



Comparison of Support Vector Machine and K-Means Algorithms Performance in Extracting the Real Driving Cycle of Combined Tehran-Amol

T. Qaraati¹, A. Momenimovahed¹, M. Azadi^{2*}, S. A. Moosavian³

¹Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Tehran, Iran

²Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

³Department of Agriculture Engineering, Shahriyar Technical and Vocational University, Tehran, Iran

ABSTRACT: Driving cycles represent the vehicle speed as a function of time and are used in vehicle design, fuel management, and the improvement of standard indicators. In this study, four combined driving cycles were extracted using real data. The data was collected from a passenger car with a gasoline engine under real driving conditions while driven from Tehran to Amol based on the car chasing method. A code was generated in MATLAB software to create the desired cycle using support vector machine and K-means algorithms considering mid-range and mean values as group centers. The characteristic parameters of the cycles such as the average speed and the percentage of the car travel time at idle, cruise, accelerating, and decelerating conditions were also calculated. These cycles were compared based on the mean relative error, the root-mean-square error, and the Chi-square test. The results showed that the cycles extracted by the support vector machine were closer to the allowable time interval (less than 1800 seconds); however, the cycle extracted by the K-means algorithm with the mean value as the centers of the generated categories, recorded the least errors. This cycle, in addition to spending most of its time in accelerated motion, represented a greater amplitude of acceleration and velocity fluctuations than other cycles.

Review History:

Received: Nov. 06, 2020

Revised: May, 13, 2021

Accepted: May, 14, 2021

Available Online: May, 19, 2021

Keywords:

Driving cycle

Support vector machine

K-means algorithm

Combined cycle

Classification and clustering

1- Introduction

Driving cycles are data of the speed versus the time that are normally used to assess the performance of the vehicles. There are two common perspectives on categorizing driving cycles.

In the first view, the classification is based on the purpose, which the cycle was proposed. In this way, the cycle falls into one of the legislative or non-legislative groups. The first group is created to determine or modify criteria and is often commissioned by governments. The second group, however, is created for research purposes usually by researchers. The second view classifies cycles into real and synthetic groups according to the data collection method. Synthetic data collection is performed in the laboratory by placing the vehicle in acceleration, deceleration, constant speed, and stopping conditions. The diagram of these cycles shows small fractures and many continuous lines, which makes them non-representative of the real driving conditions. In contrast, in the real cycle data recording, the vehicle is driven on the road under real-world driving conditions and records information, needed to generate the cycle.

Zhao et. [1] proposed the Xi'an driving cycle by taking data from an electric vehicle, using the car chasing method. They grouped the micro-trips with K-means and support vector machine algorithms. They chose the cycle generated

by the support vector machine as the final cycle. Their results showed that this cycle spent a short time in the cruise state. Fotouhi and Montazeri [2] employed an advanced vehicle location recorder and followed the car chasing method to collect the data required for the production of the Tehran cycle from a passenger vehicle. Comparing the created cycle with standard cycles, it was found that the Tehran cycle had a higher average speed than others. Anida and Salisa [3] collected the data needed to generate the real cycle of Kuala Terengganu from three electric vehicles with different battery panels including parallel, series, and single-plate. Data were then turned into micro-trips and categorized by K-means clustering. This cycle was given as an input to AUTONOMIE software to estimate the pollution and the fuel consumption of the vehicles. The results indicated that this cycle was more in the acceleration and deceleration states. The amount of fuel consumption and the carbon dioxide production in the series battery panels was estimated to be more than others.

2- Methodology

The route had a length of 194 km, 79% was on highways, and the rest was on major and minor city streets. Another important feature of this route was its wide range of altitude changes so that it covers a range of about 97 to about 2700 meters above sea level.

*Corresponding author's email: m_azadi@semnan.ac.ir



Table 1. Turbine characteristics

Traffic condition	Light	Semi-light	Semi-heavy	Heavy
Mean speed (km/h)	> 65	40-65	20-40	< 20
Driving duration (s)	> 900	300-900	120-300	< 120

Table 2. Turbine characteristics

Parameters	Value
Duration (s)	1868
Percent of driving time	82.80
Percent of idle time	17.20
Percent of cruise time	4.31
Percentage of accelerated time	38.04
Percentage of deceleration time	40.45
Average driving speed (km/h)	30.26
Average travel speed (km/h)	25.05
Maximum speed (km/h)	123.23
Average positive acceleration (m/s ²)	1.96
Average negative acceleration (m/s ²)	-1.79
Deviation from the average travel speed	37.72
Deviation from the average acceleration	2.36

In this research, the K-means method was compared with the support vector machine. Note that the former is unsupervised while the latter is a supervised grouping algorithm. The advantages of the K-means method include its good accuracy and low computational volume [2]. The support vector machine algorithm, however, is one of the most widely used algorithms in solving nonlinear problems and identifying high-dimensional patterns. The mean speed and the driving duration of labeled data, which are used to train the support vector machine, are presented in Table 1.

3- Results

During 55.3 hours of data collection, 100,303 data points were recorded, of which 1658 micro-trips were obtained. The distance between the two stops, as stated in the literature [2], was considered as a micro-trip. It should be noted that the vehicle was considered as a stop if the vehicle speed and the acceleration were less than 0.1 km/h and 0.1 m/s², respectively. The results of clustering from support vector machine and K-means algorithms are illustrated in Figs. 1 and 2. To create the cycle, mean and mid-range values were used. These two points are usually the best points, representative of the behavior of a bunch of data [5]. Therefore, if the micro-trips are relatively closer to these points in the production of cycles, the cycle will be more similar to the characteristics of total data. The similarity of the cycles with total data was also

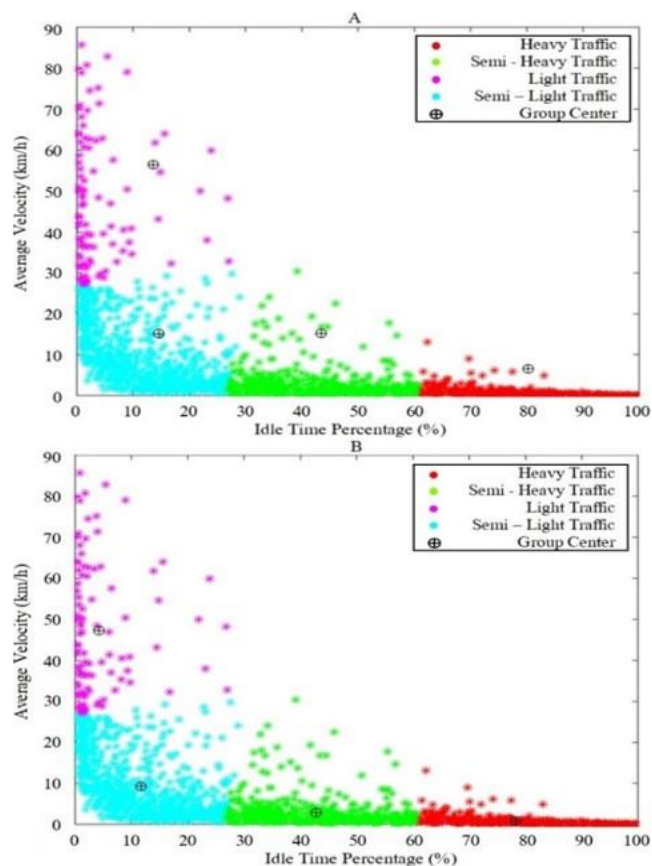


Fig. 1. Classification results of micro-trips using the K-means algorithm (Picture A: Mid-range and Picture B: Mean)

compared based on the mean relative error, the root-mean-square error, and the Chi-square test. By calculating the errors for the cycles, the one clustered by K-means, based on the mean value, illustrated the most similarity to total data. The parameters of this cycle are shown in Table 2.

4- Conclusions

Several driving cycles were estimated from speed-time data collected from a passenger vehicle in the Tehran-Amol route. The results revealed that,

- The K-means algorithm recorded better results than the support vector machine. This may be due to the effects that were defined in the training process.
- The supervised algorithms due to the training process, could classify data more accurately. But the generated driving cycle was not necessarily the best one.
- The cycle with the most similarity to total data was a very low speed cycle, which was due to the roughness of the path.
- The acceleration changes of this cycle (Tehran-Amol) were higher than other previously studied cycles that could be attributed to the Iranian driving culture.
- Investigating the average positive and negative acceleration values, as well as the deviation from the average travel speed and the acceleration, it is clear that the cycle was significantly different than other cycles.

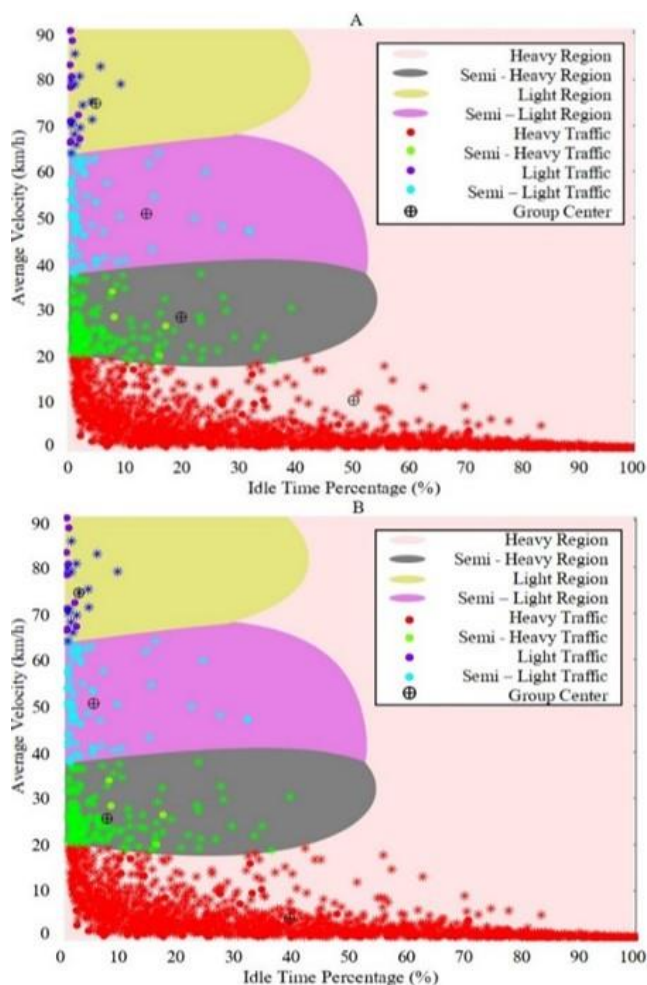


Fig. 2. Classification results of micro-trips using the support vector machine (Picture A: Mid-range and Picture B: Mean)

References

- [1] X. Zhao, Q. Yu, J. Ma, Y. Wu, M. Yu, Y. Ye, Development of a representative EV urban driving cycle based on a K-means and SVM hybrid clustering algorithm, *Journal of Advanced Transportation*, 2018 (2018) 1890753.
- [2] A. Fotouhi, M. Montazeri-Gh, Tehran driving cycle development using the K-means clustering method, *Scientia Iranica*, 20 (2013) 286-293.
- [3] I.N. Anida, A.R. Salisa Driving cycle development for Kuala Terengganu city using K-means method, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9 (2019) 1780-1787.
- [4] Y. Nguyen, N.D. Bui, T.-D. Nghiem, A. Le, GPS data processing for driving cycle development in Hanoi, Vietnam, *Journal of Engineering Science and Technology*, 15 (2020) 1429-1440.
- [5] Median vs. average to describe normal, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, 2019, <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/>.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

T. Qaraati, A. Momenimovahed, M. Azadi, S. A. Moosavian, *Comparison of Support Vector Machine and K-Means Algorithms Performance in Extracting the Real Driving Cycle of Combined Tehran-Amol*, *Amirkabir J. Mech Eng.*, 53(9) (2021) 1177-1180.

