فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

تحلیل آلایندگی و مصرف انرژی خودرو دنا دورگهٔ برقی

میثم صالحی[۱*]، حمید فغانی[۲]

[۱] کارشناس واحد نگاشت شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، me_salehi@ip-co.com

[۲] کارشناس واحد نگاشت شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، h_faghani@ip-co.com

* نویسندهٔ مسئول

چکیده

در دنیای امروز آلودگی‌های محیط زیستی روز به روز در حال افزایش است و این امر به خصوص در جوامع شهری به دلیل تمرکز جمعیت و رشد روزافزون تقاضا برای سوخت‌های سنگواره‌ای با شدت بیشتری روبرو شده است. در کشور ایران آلودگی هوا در شهرهای بزرگ تبدیل به امری مخاطره انگیز شده است. حجم بالای مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای توسط خودروهای سواری از دلایل اصلی آلودگی هوا برشمرده می‌شود. بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در قوای محرکه خودروها، همانند کشورهای توسعه یافته دنیا، امری اجتناب ناپذیر است و در همین راستا ضروریت تحقیق و پژوهش در این زمینه قابل استناد است. خودروهایی با پیشرانه برقی که به اصطلاح خودروهای بی آلاینده نیز خوانده می‌شوند از رهیافت‌هایی است که امروزه مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله مشخصات خودروی دورگهٔ شرکت ایپکو به عنوان اولین خودروی دورگه در ایران معرفی و نتایج حاصل از آزمون استاندارد آلایندگی درچرخه اروپا با این خودرو ارائه می‌گردد. مصرف انرژی خودرو و مصرف سوخت آن درچرخه استاندارد اروپا به ترتیب ۱۲٫۵ کیلووات ساعت بر صد کیلومتر و ۳٫۳ لیتر بر صد کیلومتر است.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

دریافت: ۲۵ آبان ۱۳۹۸

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

خودروی بی آلاینده

سوخت سنگواره‌ای

خودرو دورگهٔ برقی

آزمون آلایندگی

۱- مقدمه

در حال حاضر خودروهای دورگهٔ برقی به عنوان یکی از گزینه‌های اصلی برای کاهش مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای در سامانه حمل و نقل شناخته می‌شوند [۱]. به همین جهت حمایت‌های گسترده ای توسط کشورهای توسعه یافته برای رشد این فناوری صورت پذیرفته است [۲]. خودروهای دورگهٔ برقی به عنوان رهیافتی برای شرایط گذار از خودروهای معمولی سنگواره‌ای به خودروهای برقی با آلایندگی صفر اند که علاوه بر کاهش تدریجی مصرف سوخت سنگواره‌ای، فرصت لازم برای تحقیق و پژوهش و توسعه فناوری‌های وابسته نظیر انباره و افزایش کمی و کیفی زیرساخت‌ها نظیر جایگاه‌های شارژ را نیز فراهم می‌آورد [۳].

خودروهای دورگه برقی براساس مقدار سطح برقی سازی و سامانهٔ انتقال قدرت دسته بندی می‌گردند. تقسیم بندی خودروها از نظر سطح برقی سازی و ویژگی‌های هر کدام در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱: سطح برقی سازی خودروهای دورگه و ویژگی‌های هر سطح

