تر از نمونه‌های خارجی درآمده است.

یکی از فناوری‌های مهم دستیابی به دانش فنی ساخت دستگاه سیورت است. جمع‌آوری و خرید قطعات لازم برای این دستگاه به لحاظ اینکه برخی قطعه‌ها در داخل وجود نداشت، دشوار بود. هم‌چنین چون مشخصات کامل دستگاه‌های سیورت خارجی موجود نبود، مقایسه‌ها چندان دقیق نیست ولی به لحاظ کاربردی، دما، فشار و نمونه‌گیری، دستگاه ساخته شده قابل رقابت با نمونه‌های خارجی است. حتی به لحاظ دقت، نتایجی که تا الان گرفتیم با نتایج مقالات و گزارش‌ها مطابقت خوبی داشته است. از طرفی قیمت تمام شده این دستگاه نسبت به خرید

نمونه‌های خارجی چندین برابر کمتر است.

مزیت اصلی دستگاه VAR ساخته شده (قیلاً هم تلاش‌هایی در کشور برای ساخت آن انجام شده بود) نسبت به نمونه‌های موجود در کشور که خارجی هستند، سیستم ربائیک آن است که قابلیت انجام ذوب تکرارپذیر و یکسان را فراهم می‌کند و احتیاجی به کنترل ذوب توسط اپراتور نیست؛ از طرفی دستگاه‌های موجود اکثراً نمونه‌های کوچک نهایتاً در حد ۵۰ گرم را ذوب می‌کنند ولی با استفاده از سامانه ربائیک ساخته شده و بوت‌های مختلف، ذوب ۸۰۰ گرم ماده را نیز تجربه کرده‌ایم.

اعتماد مسئولین
به جوانان پژوهشگر
جهت واگذاری کارها و پروژه‌ها،
حمایت به موقع و مناسب و
مدیریت جهت پیشرفت هماهنگ
همه بخش‌ها: ۳ اصل اساسی
برای تسریع دستیابی به
فناوری



سعی شد این سامانه با کمترین هزینه ساخته شود و به همین دلیل در بعضی قسمت‌ها از ادوات و سیستم‌های مستعمل استفاده شد که در نهایت هزینه تمام شده بسیار کمتر از نمونه‌های خارجی و یا حتی سفارش ساخت در داخل می‌باشد.

● آیا به نوآوری خاصی در سطح جهانی دست یافتید؟

تمامی مراحل انجام شده در طول پروژه در کشور بی‌سابقه بوده و برای اولین بار انجام شده است. در ساخت تجهیزات نوآوری در سطح جهانی نیز وجود داشته باشد. به عنوان مثال تاکنون نمونه‌ای از سوار کردن سامانه رباتیک در دستگاه ذوب قوس الکتریک آزمایشگاهی مشاهده نکردیم. برای ساخت دستگاه سیورت نیز اطلاعات موجود بسیار محدود بود و همه قسمت‌های آن با ایده‌پردازی شکل گرفت. حتی در ساخت مخازن، نمونه خارجی برای مهندسی معکوس خریداری شد اما به دلیل اینکه در مراحل مختلف نمونه‌سازی آزمایشگاهی و نیمه صنعتی نتایجی حتی بهتر از نمونه‌های خارجی گرفته شد به سمت مهندسی معکوس نرفتیم.

● هدف شما توسعه فناوری بوده و یا قصد رسیدن به مرحله تولید صنعتی را

نیز دارید؟

مسلماً فناوری زمانی کاربردی خواهد بود که به مرحله تجاری‌سازی برسد. با توجه به رویکردی که در مورد پیل سوختی در کشور وجود دارد، حتماً هدف ما توسعه تا مرحله تجاری‌سازی نه تنها در سطح کشور بلکه در سطح دنیا خواهد بود. چون نتایجی که گرفته شده در برخی موارد خیلی بهتر از نمونه‌های خارجی بود. به طور کلی، در زمینه هیدریدهای فلزی به دلیل کثرت مواد و آلیاژها مرحله آزمایشگاهی حذف نخواهد شد؛ ولی در چند موردی که نمونه‌های آزمایشگاهی به جواب‌های خوبی رسیدند، به صورت نیمه صنعتی و سفارشی تولید و ساخته شدند. شرایط کاری برای مرحله صنعتی نیز بررسی و طراحی شده و این کار در کشور امکان‌پذیر است. البته رسیدن به این مهم، نیازمند حمایت و پشتیبانی مادی و معنوی مسئولین می‌باشد.

● شما چه انتظاری از کمیته راهبری پیل سوختی جهت راه‌اندازی خط تولید

دارید؟

در مرحله اول حمایت مالی و معنوی جهت تجاری‌سازی و راه‌اندازی خط تولید و در مرحله بعد حمایت جهت جذب مشتری و ارائه محصول از جمله خواسته‌های ما از این کمیته است. هم‌اکنون در بسیاری از کشورها اتوبوس‌های درون شهری مجهز به سیستم پیل سوختی با مخزن هیدرید فلزی مشغول به کار هستند. یا شرکت‌های خودروسازی تحقیقات وسیعی در این زمینه انجام داده‌اند و خودروهای مختلفی تولید کرده‌اند و در حال ارزیابی و صنعتی کردن آنها هستند. در کشور ما نیز بستر بسیار خوبی در این زمینه وجود دارد؛ به عنوان مثال برای کاهش آلاینده‌ها از سطح شهر تهران یا شهرهای بزرگ می‌توان به سراغ هیدروژنی کردن اتوبوس‌ها رفت که در سند راهبرد ملی توسعه پیل سوختی دیده شده است. البته به نظر بنده می‌توان به سراغ خودروهای شخصی و شرکت‌های خودروسازی نیز رفت که این کار مستلزم پیشرفت هماهنگ بخش‌های مختلف در این زمینه می‌باشد چون علاوه بر پیل سوختی و مخزن هیدرید فلزی، تولید هیدروژن نیز بسیار مهم می‌شود و تا جایی که اطلاع دارم برای تولید هیدروژن با خلوص بالا در مقیاس وسیع هنوز در کشور کاری صورت نگرفته است. ولی با این وجود با توجه به این که اولین پیل سوختی کشور توسط مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان و زیر نظر سانا طراحی و ساخته شد می‌توان به سراغ طراحی خودروهای هیدروژنی رفت.

● چگونگی و میزان تعامل خود با سایر مراکز پژوهشی فعال را شرح دهید.

