مقاله

طراحی و ساخت خودرو پاک
مجهز به پیل سوختی پلیمری دمابالا و پنل‌های خورشیدی

سید محمدباقر مرعشی
عضو گروه فیزیک و گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت بالا، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
smb_marashi@yahoo.com

سوده جمالی پاقلعه*
عضو گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت بالا دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
soodehjamali@yahoo.com

مجتبی رحیمی
استادیار گروه فیزیک و عضو گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت بالا، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
rahimi_bam@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۵

چکیده

خودرو یکی از مهمترین منابع مصرف انرژی، خصوصاً انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی است. امروزه، با توجه به تولید روزافزون خودرو و گسترش سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری، خودرو مهمترین منبع آلودگی شهرها محسوب می‌شود. با توجه به محدودبودن منابع انرژی، تغییر رویهٔ استفاده از سوخت‌های فسیلی نه‌تنها در کاهش آلایندگی، که در رشد اقتصادی کشور و کاهش تأثیر نوسانات نرخ نفت در بازار جهانی بر اقتصاد داخلی مؤثر می‌باشد. در این مقاله، پس از مروری بر منابع انرژی پاک، انواع خودرو و زیرساخت‌های موجود در ایران، خودروهای هیبریدی پیل سوختی[1] دمابالا به‌عنوان جایگزینی مناسب برای سیستم حمل‌ونقل کنونی پیشنهاد می‌شود. در پایان، مینی‌بوس تشریفاتی چهارده‌نفرهٔ هیبرید پیل سوختی - خورشیدی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، به‌عنوان نمونه‌ای موفق از یک خودرو پاک معرفی و سیستم‌های توان، گازرسانی و کنترل آن تشریح می‌شود.

واژگان کلیدی: پیل سوختی دمابالا، خودرو هیبریدی، آلودگی هوا، انرژی خورشیدی

۱. مقدمه

از ابتدای خلقت انسان، انرژی یکی از مهمترین چالش‌های فراروی بشر بوده است. امروزه با رشد روزافزون صنعت و بالارفتن شاخص‌های توسعه و رفاه اجتماعی، ادامهٔ حیات تا حد زیادی به نحوهٔ رفتار بشر با محیط زیست و مدیریت صحیح منابع طبیعی، عدم تخریب آنها و نحوهٔ مدیریت منابع انرژی بستگی دارد. آلودگی حاصل از سیستم‌های حمل‌ونقل کیفیت هوا را کاهش می‌دهند. در سطح جهانی، حمل‌ونقل عامل اصلی تولید دی اکسید کربن و انتشار آن در جو است و اثر گلخانه‌ای حاصل از آن یکی از جدی‌ترین معضلات زیست محیطی به‌شمار می‌آید. بخش حمل‌ونقل

از عمده اهداف زیربنایی، برای افزایش و بهبود کیفیت محیط زیست به‌شمار می‌رود. وقوع بحران‌های نفتی، افزایش چشم‌گیر خودروها، کاهش ذخایر نفت و تصویب قوانین مبارزه با آلودگی محیط زیست، ساخت خودروهای کم‌مصرف با آلایندگی کم، استفاده از سوخت‌های جایگزین را در دستور کار مراکز پژوهشی قرار داده است. در این بین، گویا محیط زیست کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته همچون امریکا و اروپا لطمه می‌بینند؛ زیرا کشورهای صنعتی، صادرکنندهٔ صنعت و محصولاتی هستند که در اکثر مواقع مواد اولیهٔ آن از محل منابع طبیعی کشورهای در حال توسعه تأمین می‌شود. محصولاتی که عمدتاً از استانداردهای روز برخوردار نیستند و این امر علاوه بر تخریب هرچه بیشتر محیط زیست، به‌علت بهره‌وری پایین در مصرف انرژی و تولید بیش از حد استاندارد ذرات معلق، به استفادهٔ غیربهینه از سوخت، شدت مصرف انرژی بالا و بیماری‌های تنفسی در کشورهای در حال توسعه می‌انجامد [۱-۳].

