

مقایسه عملکردی خودروهای برقی خالص و خودروهای هایبرید

سید روح اله امامی میبیدی

sr_emami@yahoo.com

دانشکده برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

محمد رضا نیک زاد

m_nikzad@yahoo.com

دانشکده برق، آزمایشگاه بررسی سیستمهای قدرت

دکترسید محمد تقی بطحائی

bathae @kntu.ac.ir

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، استاد یار دانشکده برق

چکیده:

استفاده از انرژی الکتریکی در تولید نیروی محرکه رانشی خودروها گرچه ایده مناسبی برای کاهش آلاینده‌گی خودروها به حساب می‌آید ولی از دو جهت یکی کاهش محدوده رانشی و دیگری افزایش هزینه اولیه شان توان رقابت با خودروهای فعلی را نخواهند داشت. از اینرو صنعت خودرو سازی به سمت تولید و عرضه خودروهای هایبرید معطوف گردیده است. در این مقاله نخست به معرفی انواع خودروهای هایبرید برقی خواهیم پرداخت و سپس نحوه عملکرد این خودروها شرح داده می‌شود. در پایان، نتایج حاصل از شبیه سازی خودروی برقی خالص و خودروی هایبرید سری آورده خواهد شد.

واژگان کلیدی: خودروی برقی خالص - خودروی هایبرید سری - خودروی هایبرید موازی

۱- مقدمه:

آلودگی شهرهای بزرگ سالهاست که به یک مسئله حاد تبدیل شده است. تحقیقات کارشناسی نشان می‌دهد که علت اصلی آلودگی شهرها، خودروهای موتور احتراق داخلی می‌باشند. خودروهای احتراقی معایب فراوانی دارند که از آن جمله می‌توان به مواردی چون وابستگی به یک نوع انرژی خاص (نفت)، گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 ، تولید گازهای سمی مانند CO ، SO ، NO_2 ، تولید آلودگی صوتی راندمان پائین سیستم و در نتیجه اتلاف انرژی اشاره نمود. با توجه به موارد فوق خودروهای برقی از دهه ۱۸۹۰ مطرح شده و تا دهه ۱۹۳۰ پرتعداد بوده‌اند. [۱]

با افزایش تکنولوژی ساخت خودرو و زیاد شدن تعداد خودروهای احتراق داخلی نیاز جامعه به وجود خودروهای پاک (خودروهایی با آلاینده‌گی کم) بیشتر احساس می‌شود. بنابراین در اروپا و آمریکا قوانینی وضع شد که شرکتهای تولید کننده خودرو را ملزم به ساخت خودروهایی با آلاینده‌گی کم می‌کرد. از طرف دیگر، به علت کاهش روز افزون منابع سوخت نفتی باید تفکراتی می‌اندیشید تا از این منبع مهم و حیاتی حفاظت شود. بنابراین شرکتهای مهم ساخت خودرو رو به ساخت

خوردوهای برقی نهادند، که در ساختار آنها سعی شده بخش عمده ای از انرژی حرکتی خودرو را توسط باتری ها تامین کنند پس اهمیت باتری بیش از پیش در خودروهای برقی پر رنگ تر شد.

بر این اساس در دو دهه گذشته، تصور می شد که با افزایش کیفی در تکنولوژی ساخت خودروهای باتریها و المانهای الکترونیک قدرت، عملاً خودروهای برقی جایگاه خاصی را در صنعت حمل و نقل به خود اختصاص خواهند داد، اما امروزه ، تجربه ثابت نموده است که علی رغم پیشرفت های بعمل آمده، خودروهای برقی خالص با محدودیت های بسیاری روبرو بوده و تنها قابلیت استفاده در مسافتهای رانشی محدود و در کاربرد های خاص را دارا هستند. در چند ساله اخیر مجموعه عوامل فوق سبب گردیده است که راستای تحقیقات و مطالعات پیرامون خودروهای برقی به سمت نوع هایبرید آن معطوف گردد. [۲]

۲- خودروهای برقی [۳]

همانطور که در بالا اشاره شد، استفاده وسیع از باتری های الکتریکی به عنوان نیرو محرکه وسایل نقلیه امتیازات متعددی دارد. هدف انرژی الکتریکی در این خودروها علاوه بر بهبود در وضعیت محیط زیست (به خاطر عملکرد بی سر و صدا و بدون آلودگی خودرو برقی) منجر به حفاظت از منابع نفت خام و عملکرد بهینه تر سیستم برق شهر در نتیجه ترازبندی بار می گردد، که این امر در اثر شارژ شبانه باتری های خودروهای برقی حاصل می گردد.

