فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

# تعیین ظرفیت بهینه انبارهٔ برقی و موتور- مولد برق یک خودرو دورگهٔ سری با استفاده از داده‌های تجربی و شبیه‌سازی چرخه‌ای

ایمان چیتساز[۱*]، میثم صالحی[۲]، سیامک علیزاده‌نیا[۳]، مهدی رجبعلی[۴]

[۱] عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، i.chitsaz@iut.ac.ir

[۲] کارشناس مرکز تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، me_salehi@ip-co.com

[۳] مدیر بخش قوای محرکه نوین شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، s_alizadenia@ip-co.com

[۴] مدیریت عامل شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، m_rajabali@ip-co.com

* نویسندهٔ مسئول

## چکیده

خودروهای دورگه نقش روز افزونی در کاهش مصرف سوخت شهرهای با حجم آمد و شد سنگین پیدا کرده‌اند. راهکار مدیریتی خودرو و ظرفیت انبارهٔ برقی نقش اصلی در مصرف سوخت خودروهای دورگه دارد. خودروی دورگه رانا به صورت نمونه توسط شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو ساخته و رونمایی شده است. در پژوهش حاضر، ظرفیت بهینه انبارهٔ برقی و مجموعه تولید توان با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی خودرو در شهر تهران ارائه شده است. با کوچک شدن انبارهٔ برقی، ضمن کاهش وزن مجموعه امکان تعویض راحت و سریع آن فراهم می‌شود. شایان ذکر است که با کوچک شدن انبارهٔ برقی، هزینهٔ اولیهٔ خودرو کاهش یافته و مصرف سوخت خودرویی نیز به دلیل بهبود ضرایب دندهٔ خلاص و وزن خودرو کاهش شدیدی خواهد داشت. روش انتگرال‌گیری مستقیم از داده-های تجربی به منظور محاسبهٔ ظرفیت مجموعه تولید توان و انبارهٔ برقی استفاده شده است. مؤلفه‌های شیب‌روی و عملکرد رانندگی خودرو در چرخه‌های مختلف به منظور صحت مجموعه تولید توان محاسبه شده، بررسی شد.

## اطلاعات مقاله

*تاریخچهٔ مقاله:*

دریافت: ۱۹ آبان ۱۳۹۸

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۸

*کلیدواژه‌ها:*

خودرو دورگه سری

انبارهٔ برقی

تعیین ظرفیت بهینه

چرخه رانندگی

کاهش مصرف سوخت

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

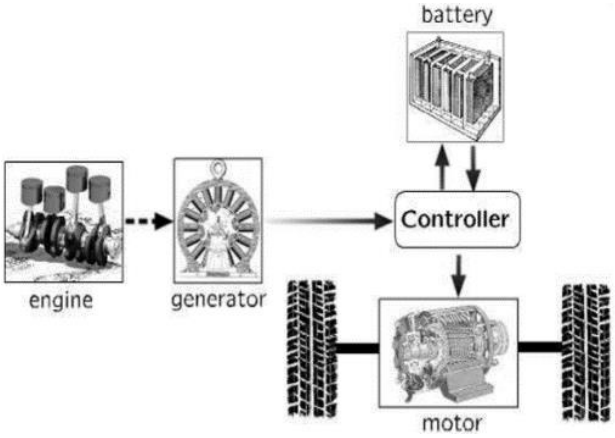
## ۱- مقدمه

سوخت‌های سنگواره‌ای مشکلاتی همچون افزایش آلودگی هوا و کاهش منابع سوختی را در پی داشته است. برای رفع این مشکل، ابتدا استفاده از خودروهای برقی پیشنهاد گردید اما این خودرو ها به دلایلی همچون عدم امکان استفاده در مسافت‌های طولانی، نسبت توان به وزن کم، حداکثر شتاب و سرعت کم و طولانی بودن زمان شارژ انبارهٔ برقی جایگزین خوبی برای خودروهای احتراقی نبودند. بنابراین ایده استفاده از خودروهای دورگه برقی مطرح شد که با ترکیبی از موتوربرقی و موتوراحتراقی طراحی می‌شوند [۱].

خودروهای دورگه برقی با توجه به شیوه برهم‌کنش موتوربرقی و موتوراحتراقی و نقش هرکدام در قالب سه ساختار دورگه سری، دورگه موازی و ترکیب سری و موازی تقسیم می‌شوند [۲].