۲. بررسی شاخص‌های مصرف سوخت در ایران

براساس آمار منتشرشده از سوی بانک جهانی[۲]، در دوم جولای سال ۲۰۱۳، متوسط غلظت ذرات معلق در مناطق شهری (ذراتی در اندازهٔ ۱۰ میکرومتر)، در ایران طی سال ۲۰۱۰ م حدود ۵۶ میکروگرم در متر مکعب بوده است. این در حالی است که در همین سال، متوسط غلظت ذرات معلق در مناطق شهری در ۲۸ کشور عضو اتحادیهٔ اروپا تنها ۱۸/۳۶ میکروگرم در متر مکعب گزارش شده است؛ یعنی تقریباً یک‌سوم ایران [۴]. همچنین، براساس آمار منتشرشده از سوی مرکز مطالعات انرژی امریکا، متوسط سرانهٔ مصرف بنزین، در سال ۲۰۱۰ م در ایران با جمعیتی بالغ بر ۷۵/۱ میلیون نفر، حدود ۳۰۸ لیتر بوده است. اما متوسط سرانهٔ مصرف بنزین، در مجموع ۲۸ کشور عضو اتحادیهٔ اروپا با جمعیتی حدود ۵۰۷ میلیون نفر، حدود ۲۴۷ لیتر بوده است؛ یعنی سرانهٔ مصرف بنزین هر فرد در ایران ۶۱ لیتر بیشتر از سرانهٔ مصرف بنزین هر فرد در کشورهای عضو اتحادیهٔ اروپا می‌باشد [۱]. این آمار وقتی معنا می‌یابند که توجه داشته باشیم در کشورهای عضو اتحادیهٔ اروپا با جمعیتی حدود ۵۰۷ میلیون نفر در سال ۲۰۱۰ م، به ازای هر ۱۰۰۰ نفر تعداد ۵۱۷ وسیلهٔ نقلیه موتوری وجود داشته که از این تعداد ۴۴۰ دستگاه آن خودرو سواری بوده است، اما در همین سال، در ایران با جمعیتی حدود ۷۵/۱ میلیون نفر، به ازای هر ۱۰۰۰ نفر تنها تعداد ۱۲۸ وسیلهٔ نقلیهٔ موتوری وجود داشته که از این تعداد ۱۱۳ دستگاه آن خودرو سواری بوده است؛ یعنی با اینکه تعداد وسائل نقلیهٔ موتوری و خودرو شخصی به ازای هر ۱۰۰۰ نفر در کشورهای عضو اتحادیهٔ اروپا تقریباً چهار برابر ایران است، اما هم از سرانهٔ مصرف بنزین کمتری نسبت به ایران برخوردارند و هم میزان آلایندگی خودروها در اروپا تقریباً یک‌سوم ایران است!

در کشورهای اروپایی، مهم‌ترین عامل کاهش مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل، همچنین کاهش میزان آلودگی عبارت است از وجود استانداردهای جدید برای بنزین مصرفی و خودروها؛ همچنین بهره‌گیری از خودروهای برقی و هیبریدی.

۳. خودروهای برقی و هیبریدی

از جمله مهمترین بخش‌های مصرف انرژی سیستم حمل‌ونقل خصوصاً شبکهٔ حمل‌ونقل عمومی می‌باشد که تأثیر مستقیمی بر آلودگی در شهرهای بزرگ دارد. این امر طی سالیان اخیر به‌خوبی مشهود بوده است. در خودروهای برقی از موتور الکتریکی استفاده می‌شود و برای حرکت تنها به انرژی الکتریکی نیاز است. این انرژی از طریق باطری تأمین می‌شود. در یک خودروی هیبریدی لازم است انرژی سوخت ابتدا به انرژی الکتریکی تبدیل شود تا به موتور الکتریکی توانایی تولید قدرت بدهد. چون در خودروهای هیبریدی الکتریکی[۳] هدف به‌دست آوردن حداکثر بازده سوخت است، اغلب از سه نوع موتور استفاده می‌شود:

۱. موتورهای بنزینی که از فناوری‌های پاشش مستقیم سوخت بهره می‌گیرند. از این نوع موتورها برای خودروهای هیبریدی الکتریکی سبک (خودروهای شخصی) استفاده می‌شود.

۲. موتورهای دیزل که اغلب برای خودروهای هیبریدی الکتریکی سنگین مانند انواع اتوبوس به‌کار می‌روند.

۳. موتورهای گازی که در خودروهای هیبریدی الکتریکی، که در آنها موتور نوع سری[۴] وجود دارد، استفاده می‌شوند. در این خودروها استفاده از منابع انرژی نو همچون انواع پیل سوختی یا پیل‌های خورشیدی مرسوم است.

ناگفته نماند که خودروهای الکتریکی معایبی نیز دارند. اگرچه قیمت انرژی الکتریکی مورد نیاز برای شارژ این دسته از خودروها نسبتاً پایین است، اما هزینهٔ اولیهٔ خودرو بالاست. باطری‌های آنها سنگین است و وزن زیادی را به‌خود اختصاص می‌دهند. از جمله مزایای آنها نیز می‌توان به راه‌اندازی سریع، سروصدای کم، نداشتن اجزای متحرک در مقایسه با خودروهای بنزینی، رانندگی راحت، حداقل نیاز به تعمیر و نگه‌داری، بازده تبدیل انرژی بالا در مقایسه با بازده ۲۵ درصدی خودروهای بنزینی، عدم نیاز به تعویض روغن و فیلترهای سوخت اشاره کرد.

۱-۳. خودروهای پیل سوختی

از میان انرژی‌های پاک تنها پیل سوختی می‌تواند با بازده نسبتاً بالا و با توجه به مشخصات خودرو استفاده شود. لذا توسعهٔ فناوری و استفاده از خودروهای پیل سوختی بهترین جایگزین خودروهای با سوخت فسیلی است؛ امروزه شرکت‌های تویوتا[۵] و فورد[۶] از این فناوری بهره می‌برند [۵].

