خودروهای پیل سوختی متانولی

◆ حسنعلی ازگلی

کارشناس ارشد مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

چکیده

متانول، سوخت مایعی که از گازهای طبیعی یا منابع تجدید پذیر به دست می آید، یکی از اولین انتخاب‌ها جهت تامین هیدروژن لازم برای تولید نیرو در خودروهای پیل سوختی است. از این رو، مؤسساتی از جمله مؤسسه متانول آمریکا جهت معرفی فن آوری‌های پیل سوختی متانولی و بررسی مزایای زیست محیطی آن ها، همچنین آزمایش‌های روش‌های مشابه برای گسترش تجارت سوخت متانول در اینگونه خودروها وکشف راه‌های دستیابی به آن ایجاد شده است. امروزه موتورهای درون سوز تنها ۱۹ درصد انرژی موجود در بنزین را، برای به چرخش در آوردن چرخ های یک خودرو تبدیل می‌کنند. این در حالی است که خودروهای پیل سوختی با مصرف متانول به راندمانی حداقل معادل ۳۸ درصد دست خواهند یافت. بر اساس این برآورد بازده انرژی نهفته در سوخت متانول، در آینده ناوگان خودروهای شخصی با پیل سوختی متانولی به راندمانی تقریباً معادل ۵۵ مایل بر گالن (معادل حجمی آن از بنزین) دست خواهند یافت. به عنوان مثال، برد مدل اولیه خودرو اسپرت RAV۴ که برای استفاده عموم ساخته شده و با متانول کار می کند ۵۰۰ کیلومتر (۳۱۰ مایل) است ومطابق اصول خودروی هیبریدی طراحی شده است. پیش بینی می شود تا سال ۲۰۱۰، حداقل دو میلیون خودروی پیل سوختی متانولی در سطح جهان توسط سازندگان خودرو به فروش می رسد و تا سال ۲۰۲۰ تعداد ناوگان خودروی پیل سوختی متانولی تقریباً به ۳۵ میلیون خودرو خواهد رسید.

چنانچه این فن آوری به سرعت توسعه یابد، سرعت نفوذ این خودروها به بازار تجارت سریع تر وبیشتر خواهد شد و دیگر به آسانی نمی توان حدی برای نهایت آن تعریف کرد.

خودروهای پیل سوختی امروزی که نمونه های اولیه هستند، از یک مبدل با سیستم بخار آب برای شکستن مولکول متانول و تولید هیدروژن لازم برای سری پیل های سوختی سود می برند که سبب تولید برق و حرکت خودرو می شود. محققین، در حال توسعه فن آوری استفاده مستقیم از متانول در پیل سوختی بدون استفاده از مبدل هستند. در این نوع پیل سوختی، متانول به طور مستقیم به مدخل پیل تزریق می شود. تخمین زده شده که فن آوری استفاده مستقیم از متانول در پیل سوختی در اوایل سال ۲۰۰۸ به حد کامل تجاری خود می رسد. یعنی فقط ۴ یا ۵ سال پس از تولید اولین خودروی پیل سوختی متانولی که دارای مبدل با سیستم بخار هستند.راندن یک خودروی پیل سوختی متانولی به همان سادگی خودروهای بنزینی استاندارد امروزی است و صدا هم ندارد. با داشتن قطعات متحرک کمتر، عمر مفید خودرو طولانی تر شده و ضریب اطمینان آن نیز افزایش یافته و نیاز به سرمایه گذاری زیاد را کاهش داده یا به کلی رفع می کند.

کلمات کلیدی:

پیل سوختی، خودرو، متانول، سوخت

مقدمه:

تلاش هایی که طی ۵۰ سال گذشته برای کاهش تخریب محیط زیست ناشی از استفاده روز افزون از خودرو انجام شده است در ابتدا برای اضافه کردن وسایل کنترلی به موتورهای درون سوز توجه داشت ولی اخیراً بر تولید بنزین پاک تر، تمرکز یافته است. این راهکار، آلودگی جدید ترین خودرویی که بر سطح جاده در حرکت است را کاهش داده ولی مسلماً محدودیت هایی را نیز ایجاد نموده است. در آمریکا مواد آلاینده حاصل از ۱۹۰ میلیون خودرو، کامیون و اتوبوس نیمی از آلودگی هوا را ایجاد می نماید و بیش از ۸۰ درصد آلودگی شهرهای بزرگ و یک سوم دی اکسید کربنی که در نهایت سبب تغییر شرایط آب و هوایی کره زمین خواهد شد نیز، توسط این تعداد وسیله نقلیه ایجاد می شود.

وابستگی به بنزین، عواقب وخیمی در زمینه امنیت انرژی و اقتصاد دارد، زیرا، بخش حمل ونقل، تقریباً به طور کامل وابسته به نفت است و تغییرات ناگهانی و محتمل قیمت نفت در آینده و در دسترس نبودن آن، عمده ترین و مهم ترین مساله اساسی است.

بعضی از متفکرین بر این عقیده اند که ۱۰۰ سال استفاده از سوخت نفتی و در واقع سلطه موتورهای درون سوز کافی است. به جای آن به خودرویی پاک با فن آوری پیشرفته نیاز است که با حفظ تمام نقش های مفید یک خودروی امروزی و تضمین راحتی فرد مصرف کننده، وابستگی به نفت را خاتمه داد. خوشبختانه آشکار شده است که خودرو های پیل سوختی به زودی جهت مقابله با این چالش، آماده ومجهزخواهند شد.

طی سال های گذشته، پیل های سوختی، توسعه و پیشرفت سریع و شگفت آوری داشته اند و در حقیقت در حال حاضر قادرند به عنوان نیروگاههای برق پاک استفاده شوند. نوع کوچکتری از پیل های سوختی به صورت باطری در وسایل الکترونیک مثل تلفن های همراه و کامپوترهای لپ تاپ جایگزین شده و به زودی به بازار فروش راه خواهند یافت. موقعیت تجاری دیگری در استفاده از پیل های سوختی به عنوان