DOI: 10.22060/mej.2021.19222.6980





مقایسه عملکرد الگوریتم‌های ماشینی بردار پشتیبان و میانگین کی در استخراج چرخه واقعی رانندگی ترکیبی تهران - آمل

تابان مهر قرائتی^۱، علی مؤمنی موحد^{۲*}، محمد آزادی^{۳*}، سید اشکان موسویان^۳

۱- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

۲- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۶

بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴

ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹

کلمات کلیدی:

چرخه رانندگی

ماشین بردار پشتیبان

الگوریتم میانگین کی

چرخه ترکیبی

دسته‌بندی و طبقه‌بندی

خلاصه: چرخه‌های رانندگی داده‌هایی بر حسب سرعت و زمان هستند که از آن‌ها در طراحی خودروها، مدیریت حمل و نقل و سوخت، تبیین و بهسازی شاخص‌های استاندارد استفاده می‌شود. در این پژوهش، چهار چرخه رانندگی ترکیبی بر اساس داده‌های واقعی استخراج گردید. برای رسیدن به این هدف، داده‌برداری با استفاده از یک خودروی سواری با موتور بنزین‌سوز به روش تعقیب خودرو، در مسیری از تهران به آمل، تحت شرایط رانندگی واقعی انجام شد. پس از آن در نرم‌افزار متلب، با استفاده از الگوریتم‌های ماشینی بردار پشتیبان و میانگین کی و با در نظر گرفتن مقادیر میان‌برد و میانگین به عنوان مراکز دسته‌ها، یک کد برای تولید چرخه‌های مورد نظر، و محاسبه پارامترهای مشخصه‌ی آن‌ها، نظیر سرعت متوسط، درصد زمان پیمایش خودرو در حالت‌های درجا، بدون شتاب، شتابگیری مثبت و منفی ایجاد شد. سپس این چرخه‌ها بر اساس میانگین خطای نسبی، خطای ریشه میانگین مربع و آزمون مربع چی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد اگرچه، چرخه‌های استخراج شده توسط ماشین بردار پشتیبان به بازه زمانی مجاز (کمتر از ۱۸۰۰ ثانیه) نزدیک‌ترند، اما چرخه استخراج شده توسط الگوریتم میانگین کی و میانگین به عنوان مراکز دسته‌های ایجاد شده، کمترین خطاها را ثبت نموده است. این چرخه علاوه بر آن که بیشتر زمان خود را در حال حرکت شتابدار بوده است، دامنه نوسانات شتابی و سرعتی بیشتری را نسبت به دیگر چرخه‌های مورد مقایسه گزارش نمود.

۱- مقدمه

چرخه‌های رانندگی، اطلاعاتی بر پایه سرعت و زمان هستند که از آن‌ها در تبیین و بهبود استانداردها استفاده می‌شود. دو دیدگاه رایج در دسته‌بندی چرخه‌های رانندگی وجود دارد. در دیدگاه اول دسته‌بندی بر مبنای هدفی که چرخه برای آن ایجاد شده انجام می‌شود؛ بدین صورت چرخه در یکی از گروه‌های استاندارد^۱ و یا غیر استاندارد^۲ قرار می‌گیرد. گروه اول به منظور تبیین و یا اصلاح معیارها و اغلب به سفارش دولت‌ها ایجاد می‌شوند. این در حالیست که گروه دوم با مقاصد تحقیقاتی و معمولاً توسط محققان ایجاد می‌شوند. بر طبق این روش دسته‌بندی چرخه‌هایی همچون چرخه اروپا^۳، چرخه فدرال آمریکا^۴ و چرخه ۱۰ تا ۱۵ ژاپن^۵ در گروه اول و چرخه‌هایی

مانند هنگ کنگ^۶ و شی‌آن^۷ در گروه دوم قرار می‌گیرند. دیدگاه دوم چرخه‌ها را با توجه به روش داده‌برداری، در دو گروه واقعی^۸ و غیرواقعی^۹ طبقه‌بندی می‌کند. داده‌برداری غیرواقعی در آزمایشگاه و با قرار دادن خودرو در وضعیت‌های شتاب‌گیری^{۱۰}، کاهش شتاب^{۱۱}، حرکت با سرعت ثابت^{۱۲} و توقف^{۱۳} انجام می‌شود. در نمودار این چرخه‌ها شکستگی‌های اندک و خطوط پیوسته فراوان به چشم می‌خورد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که تشابه آن‌ها به شرایط واقعی رانندگی کمتر از چرخه‌های واقعی باشد. در داده‌برداری چرخه‌های واقعی، خودرو به سطح شهر برده شده و تحت شرایط واقعی رانندگی اطلاعات مورد نیاز برای تولید چرخه را ثبت می‌کند. نمودار این چرخه‌ها اغلب پر از شکستگی بوده که مشابه شرایط رانندگی در سطح شهر

6 Hong Kong Driving Cycle

7 Xi'an

8 Real

9 Modal

10 Accelerating

11 Decelerating

12 Cruise

13 Idle

1 Legislative

2 Non-Legislative

3 New European Driving Cycle (NEDC)

4 Federal Test Procedure (FTP-75)

5 Japanese 10-15 Mode Emission Test Cycle (JP 10-15)

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m_azadi@semnan.ac.ir
momenimovahed@eng.ikiu.ac.ir



رانندگی واقعی شهر ادینبرا^{۱۶}، پایتخت اسکاتلند، را با داده‌برداری به روش تعقیب خودرو و با کمک یک کد به نام ترفیکس^{۱۷} تولید کردند. پس از مقایسه پارامترهای مشخصه چرخه ایجاد شده با چرخه کمیسیون اقتصادی اروپا^{۱۸}، آشکار شد که مقادیر بدست آمده بسیار نزدیک به چرخه معیار بوده و در چرخه ادینبرا سهم حالت‌های شتاب‌گیری و توقف نسبت به دیگر حالت‌های پیمایش بیشتر بوده است. ژینگ^{۱۹} و همکاران [۶] در تولید چرخه واقعی شهر تیانجین^{۲۰} در چین، از یک خودرو الکتریکی داده‌های سرعت خودرو، ولتاژ، شارژ و همچنین تخلیه باتری را جمع‌آوری کردند. سپس با استفاده از روش جداسازی دو دسته فیشر^{۲۱}، ریز- سفرها در دو گروه ترافیک سبک و سنگین قرار داده شدند. چرخه ایجاد شده در مقایسه با سایر چرخه‌های واقعی بیشتر زمان پیمایش را در وضعیت شتابدار بوده و همچنین میانگین سرعت کمتری را ثبت نمود.

گالگاموا^{۲۲} و همکاران [۷] با استفاده از یک خودروی سواری و دستگاه موقعیت‌یاب، برای تولید یک چرخه بزرگراهی واقعی در جنوب سریلانکا اقدام به داده‌برداری کردند. پس از بوجود آوردن این چرخه بزرگراهی و مقایسه پارامترهای مشخصه آن با دیگر چرخه‌ها، نتایج نشان داد که چرخه مورد مطالعه بیشتر زمان پیمایش را در وضعیت رانندگی با سرعت ثابت گذرانده و همچنین میانگین سرعت آن، با تفاوتی بسیار اندک نسبت به دیگران، کمترین مقدار است. لیو^{۲۳} و همکاران [۸] چرخه شهر هفی^{۲۴} را با داده‌های یک اتومبیل سواری و دسته‌بندی آن‌ها به کمک الگوریتم میانگین کی ایجاد کردند. چرخه تولید شده در این پژوهش میانگین سرعت بیشتری را در مقایسه با سایر چرخه‌ها ثبت نمود و بیشتر زمان پیمایش خود را در حالت کاهش شتاب سپری کرده است. صالح^{۲۵} و همکاران [۹] در تولید چرخه واقعی ادینبرا برای موتورسیکلت‌ها، داده‌برداری را در مسیرهایی به دور دانشگاه نیپیر^{۲۶} این شهر انجام دادند. آن‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها از یک جعبه عملکرد^{۲۷} که نوعی دیتا لاگر بر مبنای موقعیت‌یاب است، استفاده و سپس ریز- سفرها را در دو گروه شهری و حومه دسته‌بندی کردند. پس از ایجاد

است. این دیدگاه چرخه‌هایی نظیر چرخه اروپا و چرخه ۱۰ تا ۱۵ ژاپن را غیر واقعی و چرخه‌هایی مانند چرخه فدرال آمریکا و چرخه ۸ ژاپن^۱ را واقعی می‌داند.

از پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، در ادامه، به چند نمونه اشاره شده است. ژائو^۲ و همکاران [۱] چرخه رانندگی شی‌آن را با داده‌برداری از یک خودروی الکتریکی و به روش تعقیب خودرو^۲ ایجاد کردند. آن‌ها ریز- سفرها^۴ را با الگوریتم‌های میانگین‌کی^۵ و ماشین بردار پشتیبان پردازش و در نهایت چرخه تولید شده توسط ماشین بردار پشتیبان را به عنوان چرخه نهایی معرفی کردند. نتایج نشان داد که این چرخه در مقایسه با چرخه‌های استاندارد، مدت کمی را در وضعیت بدون شتاب بوده است. در پژوهشی دیگر، ژائو و همکاران [۲] چرخه شهر شی‌آن را برای خودروهای الکتریکی و با استفاده از الگوریتم میانگین سی^۶ که از الگوریتم‌های بدون ناظر است، ایجاد کردند. نتایج نشان داد که چرخه ایجاد شده، در مقایسه با چرخه‌های استاندارد خودروهای الکتریکی، میزان مصرف انرژی را با دقت بالاتری تخمین زده است. آرون^۷ و همکاران [۳] در شرایط واقعی و با نصب موقعیت‌یاب جهانی^۸ بر روی خودروهای سواری و موتورسیکلت‌ها اطلاعات مورد نیاز برای ایجاد چرخه شهر چنای^۹ هند را بدست آوردند. با مقایسه نتایج این چرخه با چرخه چندین شهر دیگر، مشخص شد که چرخه ایجاد شده دارای میانگین سرعت کمتر و درصد زمان شتاب‌گیری بیشتر نسبت به سایرین است.

کمبل^{۱۰} و همکاران [۲][۴] با داده‌برداری به روش تعقیب خودرو چرخه واقعی شهر پونا^{۱۱} هند را ایجاد کردند. آنالیز داده‌ها با استفاده از ماتریس تناوب سرعت - شتاب^{۱۲} و سپس ماتریس سرعت - شتاب نرمال شده^{۱۳} صورت پذیرفت. بر اساس نتایج بدست آمده خودرو بیشتر زمان پیمایش را در وضعیت بدون شتاب بوده و عدد ۲۱ کیلومتر بر ساعت نیز برای میانگین سرعت^{۱۴} این پژوهش گزارش شده است. استیوز بوث^{۱۵} و همکاران [۵] چرخه

- 1 Japanese Cycle 08 (JC 08)
- 2 Zhao
- 3 Car Chasing
- 4 Micro-Trip
- 5 K-means
- 6 C-means
- 7 Arun
- 8 Global Positioning System (GPS)
- 9 Chennai
- 10 Kamble
- 11 Pune
- 12 Speed - Acceleration Frequently Matrix (SAFM)
- 13 Speed - Acceleration Normalized Matrix (SANM)
- 14 Average Speed
- 15 Esteves-Booth

- 16 Edinburgh
- 17 TRAFIX
- 18 Economic Commission for Europe
- 19 Jing
- 20 Tianjin
- 21 Two-class Fisher's Discrimination
- 22 Galgamuwa
- 23 Liu
- 24 Hefei
- 25 Saleh
- 26 Napier University
- 27 Performance box (P-box)

وضعیت حرکت بدون شتاب گذرانده است؛ سایر حالت‌های پیمایش تقریباً سهمی مشابه یکدیگر داشتند. رضوی [۱۴] با استفاده از یک خودروی سواری و دستگاه موقعیت‌یاب، به روش تعقیب خودرو، داده‌های مورد نیاز در تولید چرخه مشهد را جمع‌آوری کرد. سپس داده‌های ثبت شده توسط موقعیت‌یاب را با استفاده از روش مونت کارلو^{۱۰} هموار ساخته و با محاسبه ماتریس توزیع مشترک سرعت و شتاب چرخه مورد نظر را ایجاد کرد. پس از تولید چرخه، از طریق شبیه‌سازی، تناسب خودرو با نوع کاربری آن مورد ارزیابی قرار گرفت. با محاسبه مقادیر بیشینه سرعت و شتاب مشخص شد که خودرو برای برآورده کردن نیاز کاربر تنها به ۶۹ درصد توان خود نیاز دارد. بردی^{۱۱} و اوماهونی^{۱۲} [۱۵] در تولید چرخه واقعی رانندگی شهر دوبلین^{۱۳} ایرلند برای خودروهای هیبریدی، از ۷ خودروی هیبریدی میتسوبیشی^{۱۴} مدل I-MiEV^{۱۵} استفاده کردند. آن‌ها داده‌های خود را با نصب موقعیت‌یاب و دیتا لاگر به خودرو و دریافت اطلاعات از سنسورهای موجود در شبکه کنترل‌گر ناحیه‌ای^{۱۶} بدست آوردند. پس از تبدیل داده‌ها به ریز-سفر، برای دسته‌بندی از کمی‌سازی بردار خطی^{۱۷}، که از روش‌های دسته‌بندی با ناظر است، استفاده شد تا آن‌ها را در دو گروه شهری و بزرگراهی قرار دهد. با تولید چرخه، محاسبه پارامترها و مقایسه با چرخه‌های دیگر مشخص شد که تمامی پارامترهای مشخصه چرخه دوبلین در محدوده سایر چرخه‌ها است. همچنین می‌توان گفت که سهم هر یک از انواع پیمایش تقریباً مشابه دیگران بوده است.