با توجه به اینکه تنها دستگاه سیورت موجود در کشور در این مرکز ساخته شده در زمینه هیدریدهای فلزی همکاری خوبی با دانشگاه‌های مختلف صورت گرفته که امیدوارم بیشتر و بهتر شود. تاکنون از دانشگاه‌های مختلفی چون صنعتی شریف، صنعتی اصفهان، امیرکبیر، علم و صنعت و ... نمونه‌های مختلفی فرستاده شده و مشخصات هیدروژنی آنها اندازه‌گیری شده است. در برخی موارد نیز به صورت مشاوره و یا کار مشترک به صورت پایان‌نامه‌های دانشجویی اقداماتی صورت گرفته است. البته با حمایت مالی و ساخت چندین دستگاه سیورت به صورت بهینه‌تر و با مدل‌های دیگر این همکاری‌ها وسعت بیشتری خواهد گرفت. در حال حاضر به

دلیل کثرت نمونه‌ها، انجام آزمایش یک نمونه با تأخیر زمانی زیاد صورت می‌گیرد. از طرف دیگر مراکزی که بر روی پیل سوختی کار می‌کنند به دلیل بالاتر بودن قیمت مخازن هیدرید فلزی نسبت به مخازن پرفشار از خرید و استفاده از آنها امتناع می‌کنند که با حمایت از ساخت مخازن در داخل کشور این مشکل تاحدودی مرتفع می‌شود.

● شما با توجه به تجربیات کسب شده گمان می‌کنید ایران می‌تواند خود را

در این عرصه به سرعت به پای سایر کشورهای پیشرفته برساند؟

سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی باید تا سال ۱۴۰۱ به نتیجه کامل برسد که خود دستاورد بزرگی خواهد شد. تجربه و مشاهدات شخصی بنده در طول این چند سال این بوده که هر جا به جوان‌ها بها داده شده و به آنها اعتماد شده، با سرعت چشمگیری عقب ماندگی‌ها جبران شده و حتی از کشورهای پیشرفته پیشی گرفتیم. بنابراین فکر می‌کنم این کلید و رمز موفقیت ماست البته به شرط اینکه حمایت‌های خوبی صورت بگیرد. در زمینه طراحی و ساخت پیل سوختی ۵ کیلووات که چندی پیش کامل شد توانایی محققین کشور به خوبی نشان داده شد. لذا در صورت حمایت مناسب شاید زودتر از موعد سند به اهداف سند برسیم. حتی به نظر من می‌توان اهداف سند را از چیزی که در آن پیش‌بینی شده فراتر برده و عمومی‌تر کرد.

● شما چه راهکاری را برای ورود هرچه سریع‌تر کشور به بحث تجاری

سازی این فناوری پیشنهاد می‌کنید؟

ابتدا قانع نبودن به اهداف سند راهبردی پیل سوختی، سپس سرعت بیشتر در واگذاری پروژه‌های مرتبط با فناوری پیل سوختی و ایجاد هماهنگی بین آنها.

● نقش کمیته راهبری پیل سوختی را در دست‌یابی هر چه سریع‌تر به این

فناوری و هدایت مسیر توسعه پیل سوختی چگونه ارزیابی می‌کنید؟

برای رسیدن به هدف، دو گروه نقش اصلی را دارند: یکی محققین، پژوهشگران و دانشمندان این عرصه که تنها حمایت مادی و معنوی به موقع برایشان کافی است. دیگری مسئولین امر و مهم‌تر از این دو، بحث مدیریت مناسب است. بدون مدیریت صحیح، حتی با حمایت مناسب و پشتکار خوب پژوهشگران نمی‌توان مسیر درست را طی کرد. بنابراین کمیته راهبری پیل سوختی که متولی این فناوری در کشور شده با مدیریت مناسب و صحیح و حمایت به موقع می‌تواند مسیر را هموار سازد. اگر در یکی از این موارد کم کاری شود مطمئناً به نتیجه مطلوب نخواهیم رسید و انرژی زیادی از کشور به هدر خواهد رفت.

● هرگونه صحبت، انتقاد و یا پیشنهادی مربوط به این موضوع دارید، بیان

نمائید.

من انتقادی به سرعت عمل در مورد تعریف و واگذاری پروژه‌ها دارم. به نظرم تأخیری که وجود دارد موجب از دست رفتن فرصت‌ها و انرژی موجود می‌شود. از طرفی هم احساس می‌شود اهداف سند برای مسئولین آخر کار است که امیدوارم این‌طور نباشد. عمومی کردن استفاده از این فناوری با توجه به ظرفیت‌های کشور لازم، ضروری و امکان‌پذیر است.

دستاورد ملی، نگاه ملی

گزارشی از نشست تخصصی در مورد ساخت اولین سامانه پیل سوختی پلیمری ۵ کیلووات همزمان برق و حرارت

← تهیه و تنظیم: سمیه خطی

سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، برای شنیدن گزارش نهایی دست‌اندرکاران پروژه طراحی و ساخت پیل سوختی پلیمری مولد همزمان برق و حرارت ۵ کیلووات از مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان و بحث و تبادل نظر برای ارتقا و پیشبرد بهتر کار، ۲۱ دی نشست برگزار کرد.

در این نشست مهندس آرمودلی مدیرعامل سازمان انرژی‌های نو ایران، مهندس چیت‌چیان رئیس حوزه مشاوران وزیر نیرو، مهندس محمدی معاون برنامه‌ریزی و توسعه صنایع مرکز همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری و مهندس قلعه نوی و مهندس کاظمی به ترتیب معاون و قائم مقام فناوری‌های صنعتی این مرکز و اعضای فعلی و اسبق کمیته راهبری پیل سوختی و بیش از ۱۰۰ متخصص و محقق، حضور داشتند و در آن گروه فنی مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان فعالیت‌های خود در ۴ سال طراحی و ساخت این مولد پیل سوختی را تشریح نموده و همگان را با بیان وسعت و پیچیدگی کار متحیر و شادمان کردند.

گزارش گروه سازنده سامانه پیل سوختی ۵ کیلووات با سخنان مهندس فقیه ایمانی رئیس گروه پیل سوختی مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان، در مورد فعالیت‌های این مرکز در زمینه پیل سوختی در ۱۰ سال گذشته و معرفی اعضای گروه آغاز شد. وی ساخت پیل سوختی پلیمری ۵ کیلووات، مجموعه غشا-الکتروود و صفحات دو قطبی را سه هدف اصلی گروهش معرفی کرد. وی هدف اول را محقق شده بیان کرد و درباره دو مورد دیگر گفت: «مجموعه غشا-الکتروود ساخته شده در مرکز ما در ولتاژ ۰/۶ ولت یک آمپر بر سانتی‌متر مربع، جریان تولید می‌کند که با توسعه و بهبود آن در سامانه‌های آتی از آن استفاده خواهیم کرد. علاوه بر این در سامانه ۱۰ کیلوواتی قصد داریم از صفحات دو قطبی پلیمری ساخت مرکزمان استفاده کنیم.» او ساخت میز تست پیل سوختی پرتابل، آشکارساز هیدروژن و نرم‌افزار پیل سوختی را از دیگر دستاوردهای پروژه طراحی و ساخت پیل سوختی پلیمری ۵ کیلووات دانست که تاکنون به بعضی از دانشگاه‌ها و مراکز نیز خدمات ارائه داده‌اند.

