

کنترل و بهینه سازی سوخت در خودروهای هیبریدی

علی اکبر نیرومندفر^۱، آرش کیومرثی^۲، حمید رضا هوشیارمنش^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، aliakbar4513@yahoo.com

^۲استادیار دانشگاه اصفهان، Kiyoumars@eng.ui.ac.ir

^۳استادیار دانشگاه آزاد واحد خمینی شهر، hr.hoshyarmanesh@hotmail.com

چکیده - در این مقاله مدلی از یک خودروی هیبرید موازی در نظر گرفته شده و پیشنهاد جدیدی برای کنترل این خودروها ارائه شده است. به منظور مدیریت بیشتر مصرف سوخت در این خودروها و در نتیجه کاهش مصرف سوخت و انتقال موثر توان بین دو موتور الکتریکی و احتراقی این پیشنهاد ارائه شده است. این پیشنهاد بر مبنای کنترل فازی می باشد زیرا کنترل های مبتنی بر شبکه های عصبی، الگوریتم ژنتیک، کلاسیک و... نیاز به روابط پیچیده دارند و سطح یادگیری آنها بالا می باشند. در این مقاله با ارائه پیشنهاد بالا بردن تعداد توابع عضویت در کنترل فازی سعی در بالا بردن دقت و کنترل بهینه خودرو شده است. که با این روش کنترل و بالا بردن دقت درسیکل شهری راندمان از ۲۵/۰۴ به ۳۱/۴۸۱ و در سیکل برون شهری از ۲۹/۲۰۲ به ۳۰/۲۹۲ درصد افزایش یافته است. همچنین مصرف سوخت از ۶/۹ به ۴/۳ در سیکل شهری و از ۵/۲ به ۳/۵ لیتر در صد کیلومتر در سیکل برون شهری کاهش یافته است. به این منظور از کنترل فازی در محیط نرم افزاری *Matlab* و جهت شبیه سازی از نرم افزار *Advisor* استفاده شده است. نتایج شبیه سازی مباحث تئوری و بحث افزایش راندمان را به اثبات رسانده است. کلید واژه - استراتژی کنترل، بهینه سازی، خودروی هیبرید موازی، کنترل فازی، ابر خازن ، *Advisor*.

می شوند [۳].

۱- مقدمه

خودروهای هیبرید با توجه به نقش محرکه ی الکتریکی و احتراقی در قالب چهار ساختار مختلف شامل هیبرید موازی، هیبرید سری، هیبرید سری- موازی و هیبرید پیچیده معرفی می شوند [۴] - [۶]. برای معرفی خودروهای هیبرید تقسیم بندی دیگری نیز ارائه می شود که این تقسیم بندی بر اساس درجه هیبریداسیون می باشد و بر طبق آن خودروهای هیبرید به چهار نوع میکرو هیبرید، هیبرید متوسط، تمام هیبرید و پلاگ- این طبقه بندی می شوند [۷] - [۸] و [۴].

یکی از مهم ترین قسمت های خودروهای هیبرید، واحد کنترل هیبرید می باشد که وظیفه تقسیم توان بین موتور الکتریکی و موتور درون سوز را با حفظ وضعیت باتری و کارایی عملکرد خودرو به عهده دارد. در سیستم هایی همچون خودرو که از عوامل غیر خطی و نامعینی برخوردار هستند قاعداً استفاده از کنترل کننده های کلاسیک پاسخ مطلوبی را به دنبال نخواهد داشت. علت این امر، لزوم تغییر پارامترهای سیستم کنترلی با تغییر شرایط (تغییر نقطه کار سیستم) و یا پارامترهای سیستم، از جهت حفظ عملکرد بهینه است. در مقایسه بین ساختارهای کنترلی هوشمند، شبکه های عصبی از قابلیت یادگیری بالایی

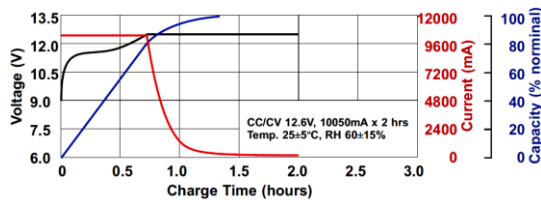
امروزه استفاده روز افزون از سوخت های فسیلی به عنوان یکی از در دسترس ترین منابع انرژی، نتایج نامطلوبی همچون افزایش آلودگی هوا، گرم شدن زمین و کاهش منابع سوخت های فسیلی را در پی داشته است [۱].