چائوهان بوسکی^{۱۸} و همکاران [۱۶] داده‌های مورد نیاز در تولید چرخه رانندگی شهر وادودارا^{۱۹} در هند را از موتورسیکلت، موتور سه‌چرخ و خودروی سواری در چهارراه‌ها جمع‌آوری کردند. سپس با تشکیل ماتریس تناوب سرعت-شتاب چرخه مورد نظر را ایجاد کردند. با تولید چرخه، سه پارامتر درصد زمان افزایش شتاب، توقف و کاهش شتاب برای هر یک از وسایل نقلیه محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردید. موتور سه‌چرخ بیشترین درصد زمان شتابگیری و خودروی سواری بیشترین درصد زمان کاهش شتاب را به خود اختصاص دادند. تامسانیا^{۲۰} و همکاران [۱۷] تولید چرخه واقعی

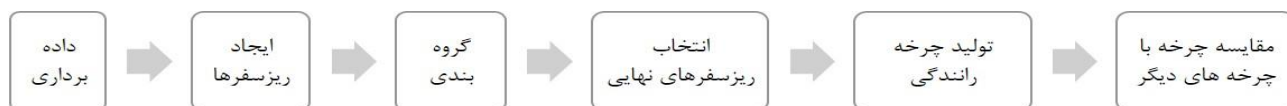
چرخه و محاسبه و مقایسه پارامترهای مشخصه آن با چرخه‌های استاندارد، آشکار شد که کمترین میزان درصد زمان پیمایش بدون شتاب و کمترین زمان توقف مربوط به چرخه مورد پژوهش بوده است. در سایر پارامترها چرخه موتورسیکلت ادینبرا در محدوده دیگر چرخه‌ها قرار داشت.

فتوحی و منتظری [۱۰] داده‌های مورد نیاز در تولید چرخه تهران را از یک خودروی شخصی، به روش تعقیب خودرو و با استفاده از دستگاه ثبت‌کننده خودکار موقعیت خودرو^۱ جمع‌آوری کردند. پس از تبدیل این داده‌ها به ریز-سفر، دو ویژگی میانگین سرعت و درصد زمان توقف محاسبه گردید تا الگوریتم میانگین کی داده‌ها را بر مبنای آن‌ها در چهار گروه قرار دهد. از مقایسه چرخه ایجاد شده با چرخه‌های استاندارد مشخص شد که چرخه تهران از میانگین سرعت بیشتری نسبت به دیگر چرخه‌ها برخوردار است. ژو^۲ و همکاران [۱۱] داده‌های مورد نیاز در تولید چرخه واقعی شهر شن‌یانگ^۳ چین را از یک خودرو سواری و به روش تعقیب خودرو، با استفاده از دستگاه جعبه عملکرد جمع‌آوری کردند. با ایجاد ریز-سفرها و با استفاده از میانگین کی این داده‌ها در سه گروه دسته‌بندی شدند. پس از تولید چرخه، نتایج نشان می‌داد که این چرخه تقریباً تمام زمان پیمایش را در حالت شتابدار سپری کرده است. ماهایادین^۴ و همکاران [۱۲] در تولید چرخه واقعی کوالامپوره^۵ حدود ۸۵ درصد داده‌ها را از جاده‌های شهری و مابقی را از بزرگراه‌ها برداشت کردند. پس از تولید ریز-سفرها، ترکیبی از آن‌ها به عنوان چرخه نهایی معرفی شد که کمترین خطای مربع چی^۶ را داشته باشد. با تشکیل چرخه و محاسبه و مقایسه پارامترهای مشخصه چرخه با چرخه‌هایی نظیر چرخه جهانی^۷، چرخه فدرال آمریکا و چرخه ۸ ژاپن مشخص شد که چرخه استخراج شده از میانگین سرعت بیشتری برخوردار است؛ حال آن‌که از لحاظ نوع پیمایش، همچون سایرین، بیشتر زمان رانندگی را در وضعیت حرکت بدون شتاب گذرانده است.

تنگ^۸ و همکاران [۱۳] در تولید چرخه غیر استاندارد هنگ‌کنگ با استفاده از یک خودروی ون مدل تویوتا های‌آس^۹ اقدام به داده‌برداری کردند. پس از ایجاد چرخه، آشکار شد که خودرو تنها ۱۰ درصد زمان پیمایش را در

10 Monte Carlo
11 Brady
12 O'Mahony
13 Dublin
14 Mitsubishi
15 Mitsubishi innovative electric vehicle
16 Contoller Area Network (CAN)
17 Linear Vector Quantization (LVQ)
18 Chauhan Boski
19 Vadodara
20 Tamsanya

1 Advanced Vehicle Location
2 Zhou
3 Shenyang
4 Mahayadin
5 Kuala Lumpur
6 Chi-Square Test
7 Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles (WLTC)
8 Tong
9 Toyota Hiace Van



شکل ۱. نمودار روند مطالعه صورت گرفته

Fig. 1. The graph of the study process

میانگین^۹ داده‌ها و میان‌برد^{۱۰} آن‌ها به عنوان مراکز دسته‌های ایجاد شده، با سایر پژوهش‌های ذکر شده در پیشینه تحقیق متفاوت است. همچنین، مقایسه نتایج دو الگوریتم مختلف در استخراج چرخه رانندگی و استفاده از داده‌های کامپیوتر موتور خودرو نیز، از نوآوری‌های این مقاله محسوب می‌شود. چرخه حاصل از این پژوهش، به دلیل ترکیبی بودن نوع مسیر (داخل و خارج شهر) و واقعی بودن آن، می‌تواند در تحلیل‌های آلاینده‌ها، مصرف سوخت و تعیین عمر قطعات که همگی در طراحی موتور وسایل نقلیه کاربرد دارند مفید واقع شود. بعلاوه با توجه به حجم بالای خودروهای عبوری از مسیر مورد بررسی و اهمیت بالای این مسیر در بحث ترانزیت و جابجایی کالاها، چرخه بدست آمده می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت حمل و نقل، سودمند باشد. ضمناً در تدوین استانداردهای آلاینده‌ها، مصرف سوخت و یا حتی طراحی قطعات و موتور خودرو، چرخه رانندگی می‌تواند مورد استفاده واقع شود.

۲- الگوسازی نظری یا تجربی

در تولید هر چرخه رانندگی چندین گام برداشته می‌شود که شامل داده‌برداری، پردازش داده‌ها، انتخاب ریز-سفرهای مطلوب برای ارائه در چرخه و در نهایت تولید چرخه هستند. در ادامه هر یک از این مراحل برای تولید چرخه تهران-آمل طی خواهند شد. و در نهایت این چرخه با چندین چرخه استاندارد و تحقیقاتی که در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند مورد مقایسه قرار می‌گردد. در شکل ۱ نمودار روند دستیابی به چرخه مورد مطالعه ارائه شده است.

۲-۱- داده‌برداری

داده‌های این مقاله از یک خودروی سمند با موتور EFV بنزینی، به روش داده‌برداری از خودروی مرجع، با استفاده از تجهیزات استخراج داده‌ها از واحد

شهر بانکوک^۱ تایلند را با داده‌برداری از یک خودروی سواری بنزینی و به روش تعقیب خودرو و در مناطق شهری آغاز کردند. همچنین آن‌ها داده‌های مربوط به آلاینده‌ها و سوخت مصرف شده را به روش تجربی و با بارگذاری خودرو تحت چرخه تولید شده بدست آوردند. با محاسبه و مقایسه پارامترهای مشخصه چرخه و مقادیر آلاینده‌ها و مصرف سوخت خودرو در این چرخه با چرخه‌های استاندارد، آشکار شد که در چرخه بانکوک خودرو بیشتر زمان خود را در حالت توقف سپری می‌کند. این چرخه در مصرف سوخت و تمامی موارد مورد بررسی در زمینه آلاینده‌ها، بجز تولید اکسیدهای نیتروژن، بیشترین مقادیر را در مقایسه با دیگر چرخه‌ها ثبت کرده که در میان آن‌ها گاز دی‌اکسید کربن بیشترین سهم را دارا بوده است. آنیدا^۲ و سالیسا^۳ [۱۸] داده‌های مورد نیاز برای تولید چرخه واقعی شهر کوالا ترنگگانو^۴ در مالزی را از سه خودروی الکتریکی جمع‌آوری کردند. صفحات باتری هر یک از خودروها بصورت موازی^۵، سری^۶ و تک صفحه‌ای^۷ بسته شد. سپس داده‌ها تبدیل به ریز-سفر و توسط میانگین کی دسته‌بندی شدند. این چرخه به عنوان ورودی به نرم‌افزار اتونومی^۸ داده شد تا میزان آلاینده‌ها و مصرف سوخت آن برآورد شود. نتایج حاکی از آن بود که این چرخه بیشتر در وضعیت شتابدار بوده است. میزان مصرف سوخت و تولید دی‌اکسید کربن در خودرو با صفحات باتری سری بیش از سایرین تخمین زده شد.

مطالعه صورت گرفته در این مقاله از حیث مسیر مورد بررسی ترکیبی شهری و بین شهری (تهران-آمل) و همچنین مقایسه تأثیر استفاده از

- 1 Bangkok
- 2 Anida
- 3 Salisa
- 4 Kuala Terengganu
- 5 Parallel plug-in hybrid electric vehicle
- 6 Series plug-in hybrid electric vehicle
- 7 Single split-mode plug-in hybrid electric vehicle
- 8 AUTONOMIE

9 Mean
10 Mid-range

جدول ۱. اطلاعات خودرو بکار گرفته شده در داده برداری

Table 1. Information for the vehicle used in data collection

حد آلاینده‌گی	وزن خودرو	حداکثر سرعت	تعداد سوپاپ	حجم موتور	حداکثر گشتاور	حداکثر قدرت	نوع موتور
بورو ۴	۱۲۵۷ kg	۱۹۰ km/h	۱۶	۱۶۵۰ cc	۴۵۰۰-۳۵۰۰ rpm	۶۰۰۰ rpm	بنزینی ۴ سیلندر EFV
					۱۵۵ Nm	۱۱۳ hp	



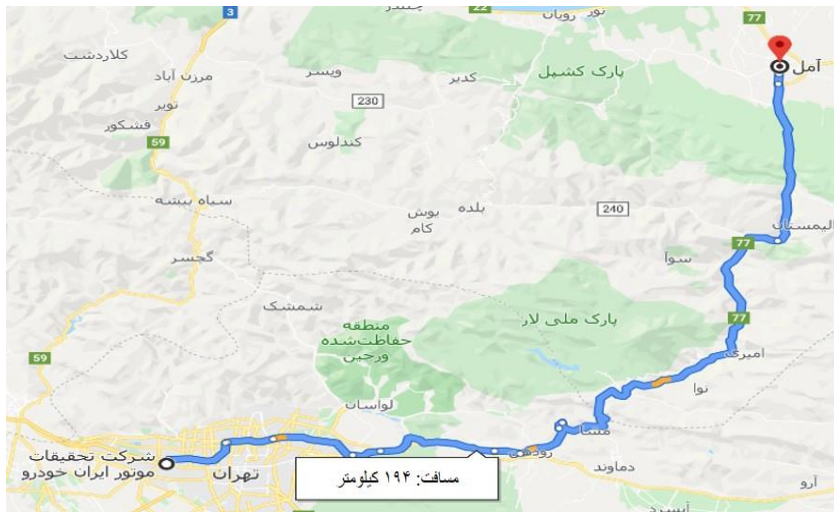
شکل ۲. تصاویری از تجهیزات استخراج اطلاعات از واحد کنترل موتور خودرو [۲۱]

Fig. 2. Pictures of data acquiring equipment from the engine control unit of the vehicle

رفتار رانندگانی می‌پیماید که در طول مسیر، خودرو آن‌ها در جلوی او قرار می‌گیرد. این روش که به داده برداری با استفاده از تجهیزات بر روی خودرو^۴ نیز شهرت دارد، به دلیل استفاده از تنها یک اتومبیل و عدم نیاز به تجهیزات گران قیمت، نسبت به دو روش خودرو پیرو و شبیه‌سازی هزینه کمتری را در پی دارد. از طرف دیگر، چون داده‌ها بگونه‌ای در حال ثبت هستند که گویی تعداد زیادی راننده در این عملیات مشترک بوده‌اند، اطلاعات بدست آمده بهتر می‌توانند نمایانگر رفتار رانندگی آن جامعه باشد؛ به همین دلیل این روش از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است [۱۴]. از ویژگی‌های یک مسیر مناسب برای داده برداری باید به مواردی همچون حجم بالای ترافیک، وجود شرایط مختلف جغرافیایی، وجود چهارراه‌ها و میادین مختلف در آن، عبور از مناطق پر جمعیت و دسترسی به سیستم حمل و نقل عمومی اشاره کرد [۲۰] که مسیر انتخاب شده از تمامی این خصوصیات برخوردار است. مسیر مورد بررسی طولی برابر با ۱۹۴ کیلومتر دارد که ۷۹ درصد آن در جاده‌های بزرگراهی نظیر اتوبان تهران- کرج و جاده هراز و مابقی آن در خیابان‌های اصلی و فرعی شهر آمل، که یکی از شهرهای پر جمعیت شمال کشور است، پیموده می‌شود. تصویر این مسیر