در ادامه مهندس اشرف خراسانی مدیر پروژه پیل سوختی مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان در مورد مراحل اجرای پروژه و انجام دادن تست‌های مختلف روی پیل‌ها و توده (استک) توضیحاتی داد. وی گفت: «این پروژه در ۴ فاز طراحی مفهومی، طراحی تک پیل، طراحی توده و سامانه‌های جانبی انجام شد و در سال ۸۸ نیز کاربری CHP به آن افزوده شد.» در همین راستا، تاکنون ۱۱ گزارش به سانا تحویل داده شده است و گزارش نهایی مشتمل بر ۱۷۰۰ صفحه است که همه این گزارش‌ها در سانا برای بررسی و استفاده متخصصان موجود است.

در سخنان وی ترتیب و توالی فعالیت‌های انجام شده در طی پروژه به شرح زیر بود:

تست تک پیل سوختی، تست توده ۵ تایی، مونتاژ توده ۳۰ تایی اول و دوم، ساخت پکیج نمایشگاهی ۵ کیلووات، نصب تجهیزات کنترل و مونیتورینگ بر روی پکیج پیل سوختی ۵ کیلووات، طراحی و برنامه‌نویسی نرم‌افزار کنترل پیل سوختی و طراحی و ساخت سامانه CHP پیل سوختی ۵ کیلووات، تست‌های دوره‌ای و تست نهایی سامانه، نصب، تحویل و آموزش.

در ارائه مشخصات سامانه CHP نیز به مجزا بودن سیکل گرمایش محیط و آب گرم مصرفی، امکان گرمایش ۵۰ پره رادیاتور شوفاژ و امکان تأمین آب گرم مصرفی به طور همزمان اشاره شد.

تست‌های نهایی که بر روی سامانه انجام شده است عبارتند از: تست سامانه با گاز نیتروژن خشک، مرطوب‌سازی توده پیل‌ها، تست پایداری، بهینه‌سازی مدارهای سامانه، تست هیبرید سامانه با مجموعه هیتر، تست هیبرید سامانه با برق ساختمان و مونتاژ و تست نهایی سامانه.

■ مرحله طراحی و ساخت سامانه

دکتر اصغری مدیر بخش مکانیک گروه سازنده سامانه پیل سوختی پلیمری ۵ کیلووات هم در مورد طراحی و ساخت تک‌تک اجزاء، مونتاژ تک پیل، مونتاژ توده و سامانه، تست پیل سوختی و سامانه‌های جانبی و استخراج الگوریتم کنترل، توضیحاتی داد.

وی به نحوه انتخاب پارامترهای طراحی اشاره کرد که مجموعه‌ای از پارامترها پایه طراحی را تشکیل می‌دادند و با داشتن سه پارامتر کلی ابعاد MEA، ولتاژ نامی و تعداد تک پیل بقیه پارامترها از قبیل نرخ مصرف سوخت، دما، فشار، رطوبت و... با روش سعی و خطای بسیار طولانی تعیین شدند. البته شرایط قرارداد، محدودیت‌های بازار، محدودیت‌های بودجه و وزن و حجم نیز باید در نظر گرفته می‌شد.

وی سپس به روش طراحی و انتخاب معیارهای مناسب طراحی صفحات دو قطبی، صفحات انتهایی، واشرهای آب‌بندی، سامانه کلمپینگ و مونتاژ اشاره کرد. اغلب معیارهای طراحی از شبیه‌سازی‌ها و تجارب به دست آمده و در برخی موارد براساس نمونه‌های موجود در بازار استخراج شده است.

برای طراحی صفحات دو قطبی، طراحی شبکه توزیع گاز کاتد؛ شبکه توزیع سیال خنک‌ساز؛ طراحی راهگاه‌های مربوط به اکسیدان، سوخت و سیال خنک‌ساز، طراحی شیرهای آب‌بندی محفظه‌های کاتد، آند، سیال خنک‌کننده و راهگاه‌های مربوط انجام شده است.

در طراحی صفحات انتهایی اعمال فشار مونتاژ یکنواخت بر روی توده پیل و کلیه تک پیل‌ها، اعمال فشار مونتاژ مناسب جهت کاهش افت‌های اهمی و غلظتی و تعبیه کلیه پورت‌های ورودی و خروجی و تجهیزات کنترلی در نظر گرفته شده است.

برای طراحی سامانه مونتاژ توده به یک سامانه، قید و بند ویژه‌ای برای مونتاژ و دمونتاژ وجود دارد که به همین منظور طراحی و ساخت سامانه اعمال فشار مونتاژ همگن و سامانه خنثی‌کننده تغییرات فشار مونتاژ ناشی از تغییرات شرایط عملکردی توده صورت گرفته است.

سامانه‌های جانبی تأمین سوخت، تأمین اکسیدان، مدیریت آب، مدیریت حرارت، ایمنی و سنجش و کنترل نیز به‌طور مناسبی در کنار توده با توجه به شرایط دما، رطوبت، فشار، دبی و ... طراحی شدند. بنا به ضرورت این سامانه‌ها یا خریداری و یا در داخل مجموعه ساخته و هر کدام به‌صورت مستقل و بعد با هم آزمایش شده است.

کلیه طراحی‌ها برای بخش‌های مختلف گزارش شد که در سایت کمیته راهبری پیل سوختی در بخش مقالات موجود است.



از پروژه طراحی و ساخت
پیل سوختی پلیمری ۵ کیلووات
۱۵ مقاله در نشریات معتبر بین‌المللی
و ۱۵ مقاله در کنفرانس‌های داخلی
چاپ شده است.



دکتر اصغری مشکل‌ترین بخش کار را استخراج الگوریتم عملکرد برای بخش‌های مختلف به عنوان خوراک ورودی بخش کنترل دانست.

تست توده پیل و تست مستقل اجزای سامانه‌های جانبی، تست مستقل سامانه‌های جانبی، تست کلی سامانه‌های جانبی، تست سامانه پیل سوختی و استخراج مشخصات عملکردی آن‌ها در شرایط کاری مختلف و ارائه الگوریتم کنترل برای هر قسمت از فعالیت‌های انجام شده در این بخش است. در الگوریتم بایستی راه‌اندازی، کارکرد عادی، کارکرد غیرعادی، بررسی امکان رفع عیب و خاموش کردن سامانه در صورت برطرف نشدن عیب و الگوریتم خاموشی بایستی برای هر بخش به صورت جداگانه و برای کل سامانه ارائه می‌شد.

□ مرحله کنترل سامانه

مهندس زمانی مدیر گروه برق آخرین عضو گروه پیل سوختی مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان بود که به شرح فعالیت‌های انجام شده در بخش کنترل پروژه پیل سوختی ۵ کیلووات پرداخت. وی کنترل سامانه، سامانه مبدل توان الکترونیکی و هیبرید کردن با منابع ذخیره انرژی و توسعه نرم‌افزار را از دغدغه‌های اصلی این بخش معرفی کرد.

