



Extraction of the driving cycle of semnan urban buses using the K means clustering algorithm and smoothing of urban fleet data with the Savitzky-Golay filter

Mohammad Hossein Khalesi*, Alireza Hajiali Mohammadi, Mohammad Parsa Shahabiniya, Hadi Kamalzadeh, Alireza Davari Dolat-Abadi

Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Driving Cycle
Urban Bus Fleet
Clustering
Micro-Trip
Semnan

ABSTRACT

In this study, the driving cycle of Semnan urban buses was extracted and analyzed based on operational data recorded from the city bus fleet. The data were collected over a total distance of 750 km along urban routes and, after preprocessing, were divided into individual micro-trips. To identify driving behavior patterns, the micro-trips were grouped using the K-means clustering algorithm, and the optimal number of clusters was determined automatically using the elbow method. Then, through a targeted combination of selected micro-trips, an 1,800-second cycle was formed that represents the variations in speed, acceleration, braking, and stopping behavior of the fleet. The results showed that the driving behavior of Semnan buses is characterized mainly by relatively low average speeds, mild accelerations, and frequent stops, reflecting the traffic conditions of the city's public transport network. Moreover, comparison of the extracted cycle with those of other cities revealed significant differences arising from geographical and traffic conditions. Finally, smoothing of the final cycle using the Savitzky-Golay filter reduced instantaneous noise and improved the stability of the speed profile. The proposed cycle can be used for fuel consumption simulation, emission estimation, and performance analysis of the bus fleet.



© 2026 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

* Corresponding author

E-mail address: mhkhalesi@semnan.ac.ir (MH. Khalesi)

Received 18 December 2025; Accepted 8 August 2026

E-ISSN: 2345-4121/ISSN: 1735-5214

Cite this article: Khalesi MH, Hajiali Mohammadi A, Shahabiniya MP, Kamalzadeh H, Davari Dolat-Abadi A. Extraction of the driving cycle of semnan urban buses using the K means clustering algorithm and smoothing of urban fleet data with the Savitzky-Golay filter. The Journal of Engine Research. 2026 Aug 23;73(2):80-95. doi: [10.22034/ER.2026.2079799.1122](https://doi.org/10.22034/ER.2026.2079799.1122)

استخراج چرخه رانندگی اتوبوس‌های شهری سمنان با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین‌ها و هموارسازی داده‌های ناوگان شهری با صافی ساویتزکی - گولای

محمد حسین خالصی*، علیرضا حاجی علی محمدی، محمد پارسا شهابی نیا، هادی کمال زاده، علیرضا داوری دولت آبادی

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
کلیدواژه‌ها: چرخه رانندگی ناوگان اتوبوسرانی خوشه‌بندی ریزسفر سمنان	در این مطالعه، با استفاده از داده‌های ثبت شده از ناوگان اتوبوسرانی شهری سمنان، چرخه رانندگی این شهر بر پایه تحلیل داده‌های عملیاتی استخراج و بررسی شد. داده‌ها در طول ۷۵۰ هزارمتر مسیر شهری جمع‌آوری و پس از پیش پردازش، به ریزسفرهای مجزا تقسیم شدند. برای شناسایی الگوهای رفتاری رانندگی، ریزسفرها با روش خوشه‌بندی میانگین‌ها گروه‌بندی شدند و تعداد خوشه‌های بهینه با روش آرنج به صورت خودکار تعیین شد. سپس با ترکیب هدفمند ریزسفرهای منتخب، چرخه‌ای ۱۸۰۰ ثانیه‌ای شکل گرفت که نمایانگر الگوی تغییرات سرعت، شتاب‌گیری، ترمزگیری و توقف‌های ناوگان است. نتایج نشان داد که رفتار رانندگی اتوبوس‌های سمنان عمدتاً با سرعت‌های متوسط کُند، شتاب‌گیری‌های ملایم و توقف‌های پرتکرار همراه است که ماهیت شلوغی شبکه حمل‌ونقل عمومی این شهر را بازتاب می‌دهد. همچنین مقایسه چرخه استخراج‌شده با چرخه‌های سایر شهرها، تفاوت‌های معناداری را ناشی از شرایط جغرافیایی و رفت‌وآمد آشکار کرد. در نهایت، هموارسازی چرخه نهایی با صافی ساویتزکی-گولای موجب کاهش پرش‌های لحظه‌ای و بهبود پایداری متحنی سرعت شد. چرخه پیشنهادی می‌تواند برای شبیه‌سازی مصرف سوخت، برآورد انتشار آلاینده‌ها و تحلیل عملکرد ناوگان اتوبوسرانی استفاده شود.



© 2026 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

* نویسنده مسئول

پست الکترونیکی: mhkhalesi@semnan.ac.ir (محمد حسین خالصی)

دریافت ۲۷ آذر ۱۴۰۴؛ پذیرش ۱۷ مرداد ۱۴۰۵

شاپای الکترونیکی: ۲۳۴۵-۴۱۲۱ / شاپای چاپی: ۱۷۳۵-۵۲۱۴

Cite this article: Khalesi MH, Hajiali Mohammadi A, Shahabiniya MP, Kamalzadeh H, Davari Dolat-Abadi A. Extraction of the driving cycle of semnan urban buses using the K means clustering algorithm and smoothing of urban fleet data with the Savitzky-Golay filter. The Journal of Engine Research. 2026 Aug 23;73(2):80-95. doi: 10.22034/ER.2026.2079799.1122

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه شهری پایدار مورد توجه قرار گرفته است [۱-۳]. بویژه اتوبوسرانی شهری نه تنها نقش مهمی در کاهش شلوغی و آلودگی دارد بلکه مدیریت بهینه آن می‌تواند به کاهش مصرف سوخت، ارتقای ایمنی و بهبود کیفیت خدمات منجر شود [۲-۴].

