

بررسی میزان کاهش مصرف سوخت در خودروی هایبرید موازی نرم به کمک مدلسازی ریاضی

مجید قدسی^۱، علیرضا خجسته پور^۲، جواد درویشی^۳

- ۱- مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
 - ۲- مهندسی مکانیک، شرکت ایران خودرو حوزه مشاوران جوان تهران، ایران
 - ۳- مهندسی مکانیک، شرکت ایران خودرو حوزه مشاوران جوان، تهران، ایران
- * تهران، ۷۷۵-۱۴۵۱۵، m.ghodsi.h@gmail.com

چکیده

امروزه به منظور کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ی خودروها روشهای متعددی ابداع و بکار گرفته شده، که یکی از مشهودترین آنها استفاده از سیستم نیروی محرکه هایبرید است. این نوع سیستم محرکه ترکیبی از موتور احتراق داخلی و الکتریکی می‌باشد که در کنار هم قدرت مورد نیاز خودرو را تولید و علاوه بر آن محدودیتهای یکدیگر را با استفاده از همپوشانی همزمان مرتفع می‌کنند.

این پژوهش مبتنی بر نتایج آزمون و مدلسازی رایانه‌ای خودرو شامل مدل مقدار متوسط موتور احتراقی، مدل سیستم انتقال قدرت، دینامیک طولی خودرو و موتور الکتریکی در نرم افزار Matlab/Simulink است. نتایج نشان می‌دهند که هرچند توان موتور الکتریکی کمکی در مقایسه با موتور احتراقی کمتر است (کمتر از ۱۰ درصد) اما با استفاده از آن و راهبردهای مناسب کنترلی در چرخه درون شهری می‌توان به کاهش مصرف سوخت تا ۳۰ درصد دست یافت.

کلیدواژگان

مدلسازی دینامیکی، سیستم نیروی محرکه هایبرید موازی، هایبرید نرم، مدل موتور احتراقی

۱- مقدمه

- به رانش خودرو کمک می‌کند و امکان استفاده از موتور احتراقی کوچکتر را فراهم می‌سازد.
- به عنوان یک مولد کارمی‌کند و امکان استفاده از انرژی اضافی (مانند زمان ترمزگیری) برای شارژ مجدد مجموعه باتری و کمک رسانی بعدی (به عنوان موتور) را فراهم می‌کند.
- برای استارت سریع و بدون صدای موتور احتراقی بکار می‌رود.

مدل سازی قوای محرکه هایبرید نرم این مدل متشکل از :

زیرمدل مقدارمتوسط موتور احتراقی، زیرمدل موتور الکتریکی، زیرمدل سامانه ذخیره و بازیافت انرژی الکتریکی (باتری قابل شارژ)، زیرمدل مکانیزم کلاچ، زیرمدل جعبه دنده و سیستم انتقال قدرت، زیرمدل دینامیک طولی خودرو می‌باشد که در محیط نرم افزار Matlab/Simulink شبیه سازی شده است. [۲، ۳]

۳- زیرمدل موتور احتراق داخلی

موتور احتراقی به علت رفتار پیچیده و دینامیکی نیاز به مدلسازی با دقت کافی دارد. برای این کار از مدل مقدار متوسط موتور استفاده می‌گردد. به همین منظور جهت بدست آوردن مقادیر فشار مانیفولد، دیگر متغیرهای عملکردی موتورهای اشتعال جرقه‌ای لازم است با استفاده از معادلات حاکم این مقادیر تقریب زده شوند. به علاوه نتایج با استفاده از آزمونهای صحه گذاری و نرم افزارهای تحلیل و شبیه سازی موتور تأیید می‌شوند. در مدل مقدار متوسط متغیرهای موتور در یک مقیاس زمانی مناسب برای کاربریهای کنترلی محاسبه می‌شود. این مقیاس زمانی در حدود زمان چند سیکل کاری موتور (کمتر از ۱۰ سیکل) می‌باشد. معادلات حاکم بر متغیرها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: معادلات جبری، معادلات دیفرانسیل.