سایت اینترنتی انجمن متخصصان محیط زیست : www.irsen.org

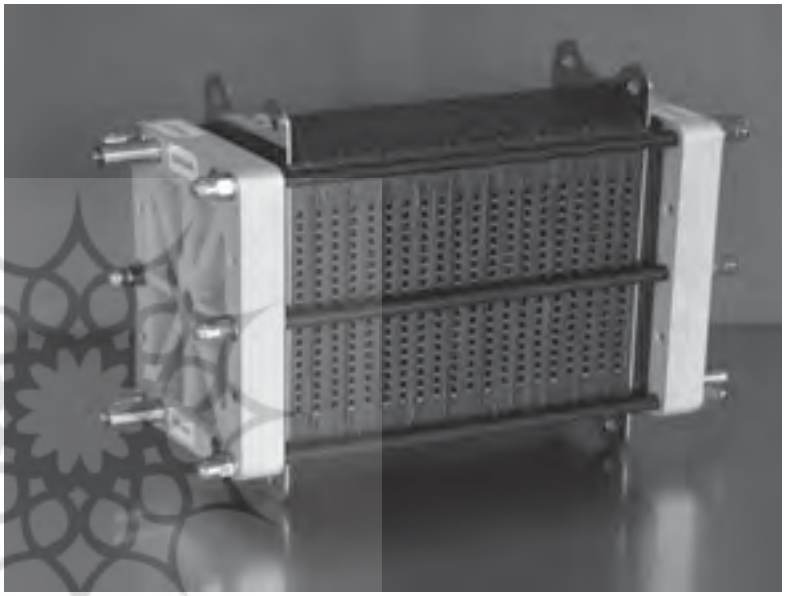
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جانشین موتورهای دوزمانه کوچک که بسیار هم آلاینده هستند، وجود دارد که، سالانه حدود ۸ میلیون از این موتورها به صورت مولد نیرو در اره‌های برقی، برگ جمع کن‌ها و ماشین های چمن زنی به فروش می رسند.در حالی که بازار های متنوعی برای پیل‌های سوختی وجود دارد، هنوز هم تجارت خودرو محکم ترین و نزدیک ترین آن‌هاست و این بازار است که مرکز توجه بسیاری از کسانی است که دست اندر کار بهبود و توسعه پیل‌های سوختی هستند و نوشتار حاضر نیز بر این مساله تمرکز یافته است.بررسی مزایای زیست محیطی پیل های سوختی، همچنین آزمایش روش‌های مشابه برای گسترش استفاده از سوخت متانول در این گونه خودروها و کشف راه‌های دستیابی به آن در مقاله موجود است.حتی بهترین نوع خودروهای برقی، با مشکل فاصله زمانی بسیار کم بین شارژ کردن های باطری مواجه اند که معمولاً ۸ ساعت یا شاید بیشتر به طول می انجامد. خودروهای پیل سوختی متانولی، علاوه بر ایفای نقش موتورهای درون سوز امروزی تمام مزایای بالقوه موتورهای برقی، همچنین سهولت پر شدن با سوخت مایع بدون

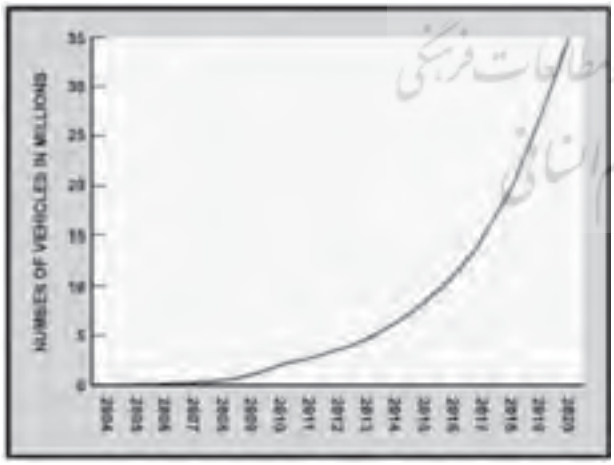
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مشکلات و مخاطرات ناشی ازمسایل امنیتی انرژی را دارا می باشند، چون وابستگی چندانی به نفت خام ندارند. سرمایه‌گذاری‌های گسترده صنایع بر روی خودروهای پیل سوختی، به علت راندمان بالای انرژی آن و آلایندگی بسیار کم آن‌ها می باشد . امروزه، موتورهای درون سوز، تنها ۱۹ درصد انرژی مفید بنزین را صرف به حرکت در آوردن چرخ‌ها می‌کنند. قرار است خودروهای پیل سوختی متانولی، به بهره‌های بالاتر از ۳۸ درصد برسند و مواد آلاینده مثل دودها وبخارات را به صفر نزدیک کرده و آلودگی ناشی از وجود گازهای گلخانه ای را به میزان ۵۰ درصد یا بیشتر کاهش دهند.

شاید در آینده، کارآیی خودروی پیل سوختی، به بیش از ۳۸ درصد برسد. بر اساس یک برآورد محتاطانه، بازده انرژی خودروهای پیل سوختی، به میزان ۳۸ درصد در نظر گرفته شده است و بدین ترتیب ناوگان خودروهای شخصی پیل سوختی متانولی از نظر عملکرد، طراحی و مدل قابل رقابت با خودروهای امروزی است، به راندمان سوختی تا حد ۵۵ مایل به ازای هر گالن معادل بنزین دست خواهندیافت که از رقم فعلی آن یعنی



۲۷/۵ مایل به مراتب بیشتر است. با این حال حرکت به سوی تولید سیستم نیرو محرکه پیل سوختی، تغییرات نوین در طراحی و مواد به همراه خواهد داشت. به همین دلیل بر اساس پیش بینی مشارکت نسل جدید خودروها که با همکاری بخش خصوصی و دولتی است، تولید یک خودروی پیل سوختی به بردی حدود ۸۰ مایل به ازای هر گالن معادل بنزین خواهد رسید. به خاطر شباهت پیشرفت های آتی در طراحی و نوع مواد هیچکس نمی تواند بگوید که رقم متوسط ناوگانی متشکل از خودروهای پیل سوختی متانولی و انواع آن‌ها؛ چه در مقیاس اقتصادی کوچک و چه در مورد خودروهای لوکس و بزرگ چه خواهد بود . به طور حتم، این رقم متوسط در مقیاس با ناوگان خودروی امروزی با موتور درون سوز بهتر خواهد بود. علاوه بر خودروهای شخصی، امروزه از پیل سوختی در اتوبوس ها نیز استفاده می شود . استفاده از متانول باعث می شود تا برد آن‌ها، قابل مقایسه با اتوبوس های گازوئیلی (دیزل) شده، علاوه بر اینکه می توانند به سرعت و به راحتی سوخت گیری کنند. انتظار می رود که این اتوبوس ها هیچ آلایندگی اکسید



شکل ۱- رشد آرام ناوگان خودروی پیل سوختی را از ۴۰ هزار خودرو در سال ۲۰۰۴ تا ۳۵ میلیون در سال ۲۰۲۰

نیتروژنی و ذرات بسیار ریزی (دوده) نداشته و آلاینده‌های هیدروکربنی آن‌ها، کمتر از یک دهم بوده و نسبت به پاک ترین اتوبوسی که با گاز طبیعی فشرده کار می کند، فقط

۲ درصد آلاینده های مونوکسید کربن آن را تولید نماید.ورود خودروهای پیل سوختی متانولی با راندمان انرژی بالا و آلایندگی بسیار کم است آن هم در تعداد زیاد نه تنها لازم بلکه حتی کاملاً دست یافتنی است. بنابر نوشته مجله وال استرست ژورنال: هیچکس نمی گوید که پیستون‌ها و میل لنگ که خودروها را به حرکت در می‌آورند یا صنایع خودروسازی ظرف بیش از یک قرن آینده از بین رفته و کاملاً ناپدید می شوند. اما سازندگان خودرو، از آنهایی که در توکیو هستند تا اشتوتگارت و نیز دیترویت به یک توافق کلی و بسیار تعجب آور رسیده اند و آن هم ایده ای است بدیع و نو که به نظر نمی رسد عمر چندانی هم داشته باشد و آن اینست که، لازم است در فن آوری موتور تغییرات اصولی داده شود.