برای تحلیل دقیق عملکرد ناوگان و شبیه‌سازی رفتار آن، نیاز به یک چرخه راندگی واقعی و بومی وجود دارد که شلوغی، رفتار راندگی و الگوی توقف-حرکت را به‌طور کامل نمایش دهد [۵]. چرخه‌های راندگی استاندارد بین‌المللی عمده‌تاً برای شرایط آزمایشگاهی یا کشورهای اروپایی طراحی شده‌اند و ممکن است شلوغی و راندگی در شهرهای ایرانی مانند سمنان را منعکس نکنند [۴، ۶].

چالش‌های بومی‌سازی چرخه راندگی شامل شلوغی خاص شهری، تعداد توقف‌های ایستگاهی، زمان‌های شتاب‌گیری و ترمزگیری، شلوغی و رفتار رانندگان است که در چرخه‌های استاندارد بین‌المللی دیده نمی‌شوند [۵، ۷]. بنابراین، طراحی و استخراج یک چرخه راندگی بومی بر اساس داده‌های واقعی جمع‌آوری شده از ناوگان اتوبوسرانی ضروری است تا دقت شبیه‌سازی مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها افزایش یابد [۷-۱۰].

چرخه‌های راندگی برای تعیین استانداردهای کاربردی استفاده می‌شود. که سبب می‌شود طراحی‌ها بر مبنای شرایط واقعی تری از جامعه حال حاضر صورت پذیرد و نتایج مناسب تری بدست آید. طراحی‌ها بر اساس چرخه‌های راندگی استخراج شده صورت می‌گیرد و باید به این موضوع توجه داشت که شرایط جغرافیایی، آب و هوایی، فرهنگی، عادات و نحوه راندگی، شرایط و کیفیت خیابان‌ها و آسفالت و حجم خودروهای موجود در شهر، در هر نقطه از کره زمین متفاوت و ویژه آن منطقه است [۱۱-۱۳]. پس نمی‌توان با یک چرخه راندگی هرچقدر هم که استاندارد و علمی باشد برای همه شهرها و کشورها استاندارد تعیین کرد. از این رو باید برای هر منطقه جغرافیایی در این پهنه خاکی یک چرخه مخصوص به آن استخراج کرد تا بتوان استانداردها را متناسب با شرایط همان منطقه تعیین کرد [۱۳، ۱۴].

برای نخستین بار شهابی نیا و همکاران [۱۴] داده‌های واقعی از ناوگان اتوبوس‌های شهری سمنان را در مسیری خاص جمع‌آوری کردند سپس با استفاده از روش خوشه‌بندی، میکروسفرها استخراج گردید و با ترکیب و تحلیل آنها نخستین چرخه راندگی اتوبوسرانی شهر سمنان استخراج گردید که نشان از ماهیت راندگی آرام و شلوغی ناوگان اتوبوسرانی شهر سمنان داشت. همچنین در پژوهشی مشابه صادقی و همکاران [۱۵] با داده برداری از ناوگان اتوبوسرانی شهر کرمانشاه و با استفاده از روش خوشه‌بندی و استخراج میکروسفرها چرخه راندگی ناوگان اتوبوسرانی شهر کرمانشاه را مدلسازی کردند که نشان از میانگین سرعت پایین راندگی و شتاب مثبت راندگی کم دارد. در پژوهشی که مرتضی منتظری و همکاران [۱۶] بر روی استخراج چرخه راندگی اتوبوس‌های شهری در تهران انجام گرفت به منظور استخراج چرخه راندگی از روش زنجیره مارکوف و تحلیل گذار در صفحه سرعت - شتاب استفاده کردند. آنها بر خلاف روش‌های گذشته که بر اساس تقسیم بندی داده‌ها به ریزسفر بوده است و بر اساس تحلیل گذار داده‌ها در صفحه سرعت-شتاب عمل کردند که نتیجه آن استخراج چرخه با مشخصات مطلوب و نزدیک به کل داده‌ها بوده است. در مطالعه‌ای که شوگل و همکاران [۱۷] انجام دادند به بررسی عوامل اثر گذار بر چرخه راندگی واقعی در مناطق گوناگون با ویژگی‌ها و شرایط خاص به خود پرداختند. این عوامل را می‌توان شرایط جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، ارتفاع جاده از سطح دریا، دما و فشار، عادات‌های راندگی، وزش باد، حجم خودروهای در حال حرکت در یک مسیر و ... دانست. نمودار سرعت - زمان برای گروهی از وسایل نقلیه که ویژگی‌های راندگی در شرایط واقعی را بیان می‌کند را چرخه راندگی می‌گویند [۱۸]. همچنین، در مطالعه‌ای که اسدی و همکاران [۱۹] انجام دادند بیان شد که در مناطق اقلیمی با جو آب و هوایی مساعدتر مانند اقلیم‌های خشک و نیمه تا نیمه مرطوب که عوامل اقلیمی شاخص آنها تاثیرات کمتری بر شرایط راندگی می‌گذارند، دوره‌های شتاب‌گیری مثبت و منفی و سرعت ثابت طولانی تر و تعداد توقف کمتری در چرخه‌های راندگی آنها مشاهده می‌شود.