در خودرو دورگه با ساختار سری (شکل ۱) خروجی مکانیکی موتور احتراقی، ابتدا با استفاده از یک مولد برق به برق تبدیل می شود .برق تولید شده انبارهٔ برقی را پر می‌کند یا می تواند برای حرکت دادن چرخ ها از طریق موتور برقی به کار رود. جدایی موتور احتراقی از چرخ‌ها، مزیت انعطاف پذیری در طراحی محل قرارگیری مجموعه موتور-مولد برق وتنظیم نقطه‌ی عملکرد موتور احتراقی در نقطه ای با بالاترین بازده را به ارمغان می‌آورد. مزیت دیگر این سامانه، سادگی سامانه انتقال قدرت در چرخ‌ها است.

موتوربرقی با یک مجموعه جعبه دنده ساده با دیفرانسیل به چرخ‌ها متصل شده است و در این مجموعه به سامانه انتقال قدرت چند دنده نیازی نداریم. شایان ذکر است که موتور برقی به تنهایی توان مورد نیاز چرخ‌ها را تأمین می‌کند. هم چنین موتور برقی قابلیت جذب و تبدیل بخشی از انرژی حرکتی خودرو به توان برقی را دارد [۳].




شکل ۱: ساختار خودرو دورگه سری [۴]

انبارهٔ برقی خودرو دورگه می‌بایست توانایی تحویل توان موثر و کافی به موتور برقی در هر زمانی را داشته باشد. مدیریت مجموعه انباره به گونه‌ای است که از تخلیه شدن عمیق و بیش از حد انباره جلوگیری شود. برای بکاربردن کامل ظرفیت موتوربرقی، توان کل موتور-مولد برق و انبارهٔ برقی از معادلهٔ (۱) پیروی می‌کند [۵].

$$P_{Battery} \geq \frac{P_{m,max}}{\eta_m} - P_{e/g} \qquad (۱)$$

| | |
|---|---|
| $P_{Battery}$ | توان انبارهٔ برقی |
| $P_{m,max}$ | بیشینه توان موتوربرقی |
| $\eta_m$ | بازده موتوربرقی |
| $P_{e/g}$ | توان موتور-مولد برق |

اتلاف انرژی در انبارهٔ برقی به صورت تولید حرارت شبیه‌سازی می‌شود [۶]. تهرانی و همکاران [۷]، یک فرمول جهت تعیین اندازه انبارهٔ برقی خودرو دورگه ارائه دادند و استفاده از یک سوپر خازن را در کنار یک انبارهٔ برقی پیشنهاد کردند.

اسکات و همکاران [۸] ارتباط بین اندازه انبارهٔ برقی و راهکار مدیریتی مرکزی خودرو دورگه را بررسی کردند. کرنکو و همکاران [۹] بررسی اندازه انبارهٔ برقی و موتوراحتراقی خودرو دورگه را تحقیق کردند و عمر انبارهٔ برقی را بررسی کردند.

چیت‌ساز و همکاران [۱۰] نیز در تحقیقی با استفاده از نرم افزار جی‌تی[1] به بررسی ظرفیت بهینه انبارهٔ برقی به منظور کاهش مصرف سوخت پرداختند.

هو و همکاران [۱۱] ظرفیت بهینه انبارهٔ برقی یک خودروی دورگه برادفزا[2] در شهر پکن ۶ تا ۸ کیلووات ساعت برآورد نمودند. این پژوهش با در نظر گرفتن کلیه هزینه‌های مالکیت خودرور محاسبه شده است.

هو و همکاران [۱۲] با هدف کمینه نمودن دی‌اکسیدکربن تولیدی از شبکه برق و موتور احتراقی به بررسی ابعاد اجزاء مختلف خودروی دورگه برادفزا پرداختند.

سانگ و همکاران [۱۳] با استفاده از الگوریتم پونتریاجین[3] اجزاء یک خودروی دورگه برادفزا از جمله انبارهٔ برقی را بهینه نموده و کاهش ۲۸٪ در هزینه‌های بهره‌برداری خودرو را در شبیه‌سازی نشان دادند.

مدنی‌پور و همکاران [۱۴] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با هدف کاهش مصرف سوخت و حفظ قابلیت‌های رانندگی، اجزاء یک خودروی دورگه برادفزا را بهینه نمودند.