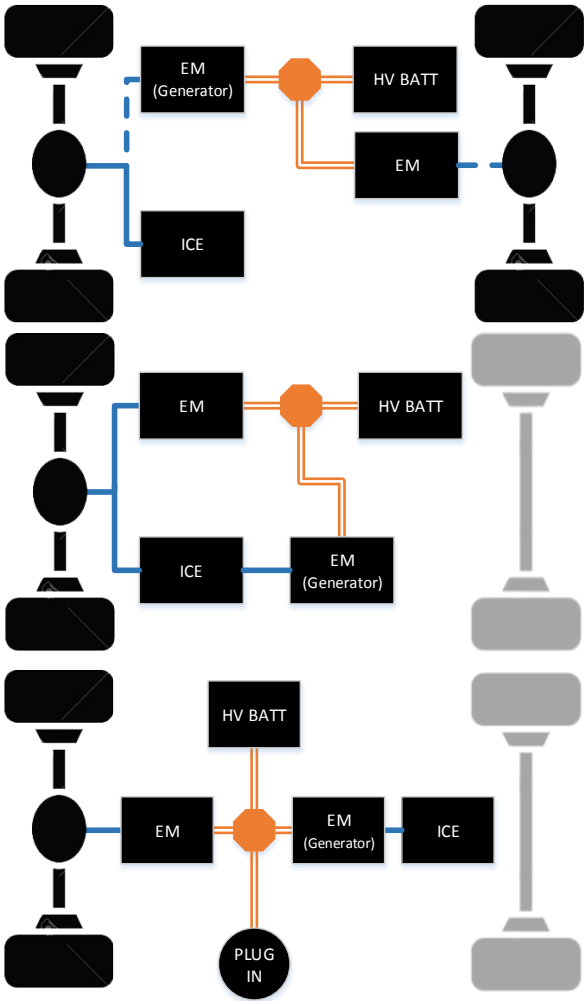
نوع	موتور احتراقی (روشن/خاموش)	بازیابی انرژی	پیمایش با کمک موتور برقی	پیمایش تمام برقی
ریز دورگه[1]	✓	✓		
خفیف دورگه[2]	✓	✓	✓	
تمام دورگه	✓	✓	✓	✓
دورگه با شارژر برق شهری[3]	✓	✓	✓	✓
برد افزا[4]	✓	✓		✓
تمام برقی		✓		✓

خودروهای دورگه از نظر سامانهٔ انتقال قدرت به دو نوع سری و موازی تقسیم بندی می‌گردند [۴]. تفاوت اصلی بین این دو سامانه، نحوهٔ بهره‌گیری از توان مکانیکی تولیدی توسط موتور احتراق داخلی به عنوان نیروی جلوبرنده خودرو است.

به عبارت دیگر در سامانهٔ موازی، موتور احتراق داخلی می‌تواند به صورت مستقیم با محور چرخ‌های جلو یا عقب به صورت مکانیکی متصل گردد و توان تولیدی شده به سرچرخ انتقال یابد.

در سامانه سری، نیروی جلوبرنده خودرو صرفاً توسط موتور برقی متصل به چرخ تولید می‌گردد. در این سامانه موتور احتراق داخلی به همراه مبدل برق متصل به آن به عنوان مولد برق کاربرد دارد و جریان برقی مورد نیاز موتور برقی و دیگر مصرف کننده‌ها به صورت کامل و یا با کمک انباره تامین می‌کند.

انباره همچنین توان برقی تولید شده توسط موتور-مبدل برق نیز می‌تواند در خود جذب کند. در خودروهای دورگهٔ سری در صورتی که امکان شارژ انباره توسط شبکه برق شهری تعبیه گردد، خودرو می‌توان پیمایش تمام برقی بدون آلایندگی مشابه یک خودرو تمام برقی داشته باشد. در این حالت، با افزایش ظرفیت انباره، پیمایش تمام برقی در خودرو نیز افزوده می‌گردد. در واقع خودرو دورگهٔ سری با قابلیت شارژ از شبکه برق شهری، می‌تواند به صورت یک خودروی برقی در یک مسافتی مشخصی عمل کند و پس از آن مجموعه موتور احتراق داخلی- مبدل برق انرژی برقی مورد نیاز خودرو را تا رسیدن به ایستگاه شارژ تولید می‌کند. در این وضعیت از آنجایی که موتور احتراق داخلی مستقل از شرایط جاده و رانندگی است، در نقطه یا نقاط بهینه مصرف سوخت کار می‌کند و از این جهت انتظار می‌رود که مقدار مصرف سوخت و آلایندگی خودرو دورگهٔ سری کمتر از خودروهای معمول سوخت سنگواره‌ای که موتور احتراق داخلی تحت شرایط گذرا کار می‌کند، قرار بگیرد.



شکل۱: ساختار انتقال قدرت خودرو دورگه

بالا: دورگه موازی، وسط: دورگه سری-موازی، پایین: دورگه سری

[1] Micro-Hybrid
[2] Mild-Hybrid
[3] Plug-in
[4] Range extended (REX)

در شکل ۱ به صورت شمای تولید و انتقال قدرت در سامانه‌های انتقال قدرت خودروهای دورگه نشان داده شده است. در این شکل همچنین سامانه‌های سری-موازی نیز نشان داده شده است که معمولاً با استفاده از جعبه دنده‌های سیاره خورشیدی در خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در تحقیق حاضر یکی از اولین نمونه های خودروهای دورگهٔ برقی سری که در ایران طراحی و تولید شده است معرفی می‌شود. خودرو مزبور پس از گذراندن آزمون های اولیه و اطمینان از صحت عملکرد تجهیزات و راهبردهای پیاده سازی شده در واحد مدیریت خودرو، مورد آزمون آلایندگی براساس استاندارد روز دنیا قرار گرفته و نتایج آن در تحقیق حاضر ارائه داده می شود.