یکی از این گزینه های مرسوم برای کاهش مصرف سوخت و به تبع آن کاهش آلاینده‌ی، استفاده از نیروی محرکه الکتریکی در کنار موتورهای احتراق داخلی است. این خودروها که به خودروهای هایبرید معروفند، به عنوان پلی بین خودروهای تمام برقی و معمولی محسوب می‌شوند. یکی از چالشهای اصلی در این خودروها، وزن و هزینه سربار آنها در مقایسه با خودروهای متداول می‌باشد. از سوی دیگر نحوه مدیریت انرژی و توان تولید شده بیش از پیش در خودروهای هایبرید حائز اهمیت است. [۱]

به منظور کاهش هزینه و زمان طراحی عموماً قبل از نمونه‌سازی، از روشهای پیشرفته مدلسازی و شبیه سازی استفاده می‌شود. لذا در این پژوهش از مدلسازی دینامیکی اجزای یک خودروی هایبرید در محیط نرم افزار Matlab/Simulink استفاده شده است. توجه اصلی در این پژوهش معطوف به مدیریت توان و کاهش مصرف سوخت در خودروی هایبرید نرم با بکارگیری فناوریهای موجود صنعت خودرو و رفتار قوای محرکه در شرایط مختلف کاری است.

۲- قوای محرکه هایبرید نرم موازی Mild Hybrid

در این ساختار از یک موتور الکتریکی در کنار موتور احتراقی به عنوان قوای محرکه کمکی خودرو استفاده می‌شود. بدین صورت که در حقیقت این موتورها از لحاظ مکانیکی به یکدیگر کوپل شده اند. به علاوه موتور الکتریکی می‌تواند در نقش یک ژنراتور عمل کرده و باعث شارژ شدن باتریها هنگام ترمزگیری یا حرکت کندشونده شود. بنابه نوع راهبرد کنترلی، موتور الکتریکی، موتور احتراقی و یا هر دو در رانش خودرو سهیم می‌گردند. از مزایای این ترکیب این است که خودرو می‌تواند حتی در بارهای کم بصورت الکتریکی خالص حرکت کند و در نتیجه میزان آلاینده‌ی در این حالت به صفر می‌رسد.

موتور الکتریکی در کنار موتور احتراقی در حکم نیروی محرکه رانشی خودروی هایبرید می‌باشد. وظایف موتور الکتریکی عبارتند از :

¹ GT-Power

حال اگر رابطه فیزیکی (η_{vol}, P_m) بدست آید، می توان مقدار جریان هوای ورودی به سیلندر را محاسبه نمود پس از محاسبات و ساده سازی می توان معادله زیر را برای بازده حجمی نوشت:

$$\eta_{vol} \cdot P_m = s \cdot P_m - y \quad (3)$$

با توجه به اینکه s و y برای هر موتور معین تا حد زیادی به دور وابسته است. بنابراین رابطه جریان هوای ورودی به سیلندر بدین صورت خواهد بود:

$$\dot{m}_{ac} = \frac{V_d}{2RT_m} \times [s(n)P_m - y(n)] \times n \quad (4)$$

با کاهش وابستگی پارامترهای معادله فوق به فشار مانیفولد، تستهای کالیبراسیون به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. با اندازه گیری جریان هوای ورودی به سیلندر در دوره های مختلف میتوان مقادیر s و y را محاسبه نمود. با روشی که در اینجا بیان می شود، می توان مقادیر s و y را با دقت مناسبی در دوره های مختلف محاسبه نمود. برای محاسبه s و y در دوره های دیگر از منحنی گشتاور ماکزیمم بر حسب دور می توان استفاده نمود. همانطور که می دانیم میزان گشتاور تولیدی تابعی از جرم هوای ورودی به سیلندر است:

$$T_b \propto n \times m_c \propto n \times (\eta_{vol} P_m) = n \times m_n = n \times (s P_m - y) \quad (5)$$

$$\Rightarrow T_b \approx C \times (s P_m - y)$$

گشتاور ترمزی از رابطه زیر بدست می آید:

$$T_b = T_i - T_{f/p} \quad (6)$$

$$T_i(Nm) = 8750 \times \frac{\dot{m}_{ac}}{n} \times \eta_{fsol} \times AFI \times SI \quad (7)$$

با داشتن گشتاور ترمزی می توان دور موتور را از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$n(t) - n(t_0) = \frac{30}{\pi} \times \frac{\int_{t_0}^t (T_b - T_L) dt}{J_e} \quad (8)$$

T_L گشتاور مقاوم بوده که از کلاچ به موتور اعمال می گردد. [5]

۳-۱- اعتبار مدل

به علت انجام ساده سازی ها در مدل سازی و وجود خطا در تستهای کالیبراسیون، مدل بدست آمده نمی تواند دقیقاً رفتار موتور را نشان دهند. بنابراین باید میزان خطای مدل در تقریب متغیرهای قابل اندازه گیری در دامنه کاری موتور بررسی گردد. نتیجه نهایی این اعتبار سنجی در تقریب فشار مانیفولد و نسبت هوا به سوخت در بازه و دقت تقریب دور و گشتاور $\pm 2\%$ می باشد.