ژو و همکاران [۱۵] با یک الگوریتم ابداعی اجزاء یک خودروی دورگه سری را بهینه نمودند. دو و همکاران [۱۶] به منظور بهینه‌سازی انرژی مصرفی یک اتوبوس دورگه برادفزا که توسط دانشگاه سینگهوا توسعه داده شد، را بهینه نمودند. ظرفیت‌های مختلف انبارهٔ برقی و راهکار بهینه مدیریتی خودرو در این پژوهش بررسی شد.

هوانگ و همکاران [۱۷] در مقاله‌ای مروری، انواع راهکارهای مدیریتی

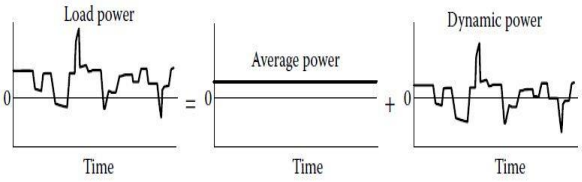
[1] GT
[2] Plug in hybrid
[3] Pontryagin

خودرو دورگه و روش‌های بهینه‌سازی اجزا خودرو دورگه مرور و دسته‌بندی نمودند. نکته مشترک در تمامی پژوهش‌های پیشین این است که افزایش ظرفیت انبارهٔ برقی منجر به افزایش جرم خودرو، مصرف سوخت و اتلاف انرژی می‌شود. ظرفیت بهینه انبارهٔ برقی به گونه‌ای تعیین می‌شود که همزمان با تأمین توان کافی برای موتور برقی حداقل جرم خودرو حاصل شود.

## معادلات حاکم

توان مصرفی خودرو، ناشی از افزایش و کاهش سرعت، سربالایی و سرپایینی رفتن خودرو است و به صورت تصادفی تغییر می‌کند. در شکل ۲ توان بارگذاری خودرو که ترکیبی از دو جز توان حالت پایا (میانگین) توان پویا است؛ نشان داده شده است. در طراحی راهکار مدیریتی یک خودرو دورگه، توان حالت پایا با استفاده از موتور احتراقی قابل تأمین است.

شایان ذکر است که می‌توان نیرو محرکه‌ای مانند انبارهٔ برقی برای تامین توان دینامیکی استفاده کرد. برایند انرژی خروجی از نیرو محرکه برقی در کل چرخهٔ رانندگی صفر خواهد بود. این مطلب نشان می‌دهد که منبع انرژی نیرو محرکه برقی، ظرفیت انرژی خود را در پایان سیکل رانندگی از دست نمی‌دهد. این نیرو محرکه تنها به عنوان جبران و یا ذخیره توان استفاده می‌شود.

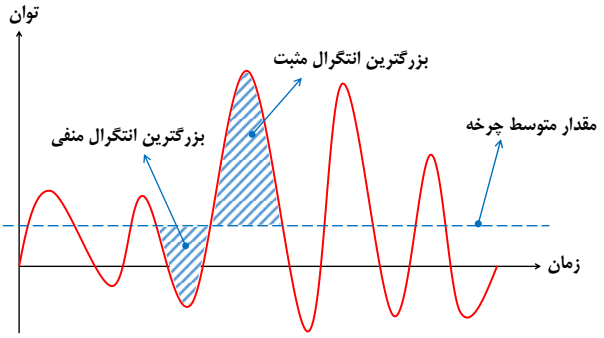



شکل ۲: توان بارگذاری تجزیه شده به حالت پایا و پویا

برای محاسبه توان پویا و پایا، از کل داده‌های آزمایشگاهی چرخه نسبت به زمان انتگرال گرفته می‌شود. حاصل انتگرال بر مدت زمان کل چرخه تقسیم می‌شود. طبق قضیهٔ مقدار متوسط انتگرال در ریاضیات، عدد حاصل شده مقدار متوسط تابع یا همان توان حالت پایا است. معادلهٔ ریاضی آن به صورت زیر است.

$$\overline{f(t)} = \frac{1}{\Delta t}\int_{t_1}^{t_2} f(t)dt \qquad (۱)$$

برای محاسبهٔ ظرفیت انبارهٔ برقی، داده‌ها را به دو بخشِ بالای خط مقدار متوسط و پایین آن تقسیم می‌نماییم. در مرحله بعد، نسبت به خط مقدار متوسط از داده‌های بالا و پایین مقدار متوسط انتگرال می‌گیریم. قدر مطلق بزرگترین انتگرال حاصل شده، حداقل مقدار ظرفیت انبارهٔ برقی است. زمانی که توان مصرفی زیر خط مقدار متوسط قرار دارد، انبارهٔ برقی در حال پر شدن به وسیله موتور احتراقی و مولد برق است. در زمان قرار گرفتن در بالای خط متوسط، انبارهٔ برقی در حال توان‌دهی به موتور برقی است. شایان ذکر است که انبارهٔ برقی در این حالت مانند چرخ‌طیار در خودروهای مرسوم عمل می‌نماید. الگویی از انتگرالگیری و پر و خالی شدن انباره در شکل ۳ نشان داده است.