۱-۱-۳ پیل سوختی

پیل سوختی دستگاهی الکتروشیمیایی است که انرژی حاصل از یک واکنش شیمیایی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. عملکرد پیل سوختی مانند باطری نیست که انرژی را ذخیره کند؛ در پیل سوختی حالتی از انرژی به حالت دیگر تبدیل می شود، به‌طوری‌که در این تبدیل مواد داخل پیل مصرف نمی‌شوند. همچنین چگالی انرژی باطری کمتر از پیل سوختی است و فرایند شارژنمودن باطری بسیار پیچیده‌تر از پرکردن تانک سوخت پیل سوختی می‌باشد. در باطری‌ها بعد از چندین بار شارژشدن توان تبدیل الکتروشیمیایی کاهش می‌یابد، حال آنکه در پیل‌های سوختی چنین محدودیتی وجود ندارد. مثلاً تودهٔ پیل‌های سوختی کار کرده در یک خودرو قابل انتقال به خودرویی جدید است. معمولاً در خودروهای پیل سوختی، از پیل سوختی به دو صورت ساده و هیبریدی استفاده می‌شود. در ادامه دربارهٔ هریک از این خودروها توضیحاتی داده می‌شود.

۱-۱-۱-۳. خودروهای پیل سوختی ساده

در خودروهای پیل سوختی، خود پیل و تودهٔ سوختی آن به‌عنوان منبع تولید توان بوده و می‌توان از باطری کمکی نیز در آن استفاده کرد. پیل سوختی مشابه باطری خودروهای برقی، جریان الکتریسته مورد نیاز را تأمین می‌کند. سیستم نیروی محرکه شامل یک معکوس‌کننده برای تبدیل جریان پیل سوختی از مستقیم به متناوب با فرکانس و ولتاژ متغییر، یک روتور جریان متناوب و یک سیستم انتقال نیرو از موتور به چرخ‌ها می‌باشد. از معایب این خودروها می‌توان به زمان طولانی استارت آپ اشاره کرد. سایر مزایای وجود باطری نیز عبارت است از:

۱. عدم نیاز به پیش‌گرم کردن پیل سوختی برای راه‌اندازی خودرو

۲. توانایی عملکرد خودرو در حالت کاملاً برقی، وقتی سیستم پیل قادر به عملکرد در سطح ولتاژ اسمی خود نیست

۳. زمان پاسخ[۷] بسیار سریع‌تر برای تغییرات بار

از جمله معایب وجود باطری نیز می‌توان به هزینه، وزن و زمان شارژ مجدد بالای آن اشاره کرد. هزینهٔ یک مجموعه

باطری معمولاً متناسب با مقدار انرژی‌ای که می‌تواند ذخیره کند و هزینهٔ پیل سوختی متناسب با میزان توان خواسته‌شده است. لذا یک باطری با ظرفیت توان بالا و ذخیرهٔ انرژی متوسط ممکن است قدری گران باشد [۷-۸].

۲-۱-۱-۳. خودروهای پیل سوختی هیبریدی

یک خودروی پیل سوختیِ ترکیبی دارای یک باطری با یک خازن با ظرفیت بالا به‌صورت موازی با سیستم پیل سوختی است. پیل سوختی ترکیبی به‌طور همزمان از بیشترین بازده انرژی پیل سوختی و توان بالای موجود در باطری استفاده می‌نماید. وقتی مصرف انرژی بالاست، مانند حالت شتاب، توان مورد نیاز ماشین را باطری و مجموعهٔ پیل سوختی تأمین می‌کنند. اما وقتی میزان مصرف انرژی پایین است، مانند حرکت در خیابان، پیل سوختی توان مورد نیاز را تأمین می‌کند. باطری‌ها نیز در مدتی که مصرف انرژی پایین است شارژ خواهند شد. بنابراین برای تأمین توان و انرژی مورد نیاز، پیل سوختی برای حرکت معمولی و باطری برای با ماکزیمم توان طراحی می‌شوند. انتخاب مجموعهٔ باطری به عواملی چون هزینه و عملکرد پیل سوختی و فناوری ساخت باطری و سیکل حرکتی بستگی دارد. استفاده از باطری امکان راه‌اندازی سریع را به خودروی پیل سوختی می‌دهد و آن را در برابر واکنش معکوس در پیل سوختی طی عملکرد و سوخت توده محافظت می‌نماید. به‌علاوه، باطری حداکثر توان مورد نیاز را تأمین می‌کند و انرژی تولیدی می‌تواند بازیابی شود. همچنین زمان پاسخ سیستم به تغییرات بار در حالت وجود باطری سریع‌تر است. پیل‌سوختی ترکیبی عملکردی خوب، زمان کارکرد طولانی و زمان سوختگیری سریع دارد و مسافت قابل توجهی را طی می‌کند [۷].