شایان ذکر است همان اندازه که وسیله نقلیه در نحوه رانندگی اثر دارد تصمیم‌گیری‌های راننده نیز اثر بسزایی دارد و راننده به عنوان مهار کننده با توجه به شرایط موجود در هر لحظه واکنش مناسب به آن لحظه را از خود نشان خواهد داد و با استفاده از اهرم‌های گاز و ترمز، تعویض دنده‌ها و ... به مهار وسیله نقلیه خواهد پرداخت [۲۰-۲۴]. چرخه‌های رانندگی استاندارد ویژگی‌ها و کمیت‌های عمومی را در نظر می‌گیرند و از ویژگی‌ها و کمیت‌های منطقه‌ای چشم‌پوشی می‌کنند [۲۵-۳۰]. از این ویژگی‌های می‌توان به شرایط جاده، آب و هوا، فرهنگ رانندگی و کیفیت آسفالت اشاره کرد [۳۱-۳۵].

با وجود مطالعات متعددی که در زمینه استخراج چرخه‌های رانندگی برای شهرهای مختلف جهان انجام شده است، تاکنون چرخه رانندگی جامعی برای اتوبوس‌های شهری سمنان که مبتنی بر داده‌های ثبت شده از ناوگان و با پوشش مسیرهای مختلف شبکه اتوبوسرانی شهر باشد، گزارش نشده است. در بسیاری از مطالعات مشابه، حجم داده‌ها محدود بوده یا تنها بخش‌هایی از شبکه حمل‌ونقل شهری بررسی شده است. در این مقاله، با تحلیل داده‌های عملکردی ناوگان اتوبوسرانی سمنان در مقیاسی گسترده، چرخه رانندگی این شهر استخراج و تدوین شده است. برای این منظور، ابتدا ریزسفرهای حاصل از داده‌های ثبت‌شده با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین گروه‌بندی شده و تعداد خوشه‌های بهینه با روش آرنج^۱ تعیین شده است. سپس با انتخاب و ترکیب ریزسفرهای نماینده از هر خوشه، چرخه رانندگی شهر شکل گرفته و در نهایت به منظور کاهش نوسانات لحظه‌ای و بهبود پایداری منحنی سرعت، هموارسازی آن با صافی ساولیتزکی-گولای انجام شده است. چرخه استخراج‌شده می‌تواند به عنوان مبنایی برای مطالعات شبیه‌سازی مصرف سوخت، برآورد آلاینده‌گی و ارزیابی عملکرد ناوگان اتوبوسرانی شهری مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش شهر سمنان را به عنوان هدف برای استخراج چرخه رانندگی در نظر گرفته است. شهر سمنان مرکز استان سمنان بوده و در نواحی مرکزی کشور واقع شده است. سمنان بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ دارای جمعیت ۱۹۶۵۲۱ نفر بوده است. سمنان از شمال با شهرستان مهدیشهر و از شرق با شهرستان دامغان و از غرب با شهرستان سرخه و از جنوب با کویر و استان اصفهان همسایه است. شهر سمنان در ارتفاع ۱۱۳۸ متری از سطح دریا قرار دارد و میانگین دمای سالانه آن ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و دارای آب و هوای گرم و کوهستانی است. در شکل ۱ تصویری شماتیک از روش پژوهش و در شکل ۲ نقشه شهر سمنان و مسیر داده برداری نشان داده شده است. شایان ذکر است که در مجموع به مسافت ۷۵۰ هزارمتر عمل داده برداری صورت گرفته است تا با در نظر گرفتن کمیت تکرارپذیری بتوان چرخه رانندگی دقیقی را بدست آورد.



شکل ۱ طرح روش پژوهش

¹ Elbow



شکل ۲ نقشه شهر سمنان و مسیر داده برداری از ناوگان اتوبوسرانی شهری سمنان

شایان ذکر است فرآیند داده برداری در مطالعه حاضر با استفاده از ۱۰ دستگاه اتوبوس شهری که تعداد قابل توجهی از آنها از محصولات شرکت تولید اتوبوس عقاب افشان سمنان هستند استفاده شده که این اتوبوس‌ها در تمامی مسیرهای ناوگان اتوبوسرانی شهری شهر سمنان و همچنین، مسیرهای ناوگان اتوبوس‌های دانشگاه سمنان داده برداری شده اند که در جدول ۱ اطلاعات مرتبط با اتوبوس‌ها، رانندگان (مرد)، بازه زمانی داده برداری درج شده است.