۲- تجهیزات آزمایش

آزمون آلایندگی با استفاده از شاسی لگام ترمز شرکت فروید کنسین[1] که در شرکت ایپکو راه اندازی شده است، صورت گرفته است. آزمون مزبور براساس سامانه نمونه‌برداری حجم ثابت[2] و پایش آلایندگی با استفاده از تجهیزات استاندارد شرکت هوریبا[3] انجام گرفته است.

نمونه‌گیری از گازهای حاصل از احتراق از اگزوز خودرو در پایین دست واکنشگر صورت گرفته است. گازهای حاصل از احتراق ابتدا در کیسه هایی به صورت رقیق شده جمع‌آوری می شود و سپس با استفاده از روش های مختلف غلظت گونه ها اندازه‌گیری می شود. در این آزمون، غلظت کربن مونواکسید و کربن دی اکسید با استفاده از روش اشعه مادون قرمز غیر پراکنده و به ترتیب در محدوده ppm ۵۰۰۰-۰ با دقت ppm ۵۰ و ٪ ۶-۰ با دقت ٪ ۳ اندازه‌گیری می شود. همچنین اکسیدهای ازت با روش نورتابی شیمیایی در محدوده ppm ۱۰۰۰۰-۰ با دقت ppm ۱۰، هیدروکربن های نسوخته با روش آشکارسازی یونیزه‌شدن شعله‌ای در محدودهٔ ppmC ۳۰۰۰۰- ۰ با دقت ppmC ۱۰، متان در محدوده ppm ۵۰۰۰-۰ با دقت ppm ۱۰ و اکسیژن با روش آهنربا-هوایی در محدودهٔ ٪ ۲۵-۰ با دقت ٪۱ اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۱- مشخصات خودرو

خودرو دنا دورگه که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته توسط شرکت ایپکو طراحی و تولید گردید است. سامانهٔ انتقال قدرت خودرو از نوع سری بوده و قابلیت شارژ از شبکه برق شهری را نیز دارا است. در در شکل ۲ نمایی از خودرو دنا دورگه نشان داده شده است. مشخصات کلی خودرو نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

شکل۲: نمایی از خودرو دنا دورگه

جدول ۲: مشخصات خودرو دنا دورگه

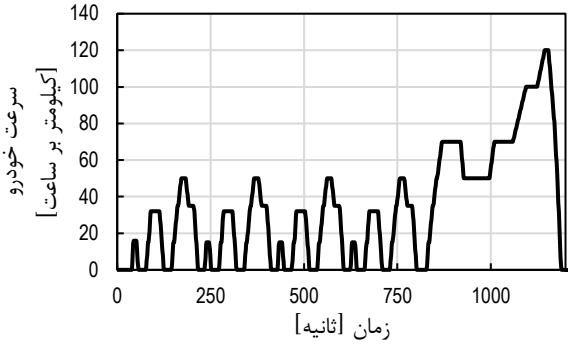
خودرو	وزن خودرو	۱۳۳۷ کیلوگرم
	سامانهٔ انتقال قدرت	دورگه سری
	حجم مخزن سوخت	۷۰ لیتر
انباره	نوع	لیتیوم یونی
	وزن	۱۱۰ کیلوگرم
	ظرفیت	۴۰ آمپرساعت
	ولتاژ	۴۰۰ ولت
موتور احتراقی	حجم موتور	۸۱۲. لیتر
	تعداد استوانه	۳
	قدرت موتور	۳۶ کیلووات
	گشتاور موتور	۶۹ نیوتن بر متر
موتور برقی	نوع	سنکرون
	قدرت	۹۶ کیلووات
	گشتاور	۲۲۰ نیوتن متر
	نوع جعبه دنده	تک سرعتی ۱:۱۰
مبدل برق	نوع	سنکرون
	قدرت	۵۱ کیلوگرم
	گشتاور	۱۰۵ نیوتن متر