برای این منظور، ابتدا استفاده از خودروهای الکتریکی پیشنهاد گردید [۲]. این خودروها به دلایل زیر جایگزین مناسبی برای خودروهای احتراقی نیستند:

۱. عدم امکان استفاده در مسافت های طولانی.
۲. نسبت توان به وزن کم.
۳. حداکثر شتاب و سرعت کم.
۴. طولانی بودن زمان شارژ باتری ها.

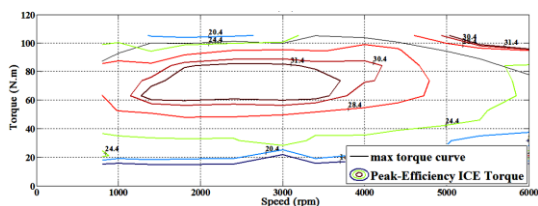
در این راستا ایده استفاده از خودروهای هیبرید مطرح گردید که با ترکیب موتورهای درون سوز و موتورهای الکتریکی، خودروی هیبرید الکتریکی طراحی و ساخته شد. خودروهای هیبریدی از ادغام دو یا چند پیشرانه انتقال تشکیل شده اند که معمولاً با تلفیقی از موتور الکتریکی و موتور درون سوز طراحی و ساخته

شارژ ۸۰٪ (۱۲ ولت) تعیین شده است. علت انتخاب حد پایین، محدودیت موجود در دشارژ باتری‌ها می‌باشد زیرا در صورت کاهش شارژ از میزان تعریف شده (۴۰٪) باتری آسیب خواهد دید. همچنین علت انتخاب حد بالا در بیشینه ۸۰٪، وجود امکان شارژ در شرایط ترمزگیری توسط ترمز بازیاب است. علاوه بر این برای شارژ باتری‌ها از ۸۰٪ تا ۱۰۰٪ نیاز به بالانس شارژ وجود دارد تا بتوان از طریق ولتاژ ثابت ۱۲٫۶ ولت و جریان متغیر باتری‌ها را به طور کامل شارژ نمود.



شکل ۲. منحنی مشخصه شارژ باتری‌ها

توابع عضویت گشتاور درخواستی، بر اساس گشتاور مورد نیاز، محدودیت‌های موجود بر روی شارژ باتری‌ها و گشتاور موتور درون‌سوز تعیین می‌شود. خروجی سیستم کنترلی، سهم گشتاور تولیدی توسط موتور درون‌سوز را تعیین می‌کند. تابع عضویت مربوط به گشتاور موتور درون‌سوز، با استفاده از منحنی گشتاور-سرعت-راندمان شکل ۳ که از شرکت مگا موتور تهیه شده است، تعیین می‌گردد. بازه‌های توابع عضویت با توجه به ناحیه عملکرد بهینه موتور درون‌سوز تعیین می‌شود. برای دستیابی به نتایج مطلوب، ابتدا با بررسی عملکرد موتور درون‌سوز در سیکل‌های حرکتی مختلف، نواحی پرکاربرد موتور درون‌سوز (شامل سرعت و گشتاور) تعیین شده است. سپس برای دستیابی به راندمان بالا و کاهش مصرف سوخت، تعداد توابع عضویت در نواحی مختلف به گونه‌ای تعیین شده‌اند که موتور درون‌سوز غالباً در ناحیه بهینه خود به کار گرفته شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه گشتاور موتور درون‌سوز برابر $105/3 \text{ N.m}$ در سرعت 3400 rpm می‌باشد.