پیل سوختی و متانول:

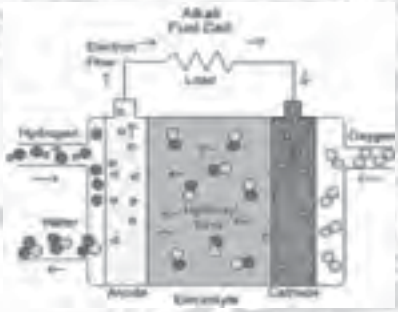
یک پیل سوختی، روند فرآیند الکترولیز را عکس می کند. فرآیندی که در آن، یک جریان الکتریکی آب را به اجزای تشکیل دهنده اش یعنی اکسیژن و هیدروژن تجزیه می نماید. در سال ۱۸۳۹ یک دانشمند انگلیسی به نام سر وسلسام رابرت گرو کشف کرد که می‌توان از ترکیب گازهای اکسیژن و هیدروژن آب تولید نمود و ازهمان جا فکر تولید جریان الکتریکی به کمک پیل سوختی به وجود آمد. یک پیل سوختی دو الکترود دارد، آند و کاتد، که در دو طرف مقابل یکدیگر و داخل الکترولیتی که هادی جریان الکتریسیته است، قرار گرفته اند. اتم های هیدروژن وارد آند شده، الکترون های خود را روی الکترود جا گذاشته و خود به صورت یون هیدروژن (یا پروتون) درآمده و از داخل الکترولیت به سمت کاتد حرکت می کنند. الکترون‌هایی از بین الکترولیت حرکت می کنند به طرف کاتد رفته، جریان الکتریکی خارجی را تولید می کنند. الکترون ها در کاتد به یون‌های هیدروژن پیوسته و هیدروژن حاصل با اکسیژن ترکیب شده و آب را تشکیل می‌دهند. یک پیل سوختی تنها کسری از یک اینچ ضخامت داشته و می توان تعدادی از آن‌ها را به صورت سری در آورد تا به هر میزان ولتاژ که مورد تقاضای کاربری ویژه است، دست‌یافت. تمام پیل های سوختی به نوعی به هیدروژن نیازمندند. در خودروها، می‌توان هیدروژن را به عنوان یک مایع سرماساز یا به صورت گازی تحت فشار ذخیره نمود. اما تبدیل هیدروژن به مایع، گران تمام می شود و ذخیره این سوخت فوق‌العاده

سرد نیازمند کار مهندسی دشواری می‌باشد. ذخیره هیدروژن به صورت گاز، محتاج هزینه قابل توجه برای انرژی فشرده‌سازی و نیز ملاحظات شدید ایمنی بوده، همچنین نیازمند مخازن سنگین و حجیمی برای نگهداری است. متان (گاز طبیعی) معمولاً به عنوان منبعی برای تامین هیدروژن بعضی از پیل‌های سوختی به کار می‌رود که، برای نیروگاه‌های بزرگ تولید برق طراحی شده اند. اما برای تحت فشار قرار دادن و تبدیل به مایع کردن مواد سرماساز، مشکلاتی وجود دارد که در مواردی که وسیله مورد نظر از لحاظ قابل حمل بودن یا وزن و جا محدودیتی دارد و نمی توان به راحتی از این نوع پیل سوختی استفاده کرد (چون مشکلاتی از این قبیل بر سر راه آن وجود دارد). نگهداری هیدروژن به صورت هیبرید فلزی هم امکان‌پذیر است اما، در این فن آوری هم مشکل وزن محل مخصوص نگهداری هیدروژن وجود دارد که برد حرکتی خودرو را تحت تاثیر قرار می دهد. ذخیره هیدروژن توسط کربن نانو فیبر نیز توسط بعضی از محققین پیشنهاد شده است ولی این فن‌آوری از نقطه نظر تجاری چندان مطلوب نیست. متانول به دلیل اینکه در شرایط فشار محیط و دمای اتاق مایع است بستر ایده‌آلی برای تامین هیدروژن مورد نیاز خودروها شناخته شده است. متانول، مولکول ساده ای متشکل از یک اتم کربن، سه اتم هیدروژن و یک پیوند اکسیژن به هیدروژن است. در فرمول متانول، جدا شدن هیدروژن از پیوند OH به مراتب ساده‌تر از دیگر سوخت‌های مایع است. در ضمن متانول گوگرد ندارد که شکستن آن دشوار باشد و نسبت هیدروژن به کربن آن بسیار بالاست. در حقیقت یک گالن سوخت متانول در مقایسه با یک گالن مایع سرمازای هیدروژن، محتوی هیدروژن بیشتری است.

انواع پیل‌های سوختی:

پیل سوختی قلیایی:

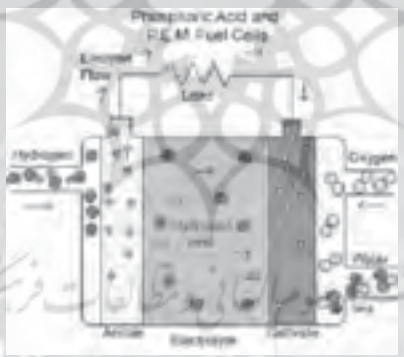
این نوع پیل‌سوختی از گران‌ترین آن‌هاست و در برنامه‌های فضایی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. آند و کاتد آن از جنس پلاتین و طلا هستند. کارآیی آن بسیار بالا بوده ولی در حمل و نقل چندان کاربردی ندارد.



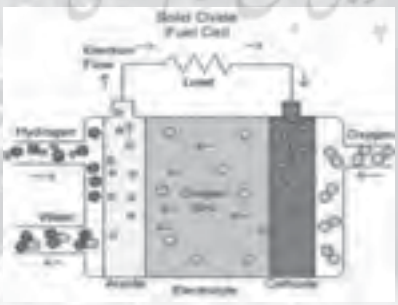
شکل ۲- یک نمونه از پیل سوختی قلیایی

پیل سوختی اسید فسفریک:

این پیل سوختی در دمای ۱۵۰-۱۷۵ درجه سانتیگراد عمل کرده و روی مدل اولیه اتوبوس ها نصب شده و بسیار مناسب بوده و برای نیروگاه‌ها هم کاربرد زیادی دارد. (شکل شماره۳)



شکل ۳- نمونه ای از یک پیل سوختی اسید فسفریک



شکل شماره ۴- نمونه ای از پیل سوختی اکسید جامد

پیل سوختی کربنات مذاب و پیل سوختی اکسید جامد:

کربنات مذاب در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و اکسید جامد در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد کار می کنند و هر دو گران‌قیمت بوده و در عمل مشکلاتی به همراه دارند . (شکل شماره ۴)

پیل سوختی پلیمری:

این پیل سوختی با الکترولیت جامد در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد عمل می‌کند که تقریباً همان درجه حرارت آب رادیاتور خودروهاست. این پیل ها مثل پیل‌های قلیایی از پلاتین به عنوان کاتالیزور واکنش، استفاده می‌کنند. پیل سوختی پلیمری در حال رقابت برای استفاده در خودروهاست. اصولاً دو نوع پیل سوختی پلیمری وجود دارد که به طور تجاری توسعه یافته‌اند. نوع اول پیل سوختی پلیمری گازی است که با گاز هیدروژن کار می‌کند. نوع دوم پیل سوختی پلیمری مایع است که متانول مایع به طور مستقیم به پیل سوختی وارد می‌شود (در مقیاس آزمایشگاهی از انواع مایعات گرانتر دیگری نیز که دارای هیدروژن هستند، استفاده شده ولی هنوز هم پیل‌های سوختی با مصرف مستقیم متانول از نظر تجاری از بقیه بهتر می باشد . (شکل های شماره ۵و۶)

پیل سوختی پلیمری گازی:

برای عملکرد این نوع پیل سوختی، گاز هیدروژن لازم است. می‌توان به طور مستقیم هیدروژن را روی خودرو ذخیره نمود. البته وزن و قیمت یک سوخت گازی، جزء نکات منفی آن حساب می شوند. بنابراین، کسانی که در حال تلاش برای بهبود این نوع پیل‌ها هستند، فعالیت خود را روی سوخت‌های هیدروژن‌دار مایع متمرکز نموده‌اند. این نوع سوخت‌ها، قبل از ورود به پیل باید از مبدل بگذرند و متانول، ایده آل ترین و بهترین در بین آن‌هاست.