جعبه دنده مورد استفاده در خودرو دنا دورگه از نوع تک سرعتی با نسبت یک به ده است. موتور برقی با توجه به اینکه توانایی عملکرد در یک بازه سرعتی گسترده ای را دارا اند، سبب می‌شوند که امکان استفاده از جعبه دنده‌های ساده تک سرعتی در خودروهای دورگه سری ایجاد گردد. سرعت بیشینه خودرو دنا دورگه با توجه به سرعت بیشینه موتور برقی و همچنین نسبت دنده جعبه دنده، ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است.

[1] Froude Consine
[2] Constant Volume Sampling (CSV)
[3] Horiba

۲-۲- آزمون آلایندگی

آزمون آلایندگی براساس چرخهٔ استاندارد اروپا۱ انجام گرفته است[۴]. چرخهٔ رانندگی آزمون مزبور در شکل ۳ را نشان داده شده است.

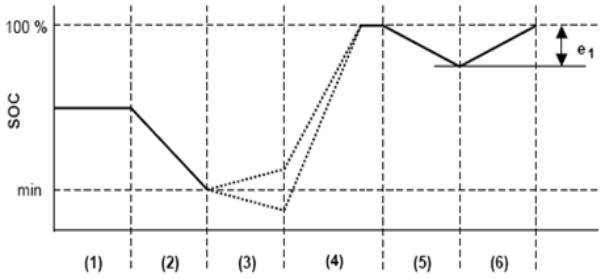


شکل ۳: منحنی سرعت خودرو در چرخهٔ استاندارد اروپا

چرخهٔ مزبور تشکیل یافته از بخش شهری و برون شهری است. بخش شهری از چهار بخش مشابه ۱۹۵ ثانیه ای تشکیل یافته است که در مجموع ۷۸۰ ثانیه است. چرخه برون شهری نیز از یک بخش ۴۰۰ ثانیه ای تشکیل یافته است. سرعت متوسط ۳۲٫۵ کیلومتر بر ساعت و مسافت پیموده شده ۱۱٫۰۰۷ کیلومتر است.

براساس استاندارد، آزمون خودروهای دورگه در دو مرحله، با سطح شارژ انباره بیشینه و کمینه، انجام می‌گیرد. قبل از شروع آزمون رانندگی و بعد از آن، سطح شارژ انباره می‌بایست تحت فرآیندهای مشخصی تخلیه و پر گردد و مقدار جریان گذرا از انباره ثبت و گزارش گردد.

شکل ۴ وضعیت سطح شارژ انباره در آزمون خودرو با سطح شارژ بیشینه را نشان می‌دهد. هر یک از بخش شماره گذاری شده در شکل در ادامه توضیح داده شده است.



شکل ۴: منحنی سطح شارژ انباره در فرآیند آزمون سطح شارژ بیشینه

وضعیت ۱: شرایط اولیه خودرو که سطح شارژ می‌تواند هر عددی باشد.

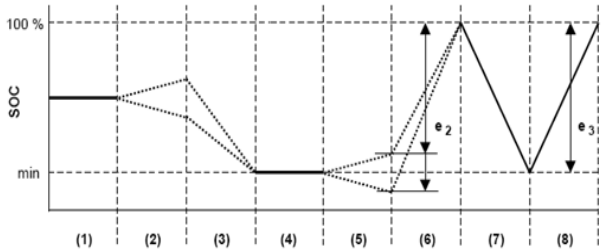
وضعیت۲: سطح شارژ انباره می‌بایست تا نقطه ای که موتور احتراق داخلی روشن می‌شود کاهش یابد. پیشنهاد شده است که برای کاهش سطح شارژ خودرو با سرعت ثابت ۵۰ کیلومتر بر ساعت بر روی جاده یا شاسی لگام ترمز حرکت شود.

وضعیت ۳: خودرو در بخشی از چرخه با هدف ارزیابی اولیه صحت عملکرد مورد آزمون قرار می‌گیرد.

وضعیت ۴ و ۶: انباره خودرو در یک وضعیت مهار شده از طریق شارژر خارجی تا بیشینه مقدار ممکن شارژ می‌شود.