برای ایمن‌سازی سامانه پیل سوختی ۵ کیلووات و پیشگیری از خطر نشست سوخت هیدروژن در آن، طراحی گروه جوان سازنده این سامانه، به گونه‌ای است که اگر میزان هیدروژن از ۱/۲۰ حد مجاز بیشتر شود و یا غلظت اکسیژن محیط به زیر ۱۹/۵ درصد برسد، سامانه خاموش می‌شود.

کنترل دما، کنترل سطح آب‌گیر و کنترل برج به صورت محلی انجام شده است. برای کنترل توان تولیدی نیز چون پیل سوختی نمی‌تواند، یکبار خود را با شرایط مصرف کننده تطبیق دهد از یک باتری برای تبدیل به یک سامانه کنترل استفاده شده است. در کنترل توان بایستی همه پارامترها با هم بررسی شود؛ یعنی به صورت دائم ولتاژ تک پیل‌ها، ولتاژ جریان باتری، دما و فشار نقاط مختلف، تست هیدروژن و کنترل شیرهای برقی، کنترل آنالوگ دستگاه‌ها، کنترل بار الکترونیکی، کنترل برج و دور کمپرسور و دور پمپ هیدروژن انجام می‌شود.

وی در مورد مبحث ایمنی هیدروژن خاطر نشان کرد: «ما وسواس بسیاری به خرج دادیم و اگر میزان هیدروژن از ۱/۲۰ حد مجاز بیشتر شود و یا غلظت اکسیژن محیط به زیر ۱۹/۵ برسد سامانه خاموش می‌شود.»

نرم‌افزار سامانه نیز بیش از ۲۰۰ الی ۳۰۰ بار تجدیدنظر شد. در این نرم‌افزار همه دماها، فشارها و دبی‌ها و ... نمایش داده شده و به صورت نمودار رسم می‌شود.

□ نظرات و پرسش‌های متخصصان حاضر در نشست

پس از پایان گزارش گروه پیل سوختی مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان، حضاران نظرات و پرسش‌هایشان را مطرح کردند. دکتر بطحایی رئیس کمیته برق و الکترونیک کشور و متولی تدوین استانداردهای الکترونیک در کشور به بیان اهمیت مسأله استاندارد اشاره کرد و از این گروه خواست: «حال که مرحله آزمایشگاهی را پشت سر گذاشتید و به مرحله تجاری‌سازی وارد می‌شوید، اول به استانداردها دقت کنید و با توجه به استانداردها ریسک مصرف هیدروژن را به حداقل برسانید.»

در مورد علت انجام نشدن تست Cycling توده نیز پرسشی مطرح شد که مدیر پروژه در پاسخ به محدودیت سوخت برای کار مداوم سامانه پیل سوختی اشاره کرد و گفت: «تاکنون بیش از ۸۰۰ ساعت عملکرد مداوم از سامانه گرفته شده است و تست Cycling جزو برنامه‌های گروه در مراحل بعدی است.»

دکتر کرمانی نیز استفاده از مدل‌سازی برای انتخاب تک‌تک اجزاء را چراغ راه دانست. مدیر پروژه پیل سوختی هم با تأیید این دیدگاه، محدودیت‌های زمانی و بودجه‌ای موجود را عوامل بازدارنده‌ای عنوان کرد که سبب شده گروه سازنده تنها به مدل‌سازی کل مجموعه اکتفا کند.

در مجموع طبق گفتگویی که با صاحب‌نظران حاضر در جلسه انجام شد همگی بر وسعت و بزرگی کار اذعان داشته و تولید چنین محصولی را در این زمان کوتاه (۴ سال) و با بودجه محدود و تحریم‌ها کاملاً رضایت‌بخش توصیف کردند. در مورد انتقادات مطرح شده نیز قول بهبود در سامانه ۱۰ کیلوواتی داده شد، هرچند معیارهایی مشخص و ملاک سنجش معینی برای این بهبودها ارائه نشد.

□ سخنان مسؤولان و حمایت کنندگان پروژه سامانه پیل سوختی ۵ کیلووات

در این نشست مسؤولان و سفارش دهندگان پروژه که در مدت اجرای پروژه از آن حمایت کرده‌اند نظرات و دیدگاه‌های خود را مطرح کردند.

مهندس آرمودلی، مدیرعامل سانا، توکل بر خدا، تلاش، صبر و حوصله را عوامل اصلی این موفقیت خواند و بر توسعه کار و رسیدن به مرحله تولید تجاری تأکید کرد.

وی همچنین از تلاش دست‌اندرکاران سانا برای برنامه‌ریزی و زحماتی که کشیده‌اند، قدردانی کرد و افزود: «به حول و قوه خداوند این کار در ایران نهادینه می‌شود و موقعیت خوب ما در منطقه تثبیت می‌شود و نام کسانی که در این کار نقش داشتند در تاریخ صنعت پیل سوختی کشور ثبت خواهد شد.»

معاون صنایع دفتر همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری گفت: «شنیدن این خبر و به ثمر نشستن یکی از پروژه‌های ارزشمند موجب افتخار من و همه جامعه پیل سوختی کشور است.» او پیشنهاد نمود تا این پروژه به نحو مقتضی رونمایی شده و رسانه‌ای گردد.

مهندس محمدی به صبر و حوصله محققان مرکز تحقیقات اصفهان آفرین گفت و افزود: «روزی که این پژوهش شروع شد شاید کمتر کسی و حتی خود مجموعه تحقیقات مهندسی اصفهان گمان می‌کرد این کار به این حد و مرز توسعه برسد.»

وی انجام کار گروهی را از دیگر مزایای این پروژه برشمرد و جامعه پیل سوختی کشور را جامعه‌ای صمیمی، هم‌سو و همگرا معرفی کرد و گفت: «در کمتر حوزه‌ای از فناوری‌های نوین چنین همدلی وجود دارد و افتراق و اختلاف فاحشی احساس نمی‌شود. پس باید همه بر طبل اتفاق بکوبیم و این هم‌افزایی را بیشتر کنیم.»

مهندس محمدی از راه‌اندازی مجله علمی بین‌المللی (ISI) در حوزه پیل سوختی در ایران خبر داد و گفت: «تعداد مقالات دانشمندان ما نشان از قابلیت‌های ما دارد و اکنون بایستی وارد رقابت‌های جهانی شویم.»

مهندس رضائی معاون فنی و اجرایی سانا، هم این کار را بزرگ و افتخار ملی خواند و گفت: «گام بعدی که تجاری‌سازی است را بایستی محکم‌تر بردارید.» وی به گروه پیل سوختی مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان، مدیریت دانش و توجه ویژه به مستندسازی را توصیه کرد و توجه همگان را به توسعه استانداردهای پیل سوختی و عضویت متخصصان در TC105 جلب نمود.