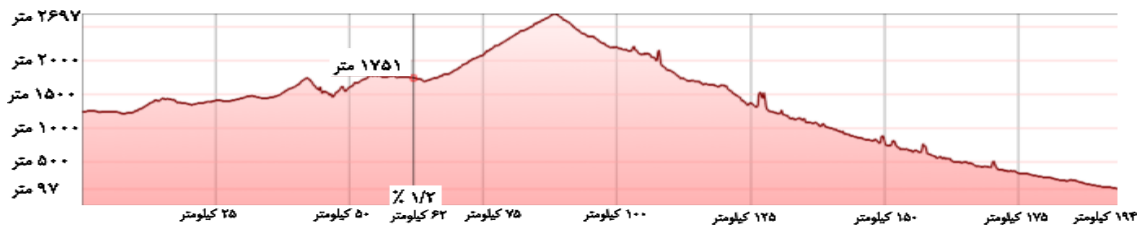
کنترل موتور^۱ خودرو، در شرایط واقعی رانندگی و در مسیری که از تهران آغاز و به مرکز شهر آمل ختم می‌شود، جمع‌آوری شده است. این اتومبیل یکی از خودروهای رایج در ایران است و به همین دلیل برای داده برداری انتخاب گردید. در جدول ۱ اطلاعات خودرو و در شکل ۲ تصاویری از تجهیزات بکار گرفته شده به نمایش در آمده است. یکی از مزیت‌های استفاده از داده‌های واحد کنترل موتور در مقایسه با روش‌های رایجی چون استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی، کاهش چشمگیر حضور داده‌های پرت در میان اطلاعات دریافت شده است [۱۹]. از روش‌های مرسوم داده برداری می‌توان تعقیب خودرو، خودرو پیرو^۲ و شبیه سازی^۳ را نام برد. خودرو پیرو روشی است که در آن دو خودرو حضور دارند و زمانی که یکی از آن‌ها در حال پیمودن مسیر است، خودرو دوم با حرکت در پشت سر خودرو اول اقدام به داده برداری می‌کند. در روش شبیه‌سازی نیاز به نرم افزارهای تجاری، تجهیزات و همچنین امکانات آزمایشگاهی است که هزینه گزافی را به پروژه تحمیل خواهند کرد. روش تعقیب خودرو بدین صورت است که یک خودرو مجهز به تجهیزات داده برداری، مسیر داده برداری مورد نظر خود را با تقلید

- 1 Engine Control Unit (ECU)
- 2 Car Following
- 3 Simulation



شکل ۳. مسیر داده‌برداری از تهران به آمل [۲۱]

Fig. 3. The path of data collection from Tehran to Amol [21]



شکل ۴. نمودار تغییرات ارتفاع در مسیر مورد پژوهش [۲۱]

Fig. 4. The graph of height changes in the studied path [21]

است. لازم به ذکر است که با در نظر گرفتن $0/1$ کیلومتر بر ساعت به عنوان آستانه سرعت^۱ و $0/1$ متر بر مجذور ثانیه به عنوان آستانه شتاب^۲، زمان‌هایی که مقادیر شتاب و سرعت هردو از مقادیر آستانه‌ای خود کمتر بوده‌اند، به منزله توقف برای خودرو تشخیص داده شده است. پس از تولید ریز-سفرها نوبت به تعیین پارامترهای مشخصه آن‌ها برای شروع عملیات دسته‌بندی می‌رسد. در مقاله پیش رو از دو پارامتر سرعت متوسط و درصد زمان توقف استفاده شده است. علت انتخاب این دو پارامتر برای تعیین ویژگی‌های ریز-سفر در هنگام دسته‌بندی، نتایج بهتر آن‌ها بر روی داده‌های بدست آمده و

در شکل ۳ نمایش داده شده است. دیگر ویژگی مهم این مسیر طیف وسیع تغییرات ارتفاع آن است، بطوری که گستره‌ای حدود ۹۷ تا حدود ۲۷۰۰ متر از سطح دریا را در بر می‌گیرد. در شکل ۴ نمودار تغییرات ارتفاع رخ داده در طول مسیر ارائه شده است.

۲-۲- پردازش اطلاعات

در مدت $55/3$ ساعت داده‌برداری 100.303 داده ثبت گردید که 1658 ریز-سفر از آن‌ها حاصل شد. در تعریفی که برای تعیین ریز-سفر در این مقاله استفاده شده باید گفت که فاصله بین هردو توقف، نظیر آنچه فتوحی و منتظری در مقاله خود در نظر گرفتند (مرجع [۱۰])، نمایانگر یک ریز-سفر

- 1 Speed threshold
- 2 Acceleration threshold

بالای آن‌ها در حل مسائل دسته‌بندی و ثانیاً تعمیم‌پذیری فوق‌العاده آن‌ها است. در زیر، اندکی در رابطه با نحوه عملکرد این دو الگوریتم توضیحاتی داده شده است.

۲-۲-۱- الگوریتم میانگین کی

این الگوریتم n داده N بعدی را به گونه‌ای در K دسته قرار می‌دهد که:

(۱) هیچ داده‌ای در دو گروه قرار نگیرد.

(۲) هیچ داده بدون گروهی باقی نماند.

(۳) هیچ گروه بدون عضوی باقی نماند.

این شروط به ترتیب در روابط (۳) تا (۵) ارائه گردیده است.

$$C_i \neq \emptyset; i = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset; i = 1, \dots, K; j = 1, \dots, K; i \neq j \quad (4)$$

$$\bigcup_{i=1}^K C_i = S \quad (5)$$

اگر x_1, x_2, \dots, x_n مجموعه داده‌هایی باشند که در گروه‌های C_1, C_2, \dots, C_K با این روش دسته‌بندی می‌شوند، الگوریتم میانگین کی به صورت تصادفی تعداد K داده را بصورت z_1, z_2, \dots, z_K به عنوان مراکز دسته از بین n داده مورد بررسی انتخاب می‌کند. اکنون سایر داده‌ها بر اساس فاصله اقلیدسی که تا این مراکز دارند، در یکی از دسته‌ها قرار می‌گیرند (رابطه (۶)).

$$\|x_i - z_j\| < \|x_i - z_p\|; p, j \in 1, 2, \dots, K; j \neq p \quad (6)$$

در مرحله بعد الگوریتم، بار دیگر و از طریق رابطه (۷)، اقدام به تعیین مراکز دسته جدید می‌کند و این عملیات تا زمانی که مراکز دسته قبلی و جدید با یکدیگر برابر شوند ادامه خواهد داشت؛ البته در صورتی که این دو نقطه با یکدیگر برابر نشوند، الگوریتم بر اساس بیشترین تکرار، مرکز دسته را محاسبه کرده و دسته‌بندی را انجام می‌دهد [۱۰].

همچنین تأثیر زیاد آن‌ها بر میزان تولید آلاینده‌ها توسط خودرو، بوده است. از دیگر پارامترهای مرسوم می‌توان به سرعت متوسط و شتاب اشاره کرد، همچون مقاله ژائو (مرجع [۲۲]). روابط (۱) و (۲) به ترتیب بیانگر رابطه سرعت متوسط ریز-سفر و درصد زمان توقف آن می‌باشند. در رابطه (۱) پارامتر N نماینده تعداد داده‌های قرار گرفته در ریز-سفر، V_i سرعت هر یک از داده‌های درون ریز-سفر، $t_{idle-microtrip}$ مدت زمانی که سرعت و شتاب داده‌های ریز-سفر کمتر از مقادیر آستانه بوده و $t_{total-microtrip}$ زمان کل ریز-سفر و یا به عبارت دیگر اختلاف زمان اولین و آخرین داده ریز-سفر هستند [۲۳].

$$V_{mean-microtrip} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \quad (1)$$

$$\%t_{idle} = \frac{t_{idle-microtrip}}{t_{total-microtrip}} \times 100 \quad (2)$$

این دو پارامتر به عنوان ویژگی‌های ریز-سفر به الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و میانگین کی معرفی می‌گردند تا عملیات گروه‌بندی انجام شود. در این پژوهش مقصود آن است که بر اساس کیفیت نتایج حاصل، مقایسه‌ای بین روش‌های گروه‌بندی با ناظر^۱ و بدون ناظر^۲ صورت گیرد. بنابراین روش میانگین کی به عنوان گروه‌بندی بدون ناظر و روش ماشین بردار پشتیبان به عنوان گروه‌بند با ناظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای روش میانگین کی می‌توان به دقت مناسب و حجم محاسبات کم آن اشاره کرد [۱۰]. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان یکی از الگوریتم‌های پر کاربرد در حل مسائل غیرخطی و شناسایی الگوی با ابعاد بالا است. تمام محاسبات این الگوریتم برای رسیدن به ابر صفحه‌ای^۳ است، بطوری که علاوه بر جدا کردن داده‌ها بطور صحیح، بیشترین فاصله ممکن را تا داده‌های دو دسته مورد نظر داشته باشد [۱]. این خاصیت یکی از مزایای روش ماشین بردار پشتیبان است و سبب بالا رفتن دقت و تعمیم‌پذیری آن در مقایسه با روش‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی^۴ می‌شود. علت استفاده از این دو الگوریتم، علاوه بر رایج بودن بکارگیری آن‌ها در استخراج چرخه‌های رانندگی، اولاً دقت

- 1 Supervised
- 2 Unsupervised
- 3 Hyper Plane
- 4 Artificial Neural Network (ANN)

شرایط $\|w\|_2$ ابتدا با استفاده از نظریه لاگرانژ^۲ به دو مسئله تبدیل و سپس با روش برنامه نویسی درجه دو^۳ حداقل سازی می شود. اگر داده‌ها بصورت خطی قابل جداسازی از یکدیگر نباشند، در اینجا تابعی نظیر ϕ وظیفه نگاشت داده‌ها از فضای موجود (R^d) به فضای ویژگی فرا بعدی (H) را بر عهده خواهد گرفت. در این شرایط مسئله دوگانه پس از نگاشته شدن داده‌ها تحت شرایط (۱۴) و (۱۵) به فضای جدید به شکل بیان شده در رابطه (۱۳) در می آید. در این روابط a_i معرف ضرایب لاگرانژ بوده و همواره مقداری مثبت دارد.

$$\max Q(a) = \sum_{i=1}^L a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L a_i a_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (13)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^L a_i y_i = 0 \\ 0 \leq a_i \leq C \end{cases}; i=1,2,\dots,L \quad (14)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^L a_i y_i = 0 \\ 0 \leq a_i \leq C \end{cases}; i=1,2,\dots,L \quad (15)$$

در این معادلات $K(x_i, x_j)$ تابع کرنل^۴ و C یک فاکتور جریمه^۵ برای کنترل میزان جریمه دادهایی که اشتباهاً دسته بندی شده اند است. با فرض $a^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_L^*)^T$ به عنوان ضرایب لاگرانژ مطلوب برای معادله (۱۳)، تابع بهینه طبقه بندی بصورت معادله (۱۶) خواهد بود [۱].

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^L a_i^* y_i K(x_i, x) + b^* \right) \quad (16)$$

۲-۳ گروه بندی ریزسفرها

برای دسته بندی داده‌ها با استفاده از الگوریتم میانگین کی تنها باید تعداد دسته های مورد نظر را مشخص کرد که این عدد برای این پژوهش، ۴ است.