وضعیت ۵: خودرو تحت آزمون چرخهٔ رانندگی قرار می‌گیرد.

در شکل ۵ نیز فرآیند آزمون خودرو با سطح شارژ کمینه را نشان می‌دهد. توضیحات مربوط به هر بخش در زیر ارائه شده است.



شکل ۵: منحنی سطح شارژ انباره در فرآیند آزمون سطح شارژ کمینه

وضعیت ۱: شرایط اولیه خودرو که سطح شارژ می‌تواند هر عددی باشد.

وضعیت۲: خودرو در بخشی از چرخه با هدف ارزیابی اولیه صحت عملکرد مورد آزمون قرار می‌گیرد.

وضعیت ۳ و ۷: سطح شارژ انباره می‌بایست تا نقطه ای که موتور احتراق داخلی روشن می‌شود کاهش یابد. پیشنهاد شده است که برای کاهش سطح شارژ خودرو با سرعت ثابت ۵۰ کیلومتر بر ساعت بر روی جاده یا شاسی لگام ترمز حرکت شود.

وضعیت ۴: خودرو تحت شرایط مهار شده ای بی استفاده نگهداری می‌شود.

وضعیت ۵: خودرو تحت آزمون چرخهٔ رانندگی قرار می‌گیرد.

وضعیت ۶ و ۸: انباره خودرو در یک وضعیت مهار شده از طریق شارژر خارجی تا بیشینه مقدار ممکن شارژ می‌شود.

۲-۳- معادلات حاکم

براساس استاندارد، نتایج بدست آمده از دو آزمونی که پیش از این معرفی شدند با یک میانگین گیری وزنی به عنوان نتایج نهایی آزمون گزارش می‌گردند. وزن داده شده به آزمون سطح شارژ بیشینه برابر با مقدار پیمایش خودرو در وضعیت تمام برقی است. برای آزمون سطح شارژ کمینه نیز وزن داده شده به نتایج آزمون بر اساس استاندارد عدد ۲۵ کیلومتر است. عدد مزبور در واقع مسافت احتمالی ای است که خودرو تا زمان شارژ مجدد انباره می‌پیماید. برهمین اساس معادله مربوطه به صورت زیر قابل استخراج است.

$$M = (De \cdot M1 + Dav \cdot M2) / (De + Dav) \qquad (۱)$$

[1] NEDC

M1 و M2 به ترتیب مقادیر بدست آمده از آزمون سطح شارژ بیشینه و سطح شارژ کمینه اند. پارامترهای مورد بررسی با معادله فوق شامل گونه‌های آلاینده، مصرف سوخت و مصرف انرژی برقی‌اند. De و Dav نیز به ترتیب مقدار پیمایش تمام برقی خودرو و مسافت پیموده شده تا شارژ مجدد انباره است که استاندارد عدد ۲۵ کیلومتر را پیشنهاد داده است. شرایط تعیین مقدار پیمایش تمام برقی خودرو در پیوست ۹ استاندارد ارائه شده است. پیمایش تمام برقی برای خودرو دنا دورگه براساس استاندارد مربوطه، ۶۵ کیلومتر است.

۳- نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از هر یک از آزمون‌ها به صورت خلاصه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج آزمون‌های سطح شارژ بیشینه و کمینه

	آزمون سطح شارژ کمینه	آزمون سطح شارژ بیشینه
	M2	M1
کربن دی اکسید (g/km)	۲۷۷٫۶۸۹	۰
کربن مونواکسید (g/km)	۰٫۴۵۲	۰
هیدروکربن نسوخته (g/km)	۰٫۲۰۷	۰
هیدروکربن نسوخته غیر از متان (g/km)	۰٫۲۰۱	۰
اکسیدهای ازت (g/km)	۰٫۰۹۰	۰
مصرف سوخت (l/100km)	۱۱٫۸۵	۰
مصرف انرژی برقی از انباره (kwh/km)	-۹۲٫۱۲	۲۰۹٫۱۲
مصرف انرژی برقی کل (kwh/km)	۲۱۲٫۸	۲۰۹٫۱۲

ظرفیت انباره خودرو دنا دورگه به گونه ای انتخاب شده است که توان مورد نیاز خودرو را در پیمایش‌های روزانه شهری تامین نماید. این ویژگی سبب شده است که موتور احتراق داخلی در آزمون سطح شارژ بیشینه انباره وارد عمل نشود و خودرو بدون هیچگونه آلایندگی و مصرف سوخت، آزمون را به پایان برساند.
در جدول ۴ نتایج نهایی آزمون با اعمال ضرایب وزنی که در بخش قبل معرفی گردید، ارائه شده است. در جدول زیر همچنین مقادیر استاندارد و همچنین نتایج آزمون با اعمال ضریب زوال نیز گزارش شده است.