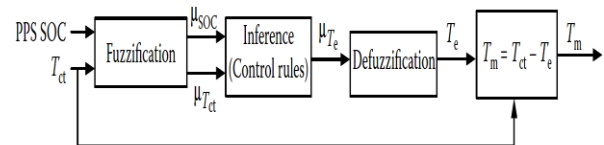
شکل ۳. منحنی گشتاور-سرعت-راندمان موتور درون سوز

برخوردارند هرچند نیاز به دانش آموزشی کافی و نیز عدم شفافیت ساختاری، موانع موجود در سر راه کاربردهای کنترلی آن‌ها هستند [۹]. در مقابل، سیستم‌های فازی برخوردار از شفافیت ساختاری بوده و قابلیت همراهی با دانش بشری را دارند. بر این اساس، در سال‌های اخیر، استفاده از کنترل‌کننده‌های هوشمند بر اساس منطق فازی رشد چشم‌گیری داشته است [۱۰]-[۱۲].

بر این اساس در این مقاله پیشنهاد جدیدی مبنی بر افزایش تعداد توابع عضویت در کنترل فازی ارائه می‌شود. این پیشنهاد در بخش ۲ معرفی می‌شود، در بخش ۳ نحوه فازی سازی در این پیشنهاد ارائه می‌گردد، در بخش ۴ شبیه سازی و تحلیل نتایج آورده می‌شود و در بخش نتیجه گیری از این پژوهش آورده می‌شود.

۲- معرفی پیشنهاد ارائه شده

ساختار کنترلی ارائه شده در شکل ۱ نشان داده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود ساختار کنترلی شامل ورودی‌ها، بخش فازی‌سازی، استنتاج و پایگاه دستورات فازی، غیر فازی‌ساز و خروجی می‌باشد.



شکل ۱. ساختار سیستم کنترل فازی طراحی شده

۱-۲- توابع عضویت طراحی شده

ورودی‌های سیستم کنترلی طراحی شده شامل میزان شارژ منبع ذخیره‌ای انرژی و گشتاور درخواستی توسط کاربر می‌باشد. برای تعیین توابع عضویت SOC، با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از شرکت گیتا باتری و دیتاشیت باتری‌های لیتیوم یون پلیمر مدل LIP1034104P-3S3P، حد بالا و پایین میزان شارژ باتری‌ها تعیین شده است. بر این اساس، با توجه به شکل ۲ و با احتساب ولتاژ قطع باتری‌ها که برابر ۸٫۲۵ ولت می‌باشد و همچنین با در نظر گرفتن امکان وجود خطا در تعیین ولتاژ باتری‌ها، حد پایین در محدوده ۴۰٪ (۹ ولت) و حد بالا در بیشینه

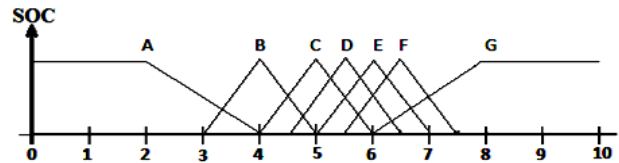
گشتاور موتور درون‌سوز در ناحیه بهینه، $T_{EM,max}$ ، $T_{EM,min}$ کم‌ترین و بیشترین حد مجاز گشتاور موتور الکتریکی هستند. همچنین علاوه بر موارد ذکر شده در سیستم کنترلی طراحی شده، جهت دستیابی به کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان موتور درون‌سوز، با توجه به میزان شارژ باتری‌ها (حد بالا و پایین تعیین شده)، دو مرز عملکردی برای استارت موتور درون‌سوز در نظر گرفته شده است. در این حالت با توجه به محدوده تعیین شده برای میزان شارژ باتری‌ها ($0.4 \leq SOC \leq 0.8$) و سرعت درخواستی، سرعت مبنای تعیین شده برای استارت موتور درون‌سوز می‌تواند از ۳۰ تا ۷۰ کیلومتر بر ساعت متغیر باشد. به عنوان مثال در صورتی که میزان شارژ باتری‌ها در حد بیشینه خود قرار داشته باشد، در سرعت‌های کمتر از 70 KM/h خودرو به صورت تمام الکتریکی حرکت می‌کند. قواعد به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که علاوه بر تأمین نیاز کاربر، موتور درون‌سوز در نواحی با راندمان بالا و مصرف سوخت کم عمل نماید. ماتریس قوانین بکارگرفته شده در کنترل‌کننده طراحی شده، شامل ۴۹ قانون می‌باشد که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ماتریس قوانین بکارگرفته شده در کنترل‌کننده فازی طراحی شده

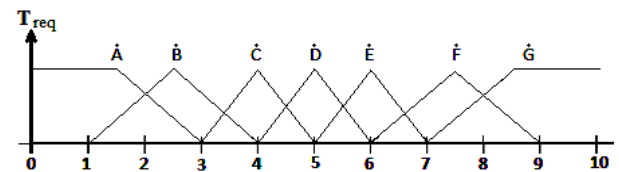
SOC \ T_{req}	A	B	C	D	E	F	G
A	5	4	3	2	2	1	1
B	5	4	3	3	2	2	1
C	5	4	3	3	2	2	2
D	5	4	3	3	3	2	2
E	5	5	4	4	3	2	2
F	6	5	4	4	4	3	2
G	6	6	5	4	4	3	2

شکل ۷ بلوک دیاگرام کنترلی طراحی شده در نرم‌افزار ADVISOR را نشان می‌دهد که شامل ورودی‌ها و مقیاس‌بندی آن‌ها، کنترل‌کننده فازی و همچنین مقیاس‌بندی خروجی‌ها می‌باشد.

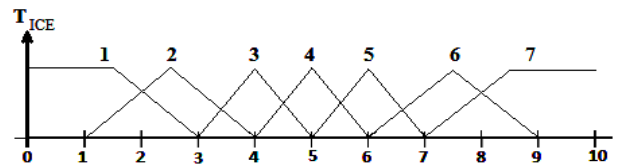
توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده می‌شوند.



شکل ۴. توابع عضویت ورودی اول (سطح شارژ باتری)



شکل ۵. توابع عضویت ورودی دوم (گشتاور درخواستی)



شکل ۶. توابع عضویت خروجی (گشتاور موتور درون‌سوز)

۳- نحوه فازی سازی در پیشنهاد ارائه شده

در این کنترل‌کننده از فازی‌ساز و استنتاج فازی ممدانی و از غیر فازی‌ساز مرکز ثقل استفاده شده است. یکی از بخش‌های مهم در طراحی کنترل‌کننده فازی، طراحی پایگاه قوانین فازی است که بر اساس آن خروجی کنترل‌کننده شکل می‌گیرد. بر اساس کنترل‌کننده فازی طراحی شده، میزان گشتاور مطلوبی که باید به وسیله موتور درون‌سوز تأمین شود، مشخص می‌گردد. سپس بر اساس میزان گشتاور درخواستی توسط کاربر و سهم گشتاور موتور درون‌سوز، گشتاور تولیدی توسط موتور الکتریکی به کمک رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$T_{EM} = T_{req} - T_{ICE} \quad (1)$$

همچنین قیودی برای هر یک از متغیرهای تصمیم‌گیری تعریف شده است که به صورت زیر می‌باشند:

$$SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max} \quad (2)$$

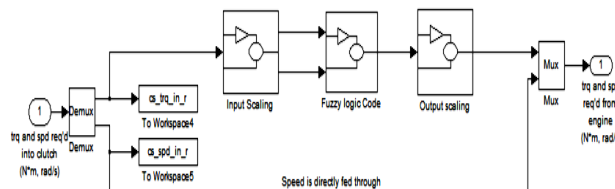
$$T_{ICE,min} \leq T_{ICE} \leq T_{ICE,max} \quad (3)$$

$$T_{EM,min} \leq T_{EM} \leq T_{EM,max} \quad (4)$$

که در آن‌ها، SOC_{min} ، SOC_{max} ، به ترتیب حد پایین و حد بالای شارژ باتری‌ها، $T_{ICE,min}$ ، $T_{ICE,max}$ ، مینیمم و ماکزیمم

جدول ۴. پارامترهای خودروی طراحی شده

پارامتر	مقدار
وزن شاسی	۷۲۰ Kg
ضریب آیرودینامیکی (CD)	۰/۳۵
سطح مؤثر خودرو (FA)	۱/۹۵ m ²
وزن بار مجاز	۱۳۰ Kg
ارتفاع مرکز ثقل	۰/۳ m
فاصله دو محور	۲/۳۴۵ m
بیشینه سرعت	۱۲۰ Km/h
شعاع چرخ	۰/۲۷ m
موتور درون سوز	M13NI
حجم موتور درون سوز	۱۳۲۳ cc



شکل ۷. بلوک دیاگرام کنترلی طراحی شده در نرم افزار ADVISOR

۴- شبیه سازی و تحلیل نتایج

به منظور اثبات صحت پیشنهادهای ارائه شده در پژوهش حاضر، به شبیه‌سازی خودروی احتراقی در دو سیکل حرکتی استاندارد شهری و برون شهری پرداخته شده است. همچنین برای اطمینان از صحت عملکرد کنترل کننده طراحی شده، شبیه‌سازی خودروی هیبرید در دو بخش صورت پذیرفته است. در بخش اول با به‌کارگیری کنترل کننده کلاسیک موجود در نرم‌افزار ADVISOR و در بخش دوم با استفاده از کنترل کننده‌ی هوشمند (فازی) طراحی شده، خودروی هیبرید شبیه‌سازی شده است.

در جداول ۲، ۳، ۴ و ۵ مشخصات پارامترهای مورد نیاز و استفاده شده در شبیه سازی آورده می شود.

جدول ۲. مشخصات باتری استفاده شده

مشخصات باتری	نوع باتری: لیتیوم- یون پلیمر
ولتاژ نامی هر سلول	۱۱/۱ V dc
ظرفیت نامی هر سلول	۱۰ Ah
تعداد کل سلول‌ها	۱۷ عدد (سری)
وزن کل باتری‌ها	۱۴ Kg

جدول ۳. مشخصات موتور PMSLDC انتخاب شده

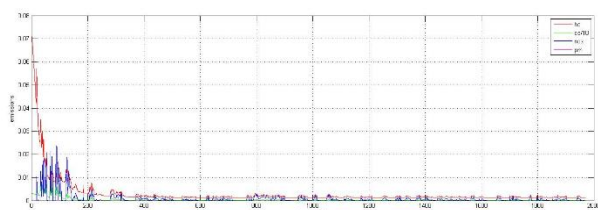
پارامتر	مقدار
ولتاژ نامی	۱۹۰ VDC
توان نامی	۱۲ Kw
گشتاور نامی	۳۸ N.m
سرعت نامی	۳۰۰۰ rpm
تعداد قطب	۸
شرکت سازنده	Heng Tian Co, Ltd

جدول ۵. مشخصات سیستم انتقال قدرت انتخاب شده

پارامتر	مقدار
نوع گیربکس	دستی (۵+۱)
نسبت دنده ۱	۳/۴۵
نسبت دنده ۲	۱/۹۲
نسبت دنده ۳	۱/۲۷
نسبت دنده ۴	۰/۸۶
نسبت دنده ۵	۰/۶۹
نسبت دنده نهایی	۳/۷۷
وزن دیفرانسیل + گیربکس	۱۰+۳۵ kg

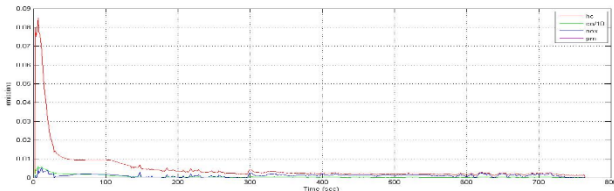
نمودارهای شبیه سازی شده مربوط به موتور احتراقی و هیبرید استاندارد و هیبرید با کنترل فازی در شکل های ۸ الی ۱۹ آورده می شود.

قابل ذکر می باشد که سیکل SC03+UDDS سیکل درون شهری و سیکل HWFET سیکل برون شهری می باشد.

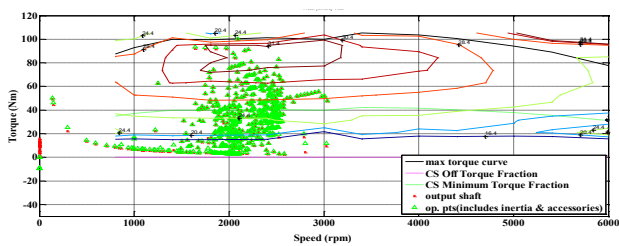


شکل ۸. میزان آلاینده‌ی تولیدی در موتور احتراقی در سیکل SC03+UDDS

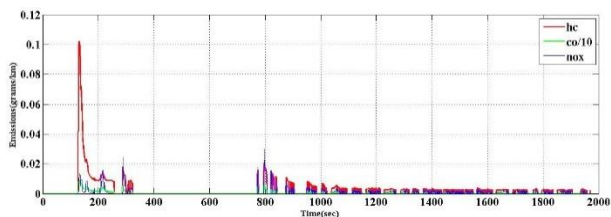
۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



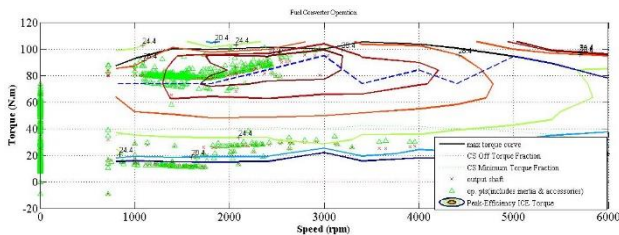
شکل ۱۴. آلاینده‌گی در خودروی هیبرید موازی با کنترل‌کننده PTC-PAR در سیکل HWFET



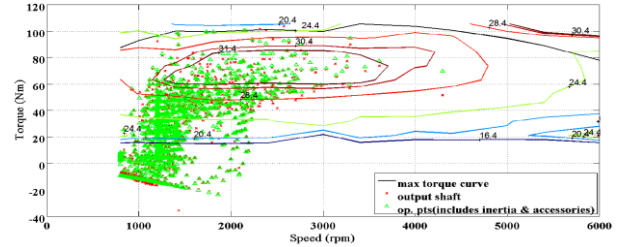
شکل ۱۵. نقاط عملکرد موتور درون‌سوز در خودروی هیبرید موازی با کنترل‌کننده PTC-PAR در سیکل HWFET



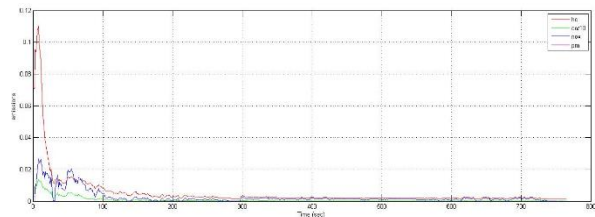
شکل ۱۶. میزان آلاینده‌گی تولیدی توسط موتور درون‌سوز در خودروی هیبرید موازی با کنترل‌کننده فازی در سیکل SC03+UDDS



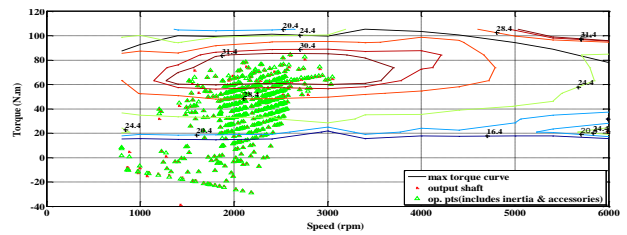
شکل ۱۷. نقاط عملکرد موتور درون‌سوز خودروی هیبرید موازی با کنترل‌کننده فازی در سیکل SC03+UDDS



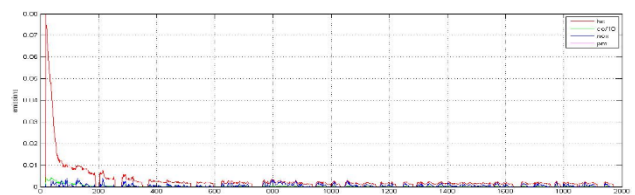
شکل ۹. نقاط عملکرد موتور درون‌سوز در خودروی احتراقی در سیکل SC03+UDDS



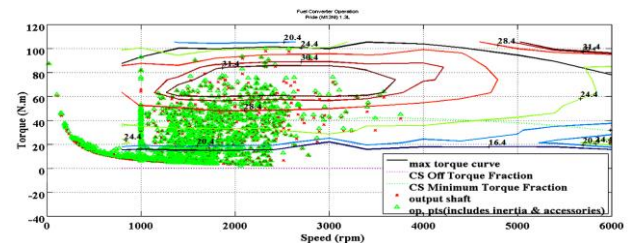
شکل ۱۰. میزان آلاینده‌گی تولیدی در موتور احتراقی در سیکل HWFET



شکل ۱۱. نقاط عملکرد موتور درون‌سوز خودروی احتراقی در سیکل HWFET



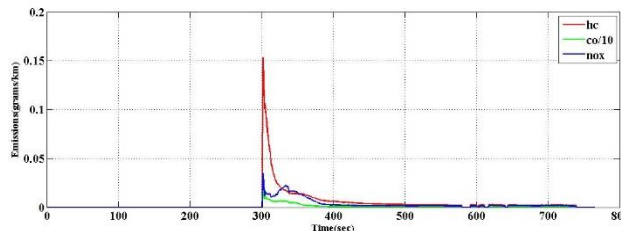
شکل ۱۲. نمودار آلاینده‌گی در خودروی هیبرید موازی با کنترل‌کننده PTC-SC03+UDDS در سیکل PAR



شکل ۱۳. نقاط عملکرد موتور درون‌سوز خودروی هیبرید موازی با کنترل‌کننده PTC-PAR در سیکل SC03+UDDS

جدول ۷. میزان انتشار آلاینده‌گی زیست محیطی در سیکل HWFET

HC	CO ₂	NO _x	آلاینده‌گی نوع خودرو
۰/۲۵۴	۰/۳۶۵	۰/۱۱۷	خودرو احتراقی
۰/۲۳۴	۰/۲۵۸	۰/۰۵۴	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده PTC-PAR
۰/۱۹۱	۰/۳۰۴	۰/۰۹۸	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده فازی

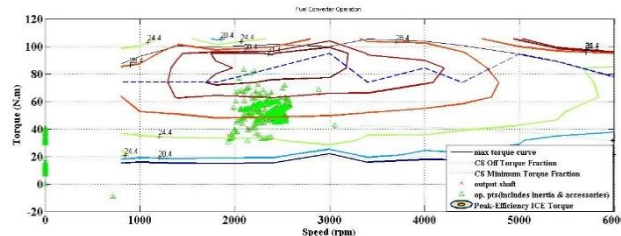


شکل ۱۸. میزان آلاینده‌گی تولیدی توسط موتور درون سوز در خودروی هیبرید موازی با کنترل کننده فازی در سیکل HWFET

جدول ۸. مصرف سوخت و راندمان موتور درون سوز در خودروها به ازای

سیکل SC03+UDDS

راندمان (%)	مصرف سوخت (Lit/100Km)	مشخصه نوع خودرو
۲۵/۰۴	۶/۹	خودرو احتراقی
۲۴/۷۱۳	۶/۲	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده PTC-PAR
۳۱/۴۸۱	۴/۳	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده فازی



شکل ۱۹. نقاط عملکرد موتور درون سوز خودروی هیبرید موازی با کنترل کننده فازی در سیکل HWFET

۴-۱- تحلیل نتایج

پس از انجام شبیه سازی میزان آلاینده‌گی ، مصرف سوخت و راندمان موتور احتراقی در جداول ۶، ۷، ۸ و ۹ آورده می شود. که نتایج جداول نشان می دهد مصرف سوخت و آلاینده‌گی کاهش داشته است.

جدول ۴-۸: مصرف سوخت و راندمان موتور درون سوز در خودروها به

ازای سیکل HWFET

راندمان (%)	مصرف سوخت (Lit/100Km)	مشخصه نوع خودرو
۲۹/۲۰۲	۵/۲	خودرو احتراقی
۲۶/۰۹۴	۴/۷	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده PTC-PAR
۳۰/۲۹۲	۳/۵	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده فازی

جدول ۶. میزان انتشار آلاینده‌گی زیست محیطی در سیکل

SC03+UDDS

HC	CO ₂	NO _x	آلاینده‌گی نوع خودرو
۰/۳۴۸	۰/۳۶۱	۰/۰۹۱	خودرو احتراقی
۰/۳۲۲	۰/۲۹۸	۰/۰۵۵	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده PTC-PAR
۰/۲۶۶	۰/۳۶۹	۰/۰۹۷	خودرو هیبرید موازی با کنترل کننده فازی

۵- نتیجه گیری

در این مقاله مدلی از یک خودروی هیبرید موازی در نظر گرفته شد. برای فرایند کنترل این خودروها پیشنهاد جدیدی ارائه شد. در این پیشنهاد بر مبنای کنترل فازی با افزایش تعداد توابع عضویت کنترل بهینه‌ای روی مصرف سوخت همچنین کاهش آلاینده‌گی و افزایش راندمان موتور درون سوز صورت گرفت. پس از طراحی و تحلیل تئوری این کنترل کننده توسط نرم افزار ADVISOR شبیه سازی روی پیشنهاد انجام شد. این فرایند کنترل منجر به کاهش مصرف سوخت به میزان ۴۰ درصد در سیکل شهری و ۲۷ درصد در سیکل برون شهری گردید. همچنین راندمان در سیکل شهری از ۲۵/۰۴ به ۳۱/۴۸۱ و در سیکل برون شهری از ۲۹/۲۰۲ به ۳۰/۲۹۲ افزایش یافت.

مراجع

- [۱] سیاوش صادقی، خودروهای الکتریکی و هیبرید الکتریکی، انتشارات مشعل چاپ اول ۱۳۸۷: ISBN ۹۷۸-۹۶۴۶۶-۰۲۳۴-۲
- [2] I. Husain, "Electric and Hybrid Vehicles (Design Fundamental)", CRC Press LLC. 2003, ISBN: 0-8493-1466-6 (print edition).
- [3] www.bvzr.persianblog.ir/post/34.
- [4] C. Mi, M.A. Masrur, D.W. Gao, "Hybrid Electric Vehicles (Principles and Applications With Practical Perspective)", John Wiley & Sons, Ltd, 2011, Print ISBN: 978-0-470-74773-5.
- [5] M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel cell vehicle (Fundamental, Theory, and Design)", Second Edition, CRC Press, ISBN: 978-1-4200-5398-2.
- [6] . C.C.Chan, "The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles", Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 4, pp: 704-718, April 2007.
- [7] A. Fuhs, "Hybrid vehicles and the future of personal transportation", CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009, ISBN-10: 1-4200-7534-9.
- [8] G. Pistoia, "Electric and Hybrid Vehicles POWER SOURCES, MODELS, SUSTAINABILITY, INFRASTRUCTURE AND THE MARKET", Elsevier B.V, First edition, 2010, ISBN: 978-0-444-53565-8.
- [9] MortezaMontazeri-Gh, Amir Poursamad, Babak Ghalichi, "Application of genetic algorithm for optimization of control strategy in parallel hybrid electric vehicles," Systems Simulation and Control Laboratory, Department of Mechanical Engineering Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, Iran R.eceived 7 February 2006; accepted 7 February 2006.
- [10] X. Zhang, C. Mi, "Vehicle Power Management, Modeling, Control, and Optimization", Springer, 2011, ISBN: 978-0-85729-735-8
- [11] L.A Zadeh, "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", Fuzzy Sets and Systems 1, pp: 3-28, 1978.
- [12] H.J. Zimmermann, "Fuzzy mathematical programming", Fuzzy Sets and Systems 10 (4), pp: 291-298, 1983.