مدیر دفتر هیدروژن و پیل سوختی نیز به معرفی پروژه پرداخت و سیر تکاملی آن را توضیح داد. مهندس رحیم‌زاده گفت: «این پروژه در ابتدای راه با عنوان «طراحی و ساخت پیل سوختی پلیمری ۵ کیلووات با هدف تدوین دانش فنی» بود که در سال ۱۳۸۸ با توجه به مسیر دنیا در توسعه کاربردهای CHP خانگی، این کاربری نیز به قرارداد الحاقی شد.» وی افزود: «ساخت این سامانه یکی از گام‌های مؤثر برای کشور بود؛ ولی گام‌های اساسی‌تری برای بومی‌سازی و دستیابی کامل به این فناوری باید برداشته شود که پروژه‌های متعددی از جمله ساخت MEA، مرطوب ساز، غشاء، GDL، پودر کاتالیست و الکتروکاتالیست، مواد آب‌بندی و ... به همین منظور، در سانا در حال پیگیری است.» مهندس رحیم‌زاده تأمین نشدن اعتبارات مطابق با برنامه عملیاتی را از جمله عوامل و محدودیت‌هایی عنوان کرد که موجب تأخیر در برخی اقدامات کوتاه‌مدت سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی شده است، بیان کرد و افزود: «هم‌اکنون که در آستانه ورود به اقدامات میان‌مدت در سند هستیم، بخشی زیادی از کار هنوز به ثمر ننشسته است.»

مهندس مسعود، رییس پژوهشکده جهاد کشاورزی که مرکز تحقیقات مهندسی جهاد اصفهان را زیر پوشش خود دارد، از حمایت اعضای کمیته پیل سوختی برای عملی شدن این فناوری در کشور و از همکاران خود در مجموعه تحقیقات مهندسی اصفهان برای تحقق بخشیدن به توسعه یک فناوری سطح بالا قدردانی و تشکر کرد.

کاهش حجم، وزن و قیمت، استفاده از MEA ساخت داخل، استفاده از صفحات دو قطبی پلیمری ساخت داخل، انجام تست‌های Cycling بخشی از اهداف مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان برای سامانه پیل سوختی ۱۰ کیلووات است.



پیل های سوختی همراه با آمبولانس ها به کمال مجروحان می آیند

طی یک طرح آزمایشی شش ماهه آمبولانس های شهر یورک شایر انگلیس به پیل های سوختی متانولی مجهز خواهند شد تا توان تجهیزات حیاتی آن ها در زمان توقف آمبولانس در صحنه تصادف بدون نیاز به روشن بودن موتور تأمین شده و صرفه جویی قابل توجهی در سوخت مصرفی آن ها حاصل گردد.



این طرح به زودی توسط سازمان ملی خدمات بهداشتی انگلستان (NHS Trust) به منظور کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه های مصرفی آمبولانس های شهر یورک شایر (با توجه به افزایش روزافزون قیمت سوخت) و در راستای برنامه ی کاهش ۳۰ درصدی نشر CO2 از ناوگان آمبولانس های انگلیس تا سال ۲۰۱۵ (نسبت به سال ۲۰۰۷) اجرا می شود و طی آن پیل های سوختی Antares که امکان شارژ کامل باتری تجهیزات آمبولانس را در زمان توقف در صحنه تصادف فراهم می کنند، آزمایش می شوند.

الکسیس کیچ، مدیر بخش محیط زیست سرویس آمبولانس یورک شایر در این باره گفت: «ما آمبولانس هایی داریم که به سرعت یعنی ظرف ۸ دقیقه در محل تصادفات که به شدت جان افراد به خطر افتاده حاضر می شوند ولی چون مدت حضور آن ها در این مکان ها طولانی است لازم می شود به منظور شارژ باتری تجهیزات حیاتی بخش آن ها در این مدت آمبولانس روشن بوده که در نتیجه مصرف سوخت بالا می رود.»

بر اساس برآوردهای سرویس آمبولانس یورک شایر، ارمغان این طرح صرفه جویی یک گالنی سوخت و همچنین جلوگیری از نشر ۱۲ کیلوگرم CO2 با هر ۵ ساعت خاموش شدن موتور آمبولانس می باشد که در صورت موفقیت آمیز بودن آن بیش از ۱۰۰ آمبولانس واکنش سریع دیگر به پیل سوختی مجهز خواهند شد.

تاکنون پیل های سوختی متانولی بیشتر در خودروهای کاروان استفاده می شده اند چرا که متانول هم به لحاظ قیمتی و هم به لحاظ ایمنی نسبت به هیدروژن برتری دارد. مسئولان NHS Trust امیدوارند که فناوری این نوع از پیل های سوختی با موفقیت به عرصه خودروهای اورژانس راه پیدا کند.

احداث اولین جایگاه سوخت گیری هیدروژن در ترکیه

با نصب اولین تأسیسات تولید و سوخت گیری هیدروژن مبتنی بر روش الکترولیز با ظرفیت روزانه ۶۵ کیلوگرم در شهر استانبول توسط شرکت کانادایی هیدروژنیکس، این شهر به جمع شهرهای دارای زیرساخت هیدروژنی خواهد پیوست.



شرکت کانادایی هیدروژنیکس، سازنده محصولات تولید هیدروژن و پیل سوختی، با برنده شدن در مناقصه ای که مرکز بین المللی فناوری انرژی هیدروژنی (ICHET)، مستقر در ترکیه، برگزار کرد کار احداث اولین جایگاه سوخت گیری هیدروژنی را در منطقه گلدن هورن شهر استانبول به عهده گرفت تا امر تأمین سوخت بخش حمل و نقل دریایی و زمینی تسهیل گردد.

نیکلاس لیمبروپولوس، مدیر پروژه های ICHET، طی توضیحاتی درباره این پروژه اظهار داشت: «به موازات ساخت این جایگاه، ما به همکاری با شرکای خود در ترکیه و خارج آن برای استقرار مشتریان این جایگاه یعنی اتوبوس ها و کشتی های هیدروژنی ادامه خواهیم داد و در آینده نزدیک این جایگاه کار سوخت رسانی به خودروهای شخصی که برای مراحل نهایی توسعه در نظر گرفته شده اند، را نیز انجام خواهد داد.»

مرکز بین المللی فناوری انرژی هیدروژنی (ICHET) پروژه ای است که توسط سازمان توسعه صنعتی ملل متحد (UNIDO) در سال ۲۰۰۴ تعریف و توسط وزارت انرژی و منابع طبیعی ترکیه مورد حمایت مالی قرار گرفت. این مرکز به دنبال آغاز پروژه های خود در کشورهای در حال توسعه ای است که تصمیم به تولید یا افزایش تولید هیدروژن از منابع بومی و تجدیدپذیر دارند تا از این طریق به پررنگ تر شدن نقش هیدروژن در تأمین نیازهای بومی انرژی کمک نماید.