جدول ۴: نتایج نهایی آزمون دنا دورگه و مقادیر استاندارد

	دنا دورگه		استاندارد
	بدون ضریب زوال	با ضریب زوال	
کربن دی اکسید (g/km)	۷۷٫۱۴	–	–
کربن مونواکسید (g/km)	۰٫۱۲۵	۰٫۱۸۷۵	۱
هیدروکربن نسوخته (g/km)	۰٫۰۵۷۵	۰٫۰۷۴۷	۰٫۱
هیدروکربن نسوخته غیر از متان (g/km)	۰٫۰۵۵۸	۰٫۰۷۲۵	۰٫۰۶۸
اکسیدهای ازت (g/km)	۰٫۰۲۵	۰٫۰۴	۰٫۰۶
مصرف سوخت (l/100km)	۳٫۳	–	–
مصرف انرژی برقی کل (kwh/km)	۱۲۵٫۴۳	–	–

٤- نتیجه گیری

تحقیق حاضر نشان می‌دهد که دستیابی به استاندارد اروپا ۶ از طریق سامانه‌های انتقال قدرت دورگه حتی بدون استفاده از فناوری‌های گران قیمت بر روی موتور احتراق داخلی قابل دست یابی است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که خودرو دنا دورگه استاندارد اروپا ۶ نوع یک (بدون ضریب زوال) را می‌گذراند. با اعمال ضریب زوال، هیدروکربن‌های نسوخته غیر از متان به صورت جزئی از محدوده مجاز فراتر می‌رود. این مسئله می‌تواند با تغییر نگاشت موتور احتراقی با توجه به نقاط کاری آن به آسانی تصحیح گردد.

مراجع و منابع

[1] Taymaz, Imdat and Merthan Benli, Emissions and fuel economy for a hybrid vehicle. Fuel, 2014. 115: p. 812-817.
[2] Tsakalidis, A and C Thiel, Electric Vehicles in Europe from 2010 to 2017: Is Full-Scale Commercialisation Beginning? An Overview of the Evolution of Electric Vehicles in Europe. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
[3] Jones, Willie D, Hybrids to the rescue [hybrid electric vehicles]. IEEE spectrum, 2003. 40(1): p. 70-71.
[4] UNECE Regulation 101, Uniform Provisions Concerning The Approval Of Passenger Cars Powered By An Internal Combustion Engine Only, Or Powered By A Hybrid Electric Powertrain.

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Investigation of Emissions and Energy Consumption of DENA Hybrid Electric Vehicle

M. Salehi[1*], H. Faghani[2]

[1] *Calibration expert, Irankhodro powertrain company, Tehran, Iran, me_salehi@ip-co.com*
[2] *Calibration expert, Irankhodro powertrain company, Tehran, Iran, h_faghani@ip-co.com*
**Corresponding Author*

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 16 November 2019
Accepted: 18 February 2020

Keywords:
Zero-emission vehicle
Fossil fuel
Hybrid Electric Vehicle
Emission Analysis

ABSTRACT

Nowadays, environmental pollution is increasing more and more and in the big cities, because of the concentration of the population, is more intense. Air pollution in the big cities has become a serious problem especially in Iran. High fossil fuel consumption of vehicles is a major cause to increase in the amount of air pollution. Using new technology of powertrain, like other developed countries, is only way to control and reduce the air pollution. Electronic vehicle, which is known as zero-emission vehicle, is one of the solutions that are noticed by most of the car manufacturer. Hybrid Vehicle is actually a stepping-stone to eliminate fossil fuel as an energy source of the vehicles. In this research, the latest hybrid electric vehicle of IPCO as the first developed Hybrid vehicle in Iran is introduced and the real experimental result for the Euro standard emission test of the vehicle is presented. Electric and fuel consumption of the vehicle in the standard cycle NEDC are 12.5 kwh/100km and 3.3 liter/100km, respectively.

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