- 2 Lagrange theory
- 3 Quadratic programming method
- 4 Kernel function
- 5 Penalty factor

$$z_i^* = \frac{1}{n_i} \sum_{x_j \in C_i} x_j; i=1,\dots,K \quad (7)$$

۲-۲ ماشین بردار پشتیبان^۱

اگر x مجموعه ای از داده های حقیقی d بعدی باشد که در دو کلاس +۱ و -۱ قرار می گیرند، بنابراین یک بردار d ستونه به نام x و به طول L ایجاد می شود. الگوریتم یک بردار تک ستونه بنام y ، با سطرهایی برابر x و دارای مقادیر مثبت و منفی یک تولید خواهد کرد (معادله (۸)).

$$S = \{(x_i, y_i); i=1,2,\dots,L; x_i \in R^d; y_i \in \{-1,+1\}\} \quad (8)$$

اگر معادله ابر صفحه بهینه بصورت معادله (۹) باشد، الگوریتم برای تشخیص گروه هر داده از معادلات (۱۰) و (۱۱) استفاده خواهد کرد.

$$wx_i + b = 0 \quad (9)$$

$$wx_i + b \geq +1 \rightarrow y_i = +1 \quad (10)$$

$$wx_i + b \leq -1 \rightarrow y_i = -1 \quad (11)$$

که در آن w بردار نرمال ابر صفحه و b انحراف ابر صفحه از خط مستقیم طبقه بندی است. برای تفکیک هرچه بهتر اطلاعات، الگوریتم تلاش می کند تا ابر صفحه ای را بیابد که بیشترین فاصله تا داده های نمونه را دارا باشد. اگر فاصله هر داده نمونه تا ابر صفحه معادله (۱۲) باشد، فاصله بین داده های نمونه از هر یک از دسته ها با یکدیگر بصورت $\frac{2}{\|w\|_2}$ خواهد بود که با حداکثر کردن مقدار آن می توان ابر صفحه بهینه را از میان ابر صفحه های ممکن شناسایی کرد.

$$\varepsilon = |wx_i + b| = 1 \quad (12)$$

برای حداکثر کردن مقدار $\frac{2}{\|w\|_2}$ ، از آنجایی که صورت کسر یک عدد ثابت است، باید مخرج کسر را کمینه کرد. این کار با کمینه ساختن $\|w\|_2$ تحت

1 Support Vector Machine (SVM)

جدول ۲. ویژگی‌های داده‌های برچسب‌دار در چرخه ترکیبی تهران-آمل

Table 2. Characteristics of labeled data in the combined Tehran-Amol cycle

ترافیک سبک	ترافیک نیمه سبک	ترافیک نیمه سنگین	ترافیک سنگین	شرایط ترافیکی
بیش از ۶۵	۴۰ تا ۶۵	۲۰ تا ۴۰	کمتر از ۲۰	متوسط سرعت (km/h)
بیش از ۹۰۰	۳۰۰ تا ۹۰۰	۱۲۰ تا ۳۰۰	کمتر از ۱۲۰	مدت پیمایش (S)

جدول ۳. ویژگی‌های داده‌های برچسب‌دار در چرخه‌های دیگر

Table 3. Characteristics of labeled data in other cycles

ترافیک سبک	ترافیک نیمه سبک	ترافیک نیمه سنگین	ترافیک سنگین	ویژگی	نام چرخه
بیش از ۵۰	۳۵ تا ۵۰	۱۵ تا ۳۵	کمتر از ۱۵	متوسط سرعت (km/h)	هفی [۲۴]
بیش از ۴۰	۲۵ تا ۴۰	۱۰ تا ۲۵	کمتر از ۱۰	متوسط سرعت (km/h)	تهران [۲۵]
بیش از ۱۱۰	۸۰ تا ۱۱۰	۶۰ تا ۸۰	کمتر از ۶۰	متوسط سرعت (km/h)	جهانی [۲۶]
۸۲۴	۴۴۶	۲۳۸	۸۴	میانگین زمان پیمایش (S)	

بهینه‌سازی حداقل متوالی^۳ و عملکرد پایه شعاعی^۴ به ترتیب به عنوان حل کننده^۵ و تابع کرنل بکار گرفته شدند. تابع بهینه‌سازی حداقل متوالی با تبدیل معادلات بهینه‌سازی مورد استفاده در ماشین بردار پشتیبان به چندین مسئله، سرعت و دقت حل را افزایش می‌دهد [۲۷]. تابع عملکرد پایه شعاعی نیز یکی از بهترین توابع برای تفکیک داده‌های خطی و غیر خطی است که تنها نکته‌ای که ممکن است استفاده از آن را کمی پیچیده کند، پارامتری به نام سیگما است که همچون C، تنها با روش سعی و خطا مقدار آن تعیین می‌شود [۲۸]. مقادیر سیگما^۶ و C در این مطالعه به ترتیب برابر ۱ و ۱۰۰ در نظر گرفته شد. تحت این شرایط، الگوریتم هم در تشخیص داده‌های آموزش و هم در تشخیص داده‌های آزمایش^۷، دقت ۱۰۰ درصد را ثبت کرده است. نیمی از داده‌های برچسب‌دار برای آموزش و نیمه دیگر آن برای آزمایش الگوریتم مورد استفاده قرار گرفت.

این طبقه‌بندی چهارتایی در بسیاری از مقالات همچون مرجع [۱۰] برای تعداد دسته‌هایی که معرف تنوع وضعیت‌های ترافیکی مسیر هستند، پیشنهاد گردیده است. ضمناً پس از بررسی‌های انجام شده، مشخص گردید که مسیر مورد مطالعه تهران-آمل (شامل ۷۹ درصد جاده‌های بزرگراهی) نیز، دارای وضعیت ترافیکی متمایز است. برای استفاده از ماشین بردار پشتیبان، علاوه بر آموزش^۱، نیاز است که پارامترهایی بیش از تعداد گروه‌ها مشخص شود. در مرحله آموزش از اطلاعات برچسب‌داری^۲ استفاده می‌شود که در مسیر مورد بررسی برداشته شده‌اند. بازه‌های میانگین سرعت و مدت پیمایش در این پژوهش در جدول ۲ و بازه‌گذاری‌های انجام شده بر روی میانگین سرعت در چرخه رانندگی شهرهای هفی و تهران و برچسب‌گذاری‌های صورت گرفته بر روی متوسط سرعت و میانگین زمان پیمایش در چرخه جهانی در جدول ۳ ارائه شده است.

در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده در این پژوهش، توابع

3 Sequential Minimal Optimization (SMO)
4 Radial Basis Function (RBF)
5 Solver
6 Sigma
7 Test

1 Train
2 Labeled data

جدول ۴. نسبت زمانی داده‌های برداشت شده از هر وضعیت ترافیکی بر اساس الگوریتم‌های بکار رفته

Table 4. The time ratio of data collected from each traffic situation based on the used algorithms

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان		الگوریتم میانگین کی		نام وضعیت ترافیکی
زمان (ثانیه)	نسبت (درصد)	زمان (ثانیه)	نسبت (درصد)	
۷۹,۸۲۸	۴۰/۴۸	۲۷,۸۰۰	۱۴/۷۷	ترافیک سنگین ^۱
۴۰,۶۷۷	۲۰/۸۳	۱۶,۲۹۴	۹/۱۷	ترافیک نیمه سنگین ^۲
۴۳,۰۶۱	۲۲/۰۴	۶۲,۲۱۵	۳۱/۲۲	ترافیک نیمه سبک ^۳
۳۲,۳۵۳	۱۶/۶۵	۸۹,۳۵۵	۴۴/۸۴	ترافیک سبک ^۴

۲-۴- تولید چرخه رانندگی

رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود.

برای تولید چرخه ابتدا باید مشخص شود هر یک از وضعیت‌های ترافیکی چه مقداری از زمان کل پیمایش را شامل می‌شود. این نسبت باید در چرخه نیز رعایت شود. سهم هر یک از وضعیت‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. پس از مشخص شدن نسبت زمانی هر وضعیت، اکنون با در نظر گرفتن ۱۸۰۰ ثانیه به عنوان حداکثر زمان مجاز اقدام به تولید چرخه‌ها می‌شود [۲۶]. برای اینکار از دو مقدار میان‌برد و میانگین استفاده می‌شود. این دو نقطه معمولاً بهترین نقاط برای معرفی رفتار یک دسته از داده‌ها هستند [۲۹]؛ بنابراین اگر از ریز- سفرهای نزدیک به این نقاط در تولید چرخه استفاده شود، چرخه تشکیل شده خصوصیتی مشابه خصوصیات کل داده‌ها را دارا خواهد بود. محاسبه مقادیر میان‌برد و میانگین به ترتیب از روابط (۱۷) و (۱۸) صورت گرفته است [۳۰].

$$\%T_{drive} = \frac{T_{drive}}{T_{total}} \times 100 \quad (19)$$

T_{total} در رابطه بالا زمان کل رانندگی بوده و از رابطه (۲۰) قابل محاسبه است. T_{drive} زمان رانندگی خودرو را نشان می‌دهد و از رابطه (۲۱) محاسبه می‌گردد. در این رابطه مقدار T_{stop} بیانگر توقف خودرو با دور درجا بوده و از رابطه (۲۲) به دست خواهد آمد.

$$T_{total} = t_2 - t_1 + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \quad (20)$$

$$T_{drive} = T_{total} - T_{stop} \quad (21)$$

$$T_{stop} = \begin{cases} (t_2 - t_1) : v_1 = 0 \cap a_1 = 0 \\ 0 : else \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} (t_i - t_{i-1}) : v_i = 0 \cap a_i = 0 \\ 0 : else \end{cases} \quad (22)$$

$$Mid - range = \frac{\max(x_i) + \min(x_i)}{2} \quad (17)$$

$$Mean = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (18)$$

بر این اساس ۴ چرخه ایجاد می‌شود. این چهار چرخه از لحاظ تطابق داده‌های کل با استفاده از ۱۲ پارامتر مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. تمامی روابط (۱۹) تا (۳۷) از مرجع [۲۳] برداشت شده است. درصد زمان رانندگی از

$$\%T_{acc} = \frac{T_{acc}}{T_{total}} \times 100 \quad (28)$$

$$\%T_{dec} = \frac{T_{deceleration}}{T_{total}} \times 100 \quad (29)$$

میانگین سرعت رانندگی و سفر از روابط (۳۰) و (۳۱) بدست می‌آیند. در هردو رابطه پارامتر مسافت را می‌توان از رابطه (۳۲) محاسبه نمود.

$$V_{d_m} = 3.6 \times \frac{dist}{T_{drive}} \quad (30)$$

$$V_{t_m} = 3.6 \times \frac{dist}{T_{total}} \quad (31)$$

$$dist = (t_2 - t_1) \left(\frac{v_1}{3.6} \right) + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \left(\frac{v_i}{3.6} \right) \quad (32)$$

مقادیر سرعت بیشینه، میانگین شتاب مثبت، میانگین شتاب منفی، انحراف از میانگین سرعت سفر و انحراف از میانگین شتاب نیز از روابط (۳۳) تا (۳۷) قابل محاسبه هستند.

$$V_{max} = \max(V) \quad (33)$$

$$a_{p_m} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1: a_i > 0 \\ 0: else \end{cases} \right)^{-1} \times \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i: a_i > 0 \\ 0: else \end{cases} \quad (34)$$

$$a_{n_m} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1: a_i < 0 \\ 0: else \end{cases} \right)^{-1} \times \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i: a_i < 0 \\ 0: else \end{cases} \quad (35)$$

پس از محاسبه زمان توقف، درصد زمان توقف به سادگی از رابطه (۲۳) قابل محاسبه است.

$$\%T_{stop} = \frac{T_{stop}}{T_{total}} \times 100 \quad (23)$$

برای محاسبه درصد زمان رانندگی بدون شتاب از رابطه (۲۴) استفاده خواهد شد. در این رابطه T_{cruise} مدت زمان پیمایش مسیر در حالت بدون شتاب است که از رابطه (۲۵) محاسبه می‌گردد. طبق این رابطه اگر زمان‌های شتابگیری و کاهش شتاب (روابط (۲۶) و (۲۷)) از زمان کل پیمایش کم شود، زمان‌هایی که خودرو با سرعت ثابت در حال حرکت بوده است، بدست می‌آید.