۴. پارامترهای مؤثر در انتخاب فناوری مناسب

برای انتخاب یک فناوری مناسب در خودروهای پیل سوختی پارامترهای متعددی چون زیرساخت و هزینهٔ سوخت، هزینهٔ واحد انرژی در خودرو، نوع سوخت مصرفی، ایمنی، برد خودرو (فاصلهٔ بین دو سوخت‌گیری)، شکل خودرو (از لحاظ توپولوژی و فضای داخلی)، محل نصب مخزن و نوع تودهٔ پیل سوختی وجود دارد. بررسی وضعیت کنونی خودروهای پیل سوختی به زمان نیاز دارد و باید دید چگونه خودروهای پیل سوختی خواهند توانست جایگاه ویژه‌ای را در بازار فروش کسب کنند. با توجه به این شاخص‌ها برآنیم با مطالعهٔ پیل‌های سوختی متفاوت و انتخاب پیل سوختی مناسب با توجه به شرایط اقلیمی ایران و نصب آن روی یک خودرو برقی، به بررسی عملکرد و دستیابی به دانش فنی این کار در کشور کمک کنیم.

یکی دیگر از عوامل مهم در انتخاب پیل سوختی، توجه به میزان حساسیت پیل سوختی به وجود گاز مونو اکسید کربن است؛ حساسیت زیاد می‌تواند سبب بالاتر رفتن هزینه‌ها شود و این امر برای صنعتی‌شدن این محصول چندان دلچسب نخواهد بود. با توجه به وجود منابع عظیم گاز طبیعی در کشور استفاده از گاز طبیعی و تبدیل آن به فرآورده‌های باارزش از جایگاه خاصی برخورداراست. برای تولید هیدروژن از گاز طبیعی، با توجه به زیرساخت‌های موجود، بهترین راه استفاده از ریفرمر[۸] با بازدهی در حدود ۸۰ درصد است. چون هیدروژن تولیدشده توسط ریفرمر به خالص‌سازی مجدد برای استفاده در پیل‌های سوختی نیاز دارد و سبب کاهش بازدهی سیستم می‌شود، استفاده می‌گردد و لذا انتخاب پیل سوختی با حساسیت کمتر نسبت به خلوص هیدروژن و بازدهی بالاتر در این امر راهگشا خواهد بود [۸]. با توجه به فناوری‌های موجود، برای استفاده از پیل سوختی در خودرو می‌توان دو نوع پیل سوختی دماپایین و دمابالا استفاده کرد که هر یک مزایا و معایبی دارند. در پیل‌های سوختی دماپایین سه عامل حساسیت به خلوص گاز هیدروژن، مدیریت آب و مدیریت حرارت در بازده و کارکرد پیل سوختی مؤثر می‌باشند. اما این پیل‌های سوختی به زمان استارت آپ نیاز ندارند. خوشبختانه عواملی که در پیل‌های سوختی دماپایین وجود دارد، در پیل‌های

سوختی دمابالا وجود ندارد، اما تنها به زمان استارت آپ نیاز دارند. با توجه به زیرساخت‌های موجود، از جمله شبکهٔ سراسری گاز و مسائل فنی مرتبط به‌نظر می‌رسد استفاده از پیل‌های سوختی دمابالا با شرایط اقلیمی کشور مناسب باشد. اصولاً پیل‌های سوختی برحسب نوع الکترولیت به‌کاررفته به پنج دسته تقسیم می‌شوند [۶]:

۱. پیل‌های سوختی پلیمری یا دارای غشاء مبادله‌کنندهٔ پرتون
۲. پیل‌های سوختی قلیایی
۳. پیل‌های سوختی اسید فسفریک
۴. پیل‌های سوختی کربنات مذاب
۵. پیل‌های سوختی اکسید جامد

۱-۴. دلائل انتخاب پیل سوختی پلیمری دمابالا

از جمله دلائل انتخاب پیل سوختی پلیمری دمابالا عبارت است از:

الف) بالابودن بازده نسبت به پیل سوختی دماپایین: در سیستم‌های پیل سوختی دمابالا به‌دلیل حذف مرطوب‌سازی و سادگی سیستم خنک‌سازی، به کمپرسور هوا و هیدروژن، پمپ آب، رادیاتور، سیستم چرخش آب و گرم‌کردن گاز نیاز نیست. با حذف تمامی این موارد مصرف الکتریکی سیستم بسیار کم می‌شود.

ب) اکثر سیستم‌های دماپایین چیزی حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد انرژی به مصرف داخلی می‌رسد. بهترین سیستم دماپایین ۶ الی ۸ درصد مصرف دارد. بنابراین توان مصرفی رایج پیل سوختی دماپایین بیش از ۱۰ درصد است، حال آنکه مصرف الکتریکی پیل دمابالا حدود ۴ درصد است و تأثیر بر قیمت تمام‌شدهٔ پیل هم بسیار بالاست.

ج) مقاوم‌بودن سیستم پیل سوختی دمابالا در برابر ناخالصی‌های گاز

د) یکی از موارد بسیار مهم در پیل‌های سوختی حساسیت به ناخالصی‌های گاز مصرفی می‌باشد. بیشترین حساسیت به گاز مونو اکسید کربن و گوگرد است.