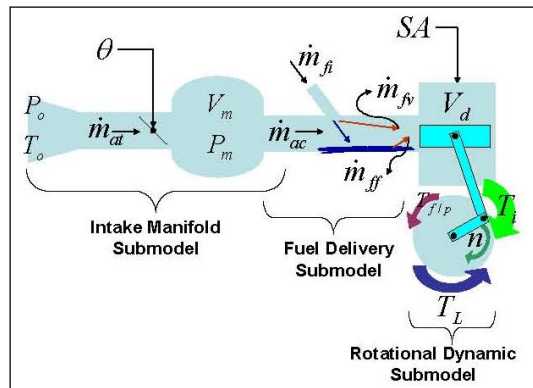
۴- زیرمدل موتور الکتریکی

یکی دیگر از زیر سیستم های خودروی هایپرید، موتور الکتریکی می باشد. این موتور به همراه موتور احتراقی در حکم نیروی محرکه رانشی خودروی هایپرید هستند. همانطوریکه پیشتر گفته شد از این موتور به عنوان کمک رسان استفاده می گردد. موتور مورد استفاده از نوع جریان مستقیم با مغناطیس دائم سنکرون پربازده، بدون جاروبک، فشرده و کم وزن با توان خروجی بیشینه 5 Kw می باشد.

ارتباط بین گشتاور خروجی و توان موتور از مطابق رابطه زیر است:

$$P = T \times \omega \quad (9)$$

متغیرهایی که در کمتر از ۱۰ سیکل به مقدار تعادلی خود می رسند را متغیرهای آنی نامیده و با معادلات جبری بیان می کنند. و متغیرهایی که برای رسیدن به مقدار تعادلی خود از ۱۰ تا ۱۰۰۰ سیکل و یا بیشتر زمان نیاز دارند را متغیرهای توسعه زمانی می نامند. به علت وجود دینامیک قابل توجه در تغییر این متغیرها نسبت به زمان، آنها را با معادلات دیفرانسیلی بیان می نمایند. مانند تغییرات دور موتور در اثر اعمال گشتاور ناشی از احتراق سوخت و گشتاور ناشی از نیروهای مقاوم. مدل مقدار متوسط موتور احتراقی به سه زیر مدل دینامیک مانیفولد ورودی، دینامیک سوخت رسانی و دینامیک حرکت دورانی تقسیم می شود. این جداسازی زیر مدلها هم با طبیعت موتور سازگار است و هم روند مدل سازی و اعتبار سنجی هر زیر مدل را تسریع می کند. بطوریکه می توان هر زیر مدل را بطور مجزا مدل سازی و صحت گذاری نمود. به این ترتیب با بالا بردن دقت هر زیر مدل، می توان دقت کلی مدل را نیز ارتقا داد. شکل ۱ بخشهای مختلف موتور به همراه متغیرهای آنرا بصورت شماتیک نشان می دهد.



شکل ۱: زیرمدلهای مختلف موتور به همراه متغیرهای آن در مدل مقدار متوسط [۴]

هر چند تصور می شود که با پیچیده تر شدن مدل، دقت آن نیز بالاتر می رود، اما در مدل های مقدار متوسط این چنین نمی توان قضاوت کرد. زیرا با سادگی مدل، دقت خوبی از تقریب متغیرها می توان بدست آورد. اگر مدل به خوبی کالیبره شود، دقت تقریب آن در تمامی دامنه کاری موتور در محدوده ۳ درصد خواهد بود.

رابطه ای که هندریکس در مورد راندمان حجمی استخراج و ارائه کرد، مدت ها قبل از طریق تجربی بدست آمده بود و توسط اکثر سازندگان موتور (مانند فورد) در سیستم های کنترل انژکتوری مورد استفاده قرار می گرفت، ولی مبنای تئوری آن را بسط نداده بودند. در این روش معادله سرعت - چگالی را می توان بصورت زیر مرتب کرد:

$$\dot{m}_{ac} = \frac{V_d}{2RT_m} \cdot n \cdot (\eta_{vol} P_m) \quad (1)$$

عبارت داخل پرانتز (η_{vol}, P_m) متناسب با میزان جرم هوای ورودی

به سیلندر، \dot{m}_{ac} ، در کورس مکش است:

$$\dot{m}_{ac} = \frac{\dot{m}_{ac}}{n/2} = \frac{V_d}{4RT} \times (\eta_{vol} P_m) = C \times (\eta_{vol} P_m) \quad (2)$$

