



Designing a Driving Cycle in the City of Semnan with Data Collection Using Chasing Vehicles and Clustering with the K-means Algorithm

Mohammad Mohammad Zadeh¹, Ali Dadashi², Mohammad Azadi^{3*}

^{1,2,3}Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:

Original Research

Received: 01.01.2024

Revised: 03.25.2024

Accepted: 06.19.2024

Keyword:

Driving Cycle

Clustering

K-Means

Chasing Vehicle

Semnan City

*Corresponding Author:

Mohammad Azadi

Email: m_azadi@semnan.ac.ir

ABSTRACT

The driving and traffic cycle in cities is one of the most important and complex challenges in urban management. For the data collection process, the chasing vehicle moved in a certain route in the city through the selected time period, and data collection was conducted with software installed on a mobile phone. This research investigated the driving cycle in Semnan city using the chasing method and the K-means clustering technique. The distance covered during data collection was approximately 12 km for each route. Additionally, the total distance covered for the data collection in this study was approximately 130 km. The car model information, age, and gender of chased drivers were recorded as the influential parameters. Then, using the K-means technique, the data collected for different routes were analyzed to extract the behavioural patterns in the routes of Semnan city. Furthermore, in this study, the appropriate number of groups for data clustering was investigated, and considering the standard deviation of the data, it was concluded that the optimal number of clusters was 5. Increasing the number of clusters, despite improving the accuracy of calculations, led to longer processing times. Therefore, by clustering with 2, 3, 4, 5, and 6 groups, it was observed that these numbers of clusters improved by approximately 40, 80, 90, 98, and 99%, respectively, indicating that increasing the number of clusters showed a significant improvement in the results. These clusters included urban roads, secondary roads, highways, motorways with light traffic, and start-stop. This information can help city officials and traffic managers with traffic and safety improvement programs, according to the specified patterns, and provide a deeper understanding of driving behaviour in Semnan city.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In the field of automotive industries, the focus on driving cycles by engineers has reached a specialized dimension. This emphasis aims at enhancing the performance of vehicles, reducing greenhouse gas emissions, and optimizing fuel consumption and costs. Driving cycles are regarded in this context as highly effective and realistic tools for evaluating the behaviour of vehicles, greenhouse gas emissions, and fuel consumption.

Nevertheless, it is essential to note that the effectiveness of these driving cycles is strongly associated with real-world conditions. These conditions encompass various factors that can significantly impact these cycles. Factors such as traffic issues, weather status, data collection routes, road characteristics, fuel types, and driving skills are among these crucial elements. A more precise alignment of driving cycles with these conditions and features ensures a more accurate and insightful assessment of vehicle performance and optimization recommendations. This approach, in addition to increasing efficiency, contributes to environmental preservation and the reduction of operational costs.

In the literature, various driving cycles have been introduced. An innovation in this context involves the utilization of the chasing method for the data collection with two passengers, facilitating real-time data acquisition. This cycle was implemented using data collected in the city of Semnan with a gasoline vehicle on the specific days of the week. The development of this cycle was achieved through the implementation of the K-means algorithm and the optimization using the Elbow method.

Methodology

In this research, the data collection was conducted along a specified route in Semnan city, as illustrated in Figure 1, with a round-trip length of 12 km, resulting in an overall data collection of approximately 130 km. The data collection was consistently performed on Mondays and Tuesdays between 8:00 and 9:00 PM by a driver and a passenger. The driver, aged 25, had 8 years of driving experience. The data related to the movement of vehicles within the city were recorded with proper accuracy. Subsequently, these data were analyzed to identify the driving patterns and congested traffic points. The chasing car tracked the random vehicles along the designated route, recording important data such as the speed, time, age, and gender of the drivers. Throughout this tracking and recording process, in addition to mimicking the driving behaviour, the characteristics of the vehicles were also documented. Furthermore, information regarding the age and gender of the drivers, considered important variables in determining driving behaviour, was recorded during the data collection process. The GPS-LOGGER software with a 1-second accuracy was used for the data collection. A Tiba car, manufactured in 2022, was employed as the tracking vehicle. To obtain clusters, the K-means algorithm was utilized for data clustering, and the Elbow method was also employed to find the optimal number of clusters. Clustering was performed based on four groups: urban road, secondary road, highway, and motorway. Clusters were defined based on the average standing time and the average acceleration,

considering the speed in two threshold conditions: zero and the mean speed in the selected and optimal states.



Figure 1. The route selection for the present study in Semnan City.

Results and discussion

As a first result, Figure 2 depicts the driving cycles for the zero-speed threshold in two states, based on the idle time and the average acceleration. Figure 3 illustrates the obtained micro-trips using the K-means algorithm. The results indicated that the data acquired through the mentioned software was accurate and of satisfactory quality. The introduced final cycles had errors of less than 10%, demonstrating the selection of reliable and precise data. Comparing the cycles obtained in this research with the other works conducted for Tehran in Iran and other cities worldwide, it can be stated that the cycles derived in this study were properly accurate and aligned with the performed clustering. Each segment of the obtained cycle was identified with the corresponding clustering state, and the portion of the cycle length associated with that clustering state was also determined.

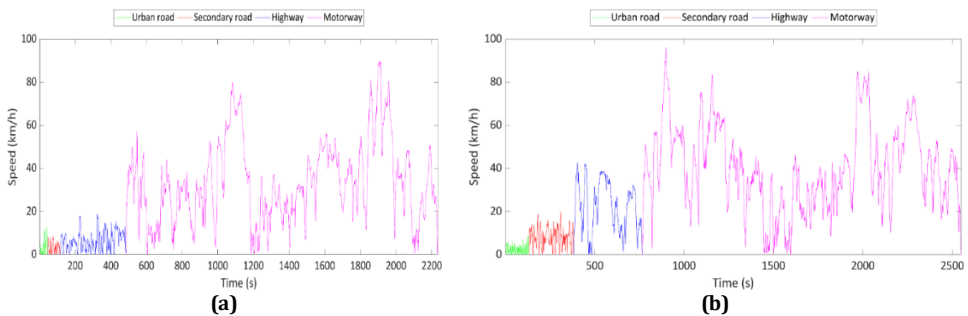


Figure 2. The final driving cycle in the second route of Semnan City for (a) average speed and (b) average acceleration.

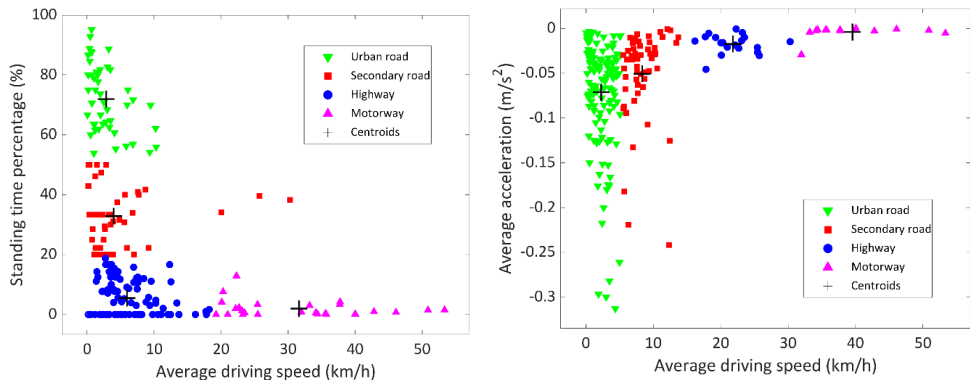


Figure 3. The micro-trips in the second route of Semnan City for two types of clustering.

Conclusion

In this article, a driving cycle was developed based on recorded data from a gasoline vehicle (Tiba) for a route in Semnan city, utilizing the chasing vehicle method and the K-means algorithm. The optimization of the developed cycle was also examined using the Elbow method. The obtained results are summarized as follows:

- The developed driving cycle for Semnan city was similar to the global driving cycles, and there were no significant differences between the data. This cycle can serve as a representative for Semnan city or other cities with similar climatic and geographical conditions in this province.
- The stop time in this cycle was less than 10%, indicating smooth and light traffic conditions in the city during peak hours.
- The utilization of the optimization methods for determining the number of groups in clustering in this research showed that for different scenarios and considering the speed threshold and speed and acceleration parameters, the optimal number of clusters may vary.
- The method of K-means was employed for data clustering. The results demonstrated that this approach provided appropriate accuracy and better outcomes compared to various other references mentioned in this research. It was proved that the utilized method was properly effective and reliable.

Acknowledgement

This research was funded by the National Elites Foundation (Shahid Ahmadi Roshan Project) and also the Irankhodro Powertrain Company (IPCO)."



تدوین چرخه رانندگی در شهر سمنان با داده‌برداری به‌وسیله خودروی تعقیب‌گر و خوشه‌بندی با الگوریتم میانگین کی

محمد محمدزاده^۱، علی داداشی^۲، محمد آزادی^{۳*}

۱، ۲ و ۳- دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه سمنان، سمنان، سمنان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

چرخه رانندگی و ترافیک در شهرها یکی از معضلات مهم و پیچیده در مدیریت شهری است. در فرایند داده‌برداری، خودروی داده‌بردار یک مسیر مشخص در شهر را در بازه زمانی انتخاب‌شده حرکت می‌کند و داده‌برداری با نرم‌افزار نصب‌شده بر تلفن همراه انجام می‌شود. در این تحقیق، به چرخه رانندگی در شهر سمنان با استفاده از روش تعقیب‌گر و تکنیک خوشه‌بندی میانگین کی پرداخته شده است. مسافتی که در فرایند داده‌برداری طی شده است در هر مسیر حدود ۱۲ کیلومتر بوده است. همچنین، مسافت کلی که در این تحقیق برای داده‌برداری طی شده است حدود ۱۳۰ کیلومتر می‌باشد. اطلاعات مدل خودرو، سن و جنسیت رانندگان تعقیب‌شده به‌عنوان پارامتر تأثیرگذار ثبت شدند. سپس، با بهره‌گیری از تکنیک میانگین کی، داده‌های جمع‌آوری‌شده برای مسیرهای مختلف، به‌منظور استخراج الگوهای رفتاری در مسیرهای شهر سمنان تحلیل شد. همچنین در این تحقیق، تعداد دسته‌های مناسب برای خوشه‌بندی داده‌ها بررسی شد و با توجه به انحراف معیار داده‌ها نتیجه گرفته شد که تعداد بهینه دسته‌ها برابر با ۵ دسته است. تعداد دسته‌های بیشتر علی‌رغم افزایش دقت محاسبات، زمان پردازش بیشتری را به دنبال دارد. بدین ترتیب، با انجام خوشه‌بندی با تعداد دسته‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶، به‌ترتیب مشاهده شد که این تعداد دسته‌ها تقریباً ۴۰، ۸۰، ۹۰، ۹۸ و ۹۹ درصد بهبود داشته است که نشان می‌دهد افزایش تعداد دسته‌ها بهبود قابل‌توجهی در نتایج را نشان دادند. این دسته‌ها شامل مسیر شهری، جاده فرعی، بزرگراه، آزادراه با ترافیک سبک و شروع-توقف می‌باشد. این اطلاعات می‌تواند به مسئولان شهری و مدیران ترافیک برای برنامه‌های بهبود ترافیکی و ایمنی، با توجه به الگوهای مشخص‌شده و مطالعات بعدی کمک کند و شناخت عمیق‌تری از رفتار رانندگی در شهر سمنان ارائه دهد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۰۶