در درجه حرارت‌های نسبتاً پایین، با وجود یک مبدل با

سایت اینترنتی انجمن متخصصان محیط زیست : www.irsen.org

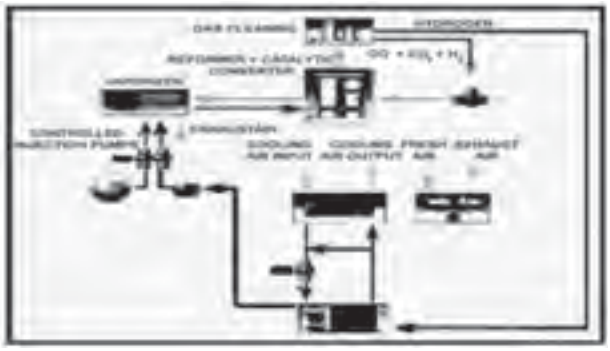
سیستم مبدل بخار آب به راحتی مولکول متانول شکسته شده و هیدروژن لازم برای سری پیل سوختی تولید می شود؛ به این ترتیب، الکتریسیته لازم، برای به حرکت در آوردن خودرو تولید می شود. در این طراحی، با وجود مبدل، می توان به سرعت و با کارآیی زیاد هیدروژن لازم برای پیل سوختی را به کمک یک سوخت مایع تامین نمود و این سوخت مایع، از نظر ذخیره و توزیع، در خودرو مشکل چندانی ندارد. اما اشکال آن این است که، در مبدل ممکن است ضمن سوزاندن متانول و هیدروژن برای تامین حرارت لازم جهت شروع واکنش مقدار ناچیزی از مواد آلاینده نیز تولید شود. از طرفی وجود مبدل، بر وزن، پیچیدگی و قیمت کل سیستم می افزاید.

پیل سوختی پلیمری مایع:

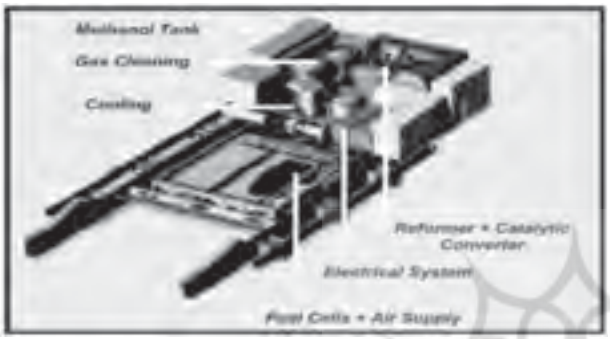
دومین نوع، پیل های سوختی پلیمری است که در آن به طور مستقیم از متانول استفاده می شود. در این پیل سوختی، نیازی به مبدل نبوده و متانول به طور مستقیم به داخل پیل تزریق می شود. سپس، متانول مایع وارد واکنش شده و الکتریسیته و دی‌اکسید کربن تولید می کند. به خاطر سادگی، اندازه کوچک و تقریباً ناآلاینده بودن این نوع پیل، تمایل زیادی برای استفاده از آن وجود دارد ولی توسعه تجاری آن به خاطر وجود مبدل متانول با سیستم بخار خیلی قدیمی است. بعید نیست که پیل سوختی که به طور مستقیم از متانول استفاده می کند (پیل سوختی متانولی) در آینده نزدیک و در قرن آتی به عنوان یک منبع توانمند فراگیر و جهانی قلمداد شود. این نوع پیل برای موارد خاصی که مصرف‌کننده (برق) کوچک است مثل تلفن های همراه و کامپیوترهای لپ تاپ یا وسایل قابل حمل و نقل مثل ماشین های چمن زنی و برگ جمع‌کن‌ها کاملاً ایده‌آل است. در موارد دیگر که مصرف کننده برق بزرگ تر است مثل خودروها، اتوبوس‌ها ونیروگاه‌ها و حتی لوکوموتیوهای قطار دستیابی به بازارهای فروش جزو اهداف کار قرار گرفته است. بعضی از مصرف‌کنندگان بسیار بزرگ و سازندگان عمده خودرو توانایی‌های موجود در این زمینه را شناسایی کرده و در حال کار برای بهبود پیل‌های سوختی هستند که به طور مستقیم از متانول استفاده می کنند.

چالش‌های پیل های سوختی پلیمری:

چالش‌هایی که پیش روی محققین پیل سوختی پلیمری قرار گرفته است سه دسته هستند: کاهش هزینه برای ساخت صفحات الکترود، کاهش مقدار پلاتین گران قیمتی که به عنوان کاتالیست به مصرف می رسد و طراحی یک غشای ارزان و کارآمد. پیشرفت‌های عظیمی در این زمینه ها، صورت گرفته است. تا چند سال قبل، سری پیل‌های سوختی، تنها یک قسمت از محل سیستم پیل سوختی به ازای هر کیلووات ۵۰۰۰ دلار هزینه در بر داشتند که بسیار گران و کمرشکن بود. اکنون هزینه کل سیستم



شکل شماره ۵- نمونه ای از پیل های سوختی پلیمری گازی

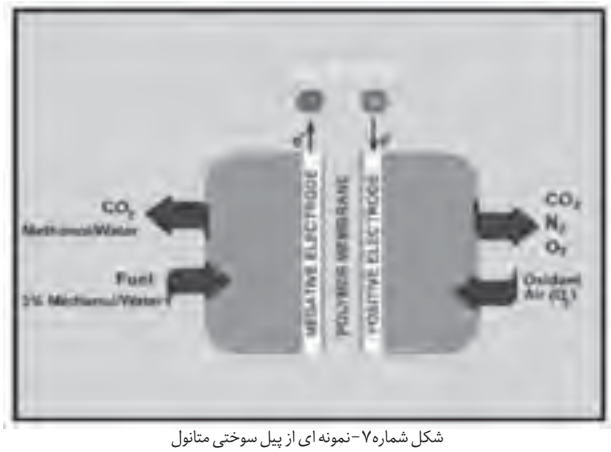


شکل شماره ۶- نمونه ای از پیل های سوختی پلیمری گازی

پیل سوختی (شامل سری پیل‌های سوختی، مبدل متانول و کنترل های مربوط به آن) به ۵۰۰ دلار به ازای هر کیلووات کاهش یافته است و محققین تصمیم دارند با توسعه و بهبود این نوع پیل ها و تولید انبوه آن‌ها قیمت را تا حد ۵۰ دلار به ازای هر کیلووات پایین بیاورند. بدین ترتیب یک سیستم ۵۰ کیلوواتی برای یک خودرو، ۲۵۰۰ دلار هزینه دارد که، کاملاً با سیستم‌های موتورهای درون سوز امروزی، قابل رقابت است. بسیاری از چالش‌هایی که پیش روی توسعه‌دهندگان مبدل ها قرار گرفته است با تمایل و اشتیاق یکسانی در میان آن‌ها مواجه می‌شود. هنگامی که موتور سرد است، لازم است هیدروژن به سرعت تولید شود. در این زمینه پیشرفت های زیادی صورت گرفته است، برای مثال، مبدل متانولی) (HOT SPOT از شرکت جانسون ماتی در عرض ۲۰ ثانیه در زمان روشن کردن خودرو، ۵۰ درصد هیدروژن لازم را تولید نموده و مابقی را فقط در مدت ۵۰ ثانیه بعدی تولید خواهد کرد. سیستم فرآوری سوخت آن بسیار کارا بوده و بهره آن بالاست و ۸۹ درصد هیدروژن موجود در سوخت متانول را آزاد می‌کند. مهندسان، وزن تبخیر کننده مبدل را کاهش داده و از ۳۰۰ کیلوگرم فقط به ۳ کیلوگرم رسانده اند و این در حالی است که بازدهی سیستم بالاتر هم رفته است.