یکدیگر قرار گرفته و ظرفیت کلی ۱۲ آمپر - ساعت با ولتاژ ۱۴۴ ولت (۱۴۴=۱۲*۱۲) را بوجود می‌آورند. بطوریکه قدرت ذخیره سازی این مجموعه ۱۲۰ تایی به ۱/۷۲۸ kW-hr می‌رسد. استفاده از این مجموعه سبب می‌شود که چگالی انرژی بالا و طول عمر زیاد تضمین گردد. از طرف دیگر باتری برای ذخیره توان بازیافت شده طی کاهش سرعت، حالت ترمزگیری و طی حرکت یکنواخت کاربرد دارد و توان تلف شده در اثر ترمز و کاهش سرعت را بصورت انرژی قابل بازیافت در خود ذخیره می‌کند. مجموعه ناظر شرایط باتری از یک حسگر برای تعیین میزان شارژ و دشارژ استفاده می‌کند و داده‌ها را به مجموعه کنترل موتور می‌فرستد. این ناظر سطح شارژ باتری (SOC) را در محدوده ۳۰٪ تا ۸۰٪ که طول عمر باتری را بهینه می‌کند نگه می‌دارد. در نتیجه هرگز به باتری اجازه شارژ یا دشارژ کامل را نمی‌دهد. [۸، ۹]

۶- زیرمدل کلاچ و سیستم انتقال قدرت

سیستم انتقال قدرت شامل کلاچ یا مبدل گشتاور، جعبه دنده و محورهای انتقال نیرو می‌باشد [۲، ۵]. برای محاسبه گشتاور ابتدا سرعت خودرو محاسبه می‌گردد، سپس با محاسبه لغزش، سرعت دورانی چرخ‌های محرک به دست می‌آید و از طریق آن سرعت اجزاء مختلف سیستم انتقال قدرت و در نهایت سرعت دورانی موتور محاسبه می‌شود. سرعت دورانی موتور در بلوک دیاگرام کلاچ با توجه گشتاور اعمالی از سیستم انتقال قدرت بر روی کلاچ و گشتاور تولیدی موتور محاسبه می‌گردد. در این حالت:

$$\omega_e = \frac{T_e - T_{cl}}{J_e} \quad (11)$$

در این رابطه ω_e سرعت دورانی موتور، T_e گشتاور موتور، T_{cl} ماکزیمم منتقل شده توسط کلاچ و J_e ممان اینرسی موتور می‌باشد. با توجه به ناچیز بودن میزان لغزش تایر، برای سادگی می‌توان آن را در محاسبات در نظر نگرفت.

۷- نتایج شبیه سازی قوای محرکه

هدف از مدیریت انرژی در خودروی هایپرید، توزیع مناسب انرژی میان نیروی محرکه احتراقی و الکتریکی می‌باشد. بدین صورت که موتور احتراقی از نظر میزان مصرف سوخت در نقاط کارکرد بهینه خود عمل کند. جهت رسیدن به این هدف و کمینه کردن مصرف سوخت در خودروی هایپرید، لازم است که مدهای مختلف حرکتی در نظر گرفته شود. در هر یک از این مدها، خودرو از یکی از نیروهای محرکه خود و یا ترکیبی از آنها برای رانش استفاده می‌کند.

یکی از وظایف موتور الکتریکی در خودرو تنظیم نقطه کارکرد موتور احتراقی در نقطه عملکرد بهینه است. برای این کار لازم است مصرف سوخت خودرو در هر نقطه محاسبه شده و با نقاط مجاور مقایسه گردد. چنانچه در نقاط مجاور (گشتاورهای بیشتر یا کمتر در سرعت موتور معلوم) مصرف سوخت کمتر باشد، موتور الکتریکی عمل کرده و با برعهده گرفتن سهمی از گشتاور خروجی (بصورت مثبت یا منفی) موجب می‌شود نقطه کاری موتور احتراقی به حالت بهینه تغییر یابد.