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

کلید واژگان:

چرخه رانندگی
دسته‌بندی
میانگین کی
خودروی تعقیب‌گر
شهر سمنان

*نویسنده مسئول: محمد آزادی

پست الکترونیکی:

m_azadi@semnan.ac.ir



مقدمه

صنعت خودروسازی مدرن به‌طور فزاینده‌ای بر افزایش کارایی خودرو، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود عملکرد کلی متمرکز شده است [۱]. خنک‌کاری موتور خودروها و میزان مصرف سوخت، یکی دیگر از دغدغه‌های امروزه خودروسازان است [۲-۴]. برای دستیابی به این اهداف، چرخه‌های رانندگی، نقش محوری در تست خودرو، ارزیابی آلاینده‌ها و ارزیابی عملکرد دارند. با این حال، اثربخشی این ارزیابی‌ها به‌شدت به ارتباط چرخه‌های رانندگی با شرایط واقعی تجربه‌شده توسط وسایل نقلیه در مناطق جغرافیایی خاص بستگی دارد [۵]. در سال‌های اخیر، چرخه‌های رانندگی محلی که ویژگی‌های منحصربه‌فرد یک منطقه خاص را به تصویر می‌کشند به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. این چرخه‌ها مبنای واقعی‌تری برای ارزیابی رفتار خودرو [۶]، انتشار گازهای گلخانه‌ای [۷] و مصرف سوخت [۸] فراهم می‌کنند. چرخه‌های رانندگی محلی به‌ویژه برای مناطق شهری که الگوهای ترافیک، شرایط جاده و رفتارهای رانندگی متفاوت با چرخه‌های استاندارد جهانی دارند، بسیار مهم هستند [۹]. یکی از رویکردهای نوآورانه‌ای که برای توسعه چرخه‌های رانندگی محلی مورد توجه قرار گرفته است روش تعقیب‌گر است. این روش شامل دنبال کردن وسایل نقلیه واقعی حین حرکت در جاده‌های محلی، جمع‌آوری داده برای سرعت، شتاب، تغییرات سرعت، زمان‌های دور آرام^۱ و سایر پارامترهای کلیدی است [۱۰]. با تجمع و تحلیل این داده‌ها، ایجاد چرخه‌های رانندگی که عادات و شرایط رانندگی یک منطقه خاص را نشان می‌دهد، امکان‌پذیر می‌شود. چرخه‌های رانندگی محلی متناسب با یک منطقه خاص، رفتار واقعی رانندگی نشان‌دهنده توسط وسایل نقلیه در آن منطقه را نشان می‌دهند. این موارد شامل عواملی مانند الگوهای شتاب، نرخ کاهش سرعت و نوسانات سرعت می‌شود. برخلاف چرخه‌های استاندارد که ممکن است با عادات مختلف رانندگی در یک منطقه خاص هماهنگ نباشند، چرخه‌های محلی، بازتاب دقیق‌تری از نحوه تعامل وسایل نقلیه با شبکه جاده‌ای محلی ارائه می‌دهند [۱۱]. ارزیابی‌های آلاینده‌ها و مصرف سوخت به‌شدت به چرخه‌های رانندگی بستگی دارد که سناریوهای دنیای واقعی را از نزدیک منعکس می‌کند. چرخه‌های رانندگی محلی، مبنای دقیق‌تری برای تخمین آثار زیست‌محیطی وسایل نقلیه در یک منطقه خاص فراهم می‌کنند. این دقت برای انطباق با مقررات، گزارش‌های زیست‌محیطی و توسعه خودروهایی که استانداردهای آلاینده‌های محلی را برآورده می‌کنند بسیار مهم است [۱۲]. معیارهای عملکرد وسایل نقلیه، مانند بهره‌وری انرژی و پایش‌رانه، می‌توانند بر اساس شرایط رانندگی که با آن مواجه می‌شوند تفاوت قابل توجهی داشته باشند. چرخه رانندگی محلی، ارزیابی عملکرد تحت شرایط مربوط به منطقه را تضمین می‌کند و بینش‌هایی را در مورد نحوه عملکرد وسایل نقلیه در محیط موردنظر به تولیدکنندگان و محققان ارائه می‌دهد [۱۳]. چرخه‌های رانندگی محلی ایجادشده با استفاده از روش تعقیب، بینش‌هایی فراتر از صنعت خودرو ارائه می‌دهند. برنامه‌ریزان شهری، سیاست‌گذاران و مهندسان ترافیک می‌توانند از درک نحوه حرکت وسایل نقلیه در یک شهر یا منطقه سود ببرند. این اطلاعات به طراحی زیرساخت‌های حمل‌ونقل، بهینه‌سازی جریان ترافیک و پیش‌بینی تأثیر تحولات شهری آینده کمک می‌کند [۱۴]. خودروسازان اغلب در تلاش هستند تا خودروهایی را طراحی کنند که بازارهای خاصی را تأمین کنند. با استفاده از چرخه‌های رانندگی محلی، سازندگان می‌توانند وسایل نقلیه‌ای را توسعه دهند که با شرایط رانندگی و ترجیحات یک منطقه خاص هماهنگ باشد. این سفارشی‌سازی، رضایت مشتری را افزایش می‌دهد و تضمین می‌کند که وسایل نقلیه برای بازار موردنظر بهینه شوند [۱۵]. مناطق خاصی ممکن است با معضلات منحصربه‌فردی مانند مسیرهای شیب‌دار، شرایط آب‌وهوایی نامتعادل یا تراکم زیاد ترافیک مواجه شوند. چرخه‌های رانندگی محلی به محققان اجازه می‌دهند تا نحوه عملکرد وسایل نقلیه را در چنین شرایطی ارزیابی کنند. این دانش به توسعه وسایل نقلیه قدرتمندتر و سازگارتر کمک می‌کند [۱۶]. ایجاد چرخه‌های رانندگی محلی، محققان و مهندسان را تشویق می‌کند تا با پیچیدگی‌های الگوهای رانندگی یک منطقه درگیر شوند. این تعامل، نوآوری را در طراحی خودرو، فناوری پایش‌رانه و

¹ Idling times

سیستم‌های مدیریت انرژی تقویت می‌کند زیرا راه‌حل‌ها متناسب با خواسته‌های خاص بافت محلی هستند [۱۷]. با توجه به اهمیت پایداری و کارایی، توانایی توسعه و استفاده از چرخه‌های رانندگی محلی به یک ابزار ضروری برای ایجاد یک اکوسیستم هوشمندتر و پایدارتر تبدیل شده است [۱۸].

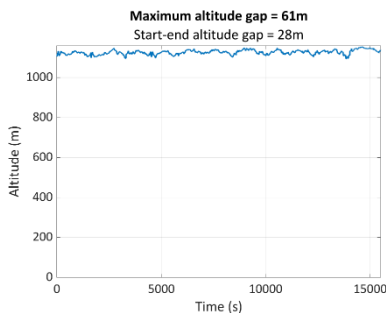
مطالعات گذشته برای توسعه چرخه رانندگی در مناطق شهری مثل مشهد [۱۸]، تهران [۱۹] و جاده‌های بین‌شهری مثل تهران- امل [۲۰] و تهران- سمنان [۲۱] نشان داده است که این اقدامات می‌تواند در برنامه‌ریزی برای شرایط حمل‌ونقل و زندگی شهروندان با توجه به شرایط محلی استفاده شود. برای مثال، تحقیقات در تهران نشان داده است که افزایش امکانات برای دوچرخه‌سواری، منجر به کاهش ترافیک و آلودگی هوا می‌شود. شهر سمنان یکی از شهرهای مهم استان سمنان واقع در شمال‌شرق ایران است. با توجه به موقعیت جغرافیایی و اجتماعی شهر، توسعه چرخه رانندگی می‌تواند به بهبود شرایط زندگی ساکنان کمک کند. از این‌رو، برنامه‌ریزی مناسب برای ایجاد چرخه‌های رانندگی امن و مناسب در شهر سمنان بسیار حیاتی است و باید با توجه به شرایط موجود در این شهر انجام شود. در این مقاله، روند یک چرخه رانندگی محلی مربوط به شهر سمنان با استفاده از روش تعقیب‌گر توسعه داده شده است. روش و تکنیک‌های جمع‌آوری داده، تحلیل داده و ایجاد چرخه نهایی و همچنین کاربردهای بالقوه این رویکرد بررسی شده است. با بررسی رفتار رانندگی در دنیای واقعی، مشخص شد که چگونه با روش تعقیب‌گر می‌توان چرخه رانندگی محلی را توسعه داد.

روند اجرای پژوهش

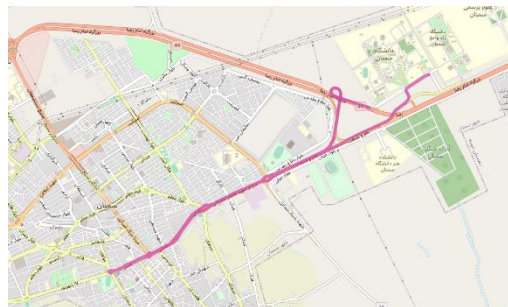
انتخاب مسیر

به‌منظور به‌دست‌آوردن یک چرخه رانندگی جامع و دقیق، انجام حرکت‌ها در یک مسیر ثابت، امری ضروری است. در این راستا، مسیر انتخابی باید تکرار شود تا ویژگی‌های مربوط به مسیر، در شرایط متفاوت به‌دقت بررسی گردد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، مسیر موردنظر برای این مطالعه، از دانشگاه سمنان تا مرکز شهر (میدان سعدی) و برعکس، در شهر سمنان در نظر گرفته شده است. مسافتی که در فرایند داده‌برداری طی شده است در هر مسیر حدود ۱۲ کیلومتر بوده است. مسافت کلی که در این تحقیق برای داده‌برداری طی شده است نیز حدود ۱۳۰ کیلومتر می‌باشد.