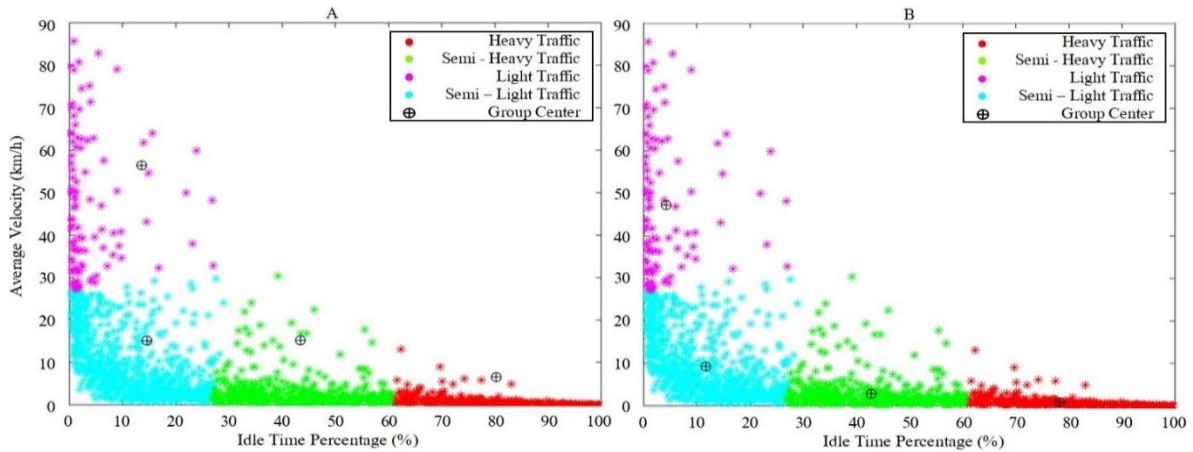
$$\%T_{cruise} = \frac{T_{cruise}}{T_{total}} \times 100 \quad (24)$$

$$T_{cruise} = T_{drive} - T_{acceleration} - T_{deceleration} \quad (25)$$

$$T_{acceleration} = \begin{cases} (t_2 - t_1): a_1 > acc_threshold \\ 0: else \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} (t_i - t_{i-1}): a_i > acc_threshold \\ 0: else \end{cases} \quad (26)$$

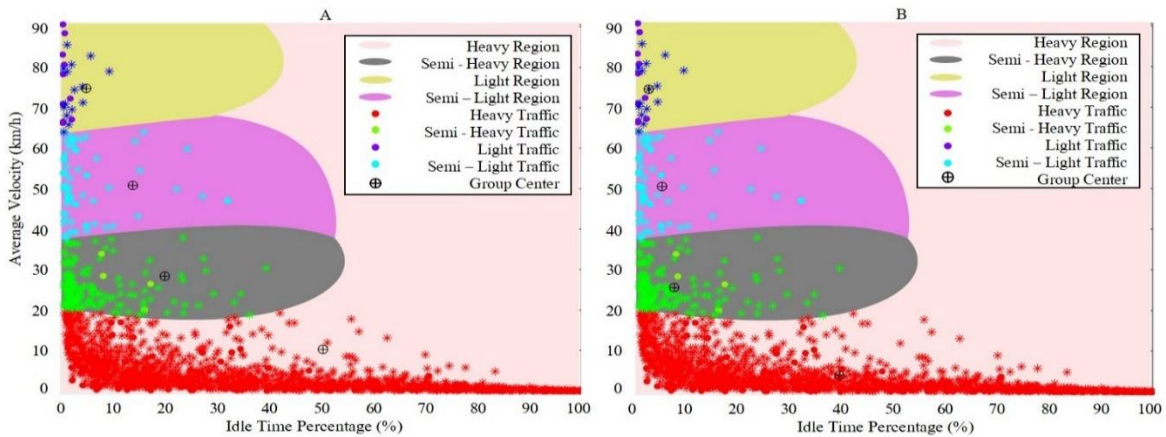
$$T_{deceleration} = \begin{cases} (t_2 - t_1): a_1 < -acc_threshold \\ 0: else \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} (t_i - t_{i-1}): a_i < -acc_threshold \\ 0: else \end{cases} \quad (27)$$

با محاسبه زمان‌های شتابگیری و کاهش شتاب، می‌توان از روابط (۲۸) و (۲۹) درصد زمان پیمایش خودرو در این وضعیت‌ها را محاسبه کرد.



شکل ۵. نتایج دسته‌بندی ریز- سفرها با استفاده از الگوریتم میانگین کی (تصویر A: میان برد و تصویر B: میانگین)

Fig. 5. Classification results of microtrips using the K-means algorithm (Picture A: Mid-range and Picture B: Mean)



شکل ۶. نتایج دسته‌بندی ریز- سفرها با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (تصویر A: میان برد و تصویر B: میانگین)

Fig. 6. Classification results of microtrips using the support vector machine (Picture A: Mid-range and Picture B: Mean)

۳- نتایج و بحث

در تصاویر ارائه شده در شکل ۵ نتایج دسته‌بندی الگوریتم میانگین کی و شکل ۶ نتایج الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، با در نظر گرفتن میانگین و میان برد به عنوان مراکز دسته‌ها به نمایش در آمده است. در این تصاویر تعداد ریز- سفرهای دسته‌های ترافیک سنگین و سبک در دسته‌بندی‌های انجام شده توسط الگوریتم ماشین بردار پشتیبان است. می‌توان برچسب‌گذاری انجام شده برای سرعت را به عنوان علت این مسئله معرفی نمود. البته کم

$$\overline{V_{sd}} = \sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (36)$$

$$\overline{a_{sd}} = \sigma_a = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n a_i^2} \quad (37)$$

جدول ۵. مقدار پارامترهای مشخصه برای چرخه‌ها

Table 5. The value of the characteristic parameters for cycles

داده‌های کل	الگوریتم میانگین کی		الگوریتم ماشین بردار پشتیبان		چرخه پارامتر
	میانگین	میان برد	میانگین	میان برد	
					مدت
۵۵/۳۰ h	۱۸۶۷/۶۰ s	۱۹۵۷/۲۰ s	۱۸۰۳/۰۰ s	۱۷۶۸/۹۰ s	
۸۱/۱۵	۸۲/۸۰	۷۸/۳۰	۹۲/۱۵	۸۶/۶۰	درصد زمان رانندگی
۱۸/۸۵	۱۷/۲۰	۲۱/۷۰	۷/۸۵	۱۳/۴۰	درصد زمان توقف
۶/۰۱	۴/۳۱	۵/۵۸	۳/۷۰	۳/۹۹	درصد زمان رانندگی بدون شتاب
۳۸/۷۶	۳۸/۰۴	۳۹/۱۰	۴۸/۱۸	۴۲/۸۳	درصد زمان شتابگیری
۳۶/۳۷	۴۰/۴۵	۳۳/۶۲	۴۰/۲۶	۳۹/۷۸	درصد زمان کاهش شتاب
۳۹/۳۲	۳۰/۲۶	۴۱/۱۵	۵۳/۷۴	۵۹/۸۶	میانگین سرعت رانندگی (km/h)
۳۱/۹۱	۲۵/۰۵	۳۲/۲۲	۴۹/۵۲	۵۱/۸۴	میانگین سرعت سفر (km/h)
۱۵۲/۰۵	۱۲۳/۲۳	۹۷/۴۹	۱۳۹/۳۳	۱۳۹/۳۳	سرعت بیشینه (km/h)
۱/۲۴	۱/۹۶	۱/۲۵	۲/۰۶	۲/۰۱	میانگین شتاب مثبت (m/s ²)
-۱/۳۰	-۱/۷۹	-۱/۴۴	-۲/۳۳	-۲/۰۹	میانگین شتاب منفی (m/s ²)
۴۴/۷۴	۳۷/۷۲	۴۴/۲۱	۶۰/۹۵	۶۰/۵۱	انحراف از میانگین سرعت سفر
۱/۶۴	۲/۳۶	۱/۷۲	۲/۸۸	۲/۶۵	انحراف از میانگین شتاب

$$MRE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{(Main_Data_Parameter_i) - (DC_Parameter_i)}{Main_Data_Parameter_i} \right) \quad (38)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Main_Data_Parameter_i) - (DC_Parameter_i))^2}{n}} \quad (39)$$

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \left| \frac{((Main_Data_Parameter_i) - (DC_Parameter_i))^2}{Main_Data_Parameter_i} \right| \quad (40)$$

لذا ابتدا بررسی می‌شود که کدام یک از چرخه‌ها دارای میانگین خطای نسبی کمتری در مقایسه با سایرین هستند و سپس با بررسی خطای ریشه میانگین مربع، بهترین چرخه ارائه می‌گردد [۱]. در تولید برخی چرخه‌ها همچون چرخه جهانی از آزمون مربع چپ نیز، استفاده شده است [۲۶]. به همین دلیل برای اطمینان بیشتر از این آزمون که معادله آن در رابطه (۴۰) آورده شده است نیز استفاده خواهد شد [۳۱]. در تمامی این روابط مقدار n برابر تعداد پارامترهای مورد نظر برای مقایسه است که در این مقاله این عدد ۱۲ خواهد بود.

بودن تعداد ریز- سفرهای ترافیک سبک و زیاد بودن تعداد ریز - سفرهای ترافیک سنگین اتفاقی طبیعی است؛ چرا که در ترافیک سبک تعداد توقف‌ها بسیار کم است که به معنی طولانی بودن مدت پیمایش خواهد بود. این یعنی علی‌رغم کم بودن تعداد اعضای این گروه، مدت زیادی از پیمایش به این دسته اختصاص دارد. این موارد برای ترافیک سنگین کاملاً متفاوت است. در ترافیک سنگین تعداد توقف‌ها بسیار زیاد است. این بدان معناست که در بازه زمانی کوتاه تعداد زیادی از این نوع ریز- سفر ثبت می‌گردد و آنچه که در تولید چرخه اهمیت دارد کسر زمانی هر دسته و نه تعداد اعضای آن است. نتایج بدست آمده برای پارامترهای بیان شده در روابط (۱۹) تا (۳۷)، بر روی داده‌های اصلی و چرخه‌ها، در جدول ۵ ارائه شده است. خطاهای بدست آمده برای این پارامترها در جدول ۶ قابل مشاهده است. براساس خطاهای ثبت شده می‌توان تصمیم گرفت کدام چرخه بهترین معرف برای مجموعه داده‌های برداشت شده است. بدین منظور دو مقدار خطای میانگین نسبی^۱ و خطای ریشه میانگین مربع^۲ از طریق روابط (۳۸) و (۳۹) برای آن‌ها محاسبه می‌شود.

- 1 Mean Relative Error (MRE)
- 2 Root Mean Square Error (RMSE)

جدول ۶. مقدار خطای پارامترهای مشخصه چرخه‌ها نسبت به داده‌های کل

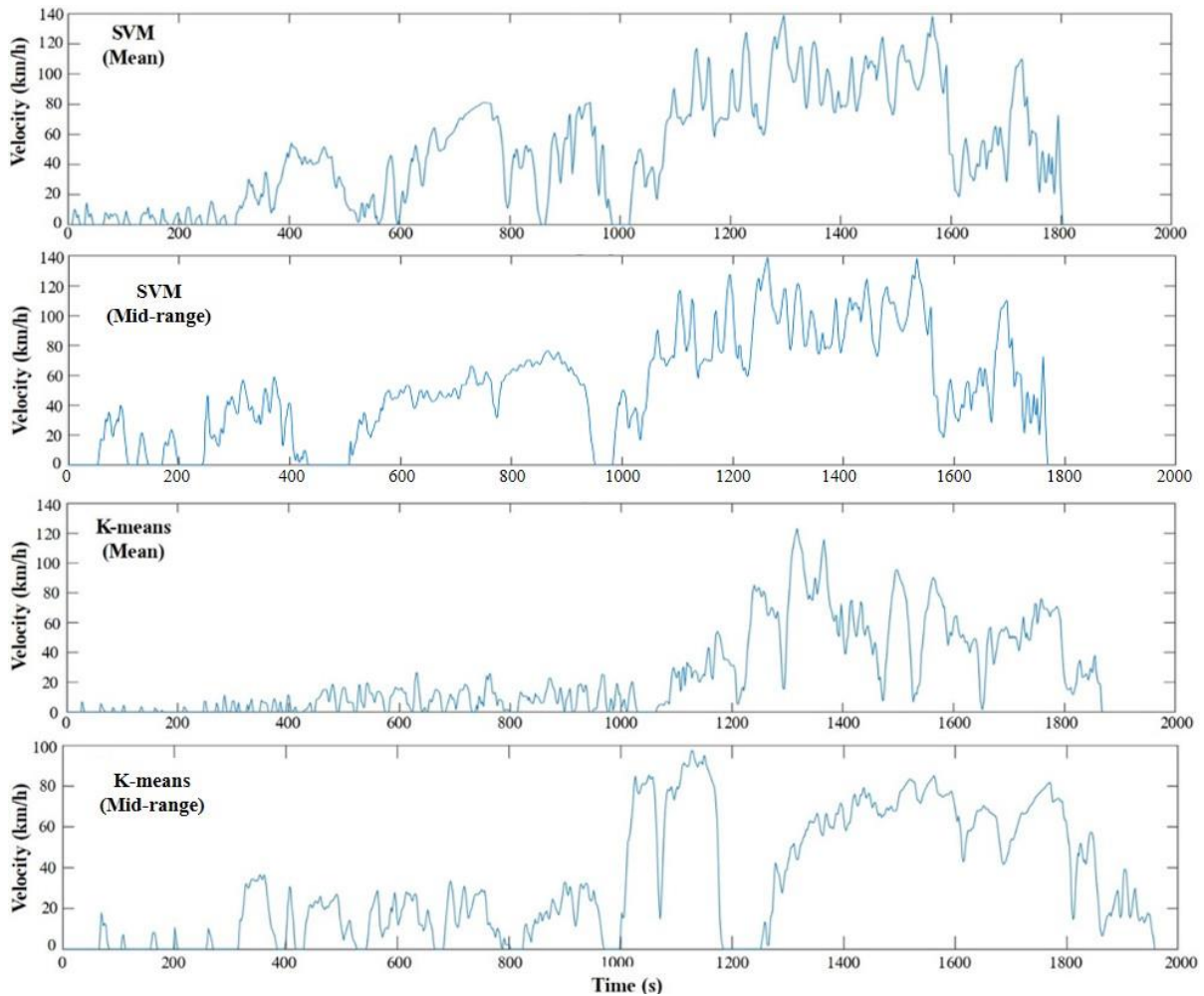
Table 6. The error value of cycle characteristic parameters versus the total data