ه) حساسیت پیل‌سوختی دمابالا به گاز مونو اکسید کربن، ۳۰۰۰۰ پی. پی. ام.[۹] و حساسیت پیل سوختی دماپایین به این گاز ۳۰ پی. پی. ام. است. حساسیت پیل سوختی دمابالا به گوگرد ۳۰ پی. پی. ام. و حساسیت پیل سوختی دماپایین به گوگرد ۱ پی. پی. ام.؛ در نتیجه پیل سوختی دمابالا در برابر مونو اکسید کربن ۱۰۰۰ برابر و در برابر گوگرد ۲۰ برابر مقاوم‌تر است؛ این امر سبب می‌شود به فیلترهای خاص در رفرمرهای گاز طبیعی و متانول نیاز نباشد و سوخت بسیار ارزان شود. با توجه به شرایط کشور، که آیندهٔ هیدروژن تولیدی از طریق ریفرمر گاز طبیعی است، این نوع پیل سوختی کاربرد بیشتری دارد.

و) سادگی فنی سیستم کنترل

ز) بالابودن دمای کارکرد پیل باعث می‌شود آب تولیدشده در سیستم به‌صورت بخار خارج شود. این امر باعث ساده‌شدن سیستم کنترل می‌شود. از طرفی، حذف مرطوب‌ساز و سادگی سیستم خنک‌سازی سیستم کنترل پیل سوختی را در مجموع ساده می‌کند.

ح) مصرف سوخت کمتر

ت) حذف آب‌گرفتگی در کانال‌های گاز به‌دلیل بالابودن دما و خروج آب تولیدی به‌صورت بخار سبب می‌شود نیاز به خالص‌سازی[۱۰] گاز در طرف هیدروژن به‌شدت کم شود. این امر تأثیر زیادی بر کاهش مصرف سوخت دارد.

ی) انرژی حرارتی قابل استفادهٔ بالا

ک) دمای کارکرد پیل سوختی دمابالا حدود ۱۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. با توجه به اینکه ۹۰ درصد حرارت تولیدی پیل از اگزوز خارج می‌شود و با محیط حدود ۱۳۰ درجه اختلاف دارد، استفاده از انرژی گرمایی ساده‌تر است [۹-۱۱].

۲-۴ نحوهٔ کارکرد پیل سوختی پلیمری دمابالا

در حال حاضر پیل سوختی پلیمری دمابالا دارای غشاء الکترود پلی بنزیمید ازول[۱۱] است. دمای کارکرد پیل سوختی بین ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد است و اتم‌های

هیدروژن در آند یونیزه و الکترون‌های آنها جدا می‌شوند. یون‌های هیدروژن که شامل بار مثبت‌اند، به سطح غشاء خلل‌دار نفوذ می‌کنند و به‌سمت کاتد می‌روند. الکترون‌های جداشده نمی‌توانند از این غشاء عبور کنند، لذا از یک مدار خارجی عبور می‌کنند و سبب تولید برق می‌شوند. در کاتد، الکترون‌ها و پروتون‌های هیدروژن و اکسیژن موجود در هوا با هم ترکیب می‌شوند و بخار آب تشکیل می‌دهند. واکنش‌های انجام‌شده در آند و کاتد به‌شرح ذیل است:

$$\text{Anode: } 2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$$

$$\text{Cathode: } O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

۵. مطالعهٔ موردی

با انجام مطالعات، از میان خودروهای برقی موجود در کشور، با توجه به توان و ظرفیت، خودرو چهارده‌نفرهٔ تشریفاتی انتخاب و پس از مذاکره با شرکت سازنده و بررسی مشخصات فنی و بررسی وجود پیل سوختی مناسب سفارش خرید صادر شد. مطالعات خرید پیل سوختی مناسب نیز با توجه به مشخصات فنی خودرو و شرایط کشور انجام گردید. در خرید پیل سوختی چند پارامتر اصلی مد نظر قرار گرفت که مهمترین آنها کارکرد در دمای بالا و توان پیل بود. چون برای تهیهٔ هیدروژن با خلوص بالا مشکلات و هزینه‌ها زیاد است و از طرفی، در صورت تجاری‌شدن، استفاده از هیدروژن به‌دست آمده از گاز طبیعی در کشور مد نظر است و پیل سوختی دمابالا با توجه به ساختار داخلی قابلیت استفاده از گاز ریفرمرشده و ناخالص را دارد، از این جهت پیل سوختی دمابالا انتخاب و پیل سوختی مورد نظر با توجه به محدودیت‌های موجود از شرکت سرانرژی[۱۲] دانمارک خریداری شد.

۵-۱. طراحی و ساخت سیستم هیبریدی خودرو پیل سوختی

با بررسی انجام‌شده و امکانات موجود تصمیم گرفته شد حدود ۷۰ درصد از توان خودرو توسط پیل سوختی دمابالا تأمین شود و از طرفی، با توجه به اقلیم منطقهٔ رفسنجان ۷۰۰ وات پنل خورشیدی روی سقف خودرو تعبیه گردد. با مطالعه روی خودرو باطری‌های اضافه خارج و محل نصب پیل سوختی و مخازن آماده شد. با نصب پیل سوختی و مخازن سوخت روی خودرو، با توجه به مصرف و فشار مورد نیاز، لوله‌کشی با استیل ۳۱۶ بدون درز انجام شد. سپس رگلاتورهای فشارپایین متصل و تست اولیه انجام شد. در مدار برق و تغذیهٔ موتور و تغذیهٔ پیل سوختی نیز مطالعات و بررسی لازم انجام شد. با توجه به خروجی ولتاژ پیل سوختی و بررسی درایور موتور خودرو و جریان مستقیم کانورتر نصب‌شده روی خودرو تغییرات لازم با نصب دیودها و سیم‌کشی مجدد قدرت و کنترل خودرو انجام شد و خروجی پیل سوختی به درایور به‌طور مستقیم وصل گردید.