برای اطمینان از دقت و صحت داده‌ها، داده‌برداری در روزهای دوشنبه و سه‌شنبه انجام شده است. با توجه به تراکم ترافیکی شهر و نیز به‌منظور دریافت نتایج جامع‌تر، داده‌برداری در بازه زمانی ۲۰ تا ۲۱ صورت پذیرفته است. این تراکم زمانی باعث می‌شود تا الگوها و تغییرات در رفتار رانندگی با دقت بیشتری بررسی شوند.



(ب)



(الف)

شکل ۱. الف) مسیر داده‌برداری شده و ب) تغییرات ارتفاع مسیر.

داده‌برداری

در ابتدا، به منظور استخراج چرخه رانندگی باید به یکی از دو روش مستقیم یا غیرمستقیم داده‌برداری انجام شود. پژوهش انجام‌شده به روش خودروی تعقیبگر که یک روش غیرمستقیم می‌باشد، انجام شده است [۱۹]. روش داده‌برداری به صورت تعقیب‌گر، یکی از رویکردهای مؤثر در مطالعات توسعه چرخه رانندگی در شهرها است که به واسطه امکان ثبت دقیق مسیرها و رفتارهای رانندگان، اطلاعات معتبر و گسترده‌ای را در اختیار محققان قرار می‌دهد. در مورد شهر سمنان، با توجه به شرایط جغرافیایی و ترافیکی، توسعه چرخه رانندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین منظور با استفاده از روش تعقیب‌گر، داده‌های مکانی و زمانی مرتبط با حرکت وسایل نقلیه در سطح شهر با دقت بالا ثبت گردید و سپس برای شناخت الگوهای رانندگی و نقاط ترافیکی پرتراکم تحلیل شد. خودروی داده‌بردار در طول مسیر مشخص‌شده، نمونه‌های تصادفی خودروها را تعقیب کرد و داده‌های مهمی از جمله موقعیت، سرعت، زمان، سن و جنسیت راننده‌ها را ثبت کرد. در طول این فرایند تعقیب و ثبت داده، علاوه بر تقلید رفتار رانندگی، مشخصات خودرو نیز ثبت شدند. همچنین، اطلاعات مرتبط با سن و جنس راننده‌ها که متغیرهای مهمی در تعیین رفتار رانندگی محسوب می‌شوند، در فرایند ثبت داده‌ها، ثبت شدند. برای داده‌برداری در این مطالعه، از نرم‌افزاری که بر روی تلفن‌های همراه نصب شده است، بهره گرفته شد. این نرم‌افزار قادر به ثبت دقیق اطلاعات موقعیت جغرافیایی، سرعت حرکت و زمان انجام داده‌برداری است. با استفاده از سیستم موقعیت‌یابی داخلی تلفن همراه، این نرم‌افزار به‌طور مداوم موقعیت جغرافیایی را در طول مسیر رانندگی رصد و ثبت می‌کند. همچنین، سرعت لحظه‌ای حرکت در هر نقطه از مسیر به دقت محاسبه و ثبت می‌شود. علاوه بر این، زمان دقیق آغاز و پایان هر داده‌برداری نیز به‌وسیله این نرم‌افزار ثبت می‌گردد. به این ترتیب، اطلاعات کامل و دقیقی از الگوهای حرکتی، سرعت ترتیبی و زمانبندی رانندگی در شهر سمنان به دست می‌آید که می‌تواند در توسعه چرخه رانندگی استفاده شود. از خودرو تیباصندوق دار، تولید و طراحی شرکت سایپا در سال ۱۴۰۰، به‌عنوان خودرو تعقیب‌گر استفاده شد. در فرایند داده‌برداری، دو نفر در خودرو حضور داشتند: راننده و داده‌بردار. راننده، فردی ۲۵ ساله با سابقه ۸ سال رانندگی بود. فرد داده‌بردار نیز در خودرو حاضر بود و وظیفه ثبت دقیق اطلاعات خودروهای تحت تعقیب و مسیرها را داشت.

تحلیل داده‌ها

الگوی رانندگی بر اساس ریزسفرهای تولیدشده توسعه داده خواهد شد که به‌عنوان فعالیت‌های رانندگی تعریف می‌شوند و بین دو پله متوالی توقف شامل هر شرایط «توقف- حرکت» تا «توقف- حرکت» بعدی را پوشش می‌دهند. این الگو ممکن است شامل حالت‌های شتاب‌دهی و کاهش شتاب باشد. ریزسفرها از داده‌های کلی سرعت استخراج‌شده از داده‌های ثبت‌شده جدا شده‌اند. پارامترهای هدف بر اساس داده‌های سرعت- زمان حاصل از جمع‌آوری داده‌های میدانی، تعریف و محاسبه شده‌اند. در هر ثانیه از داده‌های سرعت- زمان، سرعت شتاب (یا کاهش شتاب)، جابه‌جایی و ارتفاع از سطح دریا محاسبه شده است. معیارهای ارزیابی مورداستفاده در توسعه الگوی رانندگی شهر سمنان به صورت تعقیب‌گر که برای تعیین الگوی رانندگی از داده‌های جمع‌آوری‌شده استخراج شده است در جدول ۱ نشان داده شده است.

طبقه‌بندی شرایط ترافیکی برای تحلیل ریزسفر، ضروری است. در این مقاله، چهار وضعیت مختلف ترافیکی زیر برای دسته‌بندی شرایط ترافیکی تعریف شده است [۲۲]:

– **جاده‌های شهری^۱**: برای جریان منطقه مسکونی با سرعت پایین رانندگی و توقف مکرر با سرعت متوسط کمتر از ۱۵ کیلومتر بر ساعت و طیف وسیعی از زمان توقف کم تا زیاد تعریف می‌شود.

¹ Urban Road

- **جاده‌های فرعی^۱:** معابر، کوچک‌تر از بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی و دارای سرعت محدودتر هستند. این نوع جاده‌ها معمولاً به‌عنوان جاده‌های منطقه‌ای یا جاده‌های دیگری با نقش مکمل به جاده‌های اصلی تعریف می‌شوند و برای تردد محلی، دسترسی به مناطق مسکونی، کشاورزی و صنعتی و همچنین اتصال به جاده‌های اصلی استفاده می‌شوند. میانگین سرعت در آن‌ها کمتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت و زمان تقریبی زیادی در حالت توقف است.
- **بزرگراه^۲:** این واژه معمولاً به جاده‌هایی اطلاق می‌شود که برای اتصال مناطق مختلف یک کشور یا منطقه به یکدیگر به‌کار می‌روند و معمولاً دارای ترافیک نسبتاً زیاد و سرعت مجاز بالا هستند. سرعت مجاز در این نوع جاده‌ها ممکن است بین ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت یا بیشتر باشد. زمان توقف، بسیار کم است.
- **آزادراه^۳:** به معنای عمومی یک نوع جاده بزرگ و سریع است که برای تردد خودروها با سرعت بالا و به‌صورت منفصل از سایر وسایل نقلیه در نظر گرفته می‌شود. این نوع جاده به‌طور عمده برای سفرهای بلندمدت و اتصال بین شهرها یا مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت مجاز معمولاً بسیار بالاتر از جاده‌های معمولی است و ممکن است به صورت ثابت تعیین شده باشد. میانگین سرعت از حالت بزرگراهی بیشتر و زمان توقف بسیار کم است.

جدول ۱. پارامترهای مشخصه در توسعه الگوی رانندگی.

شماره	پارامترهای مشخصه	روابط
۱	مسافت (کیلومتر)	$dist = (t_2 - t_1) \frac{V_1}{3.6} + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \frac{V_i}{3.6}$
۲	زمان کلی (ثانیه)	$T_{total} = (t_2 - t_1) + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1})$
۳	زمان رانندگی	$T_{drive} = t_{total} - t_{stop}$
۴	زمان شتاب‌گیری	$T_{acc} = \begin{cases} t_2 - t_1 & a_1 > acc_threshold \\ 0 & else \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & a_i > acc_threshold \\ 0 & else \end{cases}$
۵	زمان کاهش شتاب	$T_{dec} = \begin{cases} t_2 - t_1 & a_1 < -acc_threshold \\ 0 & else \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & a_i < -acc_threshold \\ 0 & else \end{cases}$
۶	زمان توقف کامل	$T_{stop} = \begin{cases} t_2 - t_1 & V_1 = 0, a_1 = 0 \\ 0 & else \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & V_i = 0, a_i = 0 \\ 0 & else \end{cases}$
۷	میانگین سرعت	$\bar{V}_{trip} = 3.6 \frac{dist}{T_{total}}$
۸	میانگین شتاب	$a_{av} = \bar{a} = \frac{1}{T_{total}} \sum_{i=1}^n a_i$

¹ Secondary Road² Highway³ Motorway

استخراج چرخه رانندگی

در این مقاله، توسعه چرخه رانندگی با استفاده از روشی انجام شده است که بر دسته‌بندی داده‌های رانندگی مبتنی است. در این رویکرد، ابتدا داده‌های رانندگی تحت شرایط ترافیک واقعی جمع‌آوری شد. سپس داده‌های رانندگی به بخش‌های کوچکی به نام ریزسفر تقسیم شدند. سپس، ویژگی‌های رانندگی به‌منظور مشخص کردن ریزسفرها استخراج شد. ویژگی‌های رانندگی برای هر ریزسفر محاسبه گردید و به‌عنوان یک نقطه در فضای ویژگی^۱ در نظر گرفته شد. پس از آن، ریزسفرها در فضای ویژگی با استفاده از روش میانگین کی^۲ دسته‌بندی شدند. هر دسته به‌عنوان یک وضعیت ترافیکی نامیده شد و یک زیرچرخه^۳ برای هر وضعیت ترافیکی ایجاد گردید. چرخه نهایی رانندگی شامل زیرچرخه‌های جداگانه از شرایط ترافیکی است. چرخه رانندگی هر شرایط ترافیکی، شامل برخی از ریزسفرهای نماینده از آن شرایط ترافیکی است. برای انتخاب ریزسفرهای نماینده، موارد نزدیک‌تر به مراکز دسته به‌عنوان ریزسفرهای نماینده هر دسته انتخاب می‌شوند. نسبت هریک از شرایط ترافیکی در چرخه نهایی رانندگی به طول ریزسفرهای آن دسته در تمام داده‌های رانندگی است. به عبارت دیگر، برای دریافت مدت‌زمان هر شرایط ترافیکی در چرخه نهایی رانندگی، نسبت زمان هر دسته در کل داده‌های ثبت‌شده استفاده شده است. این روش با روابط زیر معرفی شده است [۲۳]:

$$t_i = \frac{t_{drivingcycle}}{t_{overall}} \sum_{j=1}^{n_i} t_{i,j} \quad (1)$$

که در آن:

- t_i مدت‌زمان دسته شماره i (بین ۱ تا تعداد دسته‌ها) در چرخه نهایی رانندگی است.
- $t_{drivingcycle}$ مدت‌زمان چرخه نهایی رانندگی است.
- $t_{overall}$ مدت‌زمان تمام داده‌های ثبت‌شده است.
- $t_{i,j}$ زمان ریزسفر شماره j در دسته شماره i است.
- n_i تعداد کل ریزسفرها در دسته شماره i است.