جدول ۱ اطلاعات مرتبط با داده برداری

مشخصه	توضیحات	مشخصه	توضیحات
تعداد دستگاه‌های اتوبوس	۱۰ اتوبوس	بازه سنی رانندگان	۳۴ الی ۵۷ سال
تعداد رانندگان	۱۰ نفر	بازه زمانی داده برداری	۳ ماه (از شهریور تا آذر)

در این پژوهش، به منظور انجام فرایند داده برداری از نرم‌افزار تلفن همراه به نام GPS Logger به عنوان سکویی برای ثبت طول و عرض جغرافیایی، تعداد ماهواره‌های در دسترس، ارتفاع از سطح دریا، سرعت و زمان استفاده شده است. پوشه داده را در این نرم‌افزار می‌توان در یکی از پسوند‌های GPX، KML و TXT ذخیره کرد. شایان ذکر است داده برداری با استفاده از تلفن همراه شد که آنها از نوع: دو عدد سامسونگ آ ۱۲، یک عدد سامسونگ آ ۵۵ و یک آیفون ۱۳ بوده‌اند. پس از اتمام فرایند داده برداری به منظور مقایسه و دسته‌بندی سفرهای انجام شده باید مشخصه‌های برای هر یک از سفرها تعریف کرد. پس از فرایند داده برداری برای این که بتوان سفرهای انجام شده را با یکدیگر مقایسه و دسته‌بندی کرد باید مشخصه‌هایی برای هر یک از سفرها تعریف کرد. در ادامه مشخصه‌های مد نظر بیان خواهد شد که در آنها واحدهای اندازه‌گیری زمان، سرعت و شتاب بترتیب برابر ثانیه، کیلومتر بر ساعت و متر بر مجذور ثانیه است. برای هر سفر می‌توان مسافت کلی طی شده و مدت زمان کل داده‌برداری را بترتیب با استفاده از معادلات (۱) و (۲) به دست آورد [۱۴، ۲۵].

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

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

با استفاده از معادله (۳) می‌توان مجموع زمان‌هایی که خودرو در طول مسیر متوقف بوده است را به دست آورد، که به آن زمان توقف گفته می‌شود [۱۴، ۲۵].

$$T_{stop} = \begin{cases} t_2 - t_1 (V_1 = 0 \cap a_1 = 0) \\ 0 \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (V_i = 0 \cap a_i = 0) \\ 0 \end{cases} \quad (3)$$

حال با داشتن مجموع زمان توقف و زمان کل داده برداری می‌توان زمان رانندگی بدون توقف را به صورت معادله (۴) به دست آورد [۱۴، ۲۵].

$$T_{drive} = T_{total} - T_{stop} \quad (4)$$

در هنگام رانندگی به طور کلی سه حالت ممکن است پیش بیاید که عبارت‌اند از: شتاب‌دهی، شتاب‌کاهی و بدون شتاب یا سرعت ثابت است. بنابراین می‌توان زمان رانندگی به دست آمده را به دسته‌های کوچک‌تری تقسیم کرد. برای به دست آوردن مشخصه زمانی حالت‌های مختلف رانندگی که عبارت‌اند از: زمان شتاب‌دهی، زمان شتاب‌کاهی و زمان سرعت ثابت^۱ بترتیب از روابط (۵) الی (۷) استفاده خواهد شد [۱۴، ۲۵]. برای تعیین این سه مشخصه از متغیر ثابتی به نام آستانه شتاب استفاده می‌شود که در معادلات مذکور با نام $acc_threshold$ آمده است.

$$T_{acc} = \begin{cases} t_2 - t_1 (a_1 > acc_threshold) \\ 0 \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (a_i > -acc_threshold) \\ 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$T_{dec} = \begin{cases} t_2 - t_1 (a_1 < acc_threshold) \\ 0 \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (a_i < -acc_threshold) \\ 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$T_{cruise} = T_{drive} - T_{acc} - T_{dec} \quad (7)$$

برای بیان نسبی هر یک از فعالیت‌های رانندگی باید مدت زمان آن‌ها را بر زمان کل داده برداری تقسیم کرد، برای این کار می‌توان بدین صورت عمل کرد [۱۴، ۲۵]:

$$\%drive = T_{drive}/T_{total} \quad (8)$$

$$\%cruise = T_{cruise}/T_{total} \quad (9)$$

$$\%acc = T_{acc}/T_{total} \quad (10)$$

$$\%dec = T_{dec}/T_{total} \quad (11)$$

$$\%stop = T_{stop}/T_{total} \quad (12)$$

در ادامه به جهت محاسبه میانگین سرعت به صورت معادله (۱۳) مسافت کل بر زمان کل تقسیم می‌شود. همچنین، به منظور محاسبه مشخصه میانگین سرعت رانندگی باید مسافت کل را بر زمان رانندگی تقسیم کرد، که در معادله (۱۴) نشان داده شده است [۱۴، ۲۵].

$$\bar{v}_{trip} = 3.6(dist/T_{total}) \quad (13)$$

$$\bar{v}_{drive} = 3.6(dist/T_{drive}) \quad (14)$$

در حوزه شتاب نیز برای محاسبه میانگین شتاب مثبت و میانگین شتاب منفی بترتیب همانند معادله‌های (۱۵) و (۱۶) عمل می‌شود [۱۴، ۲۵].

$$a_{pos_{av}} = \bar{a}_{pos} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (15)$$

¹ Cruise Time

$$a_{neg_{av}} = \bar{a}_{neg} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (16)$$

در انتها برای محاسبه مشخصه‌های تعداد کل شتاب‌ها، تعداد کل توقف‌ها و میانگین زمان توقف‌ها بترتیب همانند معادله‌های (۱۷) الی (۱۹) عمل شده است [۱۴، ۲۵].

$$acc_{nr} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > acc_threshold \cap a_{i-1} \leq acc_threshold) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (17)$$

$$stop_{nr} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (\{v_i = 0 \cap a_i = 0\} \cap \{v_{i-1} \neq 0 \cup a_{i-1} \neq 0\}) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (18)$$

$$stop_{T_{av}} = \bar{T}_{stop} = T_{stop} / stop_{nr} \quad (19)$$

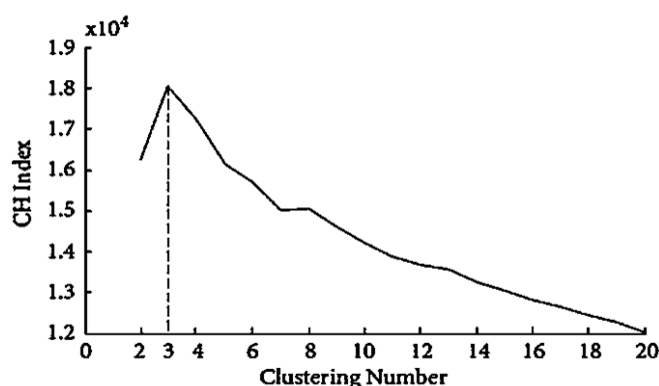
که زمان، سرعت و شتاب به صورت آرایه‌ای از اعداد با n ردیف در نظر گرفته شده است. به منظور استخراج چرخه رانندگی، در گام نخست فرآیند داده‌برداری انجام می‌شود تا مجموعه‌ای بزرگ از داده‌های عملکردی ناوگان در مسیرهای مورد مطالعه جمع‌آوری گردد. پس از گردآوری داده‌ها، مرحله پیش‌پردازش و تقسیم‌بندی داده‌ها به بخش‌های کوچک‌تری موسوم به ریزسفر انجام می‌شود. ریزسفر به فاصله زمانی بین دو نقطه‌ای از نمودار سرعت-زمان اطلاق می‌شود که در آن سرعت وسیله نقلیه از آستانه سرعت مشخص شده عبور کرده و مجدداً به مقدار نزدیک به صفر بازمی‌گردد. از آنجا که چرخه رانندگی نهایی با استفاده از ترکیب ریزسفرها شکل می‌گیرد، تعداد و تنوع ریزسفرهای استخراج‌شده نقش مهمی در کیفیت چرخه نهایی دارند؛ به‌گونه‌ای که افزایش تعداد ریزسفرها و کوتاه‌تر بودن طول زمانی آن‌ها می‌تواند تنوع رفتار رانندگی را بهتر منعکس کند.

پس از استخراج ریزسفرها، با توجه به ویژگی‌های آماری هر ریزسفر، فرآیند دسته‌بندی آن‌ها انجام می‌شود که به آن خوشه‌بندی گفته می‌شود. در این مطالعه برای خوشه‌بندی ریزسفرها از روش میانگین استفاده شد. در این روش، ریزسفرها بر اساس ویژگی‌هایی نظیر سرعت متوسط، بیشینه سرعت، میانگین شتاب، میانگین کاهش سرعت و نسبت زمان توقف گروه‌بندی می‌شوند. یکی از مزایای این روش آن است که تمامی داده‌ها در یکی از خوشه‌ها قرار می‌گیرند و هر ریزسفر تنها به یک خوشه اختصاص داده می‌شود.

یکی از مسائل مهم در کاربرد روش میانگین تعیین تعداد خوشه‌های مناسب است. در مطالعات پیشین، تعداد خوشه‌ها معمولاً در بازه دو تا شش خوشه انتخاب شده است. در این پژوهش به منظور تعیین تعداد خوشه‌های بهینه از روش آرنج استفاده شد. در این روش، مجموع مربعات خطا درون خوشه‌ای برای مقادیر مختلف تعداد خوشه‌ها محاسبه شده و نقطه شکست نمودار مجموع مربعات خطا^۱ بر حسب تعداد خوشه‌ها به عنوان مقدار مناسب انتخاب می‌شود. به منظور کاهش وابستگی به انتخاب بصری، در این مطالعه از روش خودکار آرنج برای تعیین تعداد خوشه‌ها استفاده شد که بر اساس آن چهار خوشه به عنوان حالت بهینه تعیین گردید. پس از انجام خوشه‌بندی، ریزسفرهای نماینده هر خوشه انتخاب شده و با ترکیب آن‌ها چرخه رانندگی نهایی تشکیل می‌شود. در گام پایانی، به منظور کاهش نوسانات لحظه‌ای در منحنی سرعت و بهبود پایداری چرخه استخراج‌شده، فرآیند هموارسازی با استفاده از صافی سائیتزکی-گولای اعمال شد. این صافی با برآزش چندجمله‌ای در پنجره‌های متحرک، ضمن کاهش پرش داده‌ها، ویژگی‌های اصلی سیگنال سرعت را حفظ می‌کند و بدین ترتیب چرخه رانندگی حاصل برای تحلیل‌های بعدی مانند شبیه‌سازی مصرف سوخت و ارزیابی آلایندگی مناسب‌تر خواهد بود. در پژوهشی که به منظور استخراج چرخه رانندگی اتوبوس شهری در ژنگزو چین انجام شد، محققان برای تعیین عدد خوشه‌بندی بهینه از شاخص کالینسکی-هاراباز^۲ (CH) استفاده کرده است که نتیجه آن در شکل ۳ قابل مشاهده است.

¹ Sum of Squared Errors (SSE)

² Calinski-Harabasz Index

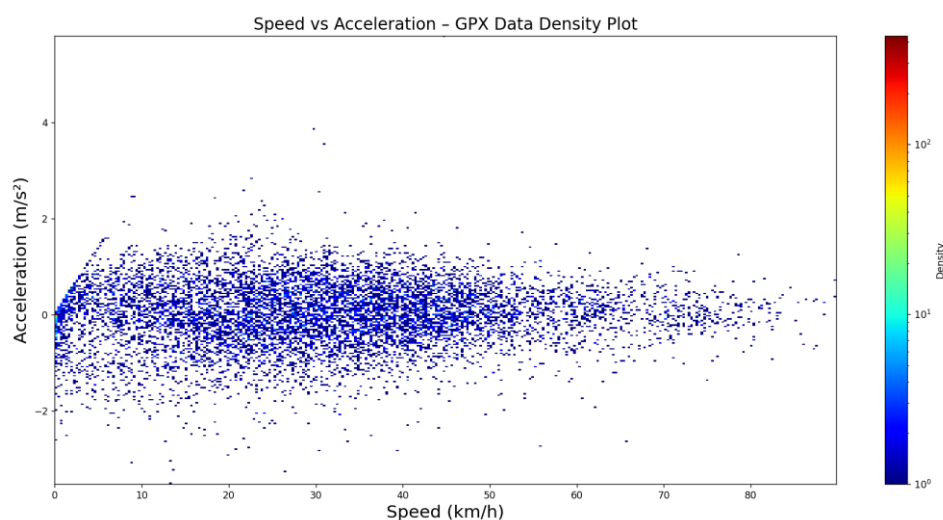


شکل ۳ شاخص CH اعداد مختلف خوشه‌بندی [۱۵]

با نظر به شکل ۳، یک شاخص CH بزرگتر بیانگر آن است که یک معادله نزدیک تر در همان دسته و یک معادله پراکنده‌تر بین دسته‌های مختلف است. نتیجه شاخص CH در شکل ۳ نشان دهنده آن است که تعداد خوشه‌بندی بهینه برابر با سه خوشه است. قابل توجه است به منظور پیاده‌سازی مراحل پردازش داده‌ها، استخراج ریزسفرها، انجام خوشه‌بندی و هموارسازی چرخه رانندگی، برنامه‌های مورد نیاز با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون توسعه داده شد. در این راستا از کتابخانه‌های متداول تحلیل داده و محاسبات علمی در محیط پایتون استفاده شده و تمامی مراحل پردازش و تحلیل داده‌ها در قالب برنامه‌های توسعه‌یافته توسط نویسندگان پیاده‌سازی گردید.

۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ثبت‌شده بررسی و تفسیر می‌شوند. شکل ۴ توزیع چگالی سرعت-شتاب داده‌های از ناوگان اتوبوسرانی شهری سمنان را نشان می‌دهد که بیانگر الگوی کلی رفتار رانندگی در شرایط واقعی این شهر است.



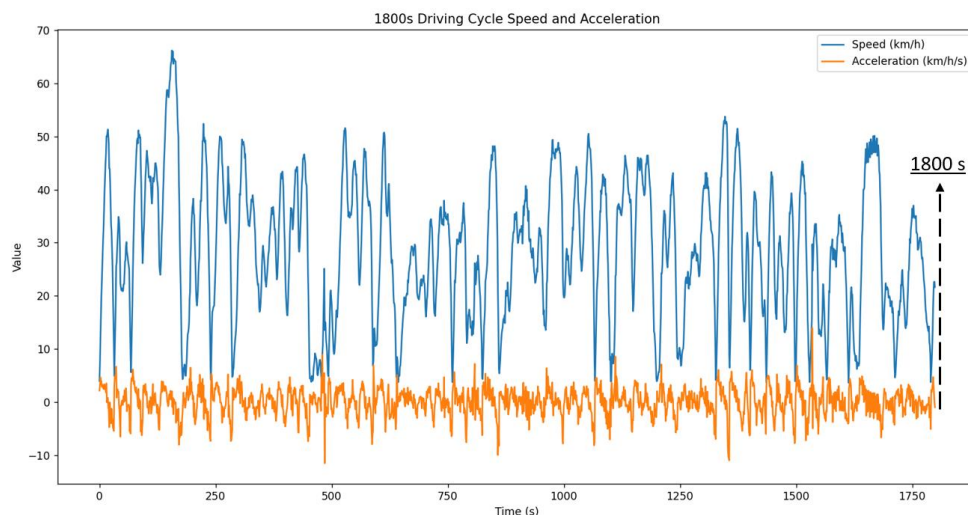
شکل ۴ چگالی سرعت - شتاب داده‌های ناوگان اتوبوسرانی شهر سمنان

نمودار چگالی سرعت - شتاب ارائه شده در شکل ۴ بیانگر نحوه توزیع نقاط عملکردی اتوبوس در صفحه سرعت و شتاب است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین تراکم نقاط در ناحیه سرعت‌های پایین و شتاب‌های نزدیک به صفر

قرار دارد که نشان‌دهنده ماهیت آلوده و حرکت‌های آرام ناوگان اتوبوسرانی شهر سمنان است که این موضوع نیز در مقاله شهابی‌نیا و همکاران که اقدام به بررسی برخی مسیرهای منتخب شهر سمنان کرده بودند نیز تأیید شده است [۱]. این الگو معمولاً در مسیرهایی با ایستگاه‌های متعدد و شلوغی متوسط تا زیاد مشاهده می‌شود. در مقابل، تراکم نقاط در بخش‌های مربوط به شتاب‌گیری‌های شدید و سرعت‌های تند بسیار کمتر است که حاکی از آن است که رانندگان در محدوده شهری سمنان معمولاً از شتاب‌های شدید یا سرعت‌های تند استفاده نمی‌کنند. این توزیع کلی، مبنای بسیار مهمی برای تحلیل رفتار واقعی رانندگی و خوشه‌بندی دقیق ریزسفرها به شمار می‌رود.

قابل توجه است که بخش عمده‌ای از سفرها دارای میانگین سرعت کم و درصد توقف بالا هستند که رفتار رانندگی اتوبوس‌های شهری سمنان را به عنوان یک الگوی عمدتاً شلوغ و همراه با توقف‌های مکرر تأیید می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که بیشتر ریزسفرها شامل دوره‌های طولانی توقف و حرکت‌های کوتاه مدت با سرعت پایین هستند. در مجموع، توزیع شکل ۵ مبین آن است که چرخه رانندگی استخراج شده باید ماهیتی آرام، با سرعت متوسط پایین و سهم قابل توجه توقف داشته باشد.

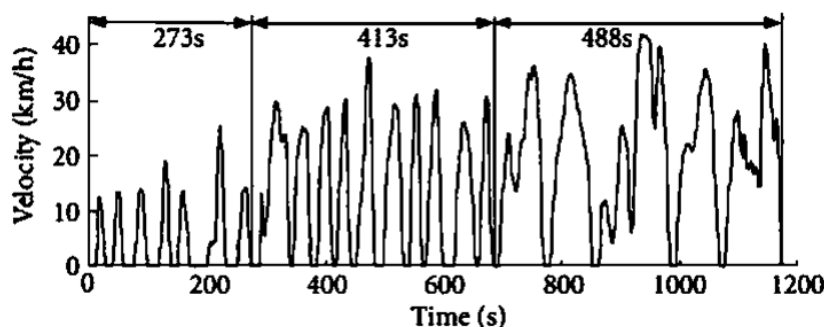
در این مطالعه، داده‌های جمع‌آوری شده ابتدا به ریزسفرها تقسیم شدند. هر ریزسفر به عنوان فاصله بین دو توقف متوالی تعریف شد، به طوری که توقف‌ها با استفاده از آستانه سرعت و حداقل زمان توقف تشخیص داده شدند. این تقسیم‌بندی امکان تحلیل دقیق‌تر رفتار رانندگی و شناسایی بخش‌های توقف و حرکت سریع را فراهم می‌کند. پس از استخراج ریزسفرها، ویژگی‌های هر ریزسفر شامل طول، میانگین سرعت، حداکثر سرعت و شتاب محاسبه شد. برای شناسایی الگوهای رایج رانندگی، از خوشه‌بندی میانگین استفاده شد و تعداد خوشه‌ها با روش آرنج تعیین گردید. بر اساس خوشه‌بندی ریزسفرها، یک چرخه رانندگی ۱۸۰۰ ثانیه‌ای ساخته شد که شامل نمونه‌های متنوعی از رفتارهای واقعی رانندگی است. در شکل ۵ چرخه رانندگی استخراج شده بومی ناوگان اتوبوسرانی شهر سمنان نشان داده شده است.



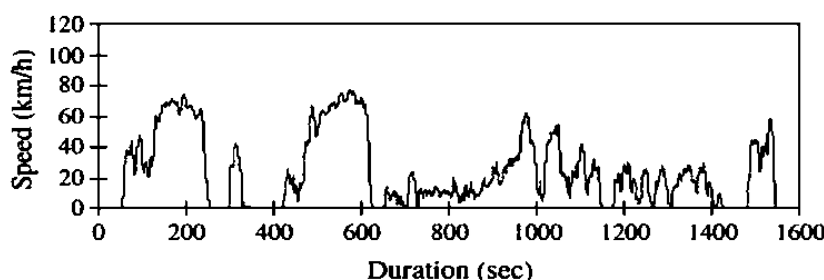
شکل ۵ منحنی سرعت و شتاب چرخه رانندگی بومی ناوگان اتوبوسرانی شهر سمنان

چرخه رانندگی استخراج‌شده که در شکل ۵ نمایش داده شده است، نمایانگر الگوی سرعت زمان واقعی ناوگان اتوبوسرانی شهر سمنان است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این چرخه شامل توالی منظم دوره‌های شتاب‌گیری، سرعت ثابت و ترمزگیری بوده و تعداد قابل توجهی توقف در طول ۱۸۰۰ ثانیه دیده می‌شود. این ویژگی‌ها به خوبی انعکاس‌دهنده شرایط عملیاتی اتوبوس‌های شهری سمنان هستند که معمولاً در مسیرهایی با ایستگاه‌های متعدد، سرعت‌های متوسط نسبتاً کند و شتاب‌های آرام فعالیت می‌کنند. الگوی کلی چرخه نشان می‌دهد که رانندگان در اغلب