شکل ۳: طرحواره چرخهٔ رانندگی و نحوهٔ محاسبهٔ ظرفیت انباره

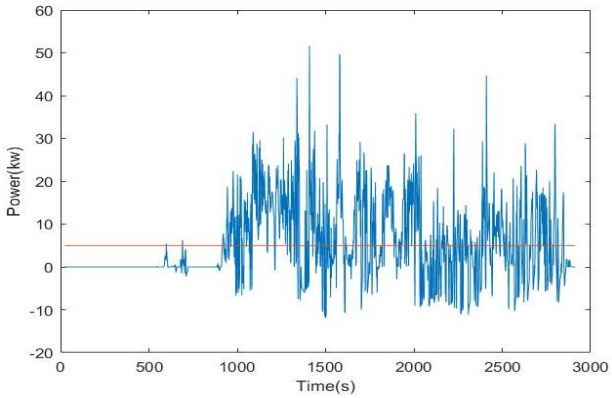
## ۲- چرخه‌های تجربی شهر تهران

خودرو رانا دورگهٔ سری توسط شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو ساخته و رونمایی شده است و اطلاعات این خودرو در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات خودرو رانا دورگه

| مشخصه | مقدار |
|---|---|
| جرم بدنه | ۱۴۷۰ کیلوگرم |
| موتور احتراقی | اشتعال جرقه ای ۱۲۰۰سی سی |
| موتور برقی | توان ۶۵ کیلووات پیوسته و ۱۳۰ کیلووات |
| انبارهٔ برقی | ۱۴ کیلو وات ساعت |

این خودرو در ۱۴ مسیر رانندگی متفاوت داخل شهر تهران پیمایش شده است و سپس نتایج حاصل از داده‌های تجربی به صورت نمودار ترسیم و انتگرال‌گیری شد که نمونه‌ای از نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. نمودار نوسانی، توان بارگذاری لحظه‌ای در چرخه را مشخص می‌نماید و خط ممتد، توان متوسط چرخه یا به عبارت بهتر توان موتور احتراقی و مولد برق است. شایان ذکر است که مسیرهای متفاوتی برای پیمایش انتخاب شد تا تمامی شرایط رانندگی در داده‌های تجربی لحاظ گردد. این مسیرها شامل سربالایی (بزرگراه یادگار امام)، با آمد و شد سنگین (خیابان انقلاب) و بزرگراه (بزرگراه همت) بوده است.




شکل ۴: نمونه‌ای از نتایج آزمون رانندگی داخل شهر تهران

در جدول ۲ نتایج حاصل از چرخه‌های پیموده شده شهر تهران نشان داده شده است. به منظور محاسبهٔ ظرفیت انبارهٔ برقی اعداد انتگرالگیری شده از قله‌ها و دره‌های توان مصرفی به ۰٫۸ تقسیم شده است تا حداکثر از ۸۰٪ ظرفیت انباره در پیمایش استفاده گردد.

بررسی اعداد جدول ۲ نشان می‌دهد که خودرو برای پیمایش بدون مشکل در شهر تهران حداقل مولد برق با توان ۱۲ کیلووات و انبارهٔ برقی با ظرفیت ۰٫۸ کیلووات ساعت نیازمند است. حداکثر تغییر در توان بارگذاری با محاسبه حداکثر تغییرات در توان لحظه‌ای محاسبه شده است و بیانگر توان لحظه‌ای مورد نیاز برای موتور برقی است. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، توان حداقل برای پیمایش در مسیرهای ذکر شده برابر با ۷۳ کیلووات است.