در این مطالعه، از روش دسته‌بندی میانگین کی برای دسته‌بندی ریزسفرها استفاده شده است. در این بخش، الگوریتم دسته‌بندی میانگین کی به‌طور مختصر توضیح داده شده است. دسته‌بندی در فضای اقلیدسی چند بعدی، R^n ، فرایند تقسیم مجموعه n نقطه به تعدادی، برای مثال K ، از دسته‌ها بر اساس معیاری از تشابه یا اختلاف است. مجموعه n نقطه (x_1, x_2, \dots, x_n) توسط مجموعه S نمایش داده و K دسته (به ترتیب با C_1, C_2, \dots, C_K) ایجاد می‌شود. سپس:

$$\begin{aligned} C_i &\neq \emptyset \quad \text{for } i = 1, \dots, K \\ C_i \cap C_j &= \emptyset \quad \text{for } i = 1, \dots, K \quad j = 1, \dots, K \quad i \neq j \\ \bigcup_{i=1}^k C_i &= S \end{aligned} \quad (2)$$

روش دسته‌بندی میانگین کی، یکی از پرکاربردترین تکنیک‌های دسته‌بندی موجود است. این روش تلاش می‌کند مسئله را با بهینه‌سازی معیار داده‌شده حل کند. مراحل روش میانگین کی به‌طور خلاصه به شرح زیر است [۲۴]:

¹ Feature Space

² K-Means

³ Sub-Cycle

– **مرحله ۱:** K مرکز دسته اولیه x_1, x_2, \dots, x_n به صورت تصادفی از میان n نقطه، $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ، انتخاب می‌شود.

– **مرحله ۲:** نقطه x_i در صورتی که $i = 1, 2, \dots, n$ ، در دسته C_j قرار می‌گیرد و $j \in \{1, 2, \dots, K\}$:

$$\|x_i - z_j\| < \|x_i - z_p\|; p = 1, 2, \dots, K; j \neq p \quad (3)$$

تصاعدها به‌طور دلخواه حل می‌شوند.

– **مرحله ۳:** مراکز جدید دسته $z_1^*, z_2^*, \dots, z_K^*$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$z_i^* = \frac{1}{n_i} \sum_{x_j \in C_j} x_j, i = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

که در آن n_i تعداد عناصر متعلق به دسته C_i است.

– **مرحله ۴:** فرایند در صورتی که $z_i^* = z_i$ ، پایان می‌یابد در غیر این صورت، از مرحله ۲ تکرار خواهد شد.

پارامترهای استخراج شده

پارامترهای مشخصه استخراج شده رانندگی در این مطالعه برای کدنویسی در نرم‌افزار متلب و ایجاد ریزسفرها در روابط (۴) الی (۸) بیان شده‌اند [۲۵]:
مسافت کل:

$$dist = (t_2 - t_1) \left(\frac{V_1}{3.6} \right) + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \left(\frac{V_i}{3.6} \right) \quad (4)$$

زمان کل:

$$T_{total} = (t_2 - t_1) + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \quad (5)$$

زمان توقف خودرو:

$$T_{stop} = \left\{ \begin{array}{ll} t_2 - t_1 & V_1 = 0, a_1 = 0 \\ 0 & else \end{array} \right\} + \sum_{i=2}^n \left\{ \begin{array}{ll} t_i - t_{i-1} & V_i = 0, a_i = 0 \\ 0 & else \end{array} \right\} \quad (6)$$

درصد توقف خودرو:

$$\%stop = \frac{T_{stop}}{T_{total}} \times 100 \quad (7)$$

میانگین سرعت رانندگی:

$$\bar{V}_{drive} = 3.6 \frac{dist}{T_{drive}} \quad (8)$$

که پارامتر V سرعت، پارامتر a شتاب و پارامتر t زمان می‌باشد.

خوشه‌بندی

حد آستانه از مفاهیمی است که برای یافتن ریزسفر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بدین صورت که هر نقطه از سفر که سرعت آن از حد آستانه انتخاب شده بیشتر شود، یک ریزسفر ثبت می‌شود. در این پژوهش، حد آستانه سرعت در دو حالت صفر و میانگین سرعت در نظر گرفته شده است و با استفاده از الگوریتم میانگین کی نقاط در چهار دسته مسیر شهری^۱، جاده فرعی^۲، بزرگراه^۳ و آزادراه با ترافیک سبک^۴ دسته‌بندی می‌شوند. در این پژوهش برای برچسب داده‌های شهر سمنان در مؤلفه سرعت از برچسب‌های مرجع [۲۶] استفاده شده است و متناظر با برچسب‌های ترافیک سنگین، ترافیک نیمه‌سنگین، ترافیک نیمه‌سبک و ترافیک سبک به ترتیب برچسب‌های مسیر شهری، مسیر فرعی، مسیر بزرگراهی و مسیر آزادراهی با ترافیک سبک تعیین شده است. علاوه بر حالت بیان شده از روش بهینه‌سازی آرنود کودکان^۵ [۲۷] نیز استفاده شده است که بهترین تعداد خوشه را پیشنهاد دهد.

نرم‌افزار متلب

متلب^۶، یک نرم‌افزار علمی و محاسباتی است که به وسیله شرکت مت وورکس^۷ توسعه داده شده است. این نرم‌افزار برای حل مسائل مختلف در زمینه‌های مختلفی از علوم و مهندسی، از جمله مهندسی برق، مهندسی مکانیک، علوم رایانه، علوم داده، ریاضیات و غیره استفاده می‌شود. در این پژوهش، برای به‌دست‌آوردن اطلاعات مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده، خوشه‌بندی و به‌دست‌آوردن چرخه رانندگی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. از جمله دلایل استفاده از این نرم‌افزار می‌توان به کارایی و سرعت، گستردگی الگوریتم‌ها، انعطاف‌پذیری و پشتیبانی از تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ اشاره کرد.

نتایج و بحث

چرخه رانندگی شهر سمنان با استفاده از داده‌های رانندگی جمع‌آوری شده در شهر سمنان و سرعت گزارش شده در داده‌ها تدوین شده است. برای در نظر گرفتن فاصله بین دو توقف متوالی به‌عنوان یک ریزسفر، ابتدا ریزسفرها تعیین می‌شوند و سپس یک بار بر اساس میانگین سرعت و درصد زمان توقف و بار دیگر بر اساس میانگین سرعت و میانگین شتاب در چهار خوشه دسته‌بندی می‌شوند. برای خوشه‌بندی ریزسفرهای به‌دست‌آمده از داده‌های جمع‌آوری شده از روش میانگین کی در نرم‌افزار متلب استفاده شده است. آستانه برای سرعت و شتاب هر دو صفر در نظر گرفته شده است و چرخه رانندگی در ۱۸۰۰ ثانیه تدوین شده است. نتایج حاصل شده از دو خوشه‌بندی با تعداد چهار دسته و تعداد بهینه

¹ Urban road

² Secondary road

³ Highway

⁴ Motorway

⁵ Elbow Method

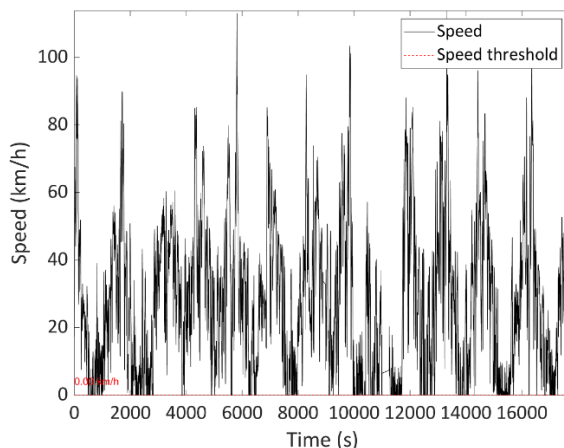
⁶ MATLAB

⁷ MathWorks

در دو حالت میانگین سرعت- زمان ایستادن خودرو و میانگین سرعت- میانگین شتاب برای دو حالت با آستانه صفر و آستانه میانگین سرعت بررسی شده است.

آستانه صفر

شکل ۲ نمودار سرعت برحسب زمان داده برداری با آستانه سرعت صفر را نشان می‌دهد. در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج خوشه‌بندی با چهار دسته و چرخه رانندگی در دو حالت میانگین سرعت- زمان ایستادن و میانگین سرعت- میانگین شتاب با آستانه سرعت صفر مشخص شده است. در شکل ۳ خوشه‌بندی بر اساس میانگین سرعت- زمان ایستادن نشان داده شده است. بیشترین میزان زمان توقف مربوط به مسیر شهری و مسیر فرعی بوده است که کمترین میزان میانگین سرعت را داشته‌اند. برای حالت بزرگراهی و آزادراهی تعداد ریزسفرهای مربوط به حالت بزرگراهی بیشتر بوده است که نشان‌دهنده تعداد توقف‌های بیشتر در این حالت بوده است. میزان زمان توقف برای حالت بزرگراهی بیشتر از حالت آزادراهی بوده است و برخلاف حالت بزرگراهی میزان توقف برای حالت آزادراهی نزدیک صفر بوده است. در شکل ۴ خوشه‌بندی بر اساس میانگین سرعت- میانگین شتاب انجام شده است که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد ریزسفرها مربوط به حالت شهری و فرعی بوده است و علت آن این است که رانندگی در یک مسیر با ترافیک شهری صورت گرفته است و تعداد ترمزگیری‌ها بسیار زیاد بوده است. کمترین تعداد ریزسفرها مربوط به مسیر آزادراهی و بزرگراهی بوده است به این دلیل که خودرو کمترین ترمزگیری‌ها را داشته است. در مقایسه با چرخه انجام‌شده برای اروپا^۱ [۲۸] در حالتی که برای این چرخه ۳ دسته داده در نظر گرفته شده است نتایج به‌دست‌آمده در بسیار نزدیک بوده است با این تفاوت که در چرخه ایجادشده در این چرخه، مسیر بزرگراهی و آزادراهی در دسته جدا از هم در نظر گرفته شده است. بررسی این موضوع برای شهر کوالا ترنگانو^۲ مالزی^۳ [۲۹; ۳۰] نیز در سه دسته خوشه‌بندی شده است و نتایج حاصل از خوشه‌بندی به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نزدیک بوده است با این تفاوت که نتایج خروجی به‌دست‌آمده در این پژوهش، دقت بالاتری را نشان داده و دسته‌بندی‌ها واضح‌تر بوده است.