سابقه وسایل نقلیه برقی به اواخر دهه ۱۸۳۰ بر می گردد، از زمانی که اولین «کالسکه برقی» دنیا در اسکاتلند ساخته شد تاکنون صدها هزار نوع از وسایل نقلیه برقی ساخته شده اند و روانه بازار گردیده اند. اجزای متحرک خودروهای برقی از سایر خودروها کمتر بوده و بدلیل فقدان ذاتی ارتعاش در موتورهای برقی از فرسایش آن جلوگیری به عمل می آید، که در نتیجه نیاز به نگهداری و مراقبت کاهش می یابد و طول عمر خودرو افزایش می یابد. کنترل الکترونیکی و سیستم ترمز احیاء شونده، موجب تسهیل در رانندگی خودروهای برقی بخصوص در ترافیک سنگین شهری گردیده است. علیرغم اینکه رکورد تایید شده جهانی سرعت برای خودروهای برقی بیش از ۱۸۸ mph اعلام شده، اما در حال حاضر هیچ خط تولید عمده ای برای خودروهای سواری برقی یا سواری تجاری وجود ندارد. سرعت، شتاب و برد اغلب خودروهای برقی کنونی به سبب دانسیته انرژی و توان کم باتری های رانشی محدود شده است.

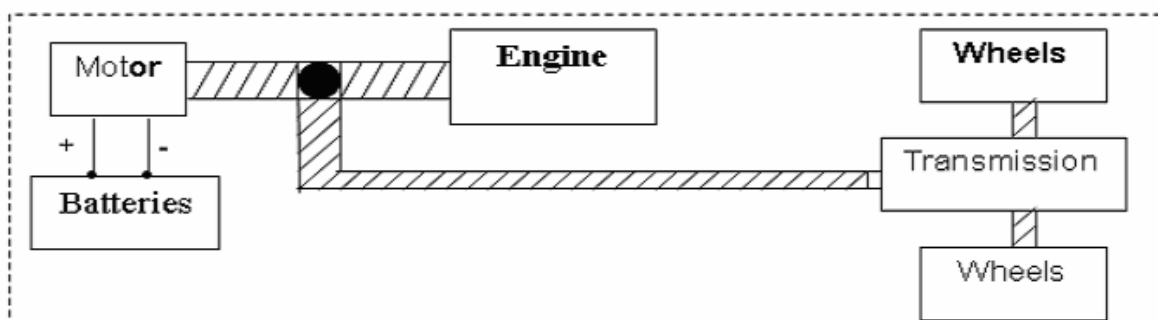
یک خودرو خانوادگی معمولی، با وزن تکمیل ۱ تا ۱/۵ تن برای طی مسافت ۵۰ کیلومتر نیاز به ۵ تا ۱۰ وات ساعت انرژی دارد. اگر رقم کوچکتر (۵ وات ساعت) را در نظر بگیریم این خودرو تقریباً ۳/۹ کیلو گرم بنزین مصرف می کند. برای اینکه یک باتری سرب-اسیدی قادر به اجرای نرخ مفیدی از کار چرخه عمیق گردد باید بطور متوسط دارای دانسیته انرژی ۲۵ wh/kg باشد، از این رو برای طی همان مسافت (۵۰ کیلومتر) به باتری با وزن ۲۵ kg و حجم ۲۵ dm³ نیاز است. به عبارت دیگر ذخیره انرژی در باتری سرب - اسیدی تا ۵۰ برابر سنگین تر و تا ۲۵ برابر، فضای اشغال شده اش بیشتر از معادل بنزین می باشد. نقاط ضعف دیگر خودروهای برقی محدودیت توان قابل استفاده برای شتاب و صعود و نیاز به زمان لازم برای شارژ باتری می باشد. برای مقایسه، زمان شارژ ۶ تا ۱۲ ساعت باتری را با چند دقیقه ای که برای پرکردن مخزن بنزین لازم است را در نظر بگیرید.