۵-۲. برخی از کارهای انجام‌شده در خودرو

برق خودرو را می‌توان به سه قسمت قدرت (جریان بالا)، مصرف (جریان پایین) و کنترل تقسیم کرد. برق قدرت شامل باطری‌ها، پیل سوختی و خورشید است که در نهایت توانی در حدود ۵ کیلووات تأمین می‌کنند. به‌دلیل جریان بالا قطر سیم فوق حدود یک سانتی‌متر می‌باشد. سیم‌کشی خودرو برای استفاده از ۱۶ باطری شش ولتی جریان‌بالا، که در دو بلوک هشت‌تایی انجام شده است، با حذف هشت عدد باطری و طراحی و سیم‌کشی برای سیستم پیل سوختی و خورشیدی و باطری انجام و اجرا شد. در این میان، برای کوپل سه منبع فوق مدارهای دیودی و سیم‌کشی‌های استک‌های پیل سوختی و سل‌های خورشیدی به‌نحوی انجام شد که بدون نیاز به مبدل‌های جریان مستقیم کانورتر در بخش قدرت به‌طور طبیعی ابتدا پیل سوختی، سپس پنل‌های خورشیدی و در نهایت باطری‌ها وارد مدار شده و انرژی را مستقیم به درایور موتور انتقال دهند. در سیستم سیم‌کشی قدرت برای پیل سوختی و باطری از کابل ۱۰۰ میلی‌متر استفاده شد و برای پنل‌های خورشیدی از کابل ۶۰ میلی‌متر که به‌طور مستقل تا محل

درایور موتور آمده است. در طرف پیل سوختی سه دسته دیود سه‌تایی کار یکسوسازی جریان از سه استک پیل سوختی را برعهده دارند و پس از آن با عبور از کنترل جریان به کابل انتقال متصل شده است. این دیودها به‌طور طبیعی وقتی به پیل سوختی اجازه می‌دهند وارد مدار شود که ولتاژ هرکدام از استک‌ها بالاتر از ۴۸ ولت باشد؛ زیرا پیل سوختی در ولتاژهای پایین صدمه می‌بیند و این سیستم به‌طور خودکار آن را از مدار خارج می‌کند.

۱-۲-۵. سیستم خورشیدی

سیستم خورشیدی از شش سل ۱۰۰ وات و ۱۸ سل ۱۰ وات تشکیل شده است که در مجموع توانی حدود ۷۸۰ وات در شرایط تابش عمودی خورشید به سیستم می‌دهد. سیم‌کشی سلول‌ها به‌صورتی انجام شده است که ولتاژ کار حدود ۵۴ ولت باشد. این ولتاژ در شرایط معمولی می‌تواند باطری‌ها را شارژ کند. مجموعهٔ سل‌ها خورشیدی با یک دیود ۴۰ آمپر به سیستم برق قدرت خودو وصل شده است و از تأثیر باطری‌ها و پیل سوختی بر سل‌های خورشیدی جلوگیری می‌کند. از باطری‌های موجود در خودرو هشت تایی از آنها به‌صورت سری استفاده می‌شود و جریان لحظه‌ای خودرو ۳۰۰ آمپر را می‌توانند تأمین نمایند. ولتاژ باطری‌ها به‌وسیلهٔ یک کابل ۱۰۰ میلی‌متر به درایور موتور می‌رسد و برای عدم تأثیر ولتاژ پیل سوختی و سلول‌های خوشیدی و ایجاد جریان معکوس از یک دیود ۵۰۰ آمپر جهت ایزوله‌کردن باطری‌ها استفاده شده است. در سیستم برق مصرفی این خودرو مصرف‌کننده‌های مختلفی حضور دارند و هر یک ولتاژ کاری خاصی نیاز دارند. ولتاژ راه‌اندازی پیل سوختی حدود ۵۰۰ وات، ۲۴ ولت می‌باشد. رله‌ها و سیستم روشنایی خودرو (لامپ‌ها و فلاشر) نیز ۱۲ ولت نیاز دارند، از این‌رو در سیستم از دو مبدل ولتاژ استفاده شده است که بسته به شرایط کار خودرو برق مورد نیاز از پیل سوختی یا پنل خورشیدی و یا باطری تأمین می‌شود. کانورترهای جریان مستقیم برق خود را از شبکهٔ قدرت خودرو تأمین می‌کنند. در سیستم، برق مورد نیاز لامپ‌ها، که از ۱۲ ولت استفاده می‌شود، تغییری داده نشده است. اما سیم‌کشی ۲۴ ولت کلاً طراحی و اجرا شده است. در این سیم‌کشی برق مورد نیاز سیستم کنترل پیل سوختی سیستم پی. ال. سی.[۱۳] و واسط کاربر[۱۴] و تغذیهٔ حسگرها و مبدل‌ها تأمین شده است.