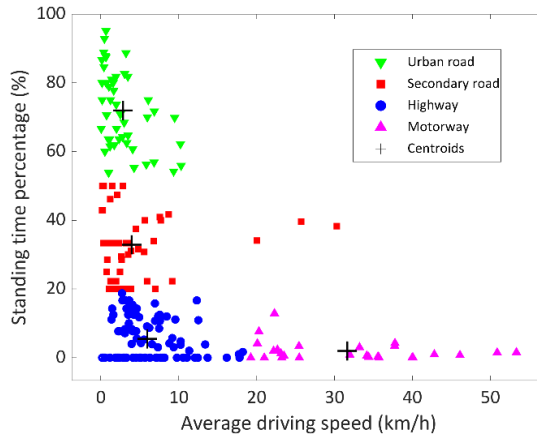


شکل ۲. نمودار سرعت با آستانه سرعت صفر.

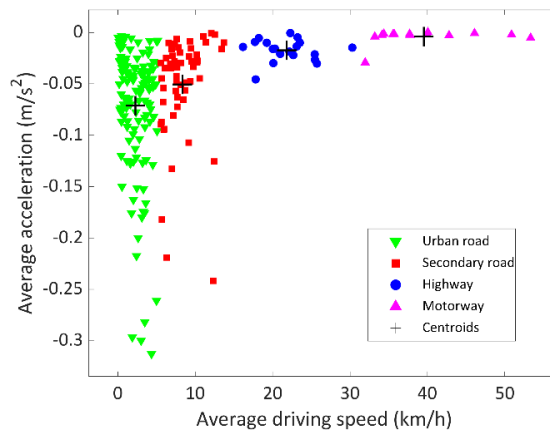
¹ ARTEMIS

² Kuala Terengganu

³ Malaysia



شکل ۳. خوشه‌بندی با چهار دسته بر اساس میانگین سرعت- زمان ایستادن با آستانه سرعت صفر.



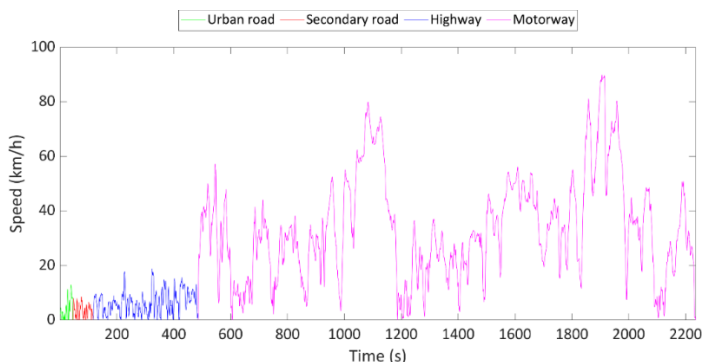
شکل ۴. خوشه‌بندی با چهار دسته بر اساس میانگین سرعت- میانگین شتاب با آستانه سرعت صفر.

در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب چرخه‌های رانندگی بر اساس زمان ایستادن و میانگین شتاب نشان داده شده است. متناسب با خوشه‌بندی در شکل‌های ۳ و ۴، چرخه‌های نشان داده شده در شکل‌های ۵ و ۶ به دست آمده است که با مقایسه این دو چرخه مشاهده می‌شود که میزان دوره رانندگی مربوط به سه مسیر شهری، فرعی و بزرگراهی، کمترین میزان چرخه را دارا هستند با این تفاوت که در چرخه مربوط به میانگین شتاب میانگین زمانی این سه دسته بیشتر بوده است به این دلیل که برای حالت میانگین، شتاب ترمزگیری در خوشه‌بندی مؤثر بوده و توقف کامل خودرو تأثیری نداشته است. به طور مشابه در هر دو چرخه رانندگی، بیشترین طول چرخه مربوط به حالت آزادراهی بوده است. این مسئله نشان‌دهنده حجم ترافیک کم مسیر طی شده می‌باشد. تحقیقات انجام شده در شهرهای بیرمنگام^۱ در انگلستان^۲ [۳۱]،

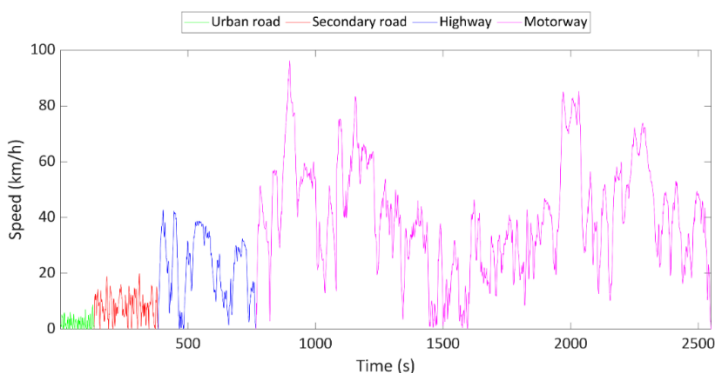
^۱ Birmingham

^۲ England

وفوژو^۱ در چین^۲ [۳۲]، چانگ چون^۳ در چین [۳۳] و تهران در ایران [۱۹] که هر کدام از این سیکل‌ها به ترتیب دارای طول دوره ۱۲۰۰، ۱۴۰۰ و دو مورد آخر ۱۸۰۰ ثانیه بوده‌اند، برای مقایسه لحاظ شده‌اند. در مقایسه چرخه به دست آمده در این پژوهش با پژوهش‌های بیان شده فوق، می‌توان بیان کرد که چرخه به دست آمده در این پژوهش، بسیار دقیق‌تر است و متناسب با خوشه‌بندی انجام شده مشخص شده است که هر قسمت از سیکل به دست آمده مربوط به کدام حالت خوشه‌بندی انجام شده بوده است و چه سهمی از طول دوره در نظر گرفته شده مربوط به آن حالت از خوشه‌بندی است.



شکل ۵. چرخه رانندگی بر اساس زمان ایستادن با خوشه‌بندی چهار دسته با آستانه سرعت صفر.



شکل ۶. چرخه رانندگی بر اساس میانگین شتاب با خوشه‌بندی چهار دسته با آستانه سرعت صفر.

آستانه میانگین سرعت

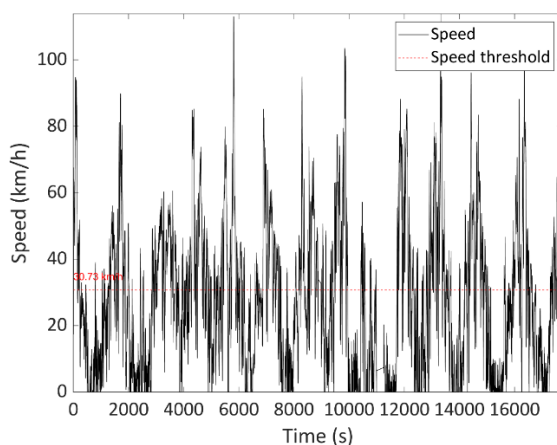
در نمودار سرعت- زمان شکل ۷، سرعت میانگین به عنوان آستانه در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۸ و ۹ نتایج خروجی از خوشه‌بندی با چهار دسته و چرخه رانندگی در دو حالت میانگین سرعت- زمان ایستادن و میانگین سرعت- میانگین شتاب با آستانه سرعت میانگین شتاب نشان داده شده است. در شکل ۸ با توجه به این که دسته‌بندی در آستانه میانگین سرعت انجام گرفته است که در شکل ۷ میانگین سرعت نشان داده شده است به این معنی است که

^۱. Fuzhou

^۲. China

^۳. Changchun

سرعت میانگین به‌عنوان توقف برای ریزسفرها در نظر گرفته شده است. دسته‌بندی‌های انجام‌شده نشان داده است که متناسب آستانه در نظر گرفته‌شده فقط حالت شهری دارای زمان توقف بوده که به دلیل وجود ترافیک یا چراغ قرمز در مسیر بوده است و حالت‌های دیگر دسته‌بندی، زمان توقف نزدیک به صفر داشته‌اند. در شکل ۹ خوشه‌بندی داده‌ها بر اساس میانگین شتاب که متناسب با آستانه میانگین سرعت انجام شده نمایش داده شده است. مسیر شهری و مسیر فرعی در این دسته‌بندی در میانگین سرعت کمتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت قرار گرفته‌اند و با توجه به آستانه در نظر گرفته‌شده بیشترین میزان شتاب منفی مربوط به حالت فرعی و بزرگراهی بوده است که به دلیل ترمزگیری می‌باشد. پژوهش‌های انجام‌شده در شهرهای فوژو^۱ [۳۴]، ژیان^۲ [۳۵] و عمان^۳ (پایتخت اردن^۴) [۳۶] در مقایسه با پژوهش انجام‌شده برای خوشه‌بندی بر اساس میانگین سرعت نتایج بسیار مشابه بودند. با وجود تفاوت در تعداد دسته‌ها در خوشه‌بندی‌ها به‌طور مشابه، بیشترین تراکم در شتاب صفر متمرکز بوده و در بازه سرعتی متفاوت بوده و هرچه شتاب به سمت مثبت و منفی افزایش پیدا کرده میزان تراکم کاهش پیدا کرده است.



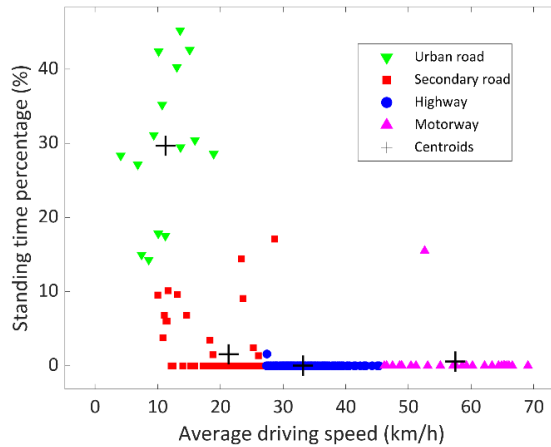
شکل ۷. نمودار سرعت با آستانه میانگین سرعت.