ارتباط بین پیل سوختی با متانول و پیل سوختی با استفاده مستقیم از متانول:

طراحی پیل‌های سوختی به طور طبیعی گام بسیار بزرگی در جهت تصفیه و پاک‌سازی هواست. به جز پیل های سوختی با سوخت هیدروژن فشرده و پیل سوختی متانولی،

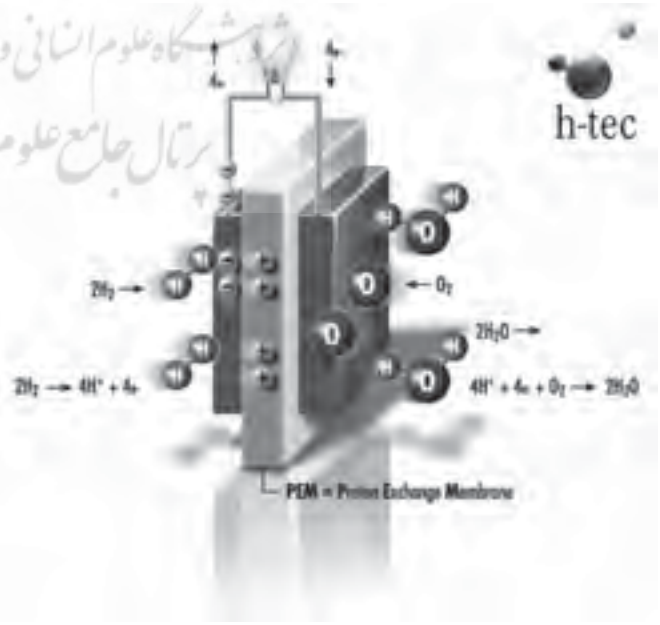


شکل شماره۷-نمونه ای از پیل سوختی متانول

بقیه پیل های سوختی خودروها، نیازمند نوعی مبدل با سیستم بخار یا مبدل اکسیداسیون پاره ای هستند تا هیدروژن موجود در سوخت را آزاد نمایند.

این فرآیندها، اکسیدهای نیتروژن نیز تولید می کنند که آلاینده بوده وحتی مقدار بسیار کمی از آنها وقتی در تعداد میلیونی خودروهای آلاینده ضرب شوند، قادر است کیفیت هوارا به خطر اندازد. اکسیدهای نیتروژن، یک ماده اساسی برای تشکیل لایه ازن یا دوده در سطح زمین است. به خاطر شکست مولکول متانول و تولید مستقیم هیدروژن و اکسیژن، بدون نیاز به مبدل با سیستم بخار یا مبدل اکسیداسیون، پاره ای خودروهای مجهز به پیل سوختی متانولی، هیچ ماده آلاینده ای ندارند.

بنابراین، بین مبدل های متانول پیل سوختی وپیل سوختی متانولی مستقیم، رابطه‌ای وجود دارد که بین هیچیک از فن آوری‌های دیگر که با ترکیب پیل‌های سوختی سروکار دارند، موجود نیست. خودروهایی که با پیل سوختی مبدل دار کار می‌کنند، بسیار تمیزتر هستند ولی، برای حمایت از آن‌ها باید زیرساخت‌های این نوع سوخت‌ها نیز ساخته شود. تخمین زده شده که فن‌آوری پیل‌های سوختی متانولی تا سال ۲۰۰۸ به بلوغ

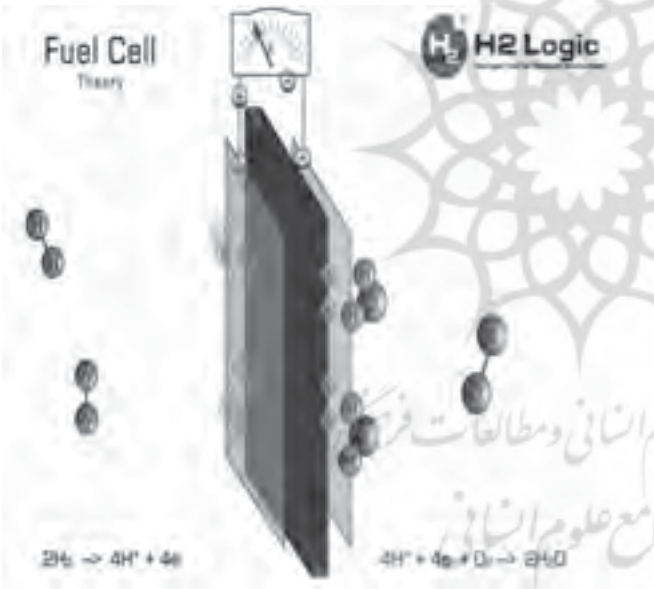


پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تجاری خود خواهد رسید، یعنی، ۴ یا ۵ سال پس از ورود اولین خودروهای پیل سوختی متانولی که از مبدل با سیستم بخار استفاده می کنند.

پیل‌های سوختی متانولی برای حذف آلاینده های نیتروژنی، بیشتر از هر نوع خودروی پیل سوختی با سوخت مایع، مناسب تشخیص داده شده اند. با این حساب، خودروهای پیل سوختی متانولی واقعاً غیرآلاینده هستند. پیل های سوختی متانولی به خاطر سادگی طراحی، مزایای مهم و قابل توجه دیگری نیز دارند. حذف نیاز به مبدل با سیستم بخار و کنترلرهای مربوط به آن از وزن و هزینه کاسته، و در سوخت صرفه جویی بیشتری خواهد شد. (شکل شماره ۷) رانندگی با یک خودروی پیل سوختی متانولی به همان راحتی رانندگی با یک خودروی استاندارد بنزینی امروزی بدون سر و صدای آن است.