۳- خودروهای هایبرید

خودروهای صرفاً الکتریکی به علت مسائلی که در قسمت قبل اشاره شد برای مسافت های طولانی بین شهری زیاد مناسب به نظر نمی رسند، همچنین باتری های آنها برای شارژ مجدد نیاز به مدت زمان طولانی دارند و در طی زمان شارژ شدن نمی توان از آنها استفاده کرد. ضمناً همانطور که گفته شد به علت دانسیته انرژی پایین نسبت به سوخت های بنزینی دیگر خودروهای برقی نمی توانند جوابگوی انعطاف و کشش و شتاب لازمه در جاده ها باشند بنابراین برای عبور از این محدودیت ها خودروهای هایبرید در اولین دهه از قرن بیستم اختراع شده و به سرعت روند روبه رشد خود را طی کردند. این نوع خودروها، ترکیبی از خودروهای الکتریکی و خودروهای احتراق داخلی (که می تواند بنزینی و یا گازوئیلی باشد) می باشند. خودروهای هایبرید معمولاً از سه قسمت عمده تولید قدرت - انتقال قدرت - ذخیره سازی قدرت تشکیل شده است. باتریها را می توان به عنوان عمده ترین منابع ذخیره سازی در خودروهای هایبرید شناخت. اما در زمینه های مختلف دیگر ذخیره سازی انرژی تحقیقات و پیشرفتهای انجام شده است. در قسمت موتور احتراق داخلی از یک موتور احتراق داخلی با تزریق مستقیم تراکمی استفاده شده است. از جمله ویژگیهای این خوروها راندمان بالای آنهاست که بستگی به رفتار و چگونگی ارتباط زیر سیستم های مختلف آن به یکدیگر دارند که با توجه به استراتژی کنترلی و طریقه اتصال این اجزاء به یکدیگر مشخص می شوند. [۲]

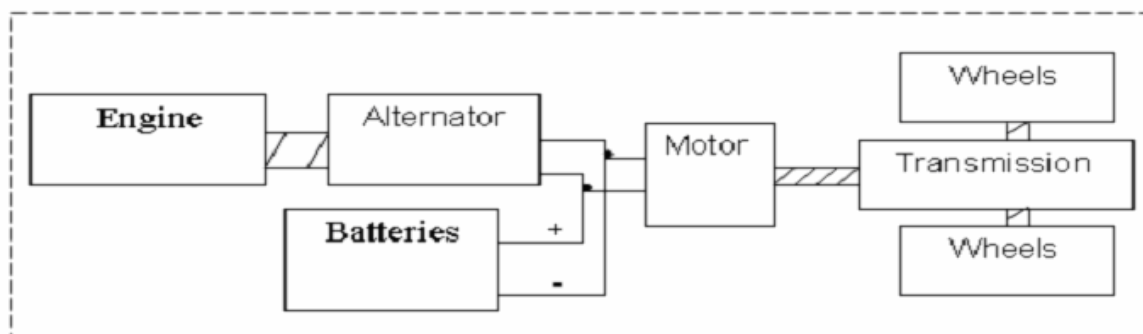
۴- نحوه عملکرد خودروهای هایبرید

می توان خودروهای هایبرید را با توجه به ساختار و سیستم کنترلی آنها به سه نوع سری و موازی و ترکیبی تقسیم بندی کرد. در نوع سری، این خودروها فقط با نیروی الکتریکی حرکت می کند و در حقیقت بخش عمده تولید نیرو محرکه به عهده این موتور الکتریکی است که دارای حجم نسبتاً بزرگی است (که این از معایب این نوع خودروها محسوب می شود) توسط باتری تغذیه می شود و در شرایط تخلیه و کاهش شارژ از مینیمم مقدار از قبل تعیین شده، موتور احتراقی که ژنراتور را می چرخاند بکار می افتد، شارژ باتری به میزان مطلوب خواهد رسید. در شکل شماره (۱) خودروی هایبرید سری نشان داده است.