¹ Fuju

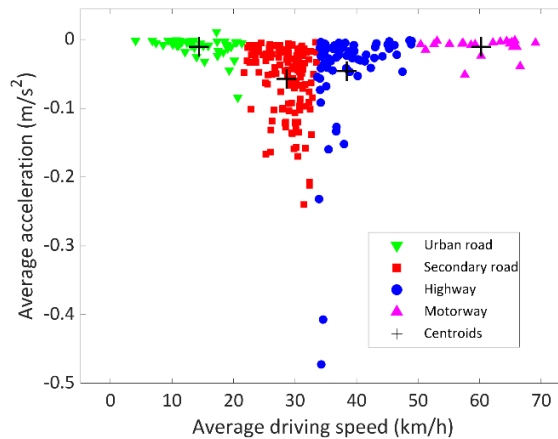
² Xian

³ Amman

⁴ Jordan



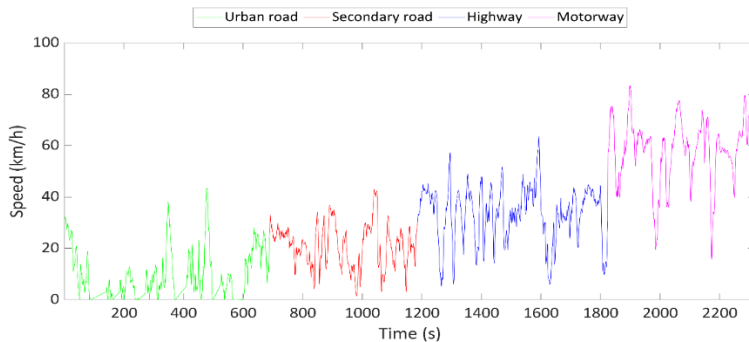
شکل ۸. خوشه‌بندی با چهار دسته بر اساس میانگین سرعت- زمان ایستادن با آستانه میانگین سرعت.



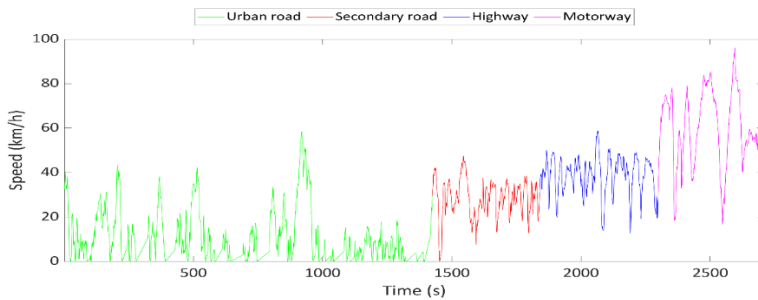
شکل ۹. خوشه‌بندی با چهار دسته بر اساس میانگین سرعت- میانگین شتاب با آستانه میانگین سرعت.

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ چرخه‌های به‌دست‌آمده برای حالت آستانه میانگین سرعت به ترتیب برای حالت توقف و میانگین شتاب انجام شده است. در شکل ۱۰ چرخه به‌دست‌آمده برای حالت توقف نشان می‌دهد که هر حالت تقریباً دارای دوره زمانی برابری بوده‌اند برخلاف شکل ۱۱ که چرخه رانندگی برای حالت میانگین شتاب نشان داده شده است که بیشترین حالت چرخه مربوط به مسیر شهری در نظر گرفته شده است و مسیر رانندگی بیشتر در حالت ترافیک سبک شهری و رانندگی با سرعت کم بوده است. چرخه‌های رانندگی به‌دست‌آمده در این قسمت نیز در مقایسه با شهرهای بیرمنگام، فوژو، چانگچون [۳۱-۳۳] دارای دقت بیشتر بوده است و چرخه به‌دست‌آمده دارای توضیحات بیشتر و وضوح رنگی بیشتری می‌باشد که در آن، تمام دسته‌های خوشه‌بندی انجام‌شده مشخص هستند. چرخه‌های به‌دست‌آمده برای دو شهر ژیان در کشور چین [۳۷] و شهر کاپرو در کشور مصر [۳۸] که با روش میانگین کی خوشه‌بندی انجام شده و چرخه‌های رانندگی به ترتیب در دو دوره زمانی ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ ثانیه انجام شده است. چرخه‌های حاصل شده از هر دو این پژوهش‌ها نتایج بسیار نزدیکی به چرخه‌های خروجی از این پژوهش دارند، به نحوی که دسته‌های مختلف

در خوشه‌بندی‌ها در نمودار خروجی چرخه‌های رانندگی هر دو این پژوهش‌ها قابل مشاهده است و میزان زمان برای هر دسته مشخص شده است.



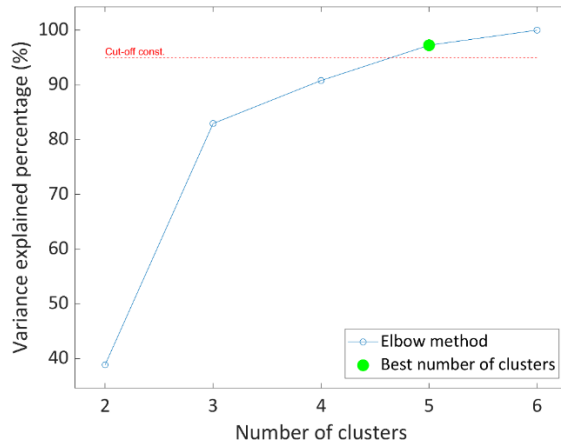
شکل ۱۰. چرخه رانندگی بر اساس زمان ایستادن با خوشه‌بندی چهار دسته با آستانه میانگین سرعت.



شکل ۱۱. چرخه رانندگی بر اساس میانگین شتاب با خوشه‌بندی چهار دسته با آستانه میانگین سرعت.

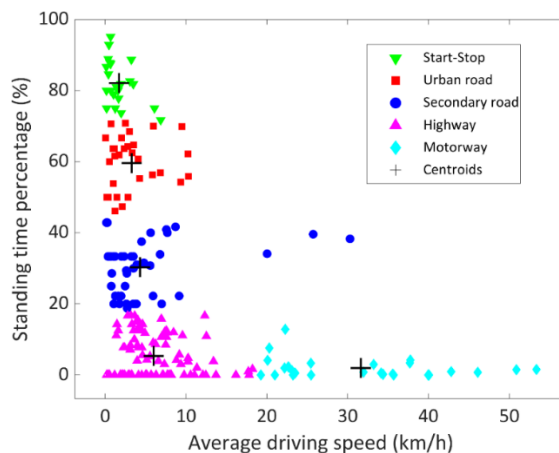
حالت بهینه

با استفاده از روش بهینه‌سازی آرنورد کودکان به دست آمد که تعداد بهینه خوشه‌بندی‌ها برای حالت آستانه سرعت صفر برابر پنج دسته بود که در شکل ۱۲ قابل مشاهده است. در شکل ۱۳ و ۱۴ نتایج خروجی از خوشه‌بندی با پنج دسته و چرخه رانندگی در دو حالت میانگین سرعت- زمان ایستادن و میانگین سرعت- میانگین شتاب در شکل ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. تعداد دسته‌های به دست آمده برای خوشه‌بندی به روش میانگین کی در بهینه‌ترین حالت در این پژوهش در مقایسه با پژوهش‌های انجام شده برای انتخاب بهینه‌ترین تعداد دسته‌ها در خوشه‌بندی [۳۹; ۴۰] نتایج کاملاً مشابهی را در نمودار خروجی برای انتخاب بهینه‌ترین تعداد دسته‌ها برای بهترین حالت خوشه‌بندی نشان داده است و این تفاوت در آن وجود دارد که بهترین انتخاب برای این موضوع بر روی خود نمودار قابل مشاهده می‌باشد و نیازی به تحلیل نمودار و نتیجه‌گیری از روی انحنای نمودار یا تغییر ناگهانی آن نیست.

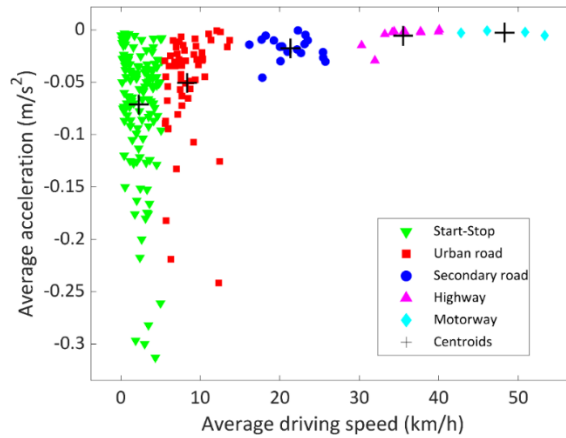


شکل ۱۲. تعداد بهینه دسته‌ها در خوشه‌بندی.

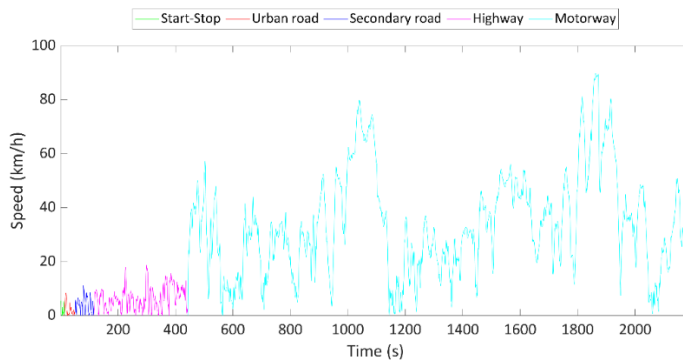
در این حالت خوشه‌بندی، یک دسته دیگر به خوشه‌بندی اضافه شده است که بازه سرعت کمتری از مسیر شهری داشته است و با عنوان شروع-توقف در نظر گرفته شده است. این حالت برای وضعیتی است که خودرو در ترافیک قرار گرفته است که با سرعت بسیار کم و در زمان کوتاه، فاصله بسیار کوتاهی را طی می‌کند و دارای حرکت و توقف‌های کوتاه است. بیشترین تفاوت این حالت بهینه تشخیص داده‌شده در شکل ۱۳، با خوشه‌بندی با چهار دسته در خوشه‌بندی میانگین سرعت-زمان توقف در شکل ۳ در این بوده است که قسمتی از ریزسفرهای مسیر شهری به دسته شروع-توقف تعلق پیدا کرده است و در باقی دسته‌بندی‌ها تغییر زیادی ایجاد نشده است. با توجه به شکل ۱۴ و شکل ۴ که به ترتیب نشان‌دهنده خوشه‌بندی به حالت بهینه با پنج دسته و خوشه‌بندی با چهار دسته برای حالت میانگین شتاب می‌توان نتیجه گرفت تمام ریزسفرهای مسیر شهری به حالت شروع-توقف اختصاص داده شده است و به همین ترتیب دسته‌ها جابه‌جا شده‌اند و فقط ریزسفرهای حالت آزادراهی به دو قسمت تقسیم شده است که قسمتی مربوط به مسیر بزرگراهی و قسمت مربوط به مسیر آزادراهی شده است.