جدول ۲: اعداد به دست آمده از داده‌های تجربی شهر تهران

| چرخه | مقدار متوسط توان (kW) | حداکثر ظرفیت انبارهٔ برقی (kWh) | حداکثر تغییر توان بارگذاری (kW) |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۴٫۹۸ | ۰٫۸ | ۴۶٫۶۶ |
| ۲ | ۳٫۵۳ | ۰٫۲ | ۵۸٫۸۴ |
| ۳ | ۲٫۷۶ | ۰٫۱۶ | ۳۶٫۹ |
| ۴ | ۲٫۴۶ | ۰٫۲۵ | ۵۳ |
| ۵ | ۲٫۹۱ | ۰٫۱۲ | ۲۲٫۱۰ |
| ۶ | ۱۱٫۷۵ | ۰٫۱۲ | ۶۴٫۸۳ |
| ۷ | ۶٫۳۵ | ۰٫۱۶ | ۶۴٫۵ |
| ۸ | ۵٫۷۱ | ۰٫۳۲ | ۶۲٫۳ |
| ۹ | ۵٫۲۵ | ۰٫۲۹ | ۴۳٫۵ |
| ۱۰ | ۲٫۳۵ | ۰٫۴۱ | ۵۶٫۵ |
| ۱۱ | ۵٫۱۳ | ۰٫۴۳ | ۶۹٫۷۵ |
| ۱۲ | ۳٫۵ | ۰٫۱۵ | ۶۳٫۹ |
| ۱۳ | ۷٫۵ | ۰٫۷۶ | ۷۳٫۱ |
| ۱۴ | ۲٫۶۹ | ۰٫۳۸ | ۴۷ |

## ۳- چرخه‌های استاندارد

به منظور بررسی جامع و مانع خودرو، شبیه‌سازی خودرو در چرخه‌های استاندارد و محاسبه توان مصرفی مورد نیاز جهت محاسبه توان مولد برق و انبارهٔ برقی لازم است. به همین منظور چرخه اف‌تی‌پی۷۵[1]، دبلیوال‌تی‌سی۲[2] و ان‌ای‌دی‌سی[3] بررسی شدند. توان مورد نیاز برای غلبه بر مقاومت هوا، شتاب‌گیری و مقاومت جاده از معادلهٔ ۲ محاسبه می‌شود.

$$P_t = \left(\frac{\delta M_v \frac{dv}{dt} + M_v g \cos\alpha\, f_r + \frac{1}{2}\rho_a C_D A_f V_2^2}{1000\eta_m\eta_t}\right) V_{avg} + \frac{M_v g \sin\alpha\,(V_2 - V_1)}{1000\eta_m\eta_t} \quad (۲)$$

$M_v$ جرم کل خودرو در واحد kg، $V_1$ سرعت ابتدایی خودرو در واحد m/s، $V_2$ سرعت نهایی خودرو در اثر شتاب‌گیری بر حسب m/s، g شتاب جاذبه زمین به مقدار ۹٫۸ m/s2، $f_r$ ضریب مقاومت غلتشی چرخ‌ها، $\rho_a$ چگالی هوا به مقدار ۱٫۲۰۲ kg/m3، $A_f$ مساحت جلو یا سطح برخورد خودرو با هوا در واحد m2، $C_d$ ضریب مقاومت هوا است. $\eta_m$ بازده موتور برقی، $\eta_t$ بازده سامانه انتقال قدرت و توان $P_t$ بر حسب کیلووات محاسبه می‌شود.

عبارت اول در معادلهٔ ۲، توان استفاده شده برای شتاب گیری جرم خودرو را نشان می‌دهد و عبارات دوم و سوم توان متوسط برای غلبه بر مقاومت غلتشی چرخ‌ها و مقاومت هوا را نشان می‌دهد. داده‌های تجربی خودرو برای محاسبهٔ توان لحظه‌ای چرخه در جدول ۳ نشان داده شده است.

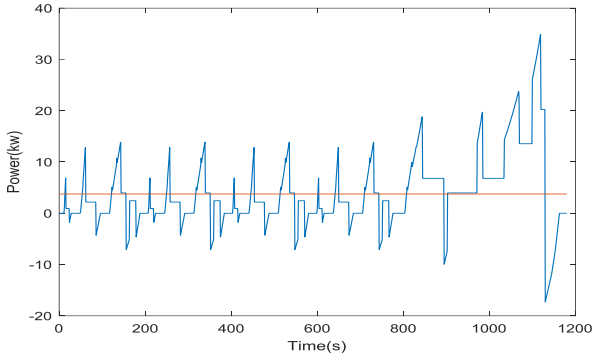
جدول ۳: مشخصات خودرو رانا دورگه

| مشخصه | مقدار |
|---|---|
| $\delta$ | ۱٫۰۴۲ |
| $M_v$ | ۱۵۲۰kg |
| $f_r$ | ۰٫۰۱۴۵ |
| $g$ | ۹٫۸ m/s$^2$ |
| $\rho_a$ | ۱٫۲۲۵ kg/m$^3$ |
| $C_D$ | ۰٫۲۵۸ |
| $A_f$ | ۲ m$^2$ |
| $T$ | −۱۵ N.m |
| $\eta_t$ ،$\eta_m$ | ۰٫۹۵ |