صدای ناشی از تردد خودروها که در فضا پخش می شود از صدای ایجاد شده توسط موتورالکتریکی بلندتراست. داشتن یک خودروی پیل سوختی متانولی تجربه کاملاً متفاوتی است. در این نوع خودروها، نیازی به روغنکاری و تعویض فیلترها نیست. بسیاری از تعمیرات معمولی مثل کارهای مربوط به سوپاپ ها، رینگ، تعمیر استارت، تنظیم تجهیزات و قطعاتی که به مرور زمان از بین می روند و نیز تسمه پروانه و غیره منتفی خواهد بود. کم بودن قطعات و قسمت های متحرک به معنای ضریب اطمینان بیشتر و طول عمر طولانی تر خودرو است و به طور حتم سرمایه و هزینه لازم برای نگهداری را کاهش می دهد. مالکیت و راندن خودروی مجهز به پیل سوختی، با سهولت فوق العاده زیادی همراه خواهد بود و در پول و زمان صرفه جویی خواهد کرد. مساله ای که



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اخیراً مورد توجه قرار گرفته مدت زمان شروع به کار مبدل با سیستم بخار خودروهای پیل سوختی متانولی است. مدل های اولیه فعلی، چند دقیقه ای وقت لازم دارند تا روشن شوند. بعضی از خودروهای هیبریدی (پیل سوختی و باتری)، این مشکل را با به کار بردن باتری ها برای تامین قدرت اولیه و برق رسانی به پیل سوختی، وقتی به حداکثر توان خود نرسیده است، حل کرده اند. تنها با پیشرفت هایی در زمینه فرآیند مبدل با سیستم بخار، زمان روشن کردن خودرو کاهش خواهد یافت. خودروی پیل سوختی متانولی از نقطه نظر منبع قدرت حمل، مزایای دیگری هم دارد که از قبل پیش بینی نشده است. با وجود ۵۰۰۰۰ وات توان الکتریکی، خودروی پیل سوختی متانولی، منبع انرژی قابل حملی است که ۸ تا ۱۰ برابر ژنراتور قابل حمل بنزینی قوی تر است، در ضمن، قیمت خرده فروشی مولد بنزینی ۱۰۰۰ الی ۱۴۰۰ دلار بوده و ظرفیت آن حداکثر ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ وات است(یا بیشتر از ۲۰۰ دلار به ازای هر کیلووات)خودروهایی که مجهز به تبدیل کننده جریان مستقیم متناوب برق هستند برای تامین برق هنگام چادر زدن و مصارف ساختمانی (برای اسکان موقت) یا سایر فعالیت ها، قدرت بسیار زیادی دارند. اگر طوفان های شدید، یخ و باران های سنگین، خطوط برق رسانی را مختل نمایند، با روشهای خاص این امکان وجود داردکه، بسیاری از منازل را به وسیله منبع نیروی یک خودروی پیل سوختی برق رسانی کرد.

مزایای ایمنی استفاده از متانول در خودروها:

متانول به خاطر اکتان بالا، کارآیی خودروها را بهبود می دهد اما، علت استفاده از آن، این مطلب نیست بلکه به دلیل ایمنی و بی ضرر بودن از آن استفاده خواهیم کرد. این موضوع خطر آتش‌سوزی را به میزان بسیار کاهش داده است. (مدیر فنی مسابقات اتومبیل‌رانی ایندی) متانول یکی از سالم‌ترین سوخت‌ها برای محیط زیست و بی‌خطرترین سوخت در دسترس است. در حقیقت از اواسط دهه ۱۹۶۰، متانول به خاطر مزایای متعددی نظیر عدم اشتعال و خصوصیات مربوط به کارآیی آن، به عنوان سوخت انتخاب شده در خودروهای خاص درآمد. همان مسائل و مشکلاتی که برای حمل ونقل بنزین و سایر سوخت‌ها رعایت می‌شود در مورد متانول هم باید رعایت شود. متانول خالص، دیرتر از بنزین آتش می‌گیرد و با شدت کمتری می‌سوزد (حدود ۶۰ درصد آرام‌تر)، متانول در دمای پایین تری نیز می سوزد و با یک پنجم سرعت بنزین مشتعل می‌شود و انرژی خود را آزاد می کند.

مواد خطرناک آلوده کننده هوا:

مونوکسید کربن:

مونوکسیدکربن، حاصل از احتراق ناقص سوخت ها در سیلندرهای موتور خودرو است که همیشه از خودروهای بنزینی متداول منتشر می شود. اما بیشترین مقدار آن مربوط به زمانی است که هوا سرد است و مدتی طول می کشد تا در ابتدای حرکت خودرو گرم شود. مونوکسید کربن، برای انسان سمی بوده و مانع توانایی بدن در جذب و توزیع اکسیژن می شود.

ترکیبات آلی فرار:

ترکیبات آلی فرار، موضوع اصلی تلاش برای کنترل آلودگی‌های شدید هستند. یک منبع غنی آن‌ها، همان مواد نسوخته حاصل از احتراق سوخت‌ها در سیلندر خودروهاست که از اگزوز آن‌ها بیرون می‌آیند. ترکیبات آلی فرار همچنین به طور مستقیم از تبخیر بنزین طی فرآیند پالایش و توزیع یا در زمان سوخت گیری خودروها حاصل می‌شود. حتی زمانی که خودروها خاموش بوده و در حال استفاده نیستند، این ترکیبات از آن‌ها متصاعد می شوند. بعضی از مواد تشکیل‌دهنده مواد آلی فرار، سرطان‌زا نیستند. در حضور نور خورشید ترکیبات آلی فرار بنزین بسیار فعال شده و در سطح زمین لایه ازن یا دوده و غبار تشکیل می دهند که به ریه انسان صدمه زده و سبب آزردگی و سوزش چشمان می شود.

اکسیدهای نیتروژن:

اکسیدهای نیتروژن محصول فرعی احتراق بوده و توسط تمام خودروهای درون سوز تولید و در فضا منتشر می شوند. اکسیدهای نیتروژن یکی از عوامل اصلی تشکیل‌دهنده غبار و دوده و در بسیاری از شهرهای جهان مهم‌ترین ماده تهدید کننده سلامتی انسان‌هاست.

بدون اکسیدهای نیتروژن ازن تشکیل نمی شود. از طریق واکنش‌های شیمیایی ثانویه در هوا اکسیدهای نیتروژن نیز تولید و به دسته

آلاینده های ذرات ریز معلق می‌پیوندند.

ذرات معلق:

ذرات معلق یک عنوان کلی برای ذرات غبار و دوده ای است که کمتر از۱۰ میکرون قطر داشته باشند. این ذرات آن قدر کوچک‌اند که قادرند به ریه ها نفوذ کرده و در آنجا مانده و تولید بیماری نمایند. اخیراً ثابت شده که این ذرات بسیار ریز، تهدیدکننده اصلی سلامتی مردم است و سالیانه هزاران نفر به علت مشکلات ناشی از استنشاق آن‌ها، جان خود را از دست می‌دهند.در بسیاری از شهرها، اتوبوس‌ها منبع اصلی آلاینده‌های نیتروژنی و ذرات ریز (غبار)هستند. در گذشته، اتوبوس‌های شهری به جای استفاده از خودروهای شخصی به خاطر جابجایی تعداد خیلی زیادی از مردم، خسارات ناشی از آلایندگی زیاد خود را جبران می کردند.به تازگی پیش‌بینی شده است که اتوبوس‌های پیل سوختی متانولی با ظرفیت تکمیل مسافرین، آلودگی کمتری خواهند داشت. این مقدار بسیار کم آلودگی خودروهای پیل سوختی متانولی، خود، به عنوان عاملی برای استفاده از این فن‌آوری جهت کنترل آلودگی هوا به شمار می آید. با استفاده از نسل دوم خودروی پیل سوختی که متانول را به طور مستقیم به مصرف می‌رساند می‌توان آلودگی مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات ریز را به صفر کاهش داد. البته هنوزهم امکان دارد که مقادیر فوق العاده کمی از ترکیبات آلی فرار در سیستم سوخت متانول وجود داشته باشد که ناشی از تبخیر مقادیر ناچیزی از سوخت است، اما همین مقدار کم را نیز، می توان با استفاده از سیستم سوخت بسته کاملاً رفع نمود.

آلاینده‌های ثابت اتوبوس‌های شهری در دسترس قرار گرفتن سوخت متانول:

بسیاری از بزرگترین شرکت های نفتی دنیا، خود بزرگترین مالکان ذخایر گاز طبیعی نیز هستند.این شرکت ها به متانول به عنوان راه ایده آلی برای به پول تبدیل کردن گاز طبیعی خود نگاه می کنند و آن را کالای مناسب، مفید و راحتی برای استفاده در حمل ونقل می دانند. کارآیی زیاد خودروی پیل سوختی متانولی و هزینه تولید نسبتاً کم متانول در به دست آوردن سود حاصل از سرمایه گذاری، به سرمایه گذاران جایگاه های خرده فروشی متانول کمک خواهند کرد. پیشرفت های اولیه سیستم توزیع متانول می‌تواند، مزیت جانشینی سوخت هایی با قیمت نه چندان گران را تامین نماید. بعضی از جایگاه‌ها به ۵۰۰۰۰ دلار سرمایه برای بهینه سازی احتیاج دارند (البته نه همه‌ی آن‌ها)، مخازن ذخیره که در روی زمین قرار دارند و کمتر از ۲۰ هزار دلار ارزش دارند می‌توانند جانشین مخازن کم حجم یا تسهیلات ناوگانی (تانکرها) شوند و به این ترتیب توزیع سوخت آغاز شود. اگر حجم بیشتری از سوخت برای ذخیره در انبار احتیاج باشد می‌توان از مخازن زیر زمینی هم استفاده نمود. در ضمن، مخازن روی زمینی را می‌توان به مکان‌های دیگر انتقال داد و با انتقال آن‌ها به مکان‌های جدید، به شبکه سوخت‌رسانی در مناطق دور دست نیز یاری رساند.از آنجایی که رشد تقاضا از عرضه پیشی خواهد گرفت، باید منتظر تغییرات ناگهانی قیمت نفت و بحران‌های اقتصادی ناشی از آن بود. اما تنها پرسش اساسی که ارزش واقع گرایانه ای نیز دارد این است که، آیا به اندازه کافی ماده اولیه برای ساخت متانول در دوره جدید حمل ونقل وجود خواهد داشت یا خیر ؟در پاسخ باید گفت: تامین متانول محدود نخواهد شد چون، منابع تولید آن زیاد، متنوع، ماندگار و تجدید پذیر هستند.

تولید متانول در جهان در سال ۱۹۹۸ با نرخ بهره برداری کمتر از ۸۰ درصد، حدود ۱۱/۴ میلیارد گالن (۳۴ میلیون تن) بود. در حال حاضر صنعت متانول تاثیر زیادی بر اقتصاد جهان گذاشته است. ایجاد بیش از ۱۲ میلیارد دلار فعالیت اقتصادی در سال و بیش از ۱۰۰۰۰۰ شغل که به طور مستقیم و یا غیر مستقیم در رابطه با این صنعت هستند. بیانگر این مطلب است. متانول و مشتقات آن استفاده زیادی به عنوان سوخت در بخش‌های حمل و نقل داشته و از آنجایی که یک کالای شیمیایی است، در ساخت مواد دیگری مثل تخته‌های فیبری که در خانه سازی مصرف دارند، الیاف اسپاندکس برای پارچه‌بافی و ساخت پلاستیک‌های برگشت پذیر و نیز تهیه محلول شیشه شوی و بنزین پاک‌تر، استفاده می‌شود.با توجه به برآورد قدرت تجاری خودرو، فرضیات زیادی در رابطه با تقاضای متانول می توان تصور نمود.اولین فرضی که به ذهن خطور می کند این است که، تا سال ۲۰۱۰ سازندگان خودرو دو میلیون خودروی پیل سوختی وارد بازار کنند. با احتساب آنکه هر خودرو در سال ۴۴۱ گالن متانول مصرف می کند تقاضای سالیانه متانول ۸۸۲ میلیون گالن یعنی کمتر از ۸۰ درصد ظرفیت فعلی جهان خواهد بود.

بر اساس برآورد انجام شده در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۳۵ میلیون خودرو در جهان وجود خواهد داشت که ۱۵/۴ میلیون گالن متانول، (حدوداً ۱۳۵ درصد ظرفیت فعلی جهان) مصرف خواهند نمود و سرمایه گذاری هنگفتی در واحدهای جدید تولید متانول، نیاز خواهد داشت. از آنجایی که واحدهای عظیم تولید متانول، در عرض ۲ الی ۲/۵ سال ساخته خواهند شد، مشکلی از نظر افزایش ظرفیت تقاضا ظرف ۲۰ سال بعد از آن وجود نخواهد داشت.جدید ترین واحدهای تولید متانول امروزی، با بهره ۷۰ درصد نسبت به واحدهای تولید متان ده سال پیش، در بهره گیری از انرژی موجود در این سوخت ۱۰ درصد کارآمدتر هستند.به طور قطع، افزایش ظرفیت استاندارد، تولید صنایع را به طرف استفاده از این فن آوری های نوین خواهد کشاند. حتی در واحدهای عظیم و بسیار جدید تولید متانول، حدود یک میلیارد دلار برای تولید ۱۰۰۰۰ تن متانول در روز لازم است (که این مقدار برای استفاده ۲/۶ میلیون خودروی پیل سوختی متانولی کفایت می کند) به علاوه، ابعاد اقتصادی و سهم انرژی پتانسیل هزینه های تولید را پایین تر نیز خواهند آورد.

منابع دیگر تامین متانول:

آنقدر گاز طبیعی فراوان است که می تواند برای ده ها سال به عنوان منبع تامین متانول انتخاب شده و مورد استفاده قرار گیرد. ولی باید گفت که، منابع زیاد دیگری نیز روی

زمین برای متان وجود دارد. مانند متان موجود در بسترهای زغال سنگ که همواره در حد تولید اقتصادی هستند. بقیه منابع مثل هیدرات متان مورد توجه فراوان دانشمندان بوده ولی برای آینده در نظر گرفته شده اند و فعلاً خارج ازحیطه مصرف هستند. تصویر کلی با در نظر گرفتن تمام منابع نشان می دهد که ذخیره برای تولید متانول برای هزاران سال وجود دارد.

اما منابع دیگر تامین متانول عبارتند از:

متان بستر های زغال سنگ

هیدرات متان

هیدروژن حاصل از آب

مقایسه پیل های سوختی متانولی و پیل های سوختی بنزینی و خودروهای هیبریدی (بنزینی/باتری):

بنزین سوخت انتخابی پیل های سوختی نیست و در پیل‌های سوختی باعث آلاینده گی بیشتر می‌شود. خودروهای پیل سوختی متانولی، یکی از بزرگترین معاملات زیست محیطی در طول تاریخ است. می توان پمپ‌های متانول را در یک دهم جایگاه های فروش بنزین نصب کرد. بعضی ها فکر می کنند که باید طراحی خودروهای آینده بر اساس محصولات نفتی که به صورت خرده فروشی هم وجود داشته باشد و عرضه می شود (مثل بنزین و گازوئیل) باشد. از پیشرفت‌های ممتاز در این زمینه می‌توان از خودروی پیل سوختی بنزینی و خودروی هیبریدی (بنزینی / باتری یا گازوئیل /باتری) نام برد.

پس از سال ها تلاش برای تولید انبوه خودروی پیل سوختی متانولی با مبدل سیستم بخار آب، خودروی پیل سوختی بنزینی، در مراحل اولیه توسعه خود قرار دارد. امروزه بنزین دارای ترکیبات زیادی است که تبدیل آن به گاز هیدروژن با مشکلات زیادی روبروست. وجود ترکیبات آروماتیک و سولفوره، تبدیل بنزین را به رقابت کم رونقی در حوزه علوم مهندسی تبدیل کرده است. محققین در آزمایشگاه‌ها در حال کار بر روی اکسیداسیون جزئی بنزین هستند. این فن‌آوری با قابلیت چند سوختی طراحی شده اند تا بتوانند با متانول، اتانول، بنزین یا گاز طبیعی عمل نمایند. اکنون خودروی پیل سوختی که با بنزین کار کند وجود ندارد در ضمن، پیچیدگی مبدل بنزین به هزینه و وزن خودرو خواهد افزود. به دلایلی که در بالا گفته شد، سوختی برای استفاده در خودروی پیل سوختی بنزینی مناسب‌تر است که در پالایشگاه با طراحی خاصی تولید شده باشد. این به معنای آن است که، هزینه‌های اضافی بابت زیر ساخت باید پیش‌بینی شود تا بتوان ضرر ناشی از این بنزین ساخته شده را جبران نمود. یعنی، قسمت سبکی از زنجیره مستقیم هیدروکربن‌های بدون گوگرد با وجود مقادیر کمی از آن برای استفاده در خودروهای پیل سوختی در نظر گرفته شود. این سوخت طراحی شده به ذخیره‌سازی جداگانه در جایگاه‌های خرده‌فروشی نیازمند خواهد بود. چنانچه بنزین معمولی با گوگرد کم مورد

استفاده قرار گیرد، باید دقت زیادی داشت تا از حداقل مقدار خود بیشتر نشود و این امرمتضمن هزینه های بهینه سازی و بهبود مراحل تصفیه آن است. سازندگان خودرو و متخصصین محیط زیست، صنعت نفت را به سوی کاهش محتوای گوگرد بنزین از متوسط فعلی آن یعنی ۳۰۰ppm به ۴۰ppm یا کمتر از آن هدایت می کنند.حتی اگر فن آوری پیل سوختی بنزینی پیشرفت کند، هنوز دلایل زیادی وجود دارد که باعث شود متانول را به عنوان سوخت پیل های سوختی انتخاب نمود.تبدیل بنزین نسبت به تبدیل متانول با کمک مبدل با سیستم بخار، به درجه حرارت بالاتری احتیاج دارد (۸۰۰co نسبت به ۲۵۰co و۳۰۰) درجه حرارت بالاتر، به معنای آن است که، زمان بیشتری طول می کشد تا خودرو روشن شود. به همین ترتیب، بازده واکنش اکسیداسیون جزئی بنزین هم، از بازده تبدیل متانول با مبدل سیستم بخارکمتر است.فن‌آوری تبدیل بنزین، محتاج تصفیه مونوکسیدکربن بیشتری است (که برای افزایش کارآیی پیل سوختی لازم است)، حدود ۱۰ppm باقی خواهد ماند در مقایسه با یک یا دو ppm برای یک مبدل متانول، مقادیر بیشتر مونوکسید کربن روی کار پیل سوختی اثر نامطلوبی دارد. فرآیند تبدیل بنزین نسبت به تبدیل متانول، هیدروژن رقیق تری تولید می کند و این غلظت کم، بر کارآیی پیل سوختی اثر منفی دارد.توسعه مبدل بنزین به خاطر پیچیدگی آن، تولید انبوه پیل های سوختی را با تاخیر مواجه خواهد کرد.جای تعجبی ندارد اگر اغلب کسانی که در توسعه پیل سوختی پیشکسوت هستند و سازندگان خودرو، به شدت سرگرم بهبود متانول برای استفاده در پیل‌های سوختی باشند. یکی دیگر از پیشرفت‌های فنی تولید خودروهای هیبریدی است. خودروی هیبریدی (بنزینی/باتری یا گازوئیلی/باتری) به طور مستقیم، دستخوش پیشرفت‌های خارج از محدودیت‌های باتری شده است. خودروهای برقی که توان خود را از باتری‌ها می‌گیرند سنگین هستند؛ علت این سنگینی وزن باتری است به علاوه، برد بسیار کمی دارند و حداکثر در هر نوبت شارژ به ۱۰۰ مایل مسافت می‌رسند، اما بیشتر آن ها فقط به ۷۵ مایل می‌رسند.در هرخودروی هیبریدی، یک موتور کوچک بنزینی یا گازوئیلی وجود دارد که توان اضافه بر نیاز را تولید می‌کند. خودرو در ضمن کار هم می‌تواند شارژ شود. به علاوه طراحی‌های متنوعی وجود دارد، اما، همه آن‌ها، مدل یکسانی را از باتری ارائه می دهند که حتماً باید موقع کار کردن خودرو شارژ شود. موتور بنزینی را بهینه کرده اند تا آلاینده‌ها را به حد بسیار کم کنترل نماید.اگر توان افزایش وزن خودرو خیلی زیاد نباشد، یعنی طوری که کاهش دی اکسید کربن به ۵۰ درصد برسد، مقدار مسافت طی شده بر حسب مایل به ازای هر گالن سوخت، ممکن است دو برابر شود.خودروهای پیل سوختی متانولی قادرند، میزان آلایندگی را در مورد آلاینده‌های بحرانی حتی از مقدارذکر شده بیشتر کاهش دهند، بخصوص در طولانی مدت، وقتی پیل سوختی متانولی با یک مبدل با سیستم بخار همراه شود که، میزان آلودگی اغلب آلاینده های آن، بسیار کم و حتی به صفر می رسد.

نتایج:

در نهایت، با احتساب اینکه به طور سرانه باید ۲ دلار برای توسعه زیر ساخت متانول هزینه شود، این میزان در مقایسه با هزینه سایر سوخت‌های جانشین، سرمایه‌گذاری مناسبی به حساب می آید. امیدواری بیشتر به محصولات نفتی دیگر و طرفداری از آن ها چندان موجه به نظر نمی رسد.بخصوص که برای مصرف کننده از نظر هزینه سالیانه سوخت گران تر هم تمام می شود (مطابق روند قیمت‌گذاری) و مشکلات زیست محیطی بیشتری نیز دارند.

عاقلانه‌ترین سرمایه‌گذاری برای عموم اقشار مختلف اعم از متخصصین محیط زیست، شهروندان و کسانی که نگران امنیت انرژی و منافع مصرف کنندگان هستند، همانا خودروی پیل سوختی متانولی است.

منابع :

۱-نگاهی فراتر از موتور درون سوز تهیه شده توسط گری گوری پی نوئل

۲-سایت «http://www.methanol.org» www.methanol.org

۳-سایت www.iranfuelcell.com

4-Morton, Lawrence, Norman Hunter, and Hyman Gesser (1990). “Methanol: A Fuel for Today and

5-Tomorrow,” Chemistry and Industry, 16 July, pp. 457-462.5

-6H a l pe rt, Gerald (1996). “Key Issues for Di rect Methanol Fuel Cells,” 17-19 September 1996,

7 - Commercializing Fuel Cell Vehicles, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif.

سایت اینترنتی انجمن متخصصان محیط زیست : www.irsen.org