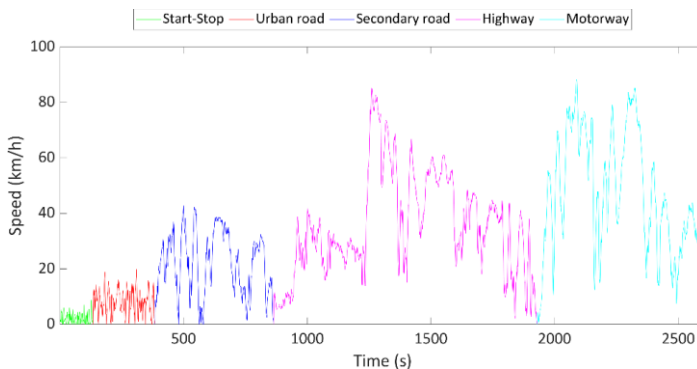
شکل ۱۳. خوشه‌بندی با پنج دسته بر اساس میانگین سرعت-زمان ایستادن با آستانه سرعت صفر.



شکل ۱۴. خوشه‌بندی با پنج دسته بر اساس میانگین سرعت - میانگین شتاب با آستانه سرعت صفر.



شکل ۱۵. خوشه‌بندی با پنج دسته بر اساس میانگین سرعت - زمان ایستادن با آستانه سرعت صفر.



شکل ۱۶. خوشه‌بندی با پنج دسته بر اساس میانگین سرعت - میانگین شتاب با آستانه سرعت صفر.

چرخه‌های رانندگی در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که برای حالت با میانگین شتاب چرخه رانندگی برای همه حالت‌ها به‌طور تقریباً یکسانی بوده است در حالی که برای حالت

بر اساس زمان ایستادن، بیشترین قسمت چرخه مربوط به مسیر آزادراهی بوده است. در مقایسه با شکل‌های ۵ و ۶ که همین حالت‌ها برای خوشه‌بندی با چهار دسته بوده است حالت زمان ایستادن تقریباً یکسان به‌دست آمده است اما برای حالت میانگین شتاب تفاوت کاملاً قابل مشاهده است و یک چرخه کاملاً متفاوت حاصل شده است.

مقایسه با چرخه‌های جهانی

در جدول ۲ پارامترهای مشخصه پژوهش انجام‌شده برای چرخه رانندگی شهر سمنان و سایر چرخه‌های رانندگی جهانی بیان شده است. از چرخه رانندگی شهر سمنان با عنوان SDC در جدول ۲ نام برده شده است. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده، به مقایسه آن‌ها با چرخه‌های رانندگی جهانی پرداخته شده است. باتوجه به جدول ۲ بیشترین میزان اختلاف با چرخه رانندگی NEDC است، بیشترین شباهت‌ها با چرخه رانندگی هنگ‌کنگ و چرخه تهران-آمل دیده می‌شود. می‌توان بیان کرد که چرخه به‌دست‌آمده برای شهر سمنان به روش تعقیب‌گر یک‌چرخه قابل اتکا بوده است اما برای به‌دست‌آوردن چرخه قابل‌اعتمادتر به پایگاه‌داده بزرگ‌تر و گسترده‌تر در سطح شهر سمنان در فصول مختلف سال متناسب با دانشجویی بودن شهر و تفاوت جمعیت در زمان‌های مختلف سال به بازه زمانی طولانی‌تری برای داده‌برداری نیاز است که نتایج بهتر و قابل‌اتکاتری به‌دست آید.

جدول ۲. مقایسه پارامترهای مشخصه استخراج‌شده جهانی

پارامتر مشخصه	SDC	میانبانگ [۴۱]	کوالامپور [۴۲]	هنگ‌کنگ [۴۳]	FTP-۷۵ [۴۳]	NEDC [۴۴]	تهران-آمل [۲۰]	WLTC [۴۵]
رانندگی	۹۰/۸۶	۸۸/۰۰	۸۲/۲۰	۸۲/۲۰	۸۷/۱۴	۷۹/۵۸	۸۲/۸۰	۸۷/۵۰
توقف	۹/۱۳	۱۲/۰۰	۱۷/۸۰	۱۷/۸۰	۱۲/۸۶	۲۰/۴۲	۱۷/۲۰	۱۲/۵۰
سرعت ثابت	۷/۲۰	۱۵/۰۰	۳/۰۴	۱۲/۰۰	۳۰/۰۶	۳۸/۸۱	۴/۳۱	۳۰/۳۰
شتاب مثبت	۴۴/۶۶	۴۰/۰۰	۳۹/۸۷	۳۴/۵۰	۳۶/۴۵	۲۳/۵۶	۳۸/۰۴	۲۷/۴۰
شتاب منفی	۴۵/۴۷	۳۳/۰۰	۳۹/۲۹	۳۴/۲۰	۳۰/۶۳	۱۷/۲۹	۴۰/۴۵	۲۷/۸۰
سرعت میانگین	۲۲/۷۶	۴۰/۲۰	۲۸/۷۳	۲۵/۰۰	۳۴/۲۰	۳۳/۶۰	۲۵/۰۵	۵۳/۱۴
سرعت میانگین رانندگی	۳۰/۳۸	۳۵/۳۰	۲۳/۲۱	۳۰/۴۰	۳۹/۲۱	۴۲/۲۴	۳۰/۲۶	۴۶/۵۰
مدت چرخه	۱۸۰۰	۱۰۲۰	۱۲۰۰	۱۵۴۸	۱۸۷۴	۱۱۸۰	۱۸۶۸	۱۸۰۰

نتیجه‌گیری

نتایج ارائه‌شده در این گزارش نشان می‌دهند که روش‌ها و ابزار مورد‌استفاده در این پروژه با موفقیت اجرا شده است و می‌توانند به‌عنوان نتایج مؤثری برای استفاده در فرایند استخراج چرخه رانندگی تلقی شوند. این نتایج می‌توانند به‌طور گسترده‌تری برای بهبود روش‌های تعیین چرخه رانندگی و کاهش آلودگی محیطی و مصرف سوخت مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به اینکه مسیری که به‌صورت خودروی تعقیب‌کننده داده‌برداری شده است می‌تواند نماینده کلیه مسیرها و شرایط جغرافیایی شهر باشد، می‌توان استنباط کرد که این چرخه می‌تواند نماینده شهر سمنان یا شهرهای دیگر با شرایط اقلیمی و جغرافیایی مشابه در این استان باشد. نتایج به‌دست‌آمده مشابه چرخه‌های جهانی است و این نشان می‌دهد که روش انجام‌شده برای داده‌برداری و تدوین چرخه دقت و کیفیت مناسبی دارد.

در این پژوهش برای خوشه‌بندی داده‌ها از روش میانگین کی استفاده شد. نتایج نشان داد که این روش نسبت به مراجع مختلف دیگری که در این پژوهش اشاره شده بودند، دقت و نتایج بهتری ارائه می‌دهد و اثبات می‌کند که روش

مورد استفاده، بسیار مؤثر و قابل اعتماد است. همچنین، این نشان می‌دهد که این روش برای مجموعه داده‌های بزرگ‌تر نیز قابل استفاده است.

چرخه‌های رانندگی تولیدشده در این پژوهش، در مقایسه با سایر تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده‌اند، به‌طور کلی شبیه به چرخه‌های رانندگی جهانی است و از ویژگی‌های بهتری بهره‌مند است. این تفاوت به این بازمی‌گردد که در این تحقیق، ارتباط دقیق بین چرخه‌ها و خوشه‌بندی داده‌ها برقرار شده است و نیز تعیین شده که هر دسته از خوشه‌بندی به چه میزان از مدت‌زمان دوره تخصیص داده است.

در چرخه رانندگی سمنان که مدت آن ۱۸۰۰ ثانیه است، تقریباً ۹ درصد از زمان رانندگی برای توقف در مسیر در نظر گرفته شده است. همچنین، ۷/۲۰ درصد از مسیر با سرعت ثابت طی می‌شود و ۴۴/۶۶ و ۴۵/۴۷ درصد از مسیر به ترتیب با شتاب مثبت و منفی طی می‌شود. میانگین سرعت در این چرخه رانندگی، ۳۰/۳۸ متر بر ثانیه است. سرعت میانگین در چرخه رانندگی سمنان از چرخه WLTC کمتر است. این در حالی است که زمان شتاب‌گیری در مسیر رانندگی در سیکل رانندگی سمنان نسبت به چرخه WLTC بیشتر بود.

استفاده از روش بهینه‌سازی برای تعیین تعداد دسته‌ها در خوشه‌بندی در این پژوهش نشان داده است که برای حالات مختلف و با توجه به مقدار آستانه سرعت و پارامترهای سرعت و شتاب، ممکن است تعداد بهینه دسته‌ها متغیر باشد. بر این اساس، تعیین شد که پنج دسته، با حدود ۹۸ درصد بهبود در انحراف معیار برای خوشه‌بندی داده‌ها بهینه است زیرا تعداد دسته‌های بیشتر باعث افزایش زمان پردازش می‌شود، در حالی که بهبود دقت نتایج تنها اندک است. این پژوهش به‌خوبی این موضوع را بررسی کرده و مقایسه‌ای بین حالات مختلف تعیین تعداد دسته‌ها به‌صورت دلخواه ارائه داده است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش به لطف حمایت‌های بنیاد ملی نخبگان (طرح شهید احمدی روشن) و همچنین شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) امکان‌پذیر شد.