شکل ۱. نمایی از باطری‌های موجود در
خودرو هیبرید پیل سوختی دانشگاه ولی‌عصر (عج)

بیشترین حجم سیم‌کشی مربوط به سیم‌کشی سیستم کنترل است که شامل حسگرها، کنترل پیل سوختی و جز این‌ها می‌شود. سیستم کنترل گاز شامل دو حسگر فشار مخزن و فشار هوا به پی. ال. سی. و کنترل فشار پشت پیل سوختی برای کنترل پیل وصل می‌باشد. شیرهای اصلی خط و پرژ به پیل سوختی متصل هستند. سیگنال‌های کنترلی پیل سوختی عبارت‌اند از قطع و وصل شیرهای پرژ و اصلی گاز، سیستم قطع اضطراری که کلید آن در کنار راننده نصب شده است. حسگر فشار گاز که ورودی به پیل و سیم ارتباط کلیهٔ اطلاعات و فرامین راه‌اندازی پیل که به پی. ال. سی. یا پی. سی.[۱۵] متصل شده است. سیگنال‌های کنترلی دیگری که در پی. ال. سی. به‌کار رفته است سیستم خاموش و روشن‌کردن پیل است. وقتی سوئیچ باز می‌شود، پیل سوختی فرمان خود را از پی. ال. سی. که توسط کاربر به فشار دکمه‌ای روی رابط کاربر می‌گیرد. وقتی سوئیچ اصلی بسته می‌شود، بسته به شرایطی که کاربر تعیین می‌کند، پیل سوختی به کار خود ادامه می‌دهد. در نهایت با

فرمان پی. ال. سی. به‌صورت دستی خاموش می‌شود. ولتاژ و جریان پیل سوختی از دو طریق به پی. ال. سی. می‌رسد:

۱. روش انتقال داده‌های مدارهای داخلی پیل سوختی

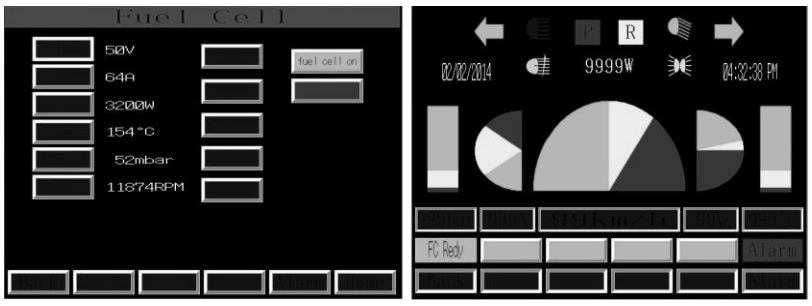
۲. روش اندازه‌گیری مستقیم ولتاژ با استفاده از سه دیود از سر هر استک و جریان با یک حسگر که بر سر راه مدارهای قدرت پیل قرار گرفته است اندازه‌گیری و به پی. ال. سی. منتقل می‌گردد.

خروجی مدارهای جریان ولتاژ ۲/۵ تا ۵ ولت مستقیم به پی. ال. سی. و ولتاژ صفر تا ۸۰ ولت به یک مدار تقسیم ولتاژ به (تقسیم بر ۱۰) پی. ال. سی. متصل است.

در سیستم کنترل سلول‌های خورشیدی هم از حسگرهای جریان با خروجی ۲/۵ تا ۵ ولت و مدار تقسیم ولتاژ (تقسیم بر ۱۰) به پی. ال. سی. وصل شده است. از دیگر موارد سیستم کنترل استفاده از مقاومت شنت برای اندازه‌گیری جریان موتور و جریان باطری‌ها می‌باشد. به‌دلیل بالابودن جریان (بالاتر از ۱۰۰ آمپر) ناگزیر از استفاده از مقاومت شنت هستیم، که به ازای جریان صفر تا ۳۰۰ آمپر ولتاژی از صفر تا ۷۵ میلی‌ولت تولید کرده و با استفاده از مبدل به ۴ تا ۲۰ میلی آمپر تبدیل شده و در نهایت به پی. ال. سی. منتقل شده است. ولتاژهای موتور و باطری‌ها با استفاده از مدار تقسیم ولتاژ به پی. ال. سی. متصل شده است. از دیگر سیگنال‌های ورودی پی. ال. سی. اندازه‌گیری دمای اگزوز پیل سوختی و دمای محیط است که توسط حسگر PT100 و مبدل جریان ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر به پورت پی. ال. سی. متصل شده است. از اقدامات مورد نیاز بحث کنترل افزودن فیوزهای سیمی و فشنگی برای قسمت‌های مورد نیاز است.