ساخت اولین خط لوله هیدروژن شهری جهان در ژاپن

با اجرای یک پروژه نمایشی در ژاپن، از این پس هیدروژن مورد نیاز پیل‌های سوختی موجود در منازل مسکونی و ساختمان‌های تجاری این کشور به صورت مستقیم از طریق خطوط لوله انتقال گاز تأمین می‌شود.



وزارت اقتصاد، بازرگانی و صنایع ژاپن (METI) در نخستین روزهای سال جاری میلادی پروژه‌ای با نام «شهر هیدروژنی» را به عنوان بخشی از پروژه نمایشی «توسعه زیرساخت‌های اجتماعی انرژی هیدروژنی» شروع کرده که در نوع خود بزرگترین پروژه در زمینه نصب خطوط لوله هیدروژن در مناطق شهری به شمار می‌رود. در این پروژه، خطوط لوله‌ای بین جایگاه سوخت‌گیری هیدروژنی شهر کیتاکیوشو و مجتمع‌های مسکونی و ساختمان‌های تجاری این شهر کشیده خواهد شد و از طریق این جایگاه که در سال ۲۰۰۹ راه‌اندازی شده و خود از طریق خط لوله‌ای، هیدروژن تولیدی کارخانه فولاد نیپون (Nippon) را دریافت می‌نماید؛ هیدروژن این کارخانه به پیل‌های سوختی خانگی و مراکز تجاری انتقال می‌یابد. از اهداف این پروژه می‌توان به ارزیابی پایداری عرضه هیدروژن، بررسی فناوری‌های افزودن مواد بودار به هیدروژن برای ارتقای ایمنی استفاده از هیدروژن، تأیید صحت سامانه‌های اندازه‌گیری جهت قیمت‌گذاری دقیق و ارزیابی درک عمومی جامعه از فناوری هیدروژن اشاره کرد. METI همچنین قصد دارد در طول این پروژه پایداری مدل‌های تجاری مربوط به جامعه هیدروژنی آینده را به منظور معرفی آن‌ها به عنوان مدل‌های زیرساخت اجتماعی ارزیابی کند و به دنبال آن اقدامات لازم برای ایجاد یک جامعه بدون کربن را انجام دهد.

گفتنی است که پروژه دیگری به نام «بزرگراه هیدروژنی» برای ارزیابی راه‌های تولید، انتقال، ذخیره و سوخت‌گیری هیدروژن برای اتوبوس‌ها و ناوگان‌های سبک به موازات پروژه شهر هیدروژنی در حال انجام است.

منبع: meti.go.jp

دور دنیا در ۱۲۵ روز با مرسدس بنزهای پیل سوختی

مرسدس بنزهای پیل سوختی کلاس B با شروع سفری ۱۲۵ روزه به دور دنیا و عبور از ۱۴ کشور، تکامل فنی خود در انجام سفرهای طولانی مدت را به جهانیان اثبات خواهند کرد.



شرکت خودروسازی مرسدس بنز در نمایشگاه بین‌المللی خودرو امریکای شمالی، از شروع این سفر نمایشی ۱۲۵ روزه مرسدس بنزهای پیل سوختی کلاس B در اواخر ژانویه و از جنوب اروپا خبر داد. این خودروها با عبور از کشورهای نظیر فرانسه، اسپانیا، پرتغال، ایالات متحده، کانادا، استرالیا، چین، قزاقستان و روسیه به نقطه شروع خود در اشتوتگارت آلمان باز می‌گردند. شرکت مرسدس بنز هدف از این سفر و عبور از ۴ قاره و ۱۴ کشور و تجربه شرایط آب و هوایی و مسیرهای متفاوت را نمایش راندمان و سازگاری فناوری پیل سوختی برای سفرهای درون شهری و برون شهری، فراهم نمودن امکان ارزیابی کامل سامانه هیدروژنی مرسدس بنزهای پیل سوختی کلاس B و تلاش برای گسترش شبکه جهانی ایستگاه‌های سوخت‌گیری هیدروژن برشمرد.

برد عملیاتی این خودروها با وجود یک سامانه پیل سوختی به همراه یک موتور الکتریکی ۱۰۰ کیلوواتی (با قدرت ۱۳۶ اسب بخار و گشتاور ۲۹۰ نیوتون متر)، در حدود ۴۰۰ کیلومتر است. بنابراین حتی با توجه به این که مصرف سوخت این خودروها بر اساس اعلام انجمن NEDC (سیستم موتوری جدید اروپایی) معادل ۳/۳ لیتر دیزل در هر ۱۰۰ کیلومتر است باز هم بارها سوخت‌گیری در این مسیر لازم می‌شود؛ از این رو شرکت لینده (Linde) به عنوان تأمین کننده انحصاری سوخت هیدروژن این خودروها در طول این مسیر با تانکرهای حمل سوخت، هیدروژن مورد نیاز این خودروها را در جاده‌های دورافتاده تأمین می‌کند.

گفتنی است به‌زودی تعدادی خودروی مرسدس بنز پیل سوختی کلاس B به وزارت حمل و نقل آلمان و همچنین سازمان ملی فناوری هیدروژن و پیل سوختی این کشور اهدا می‌شود تا در سفرهای کاری کارمندان آن‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

منبع: Green Car Congress

بهره‌برداری از اولین برج روشنایی پیل سوختی

شرکت امریکایی مولتی کوئپ (Multiquip) با استفاده از فناوری نور پلاسما و پیل‌های سوختی هیدروژنی اولین برج روشنایی پیل سوختی هیدروژنی با مزایای همچون بازدهی بالا و آلودگی صوتی پایین را به جهانیان عرضه داشت.



اولین برج روشنایی پیل سوختی هیدروژنی جهان موسوم به H2LT که اولین محصول از مجموعه محصولات پیل سوختی شرکت مولتی کوئپ است، از ویژگی‌هایی چون بازده مناسب، عدم تولید آلاینده‌های زیست محیطی، قابلیت کار ساده در محیط بسته، ۵۰ ساعت کار مفید با استفاده از یک بار سوخت‌گیری و آلودگی پایین صوتی (۴۳ دسی‌بل در فاصله ۷ متری)، قابل اعتماد بودن به علت وجود قطعات متحرک، عدم نشت سوخت، عدم نیاز به نگهداری زیاد برخوردار است.

در برج روشنایی H2LT از فناوری نور پلاسما استفاده شده که به گفته محققین این شرکت، نوری پاک و طبیعی تولید می‌کنند. لامپ‌های پلاسما با مصرف فقط ۲۵۵ وات انرژی بیش از ۲۲۰۰۰ لومن (واحد اندازه‌گیری شدت) نور تولید می‌کنند و بیش از ۵۰۰۰۰ ساعت عمر مفید دارند در حالی که لامپ‌های رشته‌ای با مصرف همین مقدار انرژی تنها ۳۰۰۰ لومن نور تولید می‌کنند و از عمر مفید بسیار پایینی برخوردارند. این برج‌ها که قرار است در نمایشگاه بتن سال ۲۰۱۱ در لاس‌وگاس به نمایش در آیند، با همکاری مشاورین فنی آزمایشگاه ملی سندیا و شرکت آلترژی سیستم، که یکی از بزرگترین تولیدکنندگان پیل‌های سوختی در امریکاست، طراحی و ساخته شده‌اند. چند نمونه اولیه از این برج‌های روشنایی H2LT قبلاً در سازمان حمل و نقل کالیفرنیا، شرکت‌های فعال در زمینه ساخت فیلم و برنامه‌های تفریحی و همچنین سازمان ناسا مورد استفاده قرار گرفته‌است و از سه ماهه دوم سال ۲۰۱۱ آماده عرضه به بازار خواهند بود. البته تاکنون اطلاعاتی در مورد قیمت این محصول منتشر نشده است و شرکت مولتی کوئپ نیز اعلام کرده است که با توجه به تفاوت تخفیف‌های مالیاتی در ایالت‌های مختلف امریکا، قیمت تمام شده فقط برای سفارش‌های خاص قابل محاسبه خواهد بود.

شرکت مولتی کوئپ که در سال ۱۹۷۳ تأسیس شده، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان محصولات مرتبط با صنعت ساختمان، مخابرات و اکتشاف نفت و گاز است و گستره محصولات آن شامل تجهیزات سبک و نیمه سبک ساختمانی، مولدهای انرژی و تجهیزات روشنایی می‌شود.

منبع Multiquip

اولین قایق پیل سوختی انگلیس در پایتخت سبز این کشور به آب انداخته می‌شود

اولین قایق پیل سوختی انگلیس با سرمایه‌گذاری ۲۲۵۰۰۰ پوندی و با هدف نمایش منافع فناوری هیدروژنی برای محیط زیست و اقتصاد و همچنین تشویق به سرمایه‌گذاری بیشتر در این حوزه ساخته و در تابستان امسال وارد آب‌های بندر بریستول می‌شود.



کار طراحی و سرمایه‌گذاری «قایق هیدروژنی بریستول» توسط کنسرسیومی متشکل از سه شرکت No 7 BoatTrips، Packet و Auriga Energy انجام شده است و یک شرکت بومی سازنده قایق طی قراردادی کار ساخت آن را بر اساس طراحی انجام شده توسط این کنسرسیوم به عهده گرفته است. البته شرکت Auriga Energy کار توسعه سامانه پیل سوختی‌ای را که قرار است در این قایق جای داده شود، انجام می‌دهد و شرکت Air Products هم سوخت هیدروژن و تجهیزات مربوط به سوخت‌گیری قایق را تأمین می‌کند.

ساخت این قایق که ظرفیت ۱۲ مسافر را دارد با هدف نمایش منافع فناوری پیل سوختی برای محیط‌زیست، شرکت‌ها، منازل مسکونی، مسافری و گردشگران و همچنین تشویق به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و زمینه‌های روبه رشد اقتصادی در بریستول و در نتیجه افزایش اشتغال انجام می‌شود. اجرای شدن این طرح نمایشی شش ماهه و گسترش همه جانبه‌ی آن به معنای کاهش شدید آلودگی آب و هوای بندر بریستول بوده و علاوه بر این میزان آلودگی صوتی آن را به شدت کاهش می‌دهد.

شهرهای دیگر اروپا نیز در صدد استفاده از قایق‌های هیدروژنی هستند اما اجرای این پروژه در بریستول بیشتر به توسعه اقتصادی این شهر کمک می‌کند زیرا روی آوردن به یک فناوری پاک، جزو پنج اولویت مطرح در بریستول جهت ایجاد اقتصاد پایدار، پررونق، سازنده و بهره‌ور می‌باشد.

جاس سینگ، مدیر عامل Auriga Energy و سخنگوی کنسرسیوم یاد شده نیز درباره اجرای این طرح گفت: «این پروژه به معرفی هرچه بیشتر فناوری‌های هیدروژنی به عموم کمک خواهد کرد و انگیزه بیشتری را برای استقبال از این فناوری در شهر ایجاد خواهد کرد. همچنین بریستول را در صف مقدم اقتصاد نوظهور هیدروژنی قرار خواهد داد و موقعیت آن را به عنوان پایتخت سبز انگلیس حفظ خواهد کرد.»

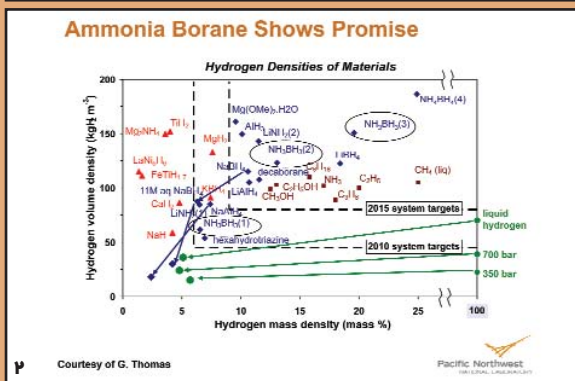
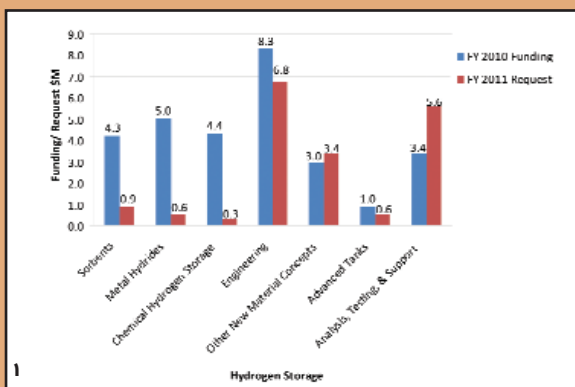
منبع Bristol247.com

ذخیره‌سازی هیدروژن در سال ۲۰۱۰ در یک نگاه

تهیه کنندگان • مینا اعتمادی، سید مصطفی ساداتی



فلزی چند جزئی» و «هیدریدهای فلزی سبک‌وزن برای ذخیره هیدروژن» با نمرات ۳/۴، ۳/۳ و ۳/۳ از بالاترین امتیاز برخوردار شدند. در کل، نتایج این پروژه‌ها حاکی از راهگشا بودن کار بر روی اندازه ذرات هیدریدهای فلزی در حل مشکلات ترمودینامیکی واکنش‌های جذب و واجذب این مواد که اثر مستقیم بر ظرفیت ذخیره‌سازی هیدروژن آن‌ها دارد، می‌باشد. البته باید خاطر نشان ساخت در طول سال گذشته کارهایی هم در این زمینه در آسیا به‌ویژه ژاپن و همچنین در کشورهای اروپایی صورت گرفته است که در این بررسی لحاظ نگردیده است.



سه مرکز عالی (CoEs) تحت پوشش وزارت انرژی امریکا که بر روی مواد کار می‌کنند، با بررسی پروژه‌هایی که در قالب زیربرنامه ذخیره‌سازی هیدروژن (بخشی از برنامه هیدروژن و پیل سوختی امریکا) در سال ۲۰۱۰ انجام شده بود، نشان دادند تمرکز تلاش‌ها و فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای در زمینه ذخیره‌سازی هیدروژن در این سال بیشتر روی مواد ذخیره‌کننده شامل هیدریدهای فلزی پرظرفیت، حامل‌های شیمیایی ذخیره هیدروژن و مواد جاذب با سطح جذب بسیار بالا جهت برآورده نمودن اهداف فنی خودرو شامل تأمین برد بیش از ۳۰۰ مایلی در کنار برخورداری از الزامات ایمنی، قیمتی و عملکردی بوده است.

در نمودار اول میزان سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در سال ۲۰۱۰ بر روی انواع فناوری‌های ذخیره هیدروژن و موارد مربوطه و همچنین بودجه درخواستی برای سال جاری نشان داده و با یکدیگر مقایسه شده است.

همچنین در نموداری دیگر ظرفیت‌های مورد نظر برای مواد ذخیره‌کننده هیدروژن که به‌عنوان اهداف DOE ۲۰۱۰ در نظر گرفته شده‌اند نشان داده شده است. البته در این نمودار هیدریدهای فلزی متداولی (ترکیبات LiNa5, TiFe) که هنوز بر روی آن‌ها سرمایه‌گذاری می‌گردد نیز دیده می‌شود که خارج از محدوده اهداف DOE هستند و چنانچه مشهود است بیشتر، هیدریدهای شیمیایی شبیه بروهیدریدها، آمیدها و ایمیدها هدف قرار گرفته‌اند. باید توجه داشت که هیچ ماده ذخیره‌کننده هیدروژنی تاکنون نتوانسته تمام اهداف از جمله دانسیته ذخیره، سینتیک، پایداری، برگشت‌پذیری و ... را برآورده نماید.

در مجموع ۹۳ پروژه توسط این سه مرکز مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این مجموع ۱۴ پروژه مشخصاً در مورد هیدریدهای فلزی با هدف توسعه موادی قابل شارژ در شرایط محیطی خودروهاست که تعدادی از آن‌ها هم توسط مرکز عالی هیدریدهای فلزی انجام شده است.

در ارزیابی این پروژه‌ها، نمره حداکثری به لحاظ نزدیکی به اهداف DOE، داشتن رویکرد تحقیق و توسعه‌ای، انتقال دانش یا همکاری با مراکز دانشگاهی، صنعتی و آزمایشگاهی و نزدیکی به اهداف تحقیقاتی آینده ۴ در نظر گرفته شده است و نمرات داده شده به ۱۴ پروژه یاد شده در معیارهای مذکور به طور متوسط ۳ تا ۳/۸، ۲/۵ تا ۳/۴، ۳/۳ تا ۳/۷ و ۲/۴ تا ۳/۱ بوده است. به‌علاوه به هر پروژه یک نمره کلی داده شده است که در این میان پروژه‌های «هیدریدهای فلزی برگشت‌پذیر پیشرفته‌ی دارای ظرفیت بالا»، «طراحی مخلوط‌های جدید هیدرید

• سابقه فعالیت بر روی ذخیره‌سازی هیدروژن در ایران

سابقه فعالیت بر روی ذخیره‌سازی هیدروژن در ایران چندان دور نیست و حداکثر به ۴ سال گذشته برمی‌گردد و به همین دلیل نیز پیشرفت‌ها و دستاوردهای زیادی به دست نیامده که از دلایل آن می‌توان به عدم آشنایی و داشتن تجربه دانشگاهیان در این زمینه، عدم وجود دستگاه‌های آنالیز مثل سیورت در کشور و تحریم آنها، هزینه بالای تهیه مواد اولیه و روش‌های تولید مواد همانند دستگاه‌های آسیاب مکانیکی یا ذوب‌های تحت خلاء و عدم حمایت جدی از سوی مسئولین اشاره کرد. فعالیت‌های داخل کشور را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود: یک مقاله محور که در دانشگاه‌های شریف، علم و صنعت، تهران، صنعتی اصفهان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات انجام شده است و مقالاتی نیز به چاپ رسیده است، دوم محصول محور که در دانشگاه صنعتی مالک اشتر انجام شده و منجر به طراحی و ساخت دستگاه‌های سیورت، ذوب قوس الکتریکی تحت خلاء رباتیک و تولید مخازن هیدرید فلزی در ابعاد و با مشخصات گوناگون شده است. با استفاده از دستگاه سیورت ساخته شده چندین پروژه دانشجویی دانشگاه‌های ذکر شده به اتمام رسیده و یا در حال انجام می‌باشد.

• ظرفیت‌های توسعه فناوری در ایران

با توجه به پیشرفت روز به روز فناوری پیل سوختی در کشور، برای کاربردی کردن این فناوری احتیاج به توسعه فناوری ذخیره‌سازی هیدروژن می‌باشد. با توجه به اثبات این ادعا که می‌توان در این زمینه با سرعت بالا و با کیفیتی حتی بیشتر از خارج از کشور به این فناوری دست پیدا کرد و همچنین علاقه دانشجویان به فناوری‌های روز، پتانسیل بالقوه زیادی در این زمینه در کشور وجود دارد که با برنامه‌ریزی دقیق و حمایت جدی توسط مسئولین ذی‌ربط می‌توان چشم‌انداز روشن و موفق‌تری را مشاهده کرد. در واقع برای پیشرفت در هر زمینه‌ای ابتدا نیروی انسانی کارآمد لازم است و دوم وجود زمینه برای رشد و پیشرفت. در حال حاضر این دو متغیر در داخل کشور وجود دارد و تنها احتیاج به نیروی محرک مدیریت و حمایت معنوی و مالی دارد.



براساس گزارش شرکت فورد به چهار دلیل فودروهای پیل سوختی ایمن تر از فودروهای بنزینی هستند

۱. استفاده از کامپوزیت الیاف کربن در ساخت مخازن ذخیره هیدروژن که تحمل پذیری ضربات را بسیار بالا برده و نشت آن را به حداقل می‌رساند.
۲. انتشار سریع هیدروژن در هوا در صورت نشتی به واسطه سبکی بسیار زیاد این گاز.
۳. حمل ۶۰ درصد انرژی کمتر در خودروهایی پیل سوختی نسبت به خودروهایی بنزینی و گازسوز.
۴. کلید خودکار به منظور قطع همزمان جریان هیدروژن و برق در زمان وقوع تصادف.