References

- [1] Liu, T., Wang, B., & Yang, C. (2018). Online Markov Chain-based energy management for a hybrid tracked vehicle with speedy Q-learning. *Energy*, 160, 544-555. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.022>
- [2] Rahmatinejad, B., Rahimi Asiabaraki, H., Azimpour Shishevan, F., & Mohtadi Bonab, M. A. (2023). Experimental analysis of the effect of using aluminum oxide nanofluid in improving the heat transfer of XU7 engine radiator. *The Journal of Engine Research*, 70(2), 66-79. <https://doi.org/10.22034/er.2023.2011671.1015>
- [3] Rahmatinejad, B., Rahimi Asiabaraki, H., & Azimpour Shishevan, F. (2023). Investigation of the effect of AL₂O₃ nanofluid in M13NI engine cooling system. *The Journal of Engine Research*, 70(1), 47-65. <https://doi.org/10.22034/er.2023.1975318.0>
- [4] Rahmatinejad, B., Abbasgholipour, M., & Mohammadi Alasti, B. (2022). Experimental Evaluation of Heat Transfer of MF 285 Tractor Radiator, using Nano-fluid AL₂O₃+Water. *Journal of Agricultural Machinery*, 12(3), 281-299. <https://doi.org/10.22067/jam.2020.58870.0>
- [5] Andrade, G. M. S. D., Araújo, F. W. C. D., Santos, M. P. M. D. N., & Magnani, F. S. (2020). Standardized Comparison of 40 Local Driving Cycles: Energy and Kinematics. *Energies*, 13(20), 5434. <https://doi.org/10.3390/en13205434>

- [6] Gebisa, A., Gebresenbet, G., Gopal, R., & Nallamothe, R. B. (2021). Driving Cycles for Estimating Vehicle Emission Levels and Energy Consumption. *Future Transportation*, 1(3), 615-638. <https://doi.org/10.3390/futuretransp1030033>
- [7] Yang, C., Lu, Z., Wang, W., Li, Y., Chen, Y., & Xu, B. (2023). Energy management of hybrid electric propulsion system: Recent progress and a flying car perspective under three-dimensional transportation networks. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2(1), 100061. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100061>
- [8] Saboohi, Y., & Farzaneh, H. (2008). Model for optimizing energy efficiency through controlling speed and gear ratio. *Energy Efficiency*, 1(1), 65-76. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9005-y>
- [9] Mafi, S., Kakaee, A., Mashadi, B., Moosavian, A., Abdolmaleki, S., & Rezaei, M. (2022). Developing local driving cycle for accurate vehicular CO2 monitoring: A case study of Tehran. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130176>
- [10] Salihu, F., Demir, Y. K., & Demir, H. G. (2023). Effect of road slope on driving cycle parameters of urban roads. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 118, 103676. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103676>
- [11] Silvas, E., Hereijgers, K., Peng, H., Hofman, T., & Steinbuch, M. (2016). Synthesis of Realistic Driving Cycles With High Accuracy and Computational Speed, Including Slope Information. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Vehicular Technology*, 65(6), 4118-4128. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2546338>
- [12] Masclans Abelló, P., Medina Iglesias, V., de los Santos López, M. A., & Álvarez-Flórez, J. (2020). Real drive cycles analysis by ordered power methodology applied to fuel consumption, CO2, NOx and PM emissions estimation. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 15(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s11783-020-1296-z>
- [13] Jeong, N. T., Yang, S. M., Kim, K. S., Wang, M. S., Kim, H. S., & Suh, M. W. (2016). Urban driving cycle for performance evaluation of electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 17(1), 145-151. <https://doi.org/10.1007/s12239-016-0014-0>
- [14] Kessels, F. (2019). Introduction to Traffic Flow Modelling. In *Traffic Flow Modelling: Introduction to Traffic Flow Theory Through a Genealogy of Models* (pp. 1-19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78695-7_1
- [15] Zähringer, M., Kalt, S., & Lienkamp, M. (2020). Compressed Driving Cycles Using Markov Chains for Vehicle Powertrain Design. *World Electric Vehicle Journal*, 11(3), 52. <https://doi.org/10.3390/wevj11030052>
- [16] Liu, T., Tan, W., Tang, X., Zhang, J., Xing, Y., & Cao, D. (2021). Driving conditions-driven energy management strategies for hybrid electric vehicles: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111521. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111521>
- [17] Sun, F., Yang, Q., Dahlquist, E., & Xiong, R. (2023). *The Proceedings of the 5th International Conference on Energy Storage and Intelligent Vehicles (ICEIV 2022)*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-1027-4>
- [18] Poursmaeili, M. A., Aghayan, I., & Taghizadeh, S. A. (2018). Development of Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements. *Sustainable Cities and Society*, 36, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.034>
- [19] Azadi, M., Dezarianian, S., Navi, A., Salmani, A., Qaraati, T., & Faraji, A. (2022). Development of a Driving Cycle Based on Data Recorded from an Electric-gasoline Hybrid Vehicle

- on Two Routes in Tehran City with K-means Algorithm. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 19(1), 629-652. <https://doi.org/10.48301/kssa.2022.315133.1840>
- [20] Qaraati, T., Momeni Movahed, A., Azadi, M., & Moosavian, S. A. (2021). Comparison of Support Vector Machine and K-Means Algorithms Performance in Extracting the Real Driving Cycle of Combined Tehran-Amol. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 53(9), 1177-1180. <https://doi.org/10.22060/mej.2021.19222.6980>
- [21] Miri, S. E., Khalili, H., & Azadi, M. (2022, May 10). *Development of driving cycle of Tehran-Semnan route based on real driving emission considerations with a hybrid car* [Conference session]. Twelfth International Conference on Combustion Engines and Oil, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/1464963/>
- [22] Organisation for Economic Cooperation and Development. (2008). *OECD glossary of statistical terms*. <https://doi.org/10.1787/9789264055087-en>
- [23] Maulik, U., & Bandyopadhyay, S. (2000). Genetic algorithm-based clustering technique. *Pattern Recognition*, 33(9), 1455-1465. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(99\)00137-5](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(99)00137-5)
- [24] Bradley, P. S., Bennett, K. P., & Demiriz, A. (2000). Constrained k-means clustering. *Microsoft Research, Redmond*, 1-8. https://www.researchgate.net/publication/2458036_Constrained_K-Means_Clustering
- [25] Barlow, T. J., Latham, S., McCrae, I., & Boulter, P. (2009). *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*. TRL. <https://trid.trb.org/View/909274>
- [26] Montazeri-Gh, M., & Naghizadeh, M. (2007). Development of the Tehran car driving cycle. *International Journal of Environment and Pollution*, 30(1), 106-118. <https://doi.org/10.1504/ijep.2007.014506>
- [27] Bholowalia, P., & Kumar, A. (2014). EBK-means: A clustering technique based on elbow method and k-means in WSN. *International Journal of Computer Applications*, 105(9), 17-24. <https://doi.org/10.5120/18405-9674>
- [28] André, M. (2004). The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Science of The Total Environment*, 334-335, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.070>
- [29] Norbakyah, J., Nordiyana, M., Anida, I., Ayob, A., & Salisa, A. (2021). myBas driving cycle for Kuala Terengganu city. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, 11(3), 2054-2061. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i3.pp2054-2061>
- [30] Anida, I., & Salisa, A. (2019). Driving cycle development for Kuala Terengganu city using k-means method. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(3), 1780-1787. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i3.pp1780-1787>
- [31] Tourani, A., White, P., & Ivey, P. (2014). Analysis of electric and thermal behaviour of lithium-ion cells in realistic driving cycles. *Journal of Power Sources*, 268, 301-314. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.06.010>
- [32] Wu, Y., & Liu, G. (2020). Research on construction of vehicle driving cycle based on Markov chain and global K-means clustering algorithm. *Vehicle Dynamics*, 4(1), 1-9. <https://doi.org/10.18063/vd.v4i1.1135>
- [33] Shi, S., Lin, N., Zhang, Y., Huang, C., Liu, L., Lu, B., & Cheng, J. (2013, October 15-18). *Research on Markov Property Analysis of Driving Cycle* [Conference session]. 2013 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2013.6671737>

- [34] Yuhui, P., Yuan, Z., & Huibao, Y. (2019). Development of a representative driving cycle for urban buses based on the K-means cluster method. *Cluster Computing*, 22(3), 6871-6880. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1673-y>
- [35] Zhao, X., Zhao, X., Yu, Q., Ye, Y., & Yu, M. (2020). Development of a representative urban driving cycle construction methodology for electric vehicles: A case study in Xi'an. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 81(2), 102279. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102279>
- [36] Abu Mallouh, M., Abdelhafez, E., Salah, M., Hamdan, M., Surgenor, B., & Youssef, M. (2014). Model development and analysis of a mid-sized hybrid fuel cell/battery vehicle with a representative driving cycle. *Journal of Power Sources*, 260, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.02.104>
- [37] Wang, L., Ma, J., Zhao, X., & Li, X. (2021). Development of a Typical Urban Driving Cycle for Battery Electric Vehicles Based on Kernel Principal Component Analysis and Random Forest. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, 9, 15053-15065. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052820>
- [38] Huzayyin, O. A., Salem, H., & Hassan, M. A. (2021). A representative urban driving cycle for passenger vehicles to estimate fuel consumption and emission rates under real-world driving conditions. *Urban Climate*, 36, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100810>
- [39] Humaira, H., & Rasyidah, R. (2018, January 24-25). *Determining the appropriate cluster number using elbow method for k-means algorithm* [Conference session]. Proceedings of the 2nd Workshop on Multidisciplinary and Applications, Padang, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.4108/eai.24-1-2018.2292388>
- [40] Umargono, E., Suseno, J. E., & Gunawan, S. V. (2020, November 25). *K-means clustering optimization using the elbow method and early centroid determination based on mean and median formula* [Conference session]. The 2nd International Seminar on Science and Technology, Yogyakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.201010.019>
- [41] Wang, Q., Huo, H., He, K., Yao, Z., & Zhang, Q. (2008). Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(5), 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003>
- [42] Tharvin, R., Kamarrudin, N., Shahrman, A., Zunaidi, I., Razlan, Z., Wan, W., Harun, A., Hashim, M., Ibrahim, I., & Faizi, M. (2018, August 15-17). *Development of driving cycle for passenger car under real world driving conditions in Kuala Lumpur, Malaysia* [Conference session]. International Conference on Advanced Manufacturing and Industry Applications, Sarawak, Malaysia. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/429/1/012047>
- [43] Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K., & Pao, L. Y. (2007). Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(2), 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.01.002>
- [44] Degraeuwe, B., & Weiss, M. (2017). Does the New European Driving Cycle (NEDC) really fail to capture the NOX emissions of diesel cars in Europe? *Environmental Pollution*, 222, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.050>
- [45] Zhao, X., Yu, Q., Ma, J., Wu, Y., Yu, M., & Ye, Y. (2018). Development of a Representative EV Urban Driving Cycle Based on a k-Means and SVM Hybrid Clustering Algorithm. *Journal of Advanced Transportation*, 2018(1), 1890753. <https://doi.org/10.1155/2018/1890753>