الگوریتم میانگین کی		الگوریتم ماشین بردار پشتیبان		چرخه پارامتر
میانگین	میان برد	میانگین	میان برد	
۲/۰۳	۳/۵۲	۱۳/۵۵	۶/۷۲	درصد زمان رانندگی
۸/۷۴	۱۵/۱۴	۵۸/۳۵	۲۸/۹۰	درصد زمان توقف
۲۸/۳۸	۷/۲۴	۳۸/۴۰	۳۳/۶۷	درصد زمان رانندگی بدون شتاب
۱/۸۸	۰/۸۷	۲۴/۳۰	۱۰/۴۹	درصد زمان شتابگیری
۱۱/۲۲	۷/۵۷	۱۰/۶۹	۹/۳۸	درصد زمان کاهش شتاب
۲۳/۰۵	۴/۶۴	۳۶/۶۶	۵۲/۲۳	میانگین سرعت رانندگی (km/h)
۲۱/۴۹	۰/۹۶	۵۵/۱۸	۶۲/۴۶	میانگین سرعت سفر (km/h)
۱۸/۹۵	۳۵/۸۸	۸/۳۷	۸/۳۷	سرعت بیشینه (km/h)
۵۷/۳۷	۰/۴۰	۶۵/۳۹	۶۱/۷۷	میانگین شتاب مثبت (m/s^2)
۳۷/۷۷	۱۰/۹۵	۷۹/۴۹	۶۱/۱۴	میانگین شتاب منفی (m/s^2)
۱۵/۷۱	۱/۱۹	۳۶/۲۲	۳۵/۲۳	انحراف از میانگین سرعت سفر
۴۳/۸۷	۴/۷۸	۷۵/۵۴	۶۱/۵۴	انحراف از میانگین شتاب
۲۲/۵۴	۷/۷۶	۴۱/۸۵	۳۵/۹۹	میانگین خطای نسبی
۹/۲۹	۱۵/۸۲	۱۰/۴۰	۱۰/۵۰	خطای ریشه میانگین مربع
۱۱/۸۰	۲۰/۴۳	۳۴/۰۹	۳۳/۷۸	خطای مربع چی

به نوع دسته‌بندی صورت گرفته از سوی این دو الگوریتم اشاره کرد. در دسته‌بندی انجام شده توسط الگوریتم میانگین کی، داده‌هایی که بطور مثال در گروه ترافیک نیمه سبک قرار گرفته‌اند، گاهی میانگین سرعت آنقدر آهسته است، که از لحاظ منطقی، نمی‌توان براحتی گفت که در نواحی‌ای همچون حومه شهرها قابل مشاهده هستند. اما اگر از منظر درصد زمان توقف مورد بررسی قرار گیرند، داده‌هایی با درصد زمان توقف بسیار کم هستند. این بدان معناست که هرچند چنین ریز-سفرهایی با سرعت کم پیموده شده‌اند، ولی فارغ از مدت زمان پیمایشی که داشته‌اند، اکثر زمان آن را در حال حرکت بوده‌اند که این رفتار برای مکان‌هایی با ترافیک نیمه سبک اتفاقی معمول است. این در حالیست که چنین ریز-سفرهایی از نظر ماشین بردار پشتیبان ممکن است به گروه‌های دیگری تعلق داشته باشند. علت این اتفاق قیدی است که الگوریتم میانگین کی ندارد و به ماشین بردار پشتیبان در هنگام آموزش از طریق بازه‌های سرعت متوسط معرفی می‌شود. بنابراین ریز-سفر هرچند بیشتر زمان خود را در حال حرکت بوده، اما سرعت آن به حدی زیاد

در همین ابتدای امر می‌توان چرخه‌ای که به روش میانگین کی و با در نظر گرفتن میان برد به عنوان مرکز دسته ایجاد شده است را کنار گذاشت؛ مدت زمان این چرخه از حداکثر زمان مجاز، با اختلاف زیادی، بیشتر است. در میان سایر چرخه‌ها تنها چرخه‌ای که کمترین میانگین خطای نسبی، خطای ریشه میانگین مربع و خطای مربع چی را دارد، چرخه استخراج شده با الگوریتم میانگین کی و در نظر گرفتن میانگین به عنوان مرکز دسته است. این چرخه نیز از ۱۸۰۰ ثانیه فراتر رفته است؛ با این حال چون مقادیر خطاهای بیان شده در روابط (۳۸) تا (۴۰) برای آن، نسبت به دیگر چرخه‌ها، کمتر است می‌توان از حدود ۶۷ ثانیه‌ای که این چرخه از حد مجاز تخطی می‌کند، چشم پوشی کرد. شکل ۷ نمودار چرخه‌های استخراج شده را نمایش می‌دهد.

در بیان علت آن که چرا چرخه‌های تولید شده توسط ماشین بردار پشتیبان، علیرغم آن که نسبت به چرخه‌های الگوریتم میانگین کی به زمان مجاز نزدیکتر بودند اما هر دو خطاهای بیشتری را ثبت کردند، می‌توان



شکل ۷. نمودار چرخه‌های استخراج شده

Fig. 7. The chart of extracted cycles

میانگین داده‌های هر دسته بهتر خواص کلی آن‌ها را منعکس می‌کند [۲۹]. همانطور که مشاهده شد چرخه‌های تولید شده بر اساس میانگین در دو مورد از سه روش ارزیابی کمترین خطاها را از خود بر جای گذاشته بودند. در جدول ۷ چرخه استخراج شده در این پژوهش با چندین چرخه استاندارد و تحقیقاتی مورد مقایسه قرار گرفته است.

با توجه به جدول ۷، مشخص است که $1867/6$ ثانیه برای یک چرخه چندان هم خارج از عرف نیست؛ چرا که چرخه فدرال آمریکا که از چرخه‌های بسیار پرکاربرد استاندارد به شمار می‌رود مدت زمان بیشتری را ثبت نموده است. از نظر درصد زمان رانندگی و توقف، چرخه ایجاد شده در محدوده

نبوده که او را در دسته ترافیک نیمه سبک قرار دهد. در واقع این مشکل رایج در الگوریتم‌های دسته‌بندی نظارت شده است؛ هرچند در مواجهه با داده‌های آموزش و آزمایش نتایج فوق‌العاده‌ای را گزارش می‌کنند، اما بر اثر وابستگی به این داده‌ها قابلیت تعمیم پذیریشان کاهش یافته و در برخورد با داده‌های جدید گاهی از انعطاف کافی برخوردار نیستند. البته این مورد در ماشین بردار پشتیبان به دلیل استفاده از یک ناحیه به جای یک مرز، نسبت به دیگر روش‌های نظارت شده بسیار کمتر اتفاق می‌افتد [۳۲].

دیگر نکته حائز اهمیت مرکز دسته است. در اکثر مقالات از میان‌برد به‌عنوان مرکز دسته استفاده می‌شود؛ در حالی که از آمار مشخص است که

جدول ۷. مقایسه مقدار پارامترهای مشخصه برای چرخه تهران-آمل و دیگر چرخه‌های استاندارد و تحقیقاتی

Table 7. The comparison of the value of characteristic parameters for the Tehran-Amol cycle and other standard and research cycles

چرخه پارامتر	فدرال آمریکا [۲۳]	جهانی [۲۶]	بعقوبه ^۵ (شهری) [۳۳]	کوآلالامپور (شهری) [۳۴]	هنگ کنگ (حومه) [۳۵]	هنگ کنگ (شهری) [۳۵]	تایلند (شهری) [۳۶]	تهران- آمل
مدت (s)	۱۸۷۴	۱۸۰۰	۱۰۵۲	۱۲۰۰	۱۴۷۶	۱۵۴۸	۱۴۴۷	۱۸۶۸
درصد زمان رانندگی	۸۷/۱۴	۸۷/۴۰	۷۴/۷۴	۸۲/۲۰	۹۵/۵۰	۸۲/۲۰	۹۸/۹۶	۸۲/۸۰
درصد زمان توقف	۱۲/۸۶	۱۲/۶۰	۲۵/۲۶	۱۷/۸۰	۴/۵۰	۱۷/۸۰	۱/۰۴	۱۷/۲۰
درصد زمان رانندگی بدون شتاب	۲۰/۰۶	۲۵/۳۰	۰/۰۰	۳/۰۴	۱۳/۶۰	۱۲/۰۰	۶۱/۹۲	۴/۳۱
درصد زمان شتابگیری	۳۶/۴۵	۳۱/۹۰	۵۰/۳۳	۳۹/۸۷	۴۰/۲۰	۳۴/۵۰	۲۰/۲۵	۳۸/۰۴
درصد زمان کاهش شتاب	۳۰/۶۳	۳۰/۲۰	۴۸/۵۳	۳۹/۲۹	۳۹/۷۰	۳۴/۲۰	۱۶/۷۹	۴۰/۴۵
میانگین سرعت رانندگی (km/h)	۳۹/۲۱	-	-	۲۸/۷۳	۴۶/۵۰	۳۰/۴۰	۳۳/۳۴	۳۰/۲۶
میانگین سرعت سفر (km/h)	۳۴/۲۰	۴۶/۵۰	۲۱/۶۳	۲۳/۲۱	۴۴/۴۰	۲۵/۰۰	۳۳/۲۹	۲۵/۰۵
سرعت بیشینه (km/h)	۹۱/۰۹	۱۳۱/۳۰	۶۸/۰۰	۷۲/۰۰	۱۰۶/۵۰	۷۷/۷۰	۶۰/۰۰	۱۲۳/۲۳
میانگین شتاب مثبت (m/s^2)	۰/۴۲	-	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۲۳	۱/۹۶
میانگین شتاب منفی (m/s^2)	-۰/۴۶	-	-۰/۲۴	-۰/۳۸	-۰/۵۶	-۰/۶۰	-۰/۳۲	-۱/۷۹
انحراف از میانگین سرعت سفر	۲۳/۵۱	-	-	-	-	-	-	۳۷/۷۲
انحراف از میانگین شتاب	۰/۶۳	-	-	-	-	-	-	۲/۳۶

سرعت بسیار زیاد است. تمامی این موارد نشان از آن دارد که هر منطقه نیازمند آن است که چرخه رانندگی منحصر به خود و متناسب با فرهنگ رانندگی و جغرافیای محلی خود را داشته باشد. با وجود چرخه ویژه‌ای برای هر منطقه می‌توان خودروهایی مناسب شرایط آن تولید نمود تا با بالاترین میزان کارآمدی در اختیار رانندگان قرار گیرند.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش صورت گرفته، بر اساس داده‌های برداشت شده از مسیر تهران- آمل چهار چرخه رانندگی منحصر به این مسیر، تحت شرایط واقعی ایجاد گردید. این داده‌ها از واحد کنترل موتور یک خودرو سواری بنزین سوز و به روش تعقیب خودرو جمع‌آوری شدند. داده‌ها پس از تبدیل شدن به ریز- سفر با استفاده از دو الگوریتم میانگین کی و ماشین بردار پشتیبان، که اولی از نوع بدون ناظر و خوشه‌بندی و دومی از نوع با ناظر و طبقه‌بندی است، در چهار گروه قرار داده شدند. برای تعیین ریز- سفرهای قابل ارائه در چرخه نهایی، نزدیک‌ترین ریز- سفرها به مراکز دسته انتخاب شدند. مراکز دسته یکبار بر اساس میانگین و بار دیگر بر اساس میان‌برد برای هر یک از روش‌های دسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. با بررسی میانگین خطای نسبی، خطای ریشه میانگین مربع و آزمون مربع چی، چرخه نهایی انتخاب شد. این چرخه حاصل از طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از الگوریتم میانگین کی و با مرکزیت دسته میانگین‌های هر گروه بوده است. با مقایسه این چرخه با سایرین، نتایج را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- الگوریتم میانگین کی نتایج بهتری را نسبت به ماشین بردار پشتیبان ثبت نمود. این اتفاق ممکن است بر اثر قیدهایی باشد که در زمان آموزش برای ماشین بردار پشتیبان تعریف می‌شود.
- الگوریتم‌های با ناظر، ممکن است بر اثر آموزشی که می‌بینند با دقت بیشتری طبقه‌بندی داده‌ها را انجام دهند، اما الزاماً نتایجشان در زمینه تولید چرخه‌های رانندگی از دقت بالایی برخوردار نیست.
- چرخه ایجاد شده مدت بسیار کمی را با سرعت ثابت پیموده است که این امر ناشی از ناهمواری مسیر مورد بررسی دانست.
- تغییرات شتاب این چرخه (تهران- آمل) در مقایسه با سایر چرخه‌های مورد بررسی قبلی، بیشتر بوده است که می‌توان علت آن را فرهنگ رانندگان ایرانی دانست.
- در بررسی مقادیر میانگین شتاب مثبت و منفی و همچنین انحراف از میانگین سرعت سفر و شتاب کاملاً واضح است که چرخه ایجاد شده