شکل شماره (۱): خودروی هایبرید سری

در نوع موازی، موتورهای الکتریکی و احتراقی با هم کوپل هستند و هر دو نقش رانش خودرو را به عهده دارند. در سرعتهای بالا (در بزرگراهها و...) موتور احتراق داخلی نقش عمده قسمت محرکه را به عهده دارد ولی در سرعتهای پایین تر و در ترافیک موتورهای الکتریکی نیز شروع به فعالیت کرده و عمل تولید نیرو محرکه را انجام می دهند. (شکل ۲)



شکل شماره (۲): خودروی هایبرید موازی

نوع ترکیبی، ترکیبی از حالت سری و موازی می باشد که دارای راندمان بالاتر و بهتری است. خودروی هایبرید ترکیبی در واقع ترکیبی از دو سیستم سری-موازی است. مولفه های سیستم رانشی در خودروهای هایبرید ترکیبی عبارتند از:

۱- دو منبع تولید توان، یک موتور احتراقی یا پیل سوختی و... همراه یک موتور ترکشن جهت ایجاد نیروی محرکه و بازیابی انرژی.

۲- سیستم انتقال متغیر پیوسته، CVT

۳- یک کلاچ الکترو مغناطیسی برای سیستم انتقال توان

۴- یک موتور الکتریکی کوچک برای تولید انرژی الکتریکی (شارژ) و استارت موتور احتراقی

۵- باتریها

۵- روند تولید خودروهای هایبرید در دنیا [۴]

در حال حاضر دو شرکت هوندا و تویوتا شروع به تولید و عرضه این خودروها در بازارهای تجاری دنیا نموده اند. شرکت تویوتا با ساخت خودرو هایبرید نوع موازی پریوس (Prius) و شرکت هوندا با ساخت خودرو Honda INSIGHT این خودروها را در دهه ۱۹۹۰ و سالهای اخیر روانه بازارهای اروپایی و جهانی کرده اند.

البته شرکت دیگر نظیر دایملر کرایسلر- فیات - فورد و ... شروع به تولید خودروهای هایبرید نموده اند و به زودی روانه بازار خواهند نمود. همانطور که گفته شد در خودرو پریوس شرکت تویوتا از یک سیستم هایبرید موازی استفاده شده است. عملکرد این خودرو بدین صورت است که در سرعت های بالا توسط موتور احتراقی عمل می کند و در سرعت های پایین فقط از موتور الکتریکی استفاده می شود. در خودرو شرکت هوندا از یک سیستم هایبرید نوع موازی استفاده می شود، ولی در این خودرو موتور احتراقی همواره فعال است و در مواقع شتاب (و یا صعود)، موتور الکتریکی به کمک موتور احتراقی آمده و توان را بالا می برد. همانطور که مشاهده می شود این خودروها علیرغم شباهت کلی ساختاری، عملکرد آنها در حالت کنترلی متفاوت است. به علت نبود یک شیوه مشترک در تولید خودروهای برقی می توان متوجه شد که هنوز یک سیستم بهینه خودرو هایبرید تولید نشده که از همه لحاظ از دیگر خودروهای هایبرید بهتر و جامع تر باشد. در ادامه اگر به قسمت های ذخیره های سازی انرژی در خودروهای هایبرید دقت کنیم مشاهده می شود که در این خودروها علاوه بر لزوم باتریها با دانسیته انرژی بالا و همچنین ارزان نیاز به شارژهای سریع می باشد تا باتری ها بتوانند در زمان محدود توسط موتورهای شارژ شوند (که البته شارژ سریع طول عمر باتری را بطور محسوس کاهش می دهد) پس باید یک شارژر مناسب و سریع و در عین حال مطمئن با راندمان بالا برای این خودروها طراحی شود. مطلب بعدی استفاده از نوع باتری در این خودروها می

باشد. همانطور که بارها اشاره شد وجود باتری های با دانسیته بالا در خودروهای هایبرید الزامی است، علاوه بر این موضوع باید مسایلی از جمله هزینه ساخت، طول عمر (سیکل عمر)، سیکل تولید و بازیافت و سازگاری با دما و محیط و فضای خودرو در نظر گرفته شود.

باتری های مورد استفاده از خودروهای هایبرید و خودروهای برقی و باتری هایی که تاکنون به صورت عملی یا تئوری در خودروهای برقی و خودروهای هایبرید مشاهده شده و یا استفاده می شوند بطور فهرست وار عبارتند از:

- باتریهای سرب- اسیدی

- باتری های سدیم - کلراید نیکل

- نیکل - نیدرید فلز

- نیکل - کادمیم

در حال حاضر خودروهای پریوس و هوندا اینسایت هر دو از باتری نیکل - نیدرید فلز استفاده می کنند.

باتری های نیکل - نیدرید فلز شرکت Ovonic با ویژگیهای ترکیبی که دارند از توان بالا و دانسیته انرژی مطلوب برای استفاده در خودروهای الکتریکی هایبریدی عاری از انتشار (ZEV) مناسب هستند. مجموعه فوق متشکل از باتری های پر قدرت با انرژی بسیار بالا که محدوده اندازه های آنها از ۲۰ Ah تا ۹۰ Ah هستند، می باشد. توان ویژه آنها بیش از ۵۰۰ w/kg و انرژی ویژه آنها نزدیک به ۷۰ wh/kg است. این باتری ها بصورت سری به خودروی هایبریدی، بدون نیاز به شارژ، متصل می شوند. خودروهای هایبریدی شرکت Toyota Prius که با باتری Ovonic ۲۵Ah مجهز شده اند قادر به طی محدوده ای حدود ۲۵ مایل هستند. در حال حاضر شرکت های بزرگ باتری سازی بدنبال ساخت و تولید باتری هایی با دانسیته و شرایط بهتر هستند.

۶- شبیه سازی

شبیه سازی دو خودرو یکی خودروی الکتریکی خالص و خودروی هایبرید سری در این قسمت صورت می گیرد. شبیه سازی توسط نرم افزار ADVISOR انجام گرفته است. نرم افزار ADVISOR نرم افزاری است که برای آنالیز یک خودرو از قبل طراحی شده بکار می رود. در این نرم افزار با توجه به شکل شماره (۳) می توان نوع خودرو اعم از برقی خالص یا هایبرید، اجزای خودرو شامل موتور احتراقی، موتور الکتریکی، باتری و... را از انواع موجود انتخاب نمود. پس از انتخاب اجزا می توان مسیر رانشی برای تست خودرو را از بین مسیرهای استاندارد موجود یا ترکیبی از آنها انتخاب نمود. [۵]

برخی مشخصات دو خودروی استفاده شده در شبیه سازی به شرح زیر آورده می شود.

مشخصات خودروی الکتریکی خالص:

مشخصات باتری:

ess_max_ah_cap=25 Ah

ماکزیمم آمپر ساعت

ess_min_volts=9.5 V

مینیمم ولتاژ هر باتری

ess_max_volts=16.5

ماکزیمم ولتاژ هر باتری

ess_module_num=25

تعداد باتریهای سری شده

مشخصات موتور الکتریکی:

motor AC asynchron 3ph, 116 kw, efficiency=0.9, 85 kg
 Total vehicle mass=1302 kg

وزن کل خودرو

شکل شماره (۳): پنجره اصلی نرم افزار ADVISOR

مشخصات خودروی هایبرید سری:

ess_max_ah_cap=25 Ah
 ess_min_volts=9.5 V
 ess_max_volts=16.5 V
 ess_module_num=25

مشخصات باتری:

ماکزیمم آمپر ساعت

مینیمم ولتاژ هر باتری

ماکزیمم ولتاژ هر باتری

تعداد باتریهای سری شده

مشخصات موتور الکتریکی:

motor AC asynchron 3ph, 75 kw, efficiency=0.92, 91 kg

مشخصات موتور احتراقی:

Type: FC_S141_emis, 41 kw, efficiency=0.34, 131 kg

Total vehicle mass=1373 kg

وزن کل خودرو

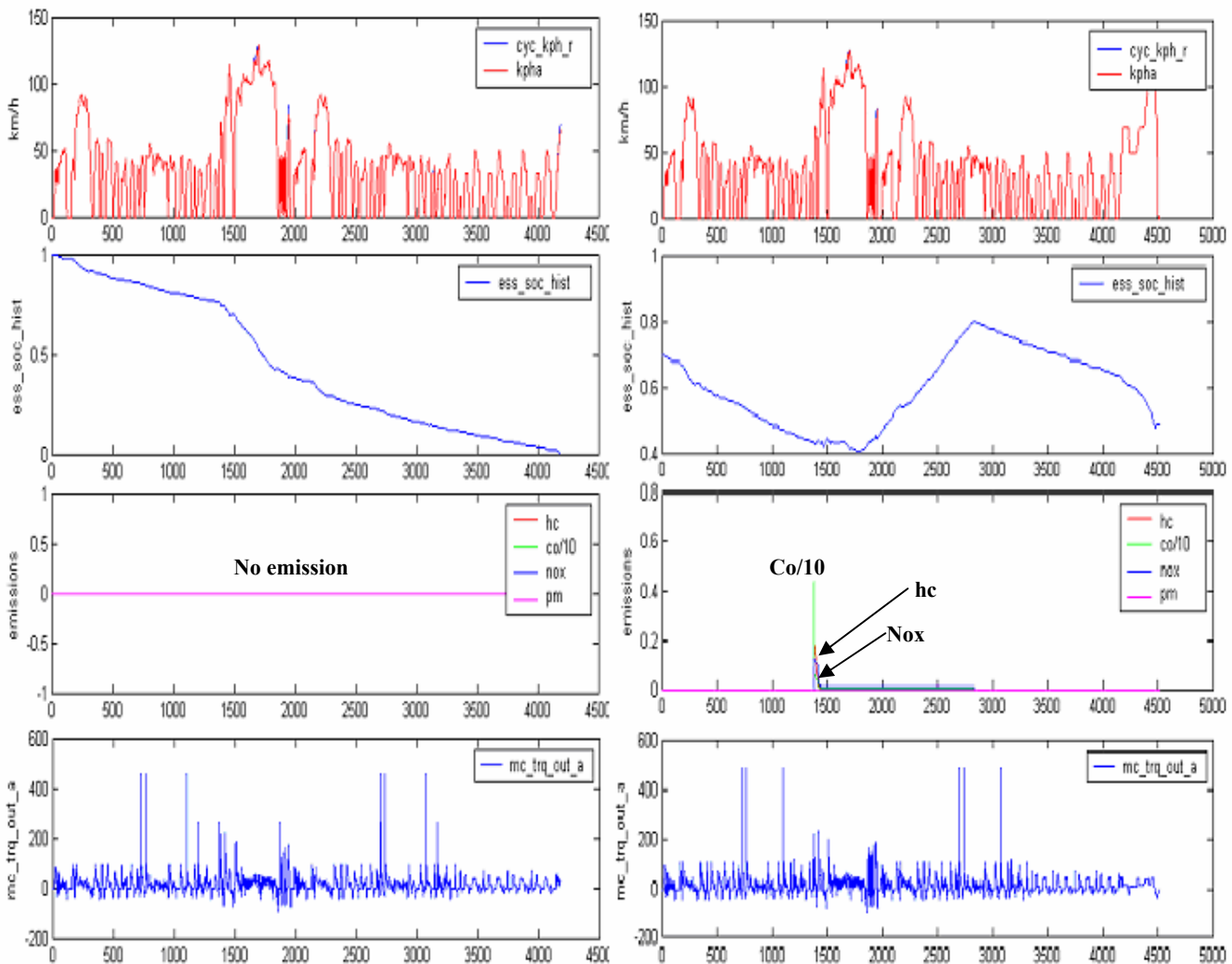
برای مقایسه عملکردی دو خودرو یک سیکل رانشی که در واقع ترکیبی از چند سیکل رانشی استاندارد زیر میباشد انتخاب شده است.

Driving cycle=CYC_UDDS, CYC_US06, CYC_SC03, CYC_ECE_EUDC_LOW

مشخصات مسیّررانشی در جدول (۱) آورده شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل‌های (۴) و (۵) آورده شده است.