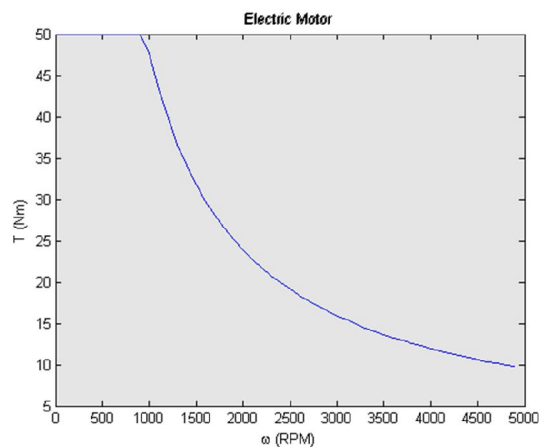
بررسیها نشان می‌دهد که در بار و دوره‌های کم موتور مصرف سوخت ویژه خودرو به شدت افزایش می‌یابد. لذا در این حالت (در صورت تامین محدودیت‌های سیستم الکتریکی) پاشش سوخت در موتور احتراقی قطع شده و خودرو در حالت الکتریکی خالص کار می‌کند. سیستم نیروی محرکه هایپرید شامل زیرسیستم‌های ذیل است:

با انتگرالگیری از توان در حوزه زمان و فرض ثابت بودن ولتاژ منبع تغذیه انرژی تولیدی یا بازیافتی مطابق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$W = V \cdot \int I \cdot dt \quad (10)$$

لذا با انتگرالگیری توان و به دست آوردن انرژی تولیدی یا بازیافتی و با داشتن میزان ولتاژ، میزان شارژ یا دشارژ باتری بر حسب آمپر ساعت (A.hr) قابل محاسبه است. جهت مدلسازی موتور الکتریکی از روابط مربوط به موتورهای DC استفاده شده است. با شبیه سازی روابط در محیط Simulink و بررسی عملکرد موتور در دور و توان‌های مختلف نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است.

جهت راه اندازی موتور الکتریکی در ابتدا و دوره‌های پایین، گشتاور خروجی ثابت نگه داشته شده و دور افزایش می‌یابد. با گذشتن از مقدار مشخص که برای هر موتور بنا بر خصوصیات آن متفاوت است، با افزایش دور موتور توان خروجی موتور ثابت فرض می‌شود و گشتاور خروجی کاهش می‌یابد. [۶] نتایج شبیه سازی در نمودار شکل ۲ ارائه گردیده است. این نتایج با حالت واقعی همپوشانی نزدیکی را نشان می‌دهند و از اینرو در مدلسازی بکار گرفته شده اند.



شکل ۲ تغییرات گشتاور بر حسب دور موتور در موتور الکتریکی

۵- زیرمدل باتری قابل شارژ

انواع باتریهای قابل شارژ با ظرفیتهای مختلف در خودروهای هایپرید کاربرد دارند. عوامل زیادی بر روی عملکرد باتری اثر می‌گذارند که موثرترین آنها عبارتند از: حالت شارژ باتری، ظرفیت باتری، دفعات شارژ و دشارژ، دما و طول عمر. همچنین برای پیشبینی عملکرد باتریها مدل‌های زیادی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از: مدل پوکرت (Peukert)، مدل شفرد (Shepherd)، مدل جامع اون نور (Unnewehr) و مدل مقاومتی خازنی باتری سرب اسیدی.

همچنین در نرم افزار Advisor مدل باتری بر اساس مدل مقاومت داخلی برای باتری نیکل نئیدرید فلز (Ni MH) در مورد خودروی تویوتا پریوس (PRIUS) ارائه شده است [۷].

باتری مورد استفاده از جنس نیکل نئیدرید فلز (Ni-MH) می‌باشد. از این باتری برای ذخیره سازی و تامین انرژی الکتریکی برای موتور الکتریکی استفاده می‌شود. باتری ها به صورت مجموعه‌ای به کار می‌روند. بدین ترتیب که ۱۲۰ عدد باتری هر یک با ولتاژ نامی ۱/۲ ولت بصورت سری در کنار