سایر چرخه‌ها قرار دارد؛ این در حالیست که چرخه‌های شهری تایلند و حومه هنگ‌کنگ اعدادی بسیار اندک را برای درصد زمان توقف گزارش می‌کنند. این امر نشان از ترافیک بسیار کم در این مناطق دارد که برای منطقه حومه طبیعی است اما در یک منطقه شهری تنها می‌توان نوع معماری شهری و نحوه رانندگی را مسبب این اتفاق دانست؛ در چرخه تایلند رانندگان معمولاً با سرعتی کم و یکنواخت در حال رانندگی هستند که از مقدار بسیار زیاد درصد زمان رانندگی بدون شتاب و سرعت بیشینه ۶۰ کیلومتر بر ساعت آشکار می‌شود. این یعنی رانندگان این شهر معمولاً با ترافیک‌های روان مواجه هستند. در بررسی درصد زمان حرکت‌های با شتاب افزایشی، کاهش‌ی و بدون شتاب کم بودن مدت زمان حرکت با سرعت ثابت در شهرهای عقب‌بده و کوآلامپور و همینطور مسیر مورد بررسی در این پژوهش جالب توجه است. این دو شهر هر دو در مناطق کوهستانی کشور خود واقع شده‌اند و مسیر مورد مطالعه نیز با عبور از کوهستان البرز و برخورد با فراز و نشیب‌های فراوان مبدأ را به مقصد متصل می‌کند. چنین ناهمواری‌هایی راننده را مجبور به استفاده مداوم از پدال‌های گاز و ترمز کرده و امکان حرکت با سرعت ثابت را از او سلب می‌کند. از نظر سرعت می‌توان گفت چرخه ایجاد شده علی‌رغم آن‌که میانگین سرعت رانندگی و سفری در محدوده سایرین را ثبت نموده، اما از سرعت بیشینه‌ای فراتر از دیگر چرخه‌ها برخوردار است. این بدان معناست که رانندگان در بیشتر طول مسیر در حال کنترل سرعت خود هستند که می‌تواند ناشی از وجود فراز و نشیب‌های مسیر کوهستانی باشد؛ اما بخشی از این مسیر در آزادراه‌ها قرار داشته که بروز چنین سرعتی در این مسیرها چندان دور از انتظار نیست. همانطور که ملاحظه می‌شود، چرخه حومه هنگ‌کنگ نیز مقداری بیش از ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت را برای سرعت بیشینه خود گزارش کرده است. در بررسی مقادیر میانگین شتاب مثبت و منفی و همچنین انحراف از میانگین سرعت سفر و شتاب کاملاً واضح است که چرخه ایجاد شده از سایر چرخه‌های مورد مقایسه فاصله دارد. جدا از علت‌هایی همچون ناهمواری و ترافیک مسیر مورد مطالعه و وجود مناطق مسکونی در طول این مسیر که راننده را مجبور به تغییرات مداوم و گاهی شدید در سرعت می‌کند، می‌توان فرهنگ رانندگان ایرانی را نیز در علل این اتفاق به شمار آورد. بسیار دیده می‌شود که رانندگان ایران اغلب به جای حرکت با سرعت یکنواخت، مسافت را با شتابگیری‌های شدید آغاز و با ترمزگیری‌های شدید به پایان می‌رسانند و معمولاً به جای حفظ سرعت خودرو، حول یک مقدار، مدام با استفاده از پدال‌های گاز و ترمز، در حال کنترل سرعت اتومبیل هستند و در بیشتر موارد دامنه این نوسانات

- Transportation Research Part D, 53 (2017) 78-87.
- [7] U. Galgamuwa, L. Perera, S. Bandar, A representative driving cycle for the southern expressway compared to existing driving cycles, Springer International Publishing Switzerland, 2 (2016) 22.
- [8] B. Liu, Q. Shi, L. He, D. Qiu, A study on the construction of Hefei urban driving cycle for passenger vehicle, IFAC-PapersOnLine, 51 (2018) 854-858.
- [9] W. Saleh, R. Kumar, H. Kirby, P. Kumar, Real world driving cycle for motorcycles in Edinburgh, Transportation Research, 14 (2009) 326-333.
- [10] A. Fotouhi, M. Montazeri-Gh, Tehran driving cycle development using the K-means clustering method, Scientia Iranica, 20 (2013) 286-293.
- [11] W. Zhou, K. Xu, Y. Yang, J. Lu, Driving cycle development for electric vehicle application using principal component analysis and K-means cluster: With the case of Shenyang, China, in: 8th International Conference on Applied Energy, Energy Procedia, Beijing, China, 2017, pp. 2831-2836.
- [12] A.R. Mahayadin, I. Ibrahim, I. Zunaidi, A.B. Shahrman, M.K. Faizi, M. Sahari, M.S.M. Hashim, M.A.M. Saad, M.S. Sarip, Z.M. Razlan, M.F.H. Rani, Z.M. Isa, N.S. Kamarrudin, A. Harun, Y. Nagaya, Development of driving cycle construction methodology in Malaysia's urban road system, in: International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Kuching, Malaysia, 2018, pp. 18132704.
- [13] H.Y. Tong, W.T. Hung, C.S. Cheung, Development of a driving cycle for Hong Kong, Atmospheric Environment, 33 (1999) 2323-2335.
- [14] H. Razavi, The driving cycle to Monte Carlo method in order to explore the suitability of the vehicle with its application, Journal of Transport Engineering, 2(3) (2011) 238-249.
- [15] J. Brady, M. O'Mahony, Development of a driving cycle to evaluate the energy economy of electric vehicles in urban areas, Applied Energy, 177 (2016) 165-178.

از سایر چرخه‌های مورد مقایسه، فاصله دارد. علاوه بر عواملی همچون ناهمواری جاده و ترافیک مسیر مورد مطالعه و همچنین وجود مناطق مسکونی در طول این مسیر، که راننده را مجبور به تغییرات مداوم و گاهی شدید در سرعت می‌کند، می‌توان فرهنگ رانندگان ایرانی را نیز، در علل این اتفاق بشمار آورد. البته در صورتی که جامعه همچنان درگیر فرهنگ نامناسب رانندگی باشد، پیشنهاد می‌گردد که برای تغییر و اصلاح فرهنگ رانندگی، برنامه‌ریزی بلند مدت از سوی مراکز ذیربط صورت پذیرد.

۵- تشکر و قدردانی

این پژوهش به لطف حمایت‌های انجام شده از سوی شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایرانخودرو (ایپکو)، به ویژه در زمینه تأمین تجهیزات، امکان پذیر شد. همچنین نویسندگان لازم می‌دانند از جناب مهندس مهدی نیکخواه و مهندس سعید عبدالملکی، به جهت در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز در پیشبرد این مطالعه سپاسگزاری نمایند.

منابع

- [1] X. Zhao, Q. Yu, J. Ma, Y. Wu, M. Yu, Y. Ye, Development of a representative EV urban driving cycle based on a K-means and SVM hybrid clustering algorithm, Journal of Advanced Transportation, 2018 (2018) 1890753.
- [2] X. Zhao, J. Ma, S. Wang, Y. Ye, Y. Wu, M. Yu, Developing an electric vehicle urban driving cycle to study differences in energy consumption, Environmental Science and Pollution Research, 26 (2019) 13839-13853.
- [3] N.H. Arun, S. Mahesh, G. Ramadurai, S.M.S. Nagendra, Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India, Sustainable Cities and Society, 32 (2017) 508-512.
- [4] S.H. Kamble, T.V. Mathew, G.K. Sharma, Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India, Transportation Research Part D, 14 (2009) 132-140.
- [5] A. Esteves-Booth, T. Muneer, H. Kirby, J. Kubie, J. Hunter, The measurement of vehicular driving cycle within the city of Edinburgh, Transportation Research Part D, 6 (2001) 209-220.
- [6] Z. Jing, G. Wang, S. Zhang, C. Qiu, Building Tianjin driving cycle based on linear discriminant analysis,

- [25] M. Montazeri-Gh, M. Naghizadeh, Development of car drive cycle for simulation of emissions and fuel economy, in: Proceedings of 15th European Simulation Symposium, Delft, Netherland, 2003.
- [26] M. Tutuianu, A. Marotta, H. Steven, E. Ericsson, T. Haniu, N. Ichikawa, H. Ishii, Development of a world-wide harmonized light duty driving test cycle (WLTC), DHC Subgroup, 2013.
- [27] J.C. Platt, Sequential minimal optimization: A fast algorithm for training support vector machines, Microsoft Technical Report, 1998.
- [28] C.R. Souza, Kernel functions for machine learning applications, Edge Impulse, 2010, <http://www.crsouza.com/>.
- [29] Median vs. average to describe normal, in: Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, 2019, <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/>.
- [30] Y. Dodge, D. Cox, D. Commenges, P.J. Solomon, S. Wilson, The Oxford dictionary of statistical terms, Oxford University Press, 2003.
- [31] E. Volchok, Clear-sighted statistics - Module 17: Chi-Square tests, Cuny Academic Works, New York, USA, 2020.
- [32] C. Yiakopoulos, K.C. Gryllias, I.A. Antoniadis, Rolling element bearing fault detection in industrial environments based on a K-means clustering approach, Expert Systems with Applications, 38 (2011) 2888-2911.
- [33] A. Al-Samari, Real-world driving cycle: Case study of Baqubah, Iraq, Diyala, Journal of Engineering Sciences, 10 (2017) 39-47.
- [34] R. Tharvin, N. Kamarrudin, A. Shahrman, I. Zunaidi, Z. Razlan, W. Wan, A. Harun, M. Hashim, I. Ibrahim, M. Faizi, Development of driving cycle for passenger car under real world driving conditions in Kuala Lumpur, Malaysia, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Sarawak, Malaysia, 2018.
- [35] W.T. Hung, H. Tong, C. Lee, K. Ha, L. Pao, Development of a practical driving cycle construction methodology: A
- [16] P. Chauhan Boski, G.J. Joshi, P. Purnima, Driving cycle analysis to identify intersection influence zone for urban intersections under heterogeneous traffic condition, Sustainable Cities and Society, 41 (2018) 180-185.
- [17] S. Tamsanya, S. Chungpaibulpattana, S. Atthajariyakul, Development of automobile Bangkok driving cycle for emissions and fuel consumption assessment, in: The Second Joint International Conference, Sustainable Energy and Environment, Bangkok, Thailand, 2006, pp. 1-6.
- [18] I.N. Anida, A.R. Salisa Driving cycle development for Kuala Terengganu city using K-means method, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 9 (2019) 1780-1787.
- [19] Y. Nguyen, N.D. Bui, T.D. Nghiem, A. Le, GPS data processing for driving cycle development in Hanoi, Vietnam, Journal of Engineering Science and Technology, 15 (2020) 1429-1440.
- [20] M.A. Pouresmaeili, I. Aghayan, A. Taghizadeh, Development of a Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements, Sustainable Cities and Society, 36 (2018) 12-20.
- [21] T. Qaraati, A.M. Movahed, M. Azadi, A. Moosavian, M. Nikkha, Comparing characteristic parameters of driving cycle using real data collected in Iran and global standard cycles, in: 11th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil, Tehran, 2020 (in Persian).
- [22] X. Zhao, Q. Yu, J. Ma, Y. Wu, M. Yu, Y. Ye, Development of a representative EV urban driving cycle based on a K-means and SVM hybrid clustering algorithm, Journal of Advanced Transportation, 2018 (2018) 1890753.
- [23] T.J. Barlow, S. Latham, I.S. McCrae, P.G. Boulter, A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions, TRL Published Project Report, 2009.
- [24] Q. Shi, R. Wang, Y. Zheng, Y. Li, The study of a new method of driving cycles construction, Procedia Engineering, 16 (2011) 79-87.

Development of air pollutant emission factors under real-world truck driving cycle, *International Journal of Sustainable Transportation*, 12 (2018) 432-440.

case study in Hong Kong, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12 (2007) 115-128.
[36] P. Outapa, S. Thepanondh, A. Kondo, N. Pala-En,

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

T. Qaraati, A. Momenimovahed, M. Azadi, S. A. Moosavian, Comparison of Support Vector Machine and K-Means Algorithms Performance in Extracting the Real Driving Cycle of Combined Tehran-Amol, Amirkabir J. Mech Eng., 53(9) (2021) 5017-5036.

DOI: [10.22060/mej.2021.19222.6980](https://doi.org/10.22060/mej.2021.19222.6980)