جدول (۱) مشخصات مسیّررانشی

time:	4525 s
distance:	47.8 km
max speed:	129.23 km/h
avg speed:	38.02 km/h
max accel:	3.76 m/s ²
max decel:	-3.08 m/s ²
avg accel:	0.54 m/s ²
avg decel:	-0.63 m/s ²
idle time:	861 s
no. of stops:	52
max up grade:	0 %
avg up grade:	0 %
max dn grade:	0 %
avg dn grade:	0 %



شکل (۵) نتایج خودروی برقی خالص

شکل (۴) نتایج خودروی هایبرید سری

بالاترین منحنی در هر شکل منحنی سرعت بر حسب زمان مسیّر انتخاب شده می باشد. منحنی حالت شارژ باتری دومین منحنی می باشد. منحنی بعدی منحنی آلودگی گازهای انتشار یافته بر حسب (g/Km) می باشد. بدیهی است که در خودروی

الکتریکی خالص آلودگی بخاطر عدم وجود موتور احتراقی صفر می باشد. پائینترین منحنی مربوط به گشتاور موتور الکتریکی است که در هر دو به عنوان محرک رانشی خودرو استفاده می گردد.

همانطور که گفته شد در خودروی هایبرید سری موتور احتراق داخلی، موقعی بکار می افتد که وضعیت شارژ باتری از مقدار مینیمم از قبل تعیین شده در استراتژی کنترلی سیستم، کمتر شود. با توجه به ویژگی فوق کنترلر سیستم می تواند با استفاده از منحنی بازده موتور احتراق داخلی نقطه کار آن را در نقطه بهینه قرار دهد. منظور از نقطه بهینه کاری، نقطه ای است که آلودگی ناشی از موتور احتراق داخلی را در کمترین مقدار ممکنه قرار دهد. از اینرو میزان آلودگی انتشار یافته در خودرو میزان کمی دارد.

اما نکته اصلی در مورد وضعیت شارژ باتری است که بعلاوه آنکه خودروی الکتریکی تنها از منبع الکتریکی برای تولید محرکه رانشی استفاده می شود لذا در پایان این سیکل رانشی وضعیت شارژ باتری قبل از رسیدن به انتهای مسیر به صفر رسیده است و ادامه حرکت تا رسیدن وضعیت شارژ باتری به وقفه خواهد افتاد. اما در خودروی هایبرید سری به علت وجود موتور احتراق داخلی به محض کاهش وضعیت شارژ باتری (در اینجا مقدار مینیمم ۰/۴ می باشد). روشن شده و ژنراتور را بکار انداخته تا وضعیت شارژ باتری را بهبود بخشد. کنترلر سیستم موتور احتراقی را تا هنگامیکه باتری به وضعیت شارژ مناسب برای ادامه حرکت برسد روشن نگه خواهد داشت.

نتیجه گیری

خودروهای برقی گرچه به عنوان اولین راهکار برای کاهش میزان آلودگی معرفی گردیده اند اما به علت آنکه در سیکلهای رانشی طولانی با مشکل روبرو می شوند از اینرو حضور موفقی نداشته اند و در حقیقت با شکست مواجه گردیده اند. ایده خودروهای هایبرید به علت استفاده از دو منبع انرژی در تولید سیستم محرکه رانشی نه تنها مشکل آلودگی و مصرف سوخت را به حداقل رسانده است بلکه مشکلات ناشی از خودروهای برقی خالص را حل نموده است. و این مزیت خودروهای هایبرید برقی نسبت به خودروهای برقی خالص می باشد.

منابع و مراجع:

[1] M.Ehsani, K.M.Rahman, H.A.Toliyat, "Propulsion System Design of Electric and Hybrid Vehicle ", *IEEE Trans on Industrial Electronics*, Vol.44,N0.1,PP.19-27,February 1997

[۲] محسن محمدیان، سید محمد تقی بطحائی، بهزاد آسائی، "خودروهای برقی هایبرید، نسل برتر خودروهای امروز"، اولین همایش خودروهای ترکیبی، تیر ماه ۱۳۸۰، صفحه ۱-۱۰

[3] C.A.Vincent, B.Scrosati, "Modern Batteries", 2nd edition, Arnold, 1997

[۴] علی ابراهیمی کلاچایه، رضا همت پور، مهر ناز محمدزاده، "خودروهای هایبریدی، خودروهای آینده"، فصلنامه صنعت باتری ایران، شماره پنجم، زمستان ۸۲، صفحه ۲۶-۳۴

[۵] نرم افزار ADVISOR 3.1