در شکل ۵ نمونه‌ای از نتایج محاسبه شده توان برای چرخه نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است توان درخواستی خودرو در هر لحظه در مقایسه با داده‌های آزمون شهر تهران از رفتار گذرای کمتری برخوردار است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی محاسبه توان در چرخه‌های استاندارد در جدول ۴ نشان داده شده است.

همانطور که مشخص است توان مصرفی پایا و پویا در همه حالات چرخه‌های استاندارد از حالات واقعی شهر تهران کمتر است. دلیل این امر عدم شیب‌روی در چرخه استاندارد و رفتار با ثبات رانندگی بدون شتاب‌گیری ناگهانی است. از میان چرخه‌های استاندارد، چرخه دبلیوال‌تی‌سی به دلیل رفتار گذرای بیشتر توان پایا و پویای بیشتری را نیازمند است و در واقع به چرخهٔ واقعی رانندگی نزدیکتر است.

[1] FTP75
[2] WLTC
[3] NEDC



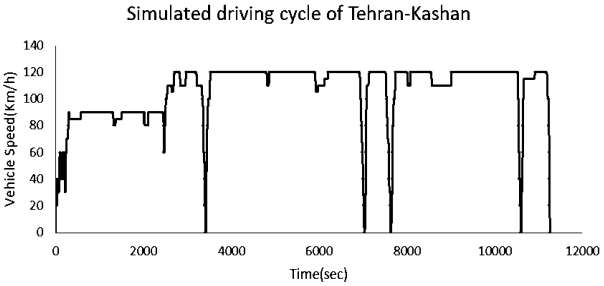

شکل ۵: توان لحظه‌ای مورد نیاز خودرو در چرخهٔ ان‌ای‌دی‌سی

جدول ۴: توان محاسبه شده برای چرخه‌های استاندارد

| چرخهٔ استاندارد | مقدار متوسط توان (kW) | حداکثر ظرفیت باتری (kWh) | حداکثر تغییر توان بارگذاری (kW) |
|---|---|---|---|
| FTP 75 | ۲,۳ | ۰,۱۵۶ | ۳۲,۵ |
| WLTC class 1 | ۰,۲۵ | ۰,۱۵ | ۱۱,۵ |
| WLTC class 2 | ۱,۵۲ | ۰,۲۲۵ | ۲۱ |
| WLTC class 3 | ۲,۹۳ | ۰,۵۱ | ۴۰ |
| NEDC | ۳,۷۶ | ۰,۸ | ۳۱,۲ |

## ٤- چرخهٔ برون شهری و آزمون شیب‌روی

با توجه به نیازمندی خودروی دورگه برای حرکت در مسیرهای برون‌شهری، مسیر بزرگراه تهران کاشان شبیه‌شازی و توان درخواستی مورد نیاز خودرو برای حرکت در این مسیر محاسبه شد. چرخهٔ مشابه-سازی شده در این مسیر با استفاده از داده‌های آمد و شد و عوارضی‌های موجود در مسیر به صورت شکل ۶ مشابه‌سازی گردید.



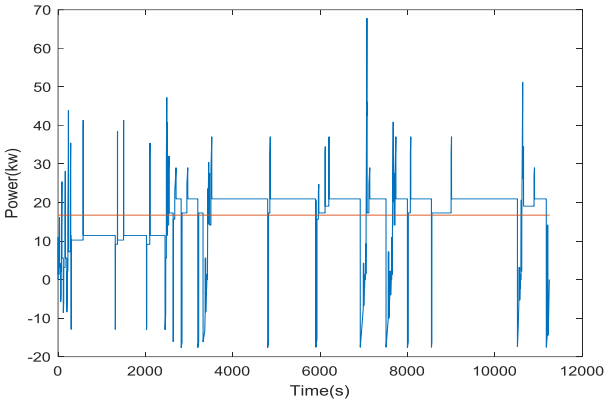

شکل ۶: چرخهٔ مشابه‌سازی شده بزرگراهی

در جدول ۵ مشخصات اصلی چرخهٔ بزرگراهی مشابه‌سازی شده نشان داده شده است.

جدول ۵ :مشخصات چرخهٔ تهران-کاشان

| مقدار | مشخصه |
|---|---|
| ۲۶۰ کیلومتر | مسافت پیموده شده |
| ۳ ساعت و ۵ دقیقه | مدت زمان پیمایش |
| ۸۵ کیلومتر بر ساعت | متوسط سرعت |

توان لحظه‌ای مورد نیاز برای مسیر بزرگراهی خودرو دورگه در شکل ۷ نشان داده شده است. توان حالت پایا در مسیر بزرگراهی ۱۶,۷ کیلووات محاسبه شد. حداکثر ظرفیت انبارهٔ برقی در این مسیر ۲,۳۷ کیلووات ساعت و توان موتور برقی ۵۱ کیلووات محاسبه گردید. در مسیر بزرگراهی بین شهری و به دلیل سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، توان پایای مورد نیاز خودرو افزایش می‌یابد. در مسیر بزرگراهی اگرچه نوسانات توان درخواستی کم است و در نتیجه توان موتور برقی کاهش می‌یابد. ظرفیت انبارهٔ برقی به دلیل توان پایای درخواستی خودرو افزایش یافته است.




شکل ۷: توان لحظه‌ای مورد نیاز خودرو دورگه برای مسیر بزرگراهی

در انتها به منظور در نظر گرفتن استاندارد شیب‌روی خودرو، توان مورد نیاز خودرو برای پیمایش با ۳۰۰ کیلوگرم بار اضافی در شیب ۳۰ درصد به طوریکه در کمتر از ۱۰ ثانیه از سرعت صفر به سرعت ۱۸ کیلومتر بر ساعت برسد، محاسبه می‌شود. توان مورد نیاز برای این آزمون ۲۹,۱ kW محاسبه شد.

بررسی توان‌های پایا و پویای محاسبه شده به طور خلاصه در جدول ۶ نشان داده شده است. همانطور که از این جدول مشخص است حداقل توان مجموعه مولد برق برای پیمایش در همه شرایط ۲۹,۱ کیلووات است. ظرفیت انبارهٔ برقی مورد نیاز نیز در حدود ۲,۳۷ کیلووات ساعت است. به منظور داشتن قابلیت رانندگی مناسب در تمامی شرایط رانندگی، به موتور برقی با توان ۷۳ کیلووات نیازمندیم.

جدول ۶: نتایج به دست آمده از تمامی آزمون‌ها

| آزمون | مقدار متوسط توان (kW) | حداکثر ظرفیت انباره (kWh) | حداکثر تغییر توان بارگذاری (kW) |
|---|---|---|---|
| چرخه‌های تجربی شهر تهران | ۱۱,۷۵ | ۰,۸ | ۷۳,۱ |
| چرخه‌های استاندارد | ۴,۱ | ۰,۷ | ۴۲,۸ |
| چرخهٔ برون شهری | ۱۶,۷ | ۲,۳۷۵ | ۵۱ |
| آزمون شیب‌روی | ۲۹,۱ | بدون انباره | بدون انباره |

## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های تجربی شهری، ظرفیت حداقلی برای موتور احتراقی و انبارهٔ برقی ارائه شد. در ادامه با استفاده از شبیه‌سازی چرخه‌های استاندارد و آزمون برون‌شهری شرایط متفاوت دیگری بر خودرو اعمال شد. توان مجموعه مولد برق و انبارهٔ برقی با استفاده از داده‌های تجربی و شبیه‌سازی مشخص گردید. توان میانگین انتگرالگیری به عنوان توان پیوسته مجموعه مولد برق و تجمیع انرژی در قله و دره‌های توانی خودرو به عنوان ظرفیت انبارهٔ برقی تعیین گردید.

با در نظر گرفتن شرایط مختلف رانندگی و پیمایش خودرویی، حداقل توان موتور احتراقی ۲۹٫۱ کیلووات و حداکثر ظرفیت باتری ۲٫۳۷۵ کیلووات ساعت محاسبه شد. شایان ذکر است که به منظور در نظر گرفتن قابلیت‌های رانندگی در شرایط شهری، توان موتور برقی برابر با ۷۳ کیلووات تعیین گردید.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از مرکز تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو اعلام می‌نمایند.