- [2] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., Emadi, A., 2005. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Fundamentals, Theory, and Design*. CRC Press Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton.
- [3] Brooker, A., Haraldsson, K., et al., 2002. "Advisor Documentation", National Renewable Energy Laboratory.
- [4] خاتمی، سید محمد نوید، 1386. "مدلسازی و شبیه سازی دینامیکی سیستم محرکه رانشی خودروی هایبرید جهت مطالعات مدیریت انرژی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [5] مشهدی تفرشی، مسیح و همکاران، 1388. "خودروهای نسل جدید هایبریدی (بنزینی و الکتریکی)"، شرکت پارس خودرو، انتشارات بیطرفان.
- [6] Piere, B., 2002. "Insight Central net", www.InsightCentral.net, June 2002.
- [7] Kelly, K. J., Zolot, M., Glinsky, G., 2001. "Test Results and Modeling of Honda Insight using ADVISOR", SAE Paper No.2001-01-2537.
- [8] Wu, J., Zhang, C. H., Cui, N. X., 2008. "PSO Algorithm-based parameter optimization for HEV power train and its control strategy", Int. J. of Automotive technology, Vol. 9, No. 1, pp. 53-69.
- [9] Trinidad, F., Gimeno, C., Gutierrez, J., Ruiz, R., Sainz, J., Valenciano, J., 2003. "The VRLA modular wound design for 42v mild hybrid systems", J. of power sources, No. 116, pp. 128-140.

- زیرسیستم تنظیم شارژ باتری (SOC Check)
- زیرسیستم تنظیم گشتاور موتور الکتریکی (Torque Check)
- زیرسیستم مصرف سوخت (Fuel Consumption) Check
- زیرسیستم ترمز باز یافتی (Regenerative Brake)
- زیرسیستم خاموش روشن (Start-Stop)
- زیرسیستم تخمین مصرف سوخت (Fuel Cons. Est.)

چرخه رانندگی مورد استفاده، چرخه ECE+EUDC می‌باشد. این چرخه دارای دو قسمت درون شهری و برون شهری است. شبیه سازی در چرخه درون شهری در دو حالت با در نظر گرفتن ترمز باز یافتی و بدون آن انجام شده است. بنابراین در زمانهایی که خودرو متوقف است و مدت زمان تعیین شده می‌گذرد، موتور احتراق داخلی خاموش می‌شود و صرفه جویی در مصرف سوخت را به همراه دارد.

در حالت بدون ترمز باز یافتی مصرف سوخت ۱۴/۹ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل استفاده از سیستم کمک رسان موتور و همچنین راهبرد روشن/خاموش موتور احتراقی در شرایط گذار روی می‌دهد. (مصرف سوخت در حالت عادی در چرخه درون شهری ۹/۷۷ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر محاسبه شده است که در حالت فوق به ۸/۳۱ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر کاهش می‌یابد). در حالت همراه با ترمز باز یافتی در حدود ۳۰/۱ در مصرف سوخت صرفه جویی می‌شود. علت این امر به استفاده از نیروی ترمزی در شارژ مجدد باز می‌گردد. (مصرف سوخت به ۶/۸۲ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر کاهش یافته است). در این حالت بدون ترمز باز یافتی در حدود ۱ درصد کاهش مصرف سوخت وجود دارد. (مصرف سوخت در حالت عادی در چرخه برون شهری ۵/۴۷ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر محاسبه شده است که در حالت فوق به ۵/۴۲ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر کاهش می‌یابد). در این حالت موتور احتراقی هیچگاه خاموش نمی‌شود. چراکه هرگز خودرو توقف ندارد. لذا از حالت خاموش روشن جهت کاهش مصرف سوخت استفاده نمی‌گردد. ضمناً در چرخه برون شهری با استفاده از ترمز باز یافتی میزان کاهش مصرف سوخت به حدود ۲ درصد می‌رسد. (مصرف سوخت به ۵،۳۷ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر کاهش یافته است).

۸- نتیجه گیری

با استفاده از موتور الکتریکی کمکی در کنار موتور احتراقی می‌توان محدوده کاری موتور احتراقی را تغییر داده و به ناحیه با راندمان بهتر منتقل کرد. استفاده از سیستم نیروی محرکه الکتریکی بیشترین تاثیر خود در کاهش مصرف سوخت را در چرخه درون شهری نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در این است که هرچند توان موتور الکتریکی کمکی در مقایسه با موتور احتراقی کمتر است (کمتر از ۱۰ درصد) اما با استفاده از آن و راهبردهای مناسب کنترلی در چرخه درون شهری می‌توان به کاهش مصرف سوخت تا ۳۰ درصد دست یافت. با این وجود در چرخه برون شهری موتور الکتریکی کمتر به کار می‌رود و سیستم بیشتر در حالت احتراقی کار می‌کند. در این حالت از سایر راهبرد های کنترل موتور برای کاهش مصرف سوخت باید استفاده نمود.

۹- مراجع

- [1] Fuhs, A., 2009. *Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation*. CRC Press Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton.