

مشخصه‌های رانندگی و تأثیر آنها بر میزان مصرف سوخت و آلاینده‌های خودروی دورگه برقی

مرتضی منتظری

دانشیار دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران
montazeri@iust.ac.ir

عباس فتوحی

دانشجوی دکتری دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران
afotouhi@iust.ac.ir

اکبر نادرپور*

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران
a_naderpour@ip-co.com

پذیرش نهایی مقاله: ۸۸/۱۲/۵

* نویسنده مسئول/ تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۸

چکیده

در این مقاله به مشخصه‌های رانندگی و میزان تأثیر آنها بر مصرف سوخت خودرو و آلاینده‌ها در گازهای خروجی مجرای دود پرداخته شده است. جمع آوری داده‌های رانندگی در شرایط شدآمد (ترافیک) واقعی برای دستیابی به رشته زمانی سرعت خودرو انجام گرفته است. فرآیند داده برداری به کمک سامانه پیشرفته موقعیت‌یاب خودرو (AVL)^۱ که بر اساس فناوری مکان‌یابی (GPS) عمل می‌کند، انجام پذیرفته است. پس از آن ۲۱ مشخصه رانندگی^۲ بر اساس رشته زمانی سرعت خودرو تعریف شده است. سپس به بررسی این مشخصه‌ها در داده‌های اندازه‌گیری شده پرداخته شده و معادله بین مشخصه‌های رانندگی به منظور تعیین مشخصه‌های مستقل بررسی شده است. همچنین تأثیر مشخصه‌های رانندگی بر مصرف سوخت و آلاینده‌های خودرو با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری ارزیابی شده است. برای این کار از نرم‌افزار Advisor برای شبیه‌سازی دو نوع خودرو سمند معمولی و سمند دورگه با موتور ملی بنزین‌سوز، بهره برده شده است و نتایج شبیه‌سازی در چند مورد با آزمایش عملی مقایسه شده است. در انتها شاخص‌دهی مشخصه‌های رانندگی با استفاده از یک شاخص کلی صورت گرفته و مشخصه‌های برتر شناسایی و معرفی شده‌اند. مشخصه‌های رانندگی مهمتر را می‌توان در دسته‌بندی شرایط شدآمد^۳، توسعه چرخه‌های رانندگی، دسته‌بندی الگوهای رانندگی^۴ و پایش هوشمند خودروهای دورگه استفاده کرد.

محصولات خود را گسترش دهند، یکی از این محصولات، خودروهای دورگه است که علاوه بر موتور احتراقی به موتور برقی و مجموعه‌ای از انبارها تجهیز شده‌اند و با توجه به نوع پیوند بین اجزاء آن به انواع مختلفی دسته‌بندی شده‌اند [۱-۲]. هماهنگی بین اجزای خودروی دورگه به کمک سامانه نظارتی صورت می‌پذیرد. در تحقیقات متعدد گذشته

کلیدواژه‌ها: مشخصه رانندگی، خودرو دورگه، مصرف سوخت، آلاینده‌ها

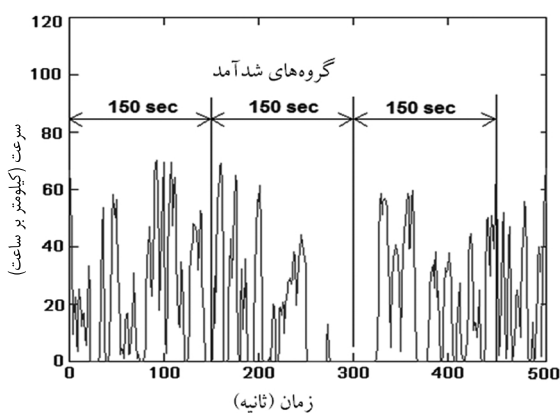
۱- مقدمه

امروزه استانداردهای سخت‌گیرانه محیط زیست و روند گرانی رو به رشد سوخت، بیشتر شرکت‌های خودروساز را بر آن داشته تا سبد

بهره‌گیری از نرم افزارهای تخصصی در این زمینه (Advisor, Matlab) انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی در چند مورد با نتایج آزمایش عملی مقایسه و صحت‌گذاری شده است. در انتها شاخص‌دهی مشخصه‌های رانندگی با استفاده از یک شاخص کلی صورت گرفته و مشخصه‌های برتر مشخص شده‌اند.

۲- داده برداری و بخش‌های رانندگی

در این مطالعه، سامانه پیشرفته موقعیت‌یاب خودرو (AVL) برای رصد (مانیتورینگ) و داده‌برداری بکار گرفته شده است. داده‌برداری به مدت ۶ ماه در سطح شهر تهران و در شرایط شدآمد واقعی صورت پذیرفته است. به منظور تحلیل داده‌های رانندگی جمع‌آوری شده، پس از پایش کیفی داده‌ها و رفع نواقص احتمالی که به دلیل قطع تماس دستگاه با ماهواره‌های GPS رخ می‌دهد، در اولین گام رشته زمانی داده‌ها به قسمت‌های کوچکتری تقسیم می‌گردند. در این تحقیق هر یک از این بخش‌های کوچک یک بخش رانندگی نامیده شده است و طول آنها ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ تعدادی بخش رانندگی ۱۵۰ ثانیه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱ بخش‌های ۱۵۰ ثانیه‌ای داده‌های رانندگی

۳- مشخصات خودروی دوره‌برقی

الگو خودروی مورد استفاده در این تحقیق، سمند دوره‌برقی با موتور ملی بنزین‌سوز بوده است که اندازه‌بندی بهینه بر روی اندازه موتور احتراقی، موتور برقی و تعداد انباره‌ها با روش ارائه شده در [۱۶] صورت گرفته است. مشخصات الگوی مذکور در جدول ۱ آمده است.

پایشگرهای متفاوتی نظیر سامانه نظارتی کمک برقی، فازی، ژنتیک-فازی برای خودروهای دوره‌برقی طرح و بررسی شده‌اند [۳-۵]. در گروهی از این تحقیقات سعی شده تا با شناسایی الگوهای رانندگی، سامانه نظارتی خودروی دوره‌برقی را بر اساس آن طراحی و بهینه‌کنند [۶-۸].

در زمینه بررسی و تحلیل شرایط شدآمد و رانندگی نیز تا کنون مطالعات زیادی صورت گرفته است [۹-۱۶]. اگرچه هنوز بین محققان فعال در زمینه دسته‌بندی و شناسایی الگوهای رانندگی اجماعی وجود ندارد ولی در همه تحقیقات تعدادی متغیر به عنوان مشخصه‌های رانندگی معرفی و استفاده شده‌اند. در یکی از کامل‌ترین تحقیقات انجام شده در این زمینه [۹-۱۱] ۶۲ متغیر به عنوان مشخصه‌های یک چرخه رانندگی معرفی شده است که از بین آنها ۱۶ ضریب مؤثر را ارائه می‌نماید. در تحقیق دیگری، ۲۴ مشخصه برای هر الگوی رانندگی تعریف و بررسی شده که ۱۰ عدد از این مشخصه‌ها تأثیر بیشتری بر مصرف سوخت و آلاینده‌های خودرو دارند [۱۴]. از جمله فعالیت‌های تحقیقاتی صورت گرفته در داخل کشور در زمینه تحلیل شرایط شدآمد، برای بدست آوردن چرخه رانندگی خودروها در شهر تهران می‌باشد که در این تحقیق از ۲ مشخصه رانندگی سرعت متوسط و درصد زمان توقف برای تعیین شرایط شدآمد استفاده شده است [۱۵-۱۶].

در تحقیق حاضر برای نخستین بار طیف وسیعی از مشخصه‌های رانندگی تعریف و بر روی عملکرد یک نمونه خودروی دوره‌برقی بررسی شده است. تحلیل‌های متفاوتی از جمله بررسی میزان تأثیرگذاری مشخصه‌های رانندگی بر مصرف سوخت و آلاینده‌های مجرای دود خودروی دوره‌برقی بر روی مشخصه‌ها صورت پذیرفته است. نهایتاً این مشخصه‌ها شاخص‌دهی شده و از میان آنها مشخصه‌های ممتاز استخراج گردیده‌اند که در دسته‌بندی شرایط شدآمد، توسعه چرخه‌های رانندگی، دسته‌بندی الگوهای رانندگی و یا پایش هوشمند خودروهای دوره‌برقی قابل استفاده می‌باشند. ساختار کلی مقاله در ادامه آمده است.

در قسمت اول این مقاله روش داده‌برداری از شرایط شدآمد واقعی شرح داده شده است آنگاه بخش‌های رانندگی تعریف و مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گرفته است. مشخصات خودروی دوره‌برقی مورد بررسی در این تحقیق در ادامه آمده است. روش تهیه الگو خودرو سمند با موتور ملی بر اساس آزمون‌های استاندارد تشریح شده و الگو با نتایج آزمایش حالت (مودال) NEDC صحت‌گذاری شده است. سپس ۲۱ مشخصه رانندگی به همراه تعریف مختصری از هر کدام مطرح و با بهره‌گیری از روش ضرایب همبستگی تحلیل و بررسی شده‌اند. به منظور بررسی وابستگی مصرف سوخت و آلاینده‌های خودرو با مشخصه‌های رانندگی، شبیه‌سازی‌هایی با

جدول ۱ مشخصات الگوی خودرو سمند دورگه با موتور ملی

Vehicle Parameters				Vehicle Parameters				
	Parameters	HEV	unit		Parameters	HEV	unit	
Electrical Motor	۱۸	Electrical motor	MC_AC ^{۷۵}	Vehicle	۱	vehicle glider mass	۹۰۵ kg	
	۱۹	motor type maximum	Westinghouse, ۷۵ kW, AC Induction motor		۲	aerodynamic drag coefficient of	۰,۳۱۸	-
	۲۰	over torque capability	۱,۸ %		۳	frontal area fraction of	۲,۱	m ^۲
	۲۱	mass of motor and controller	۹۱ kg		۴	vehicle weight on front axle	۰,۶	-
	۲۲	capacity of motor/controller maximum	۴۳۰ J/kgK		۵	vehicle center-of-gravity	۰,۶۴	m
	۲۳	current allowed	۴۸۰ A		۶	wheelbase	۲,۶۷ m	
	۲۴	total vehicle mass	۱۳۵۰ Kg		۷	peak engine power rotational	@ ۵۵,۷۶ ۶۰۰۰ rpm	kW
	۲۵	The number of batteries	۱۴		Combustion Engine	۸	inertia of the engine	۰,۱۲۲۴ kg*m ^۲
	۲۶	Batteries Types	Hawker Genesis ۱۲V۲۶Ah ^{۱۰} EP sealed valve-regulated lead-acid (VRLA) battery			۹	total engine/fuel system mass	۱۷۸,۴ kg
	۲۷	electrical motor scale	۰,۲۳			۱۰	fuel density lower heating	۰,۷۵۳ g/l
۲۸	combustion engine scale	۰,۶۸	۱۱	value of the fuel exterior surface		۴۲,۵ kJ/g		
			۱۲	area of engine air/fuel ratio		۰,۲۰۲۸ m ^۲		
			۱۳	(stoic) on mass basis		۱۴,۵ -		
			۱۴	engine coolant thermostat set		۸۶ oC		
			۱۵	temperature average cp of engine		۵۰۰ J/kgK		
General				۱۶	hood & engine compartment surface area of	۵۰۰ J/kgK		
				۱۷	hood/eng compt.	۱,۵ m ^۲		

برای الگوسازی خودرو سمند معمولی با موتور ملی (EF7)، فرآیندی به این شکل صورت گرفته است:

الف: استخراج متغیرهای الگو برای بخشهای مختلف خودرو اعم از موتور، بدنه، مبدل واکنشگر، جعبه دنده و ... همانند وزن، نسبت دنده‌ها، ابعاد و غیره از شرکت سازنده خودرو.

ب: بهره‌گیری از آزمایش استاندارد برای محاسبه ضریب پسای خودرو.

ج: آزمایش استاندارد به منظور شبیه‌سازی میزان درصد تبدیل آلاینده‌ها در مبدل واکنشگر در دماهای مختلف کاری.

د: تهیه منحنی‌های عملکردی موتور احتراقی بر حسب درصد بار و

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad \bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

۳- انرژی یک بخش رانندگی که با معادله (۳) بدست می‌آید.

$$E = \sum_{i=1}^n v_i^2 \quad (3)$$

۴- انحراف معیار مربع سرعت: انحراف معیار مربع مقادیر سرعت در طول یک بخش رانندگی می‌باشد و با معادله (۴) بدست می‌آید.

$$\sigma_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i^2 - \bar{v}_E)^2 \quad \bar{v}_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2 \quad (4)$$

۵- درصد زمان توقف: درصد زمانی است که در طول یک بخش رانندگی، خودرو کاملاً ایستاده است.

۶- سرعت بیشینه: بیشترین مقدار سرعت در طول یک بخش رانندگی.

۷- سرعت کمینه: کمترین مقدار سرعت در طول یک بخش رانندگی.

۸- اختلاف سرعت بیشینه و کمینه در طول یک بخش رانندگی.

۹- میانگین شتاب: میانگین مقادیر شتاب در طول یک بخش رانندگی می‌باشد و با معادله (۵) بدست می‌آید.

$$a_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (5)$$

۱۰- انحراف معیار شتاب: انحراف معیار مقادیر شتاب در طول یک

بخش رانندگی می‌باشد و با معادله (۶) بدست می‌آید که در آن n تعداد نقاط بخش رانندگی می‌باشد.

$$\sigma_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 \quad \bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (6)$$

۱۱- میانگین شتاب‌گیری‌ها در طول یک بخش رانندگی که با معادله

(۷) بدست می‌آید که در آن na تعداد نقاط دارای شتاب مثبت می‌باشد.

$$A.A. = \frac{1}{na} \sum_{i=1}^{na} a_i \quad \text{برای } a_i > 0 \quad (7)$$

۱۲- میانگین ترمزگیری‌ها در طول یک بخش رانندگی که با معادله

(۸) بدست می‌آید که در آن nd تعداد نقاط دارای شتاب منفی می‌باشد.

$$A.D. = \frac{1}{nd} \sum_{i=1}^{nd} a_i \quad \text{برای } a_i < 0 \quad (8)$$

۱۳- درصد زمانی حرکت با سرعت ثابت که با معادله (۹) بدست

می‌آید که در آن t_{cruise} زمان حرکت با سرعت ثابت و t_{total} زمان کل بخش رانندگی می‌باشد.

سرعت دورانی موتور از آزمون استاندارد [۱۸].

ه: تبدیل و پردازش نگاشت (MAP) موتور احتراقی به شکل قابل پذیرش در نرم افزار Advisor.

خودرو سمند دورگه نیز بر پایه الگوی خودروی سمند معمولی طراحی گردیده است که به نکات ذیل در این کار توجه شده است:

■ الگوی بدنه خودرو، جعبه دنده، مبدل واکنشگر با الگوی سمند معمولی یکسان می‌باشد.

■ موتور احتراقی شبیه‌سازی شده در خودروی معمولی در خودرو دورگه نیز بکار گرفته شده است. و تنها عمل اندازه‌بندی بهینه به روش ژنتیک [۱۷] برای آن انجام شده است.

■ انتخاب اندازه‌بندی بهینه برای موتور احتراقی، موتور برقی و تعداد انباره‌ها به روش ژنتیک صورت گرفته است.

■ راهبرد نظارتی کمک برقی استاندارد Advisor به عنوان سامانه پایش کننده اعمال گردیده است.

در راهبرد کمک برقی سعی می‌شود بار انباره‌ها در محدوده معینی نگه داشته شود و چنانچه انباره‌ها نیاز به بارگذاری (شارژ) داشته باشند، موتور احتراقی توانی بیش از نیاز خودرو تولید می‌کند که مازاد آن صرف بارگذاری انباره‌ها می‌شود.

۴- مشخصه‌های رانندگی

در این قسمت مشخصه‌های قابل تعریف برای یک بخش شدامد معرفی شده است که در قسمتهای بعد مورد ارزیابی قرار گرفته اند. شایان ذکر است که اطلاعات شدامد ثبت شده در این تحقیق به صورت علائم زمانی سرعت خودرو در هر ثانیه است و مشخصه‌های رانندگی ۲۱ گانه بدین شرح است:

۱- میانگین سرعت: میانگین مقادیر سرعت در طول یک بخش رانندگی می‌باشد و با معادله (۱) بدست می‌آید که در آن n تعداد نقاط بخش رانندگی می‌باشد.

$$V_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

۲- انحراف معیار سرعت: انحراف معیار مقادیر سرعت در طول یک بخش رانندگی می‌باشد و با معادله (۲) بدست می‌آید.

۵- تحلیل مشخصه‌های رانندگی

۵-۱- بررسی میزان وابستگی و عدم وابستگی بین مشخصه‌های

رانندگی

در این قسمت به بررسی وابستگی بین مشخصه‌های عددی ذکر شده در قسمت قبل پرداخته شده است. برای این منظور از تحلیل همبستگی استفاده گردید. ضریب همبستگی در واقع معیار کمی برای اندازه گیری وابستگی خطی دو متغیر می‌باشد بدین نحو که افزایش یا کاهش یکی چه تأثیری بر متغیر دیگر دارد. ضریب همبستگی، $r_{X,Y}$ بین دو متغیر تصادفی X و Y با مقادیر امید ریاضی μ_X و μ_Y و انحراف معیار σ_X و σ_Y بدین صورت تعریف می‌گردد:

$$r_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E((X - \mu_X)(Y - \mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (14)$$

که به این شکل نیز قابل ساده سازی می‌باشد:

$$r_{X,Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2) - E^2(X)} \sqrt{E(Y^2) - E^2(Y)}} \quad (15)$$

در معادلات (۱۴ و ۱۵)، E تابع امید ریاضی می‌باشد. ضریب همبستگی تنها برای مقادیر محدود و غیرصفر قابل تعریف است و در رشته‌های زمانی ضریب همبستگی بدین صورت بدست می‌آید:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad (16)$$

که در آن x_t مقدار رشته در زمان t را نمایش می‌دهد:

$$\bar{x} = \sum_{t=1}^N \frac{x_t}{N} \quad (17)$$

شایان ذکر است که ضریب همبستگی برابر با ۱ به معنی پیوند کامل و مستقیم دو متغیر تصادفی می‌باشد: افزایش یکی با افزایش دیگری همراه خواهد بود و بر عکس. به همین ترتیب ضریب -۱ نشان دهنده پیوند کامل و عکس دو متغیر می‌باشد به این معنی که افزایش یکی، کاهش دیگری را در بر خواهد داشت. ضریب صفر نیز نشان دهنده استقلال دو متغیر می‌باشد [۱۹].

$$\text{درصد زمانی حرکت} = \frac{t_{cruise}}{t_{total}} \times 100 \quad (9)$$

۱۴- شتاب بیشینه

۱۵- شتاب کمینه

۱۶- فاصله پیموده شده در طول یک بخش رانندگی می‌باشد.

۱۷- میانگین توان دوم شتاب: مقدار میانگین توان دوم شتاب

$$a_{mean}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i^2 \quad (10)$$

۱۸- شتاب مثبت نسبی (RPA): [۱۰]

$$RPA = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^n (v_i * a_i^+) \quad (11)$$

۱۹- شتاب منفی نسبی (RNA):

$$RNA = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^n (v_i * a_i^-) \quad (12)$$

۲۰- درصد زمانی شتاب بیش از ۱,۵ متر بر مجذور ثانیه [۱۱]

۲۱- درصد زمانی که حاصلضرب سرعت و شتاب مابین ۳-۶ باشد.

$$3 < v_i * a_i < 6 \quad (m^2 / s^3) \quad (13)$$

مشخصه‌های رانندگی ۲۱ گانه فوق در جدول ۲ آورده شده اند.

جدول ۲ مشخصه‌های تعریف شده برای بخش‌های شتاب

Feature name	Feature name
۱ Mean of Velocity	۱۱ Average Accelerating
۲ Variance of Velocity	۱۲ Average Decelerating
۳ Energy	۱۳ Cruise Percentage
۴ Variance of Energy	۱۴ Maximum Acceleration
۵ Idle Time Percentage	۱۵ Minimum Acceleration
۶ Maximum Velocity	۱۶ Displacement
۷ Minimum Velocity	۱۷ Mean of Acceleration
(max velocity)-(min velocity)	۱۸ Square
۸	۱۸ Relative Positive Acceleration
۹ Mean of Acceleration	۱۹ Relative Negative Acceleration
۱۰ Variance of Acceleration	۲۰ % time acceleration > 1.5 m/s^2
	۲۱ % time v.a is 3-6 m^2/s^3

feature pair	pair	correlation
	number	coefficient
variance of velocity & (max velocity)-(min velocity)	(2,4)	0.852
energy & maximum velocity	(3,6)	0.829
energy & minimum velocity	(2,8)	0.824
energy & maximum velocity	(3,7)	0.821
minimum acceleration & mean of acceleration square	(15,17)	-0.805
variance of acceleration & minimum acceleration	(10,15)	-0.805
mean of acceleration square & relative negative acceleration	(17,19)	-0.816
variance of acceleration & relative negative acceleration	(10,19)	-0.817

۵-۲- تأثیر مشخصه‌های رانندگی بر میزان مصرف سوخت و

آلاینده‌های مجرای دود

در این بخش، تأثیر مشخصه‌های رانندگی بر میزان مصرف سوخت و آلاینده‌های مجرای دود با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری مطالعه شده است. بدین منظور از نرم افزار Advisor [۲۰] به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی خودرو دورگه مورد نظر تحت شرایط شدآمد موجود در کل داده‌های رانندگی شامل ۹۵۰ بخش رانندگی ۱۵۰ ثانیه‌ای، استفاده شده است.

نتایج شبیه‌سازی‌ها به طور مشخص بیان می‌کنند که برخی از مشخصه‌های رانندگی پیوند قویتری با میزان مصرف سوخت و تأثیر بر آن دارند. به منظور شفاف کردن این پیوند، ضرایب همبستگی مابین مصرف سوخت و مشخصه‌های ۲۱ گانه رانندگی در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین ضرایب همبستگی مابین آلاینده‌های مجرای دود (Hc,CO,NOx) و مشخصه‌های ۲۱ گانه رانندگی در شکل ۳ ارائه شده‌اند.

بر طبق نتایج بدست آمده، مصرف سوخت و آلاینده‌های مجرای دود برای خودرو دورگه به طور کلی وابستگی بیشتری به مشخصه‌های رانندگی دسته VDDF و بعد از آن به دسته IDF و وابستگی کمتری با دسته ADDF دارد. همچنین وابستگی NOx به مشخصه‌های رانندگی نسبت به HC و CO بزرگتر است و HC نسبت به CO وابستگی بیشتری دارد.

از کاربردهای بررسی میزان وابستگی و عدم وابستگی بین مشخصه‌ها، تعیین مشخصه‌های دارای وابستگی زیاد و حذف یکی از آنها می‌باشد. چون افزایش تعداد مشخصه‌ها می‌تواند باعث افزایش حجم محاسبات بعدی و در برخی قواعد دسته‌بندی باعث کاهش دقت نتایج گردد، کاهش تعداد مشخصه‌ها امری مفید می‌باشد.

در اینجا به بررسی پیوند ۲۱ مشخصه یاد شده در داده‌های اندازه گیری شده با استفاده از تحلیل همبستگی پرداخته‌ایم. نتایج نشان میدهد که بیشترین ضرایب همبستگی (بیشتر از ۰/۸) بین مشخصه‌های رانندگی در داده‌های اندازه گیری شده مطابق با جدول ۳ میباشد. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل همبستگی می‌توان مشخصه‌های رانندگی را به سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

۱- مشخصه‌های وابسته به سرعت (VDDF)^۱: همانند میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار سرعت، انرژی و ... (بر اساس جدول ۱ مشخصه‌های شماره‌های ۱۶، ۷، ۸، ۳، ۴، ۲، ۱)

۲- مشخصه‌های وابسته به شتاب (ADDF)^۲ همانند میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار شتاب، RPA، RNA و ... (بر اساس جدول ۱ مشخصه‌های شماره‌های ۱۹، ۱۸، ۱۷، ۱۵، ۱۴، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹)

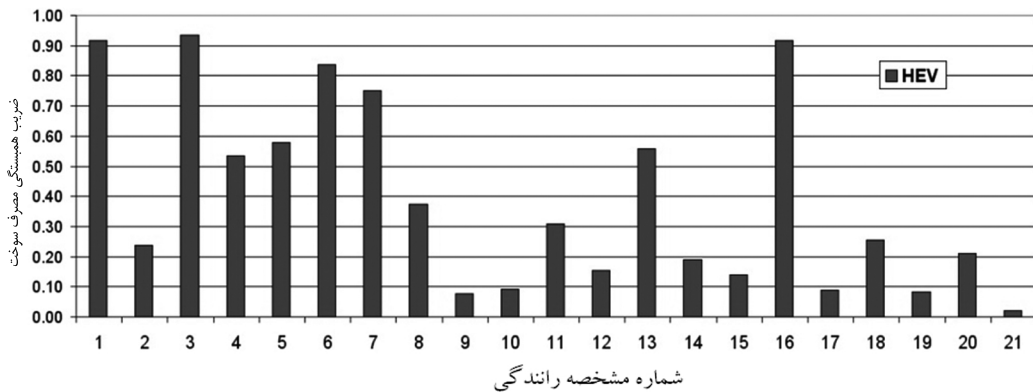
۳- مشخصه‌های مستقل از هم (IDF)^۳: همانند درصد زمان درجا^۴، درصد هنجار ثابت^۵ و ... (بر اساس جدول ۱ مشخصه‌های شماره‌های ۲۱ و ۲۰، ۱۳، ۵)

ضریب همبستگی مابین اعضاء هر دسته عددی بیش از ۰،۵ و مابین اعضاء دو دسته متفاوت، عددی نزدیک صفر می‌باشد.

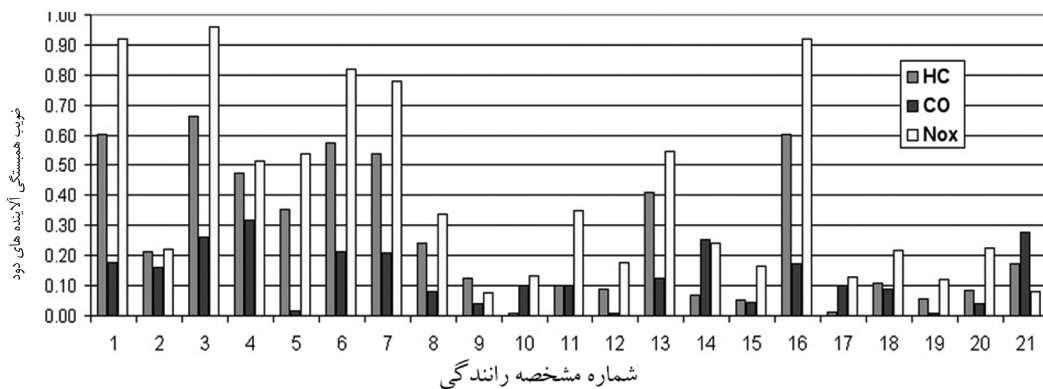
جدول ۳ بیشترین ضرایب همبستگی بین مشخصه‌های عددی در داده‌های اندازه‌گیری شده

feature pair	pair	correlation
	number	coefficient
mean of velocity & displacement	(1,16)	1.000
variance of acceleration & mean of acceleration square	(10,17)	1.000
energy & displacement	(3,16)	0.963
mean of velocity & energy	(1,3)	0.963
mean of velocity & maximum velocity	(1,6)	0.881
variance of velocity & variance of energy	(6,16)	0.881

Velocity Dependent Driving Features – ۱
Acceleration Dependent Driving Features – ۲
Independent Driving Features – ۳
Idle time percent – ۴
Cruise percent – ۵



شکل ۲ ضریب همبستگی مابین مصرف سوخت (گرم بر ثانیه) و ۲۱ مشخصه رانندگی برای خودرو سمد دورگه



شکل ۳ ضریب همبستگی مابین آلاینده‌های مجرای دود و ۲۱ مشخصه رانندگی برای خودرو سمد دورگه

به کم‌تر از ۵٫۶ درصد می‌رساند. خطای الگو از حیث عملکرد لحظه‌ای و کلی در حیطه قابل قبولی قرار دارد و می‌توان از آن در بخش‌های دیگر با اطمینان زیاد بهره برد. نتایج شبیه‌سازی و آزمایش در جدول ۴ مقایسه و درصد خطا برای مصرف سوخت و آلاینده‌ها ارائه شده است. همچنین شکل ۴ نمودار مصرف سوخت لحظه ای خودرو را در گذر از چرخه رانندگی NEDC نشان می‌دهد.

جدول ۴ میزان خطای بین الگو خودرو سمد معمولی با موتور ملی (EF7) و آزمایش استاندارد چرخه رانندگی NEDC

خودرو سمد معمولی با موتور ملی گازسوز			
خطا (%)	نتایج آزمایش	نتایج شبیه‌سازی	مصرف سوخت (لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر)
۳٫۵۷	۷٫۹۱۷	۸٫۲	مصرف سوخت (لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر)
۲٫۴۴	۰٫۰۴۱	۰٫۰۴۲	HC (g/km)
۵٫۵۶	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۹	NOx (g/km)
-۱٫۳۴	۰٫۵۲۱	۰٫۵۱۴	CO (g/km)

۶- صحت‌گذاری شبیه‌سازی‌ها

در این تحقیق به منظور افزایش قابلیت اطمینان الگو و تعیین میزان خطا در شبیه‌سازی‌ها، نتایج شبیه‌سازی در چند مورد با آزمایش عملی مقایسه شده است. به منظور صحت‌گذاری نتایج شبیه‌سازی، آزمایش استاندارد NEDC بر روی خودرو سمد با موتور ملی بنزین‌سوز صورت پذیرفت و نتایج مصرف سوخت و آلاینده‌های مجرای دود (HC,CO,NOx) به دو صورت میانگین کل چرخه (برحسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر / گرم بر کیلومتر) و لحظه‌ای (حالت (مودال) بر حسب گرم بر ثانیه) به کمک تحلیل‌گرها ثبت شد و سپس با نتایج حاصل از شبیه‌سازی به صورت لحظه‌ای و میانگین مقایسه گردیده است [۲۱].

در بررسی لحظه‌ای مصرف سوخت مشاهده گردید که بخشی از خطای الگو در نواحی شتاب منفی صورت می‌پذیرد که علت آن عملکرد قطع سوخت^۱ واحد ECU موتور احتراقی است و همچنین بخش دیگری از خطا راجع به چرخه اول ECE است که به علت راهبرد گرم کردن سریع موتور پیش آمده است. با بررسی آن موارد و توجه به این نکته که با تغییر الگو و اعمال دو راهبرد و گرم کردن سریع موتور، خطای نهایی الگو

Fuel Cutoff - ۱

$$\left\{ \begin{aligned} index\ 1 &= \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F}_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (3\bar{F}_i - \bar{F}_i)^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F}_i)^2}{\frac{1}{n} (n \times (2\bar{F}_i)^2)} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F}_i)^2}{(2\bar{F}_i)^2} \\ & \quad (18) \\ \text{here} & \rightarrow \bar{F}_i = \bar{F}_1 = \bar{F}_2 = \dots = \bar{F}_n = \bar{F} \end{aligned} \right.$$

که در آن n تعداد گروه‌های شدامد، F_i مشخصه بخش رانندگی i ام و \bar{F} میانگین مشخصه شدامد می‌باشد.

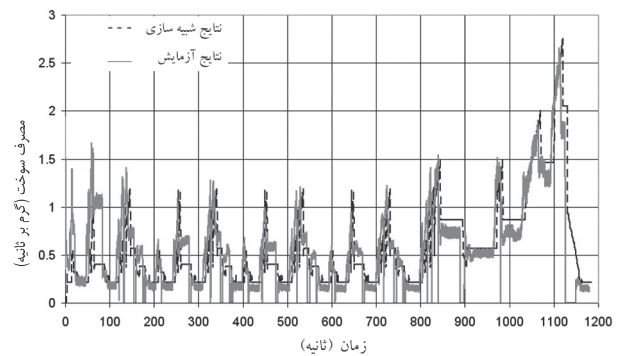
۲- مشخصه ای که تغییرات کند داشته باشد برای دسته‌بندی شرایط شدامد مناسب‌تر می‌باشد چراکه اولاً پایشگر خودروی دورگه نیز می‌تواند با فرصت بیشتری با شرایط شدامد جدید منطبق گردد و کمتر دچار تغییرات ناگهانی خواهد شد و ثانیاً در واقعیت شرایط شدامد تغییرات خیلی سریع ندارد و باید به‌نوعی تعریف شود که تغییرات مکرر به‌طور سریع نداشته باشد. برای این مورد می‌توان مقدار عادی سازی شده معکوس نرخ تغییرات هر مشخصه را در بخش‌های رانندگی متوالی به عنوان شاخص در مدنظر قرار داد. به منظور عادی سازی هر مشخصه معادله (۱۹) بکار رفته است:

$$\left\{ \begin{aligned} index\ 2 &= \frac{\left| \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (3\bar{F}_i - \bar{F}_i)^2 \right) - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (F_{i+1} - F_i)^2 \right) \right|}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (3\bar{F}_i - \bar{F}_i)^2} \\ &= \frac{\left| ((2\bar{F}_i)^2) - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (F_i - \bar{F}_i)^2 \right) \right|}{(2\bar{F}_i)^2} \\ \text{here} & \rightarrow \bar{F}_i = \bar{F}_1 = \bar{F}_2 = \dots = \bar{F}_n = \bar{F} \end{aligned} \right.$$

که در آن n تعداد گروه‌های شدامد، F_i مشخصه بخش رانندگی i ام و \bar{F} میانگین مشخصه شدامد می‌باشد.

۳- مشخصه‌ای که تأثیر بیشتری بر مصرف سوخت داشته باشد برای دسته‌بندی شرایط شدامد مناسب‌تر می‌باشد. در این حالت می‌توان از قدر مطلق ضریب همبستگی بین هر مشخصه و مصرف سوخت به عنوان شاخص استفاده نمود.

۴- مشخصه‌ای که تأثیر بیشتری بر آلایندگی خودرو داشته باشد برای دسته‌بندی شرایط شدامد مناسب‌تر می‌باشد. در این حالت می‌توان از قدر مطلق ضریب همبستگی بین هر مشخصه و آلایندگی خودرو به عنوان شاخص استفاده نمود.



شکل ۴ مقایسه مصرف سوخت لحظه‌ای از نتایج شبیه‌سازی و آزمایش استاندارد EURO4

۷- تعیین مشخصه‌های رانندگی مهمتر با استفاده از یک شاخص کلی

در بخش‌های گذشته مشخصه‌های ۲۱ گانه‌ای برای داده‌های رانندگی تعریف گردید سپس پیوند آنها و همچنین میزان تأثیر آنها بر مصرف سوخت و آلاینده‌های مجرای دود ارزیابی و تحلیل شد. همانطور که در قبل به آن اشاره شد هدف اصلی از این مطالعه شناسایی مشخصه‌های مؤثرتر و مفیدتر از میان ۲۱ مشخصه می‌باشد تا بتوان از آن مشخصه‌های ممتاز در این کاربری‌ها استفاده نمود:

- ۱- دسته‌بندی شرایط شدامد برای توسعه چرخه‌های رانندگی،
- ۲- دسته‌بندی الگوهای رانندگی
- ۳- پایش هوشمند دورگه (HEV) (همانطور که در تحقیقات گذشته آمده است)

فرآیند انتخاب مشخصه‌های ممتاز بر اساس دو دیدگاه تأثیرگذاری بر عملکرد پایشگر و تأثیرگذاری بر مصرف سوخت و آلاینده‌های دود برای نخستین بار در این مطالعه مطرح و بررسی شده است. برای نیل به این هدف شاخص کلی بدین شرح تعیین می‌گردد.

۱- مشخصه ای که دامنه تغییرات بیشتری در طول زمان و در شرایط شدامد مختلف داشته باشد برای دسته‌بندی شرایط شدامد مناسب‌تر می‌باشد چراکه تغییرات شرایط شدامد را بهتر نمایش خواهد داد. برای این مورد می‌توان از مقدار عادی سازی^۱ شده کمیت انحراف معیار تغییرات هر مشخصه به عنوان شاخص استفاده نمود. به منظور نرمالیزه کردن هر مشخصه معادله (۱۸) استفاده شده است:

۱ - Normalize

۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مشخصه‌های رانندگی، پیوند آنها و همچنین تأثیر آنها بر میزان مصرف سوخت و آلایندگی خودرو پرداخته شد. جمع‌آوری داده‌های رانندگی در شرایط شدآمد واقعی و به کمک یک سامانه پیشرفته موقعیت‌یاب خودرو (AVL) که بر اساس فناوری موقعیت‌یاب عمل می‌کند، انجام پذیرفت. ۲۱ عدد مشخصه رانندگی بر اساس رشته زمانی سرعت خودرو تعریف و بررسی شد. پیوند بین مشخصه‌های رانندگی به منظور تعیین مشخصه‌های مستقل بررسی شد. همچنین تأثیر مشخصه‌های رانندگی بر مصرف سوخت و آلاینده‌های خودرو با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای ارزیابی شد. برای این کار از نرم افزار Advisor برای شبیه‌سازی دو نوع خودرو سمند معمولی و سمند دورگه با موتور ملی بنزین‌سوز، بهره برده شد و نتایج شبیه‌سازی در چند مورد با آزمایش عملی مقایسه شد که حاکی از خطای اندک شبیه‌سازی‌ها بود. در انتها شاخص‌دهی مشخصه‌های رانندگی با استفاده از یک شاخص کلی صورت گرفت و مشخصه‌های برتر شناسایی و معرفی شدند. مشخصه‌های رانندگی مهمتر را می‌توان در دسته‌بندی شرایط شدآمد، توسعه چرخه‌های رانندگی، دسته‌بندی الگوهای رانندگی و پایش هوشمند خودروهای دورگه استفاده کرد.

چنانچه شاخص‌های یادشده برای هر یک از ۲۱ مشخصه محاسبه و عادی‌سازی گردند، مشخصه‌هایی که در مجموع بیشترین مقادیر شاخص مجموع را دارا باشند انتخاب خواهند شد. نتایج این تحلیل در جدول ۵ آمده است. با توجه به تعریف شاخص کلی و نتایج ارائه شده، مشاهده می‌گردد که به ترتیب مشخصه‌های دسته VDDF و IDF از امتیاز بیشتری نسبت به دسته ADDF برخوردارند.

جدول ۵ مشخصه‌های ممتاز به ترتیب اهمیت در خودرو سمند دورگه

Hybrid Samand(Electric Assist Controller)

Feature Name	Feature No.	Index
Energy	3	0.6481
Mean of Velocity	1	0.6259
Displacement	16	0.6256
Maximum Velocity	6	0.5950
Minimum Velocity	7	0.5401
Idle Time Percentage	5	0.4785
Cruise Percentage	13	0.4765
Variance of Energy	4	0.4549
(max velocity)-(min velocity)	8	0.3947
Average Accelerating	11	0.3707
Relative Positive	18	0.3446
Acceleration (RPA)		
Maximum Acceleration	14	0.3342
Variance of Velocity	2	0.3227
Average Decelerating	12	0.308
% time acceleration>1.5	20	0.293
Minimum Acceleration	15	0.2889
% time v.a is 3-6	21	0.2873
Relative Negative	19	0.2820
Acceleration (RNA)		
Variance of Acceleration	10	0.2811
Mean Square Acceleration	17	0.2807
Mean of Acceleration	9	0.1904

Reference:

- [1] Ehsani M., Gao Y., Gay S. E., Emadi A. , "Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles", Crc Press, 2005.
- [2] Chauand K. T., Wong Y. S., "Overview of Power Management in Hybrid Electric Vehicles", Energy Conversion and Management, Vol. 43, 2002, pp. 1953-1968.
- [3] Schouten N. ,Salman M. , Kheir N. , "Fuzzy Logic Control for Parallel Hybrid Vehicles", IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2002 :Vol. 10, pp. 460-468.
- [4] Montazeri-Gh M., Poursamad A., Ghalichi B. , "Application of Genetic Algorithm for Optimization of Control Strategy in Parallel Hybrid Electric Vehicles", Journal of the Franklin Institute 343 (2006) : 420–435.
- [5] Poursamad A. & Montazeri M., "Design of Genetic-Fuzzy Control Strategy for Parallel Hybrid Electric Vehicles ",Control Engineering Practice 16 (2008) : 861–873.
- [6] Jeon S., Park S., Lee J.M., "Multi-Mode Driving Control of a Parallel Hybrid Electric Vehicle Using Driving Pattern Recognition", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Transactions of the ASME, 2002: Vol. 124, pp.141-148.
- [7] Lin C.C. , Peng H., Jeon S., Lee J.M., "Control of a Hybrid Electric Truck Based on Driving Pattern Recognition", Proceedings of the Advanced Vehicle Control Conference, Hiroshima, Japan, 2002.
- [8] Langari R. and Won J. S., "Intelligent Energy Management Agent for a Parallel Hybrid Vehicle", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, No. 3, May 2005.
- [9] Ericsson E., "Variability in urban driving patterns," Transportation Res. Part D vol. 5, 2000: pp. 337–354.
- [10] Ericsson E., "Independent Driving Pattern Factors and Their Influence on Fuel-Use and Exhaust Emission Factors," Transportation Res. Part D, vol. 6, 2001: pp. 325–341.
- [11] Brundell-Frej K. , Ericsson E. , "Influence of Street Characteristics, Driver Category and Car Performance on Urban Driving Patterns". Transportation Research, Part D, 10, 2005: 213–229.
- [12] Crauser J.-P., Maurin M., and Joumard, "Representative Kinematic Sequences for the Road Traffic in France," SAE Paper 890 875, 1989.
- [13] Kuhler M. and Karstens D., "Improved Driving Cycle For Testing Automotive Exhaust Emissions", SAE Paper 780 650, 1978.
- [14] Beta, Yacoub, Wang, Lyons, Gambino, and Rideout, "Heavy Duty Testing Cycles: Survey and Comparison," SAE Paper, 942263, 1994: pp. 29–41.
- [15] Montazeri-Gh M. and Naghizadeh M. , "Development of Car Drive Cycle For Simulation of Emissions and Fuel Economy", 15th European Simulation Symposium Proceedings, Delft, Netherlands, Oct. 2003.
- [16] Montazeri-Gh M. , and Naghizadeh M., "Development Of the Tehran Car Driving Cycle", International Journal of Environment and Pollution 30 (1), 2007: pp. 106-118.
- [17] Montazeri-Gh M. and Poursamad A. , "Optimization Of Component Sizes In Parallel Hybrid Electric Vehicles Via Genetic Algorithms" ASME 2005, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Orlando, USA.
- [18] Plint M. and Martyr A., "Engine Testing Theory and Practice", Butterworth Heinenmann, Second Edition, 1999.
- [19] Cohen, Cohen, West, & Aiken, "Applied Multiple Regression/Correlation Analysis For the Behavioral Sciences." (3rd Ed.) Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.
- [20] Markel T., Brooker A., "ADVISOR: A Systems Analysis Tool For Advanced Vehicle Modeling", National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO 80401, USA, Journal of Power Sources 110, 2002: 255–266.
- [21] United Nations Standard, "ECE R83 Rev3 Amend1", 16 April 2007.