شکل ۲. نمایی از پیل سوختی دمابالای مورد استفاده در خودرو هیبریدی

شکل ۳. نمایی از خودرو هیبریدی پیل سوختی دمابالای دانشگاه ولی‌عصر (عج)



شکل ٤. نمایی از صفحهٔ رابط کاربر خودرو هیبریدی پیل سوختی دمابالای دانشگاه ولی‌عصر (عج)

۶. نتایج

چون راه‌اندازی سیستم پیل سوختی خودرو تنها از طریق نرم‌افزار این سیستم امکان‌پذیر است و این امر نیازمند وجود یک رابط کاربر تحت ویندوز یا تبلت در ماشین است و این امر در صنعت چندان پسندیده نیست، سعی کردیم بین پی.

ال. سی. و پیل سوختی ارتباط برقرار کنیم. این ارتباط از طریق کارت واسط انجام شد و با استفاده از یک برنامه‌نویسی در پی. ال. سی. از کدهای شرکت سازنده استفاده و ارتباطات کنترلی برقرار گردید.

۷. جمع‌بندی

با توجه به مطالعات انجام‌شده، زیرساخت‌های موجود در ایران و سند بالادستی توسعهٔ فناوری پیل سوختی در ایران به‌نظر می‌رسد خودرو هیبریدی پیل سوختی در آیندهٔ نه‌چندان دور جایگزین مناسبی برای خودروهای موجود باشد. شبکهٔ گاز و جایگاه‌های متعدد در کشور باعث شده است با استفاده از روش‌های ساده از جمله ریفرمر و الکترولیزلایزر خورشیدی بتوان یک شبکهٔ سراسری تولید هیدروژن در سراسر کشور ایجاد کرد. از طرفی توسعهٔ فناوری‌های پیل‌سوختی و تجاری‌سازی آن سبب شده است قیمت تمام‌شدهٔ پیل‌سوختی روز به‌روز کاهش یابد. امید است در آینده‌ای نزدیک، با حمایت سازمان‌های ذیربط شاهد استفاده از خودروهای پاک باشیم.

۸. مآخذ

[1] Petro energy information network, http://www.shana.ir (accessed March 1, 2015)

[۲] نجات‌بخش، علی. "توسعه پایدار و کاهش آلودگی محیط زیست تأثیر وسائط حمل‌ونقل بنزینی و گازوئیلی و سیستم عبور و مرور در آلودگی هوا"، *دومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان*، تهران: سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۱.

[۳] پوررحیم نجف‌آبادی، زهرا. بهناز دهرآزما. "آثار زیست محیطی ناشی از حمل‌ونقل نفت و روش‌های نوین پاکسازی آن"، *اولین کنفرانس حمل‌ونقل مواد خطرناک و اثرات زیست محیطی آن*، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

[۴] علیمرادی، مهرداد و همکاران. "آسیب‌شناسی راهبردهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی مدیریت مصرف سوخت در حمل‌ونقل عمومی بین شهری (جاده‌ای)"، *دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران*، تهران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۳۹۱.

[5] FuelCellToday, http://www.fuelcelltoday.com (accessed March 6, 2015).

[۶] جمالی پاقلعه، سوده، مجتبی رحیمی، سید محمدباقر مرعشی. "استفاده از پیل سوختی دمابالا برای ایجاد و توسعهٔ شبکهٔ غیرمتمرکز تولید همزمان انرژی برق و گرما در ایران با استفاده از شبکهٔ سراسری گاز"، *کنفرانس هیدروژن دانشگاه مالک اشتر اصفهان*، ۱۳۹۲.

[7] C. Hou, et al. "Approximate Pontryagin's minimum principle applied to the energy management of plug-in hybrid electric vehicles," *Applied Energy*, 115, 2014, pp. 174-189.

[۸] مرعشی، سید محمدباقر، سوده جمالی پاقلعه، مجتبی رحیمی. "امکان‌سنجی تجاری‌سازی پیل سوختی پلیمری دمابالا در صنعت خودروسازی"، *کنفرانس انرژی‌های نو و پاک همدان*، ۱۳۹۲.

[9] Chandan, A., et al. "High temperature (HT) polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC) " *Journal of Power Sources* 231 , 2013, pp. 264-278.

[10] Zhang, J., et al. “High temperature PEM fuel cells” *Journal of Power Sources*, *160*, 2006, *Issue 2*, pp. *872-891.*

[11] Hou, C., et al, “Approximate Pontryagin’s minimum principle applied to the energy management of plug-in hybrid electric vehicles” *Applied Energy* 115, 2014, pp. 174-189.

1. Fuel cell
2. World Bank, http://www.worldbank.org (accessed March 1, 2015)
3. Hybrid Electric Vehicles
۴. موتور احتراق داخلی یک ژنراتور را می‌چرخاند و این ژنراتور باطری را شارژ می‌کند و یک موتور الکتریکی را به‌حرکت درمی‌آورد و بدین ترتیب انتقال قدرت صورت می‌گیرد.
5. Toyota Motor Corporation, http://www.toyota-global.com (accessed March 2, 2015)
6. Ford Motor Company, http://www.ford.com (accessed March 2, 2015)
7. Response time
8. Reformer
9. Parts per million (ppm)
10. Purge
11. Polybenzimidazole
12. SerEnergy, http://serenergy.com (accessed March 5, 2015)
13. Program Logical Controller (PLC)
14. Human-Machine Interface (HMI)
15. PC