## مراجع و منابع

[1] Husain, I., Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. 2010: CRC press.
[2] Mi, C. and M.A. Masrur, Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives. 2017: John Wiley & Sons.
[3] Chan, C., The state of the art of electric and hybrid vehicles. Proceedings of the IEEE, 2002. 90(2): p. 247-275.
[4] Ripaccioli, G., et al. A stochastic model predictive control approach for series hybrid electric vehicle power management. in American Control Conference (ACC), 2010. 2010. IEEE.
[5] Ehsani, M., et al., Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. 2018: CRC press.
[6] Pesaran, A.A., Battery thermal models for hybrid vehicle simulations. Journal of power sources, 2002. 110(2): p. 377-382.
[7] Masih-Tehrani, M., et al., Optimum sizing and optimum energy management of a hybrid energy storage system for lithium battery life improvement. Journal of Power Sources, 2013. 244: p. 2-10.
[8] Moura, S.J., et al., Tradeoffs between battery energy capacity and stochastic optimal power management in plug-in hybrid electric vehicles. Journal of Power Sources, 2010. 195(9): p. 2979-2988.
[9] Chrenko, D., et al. Sizing of ice and lithium-ion battery for series hybrid vehicle over life cycle with battery aging. in Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2013 IEEE. 2013. IEEE.
[10] قاسم خانی, ف.ا.چ.س.م.ص.و.ر.ع., انتخاب سایز مناسب باتری خودروی دورگه سری به منظور مصرف سوخت بهینه in ,اولین همایش بین المللی قوای محرکه نوین (با محوریت خودروهای برقی). ۱۳۹۷ , https://www.civilica.com/Paper-MPTCONF01-MPTCONF01_020.html: تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
[11] Hou, C., H. Wang, and M. Ouyang, Battery sizing for plug-in hybrid electric vehicles in Beijing: A TCO model based analysis. Energies, 2014. 7(8): p. 5374-5399.
[12] Hu, X., et al., Integrated optimization of battery sizing, charging, and power management in plug-in hybrid electric vehicles. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2015. 24(3): p. 1036-1043.
[13] Song, Z., et al., Component sizing optimization of plug-in hybrid electric vehicles with the hybrid energy storage system. Energy, 2018. 144: p. 393-403.
[14] Madanipour, V., M. Montazeri-Gh, and M. Mahmoodi-k, Optimization of the component sizing for a plug-in hybrid electric vehicle using a genetic algorithm. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2016. 230(5): p. 692-708.
[15] Zhou, Q., et al., Intelligent sizing of a series hybrid electric power-train system based on Chaos-enhanced accelerated particle swarm optimization. Applied energy, 2017. 189: p. 588-601.
[16] Du, J., et al., Design method of a power management strategy for variable battery capacities range-extended electric vehicles to improve energy efficiency and cost-effectiveness. Energy, 2017. 121: p. 32-42.
[17] Huang, Y., et al., A review of power management strategies and component sizing methods for hybrid vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 96: p. 132-144.

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

# Battery and generator sizing of series hybrid electric vehicle based on experimental data and standard cycles simulation

I. Chitsaz[1*], M. Salehi[2], S. Alizadenia[3], M. Rajabali[4]

[1] *Faculty of Mechanical Engineering Department, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, i.chitsaz@iut.ac.ir*
[2] *Calibration expert, Irankhodro powertrain company, Tehran, Iran, me_salehi@ip-co.com*
[3] *Director of new powertrain department, Irankhodro powertrain company, Tehran, Iran, s_alizadenia@ip-co.com*
[4] *Chief executive officer of Irankhodro powertrain company, Tehran, Iran, m_rajabali@ip-co.com*
[*] *Corresponding Author*

**ARTICLE INFO**

*Article history:*
Received: 10 November 2019
Accepted: 18 February 2020

*Keywords:*
Series hybrid electric vehicle
Optimum battery size
Driving cycle
Fuel consumption reduction

**ABSTRACT**

Hybrid electric vehicles are getting more attention due to the fuel consumption and emission issue in megacities. Energy management strategy and battery capacity are the primary factors for the energy efficiency of range-extended hybrid electric vehicles. Iran khodro Powertrain Company has unveiled a series of hybrid electric vehicles and is improving its performance constantly. In the present study, minimum battery and generator capacity based on experimental data of this vehicle for different driving conditions are presented. Based on the direct integration of experimental data, minimum battery size is calculated to get extremums in energy consumption. Generator capacity is also calculated based on energy slope curve. Small battery size improves battery integration into the vehicle and also the vehicle weight is reduced that improves fuel consumption. The hybrid electric vehicle is also simulated on different driving cycles to ensure that the calculated battery and generator size is appropriate in different conditions.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.