مواقع از شتاب‌های ناگهانی پرهیز کرده و حرکت نرم و مهارشده‌تری دارند؛ موضوعی که پیش‌تر نیز در توزیع سرعت - شتاب و تحلیل ریزسفرها قابل مشاهده بود. نکته چشمگیر آن است که چرخه نهایی با کنار هم قرار دادن ریزسفرهای منتخب از خوشه‌های مختلف ساخته شده و از این رو تنوع مناسبی از رفتارهای واقعی رانندگی از حرکت در شلوغی شدید تا بخش‌های روان‌تر مسیر را پوشش می‌دهد. این ویژگی چرخه را برای استفاده در شبیه‌سازی مصرف سوخت و آلاینده‌ی قابل اتکا می‌سازد، زیرا ماهیت واقعی و بومی رانندگی در سمنان را به‌طور جامع بازتاب می‌دهد. در شکل ۶ چرخه رانندگی استخراج شده از اتوبوس‌های شهری ژنگزو چین و در شکل ۷ چرخه رانندگی هنگ هنگ نشان داده شده است.



شکل ۶ چرخه رانندگی استخراج شده از اتوبوس‌های شهری ژنگزو چین [۳۶]

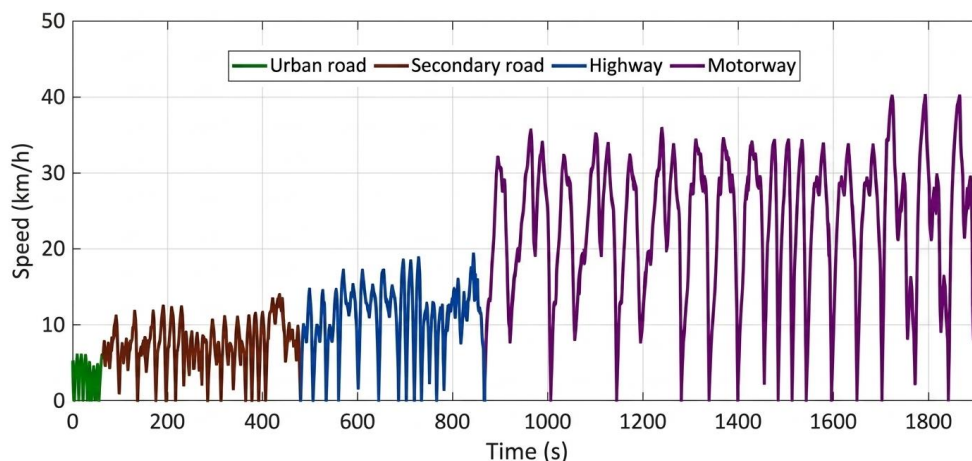


شکل ۷ چرخه رانندگی هنگ هنگ [۳۷]

چرخه‌های رانندگی ژنگزو و هنگ کنگ در شکل‌های ۶ و ۷ نسبت به چرخه بومی سمنان (شکل ۵) الگوهای پویاتری را نشان می‌دهند. چرخه ژنگزو دارای شتاب‌گیری‌های شدیدتر و سرعت‌های بالاتر است که بیانگر حرکت روان‌تر و پرانرژی‌تر ناوگان آن شهر است. چرخه هنگ کنگ نیز با نوسانات سریع و توقف‌های کوتاه‌مدت، رفتار رانندگی چابک‌تری را بازتاب می‌دهد. در مقابل، چرخه سمنان با سرعت متوسط‌گندتر، شتاب‌های آرام و توقف‌های پرتکرار، ماهیت شلوغ‌تر و رانندگی ملایم‌تر را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها ضرورت استخراج چرخه‌های بومی دقیق را تأکید می‌کند.

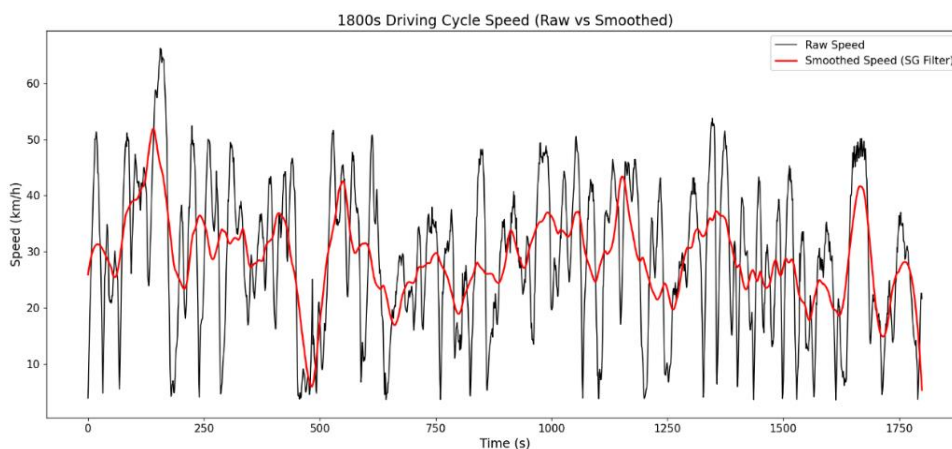
چرخه رانندگی استخراج‌شده برای اتوبوس‌های شهری کرمانشاه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، از نظر الگوهای کلی رانندگی، شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با چرخه بومی سمنان دارد. چرخه کرمانشاه به‌طور میانگین سرعت‌های پایین‌تری را تجربه می‌کند و سهم قابل توجهی از زمان را در حالت توقف یا حرکت‌های بسیار آهسته می‌گذراند.

این امر نشان‌دهنده شلوغی شدیدتر و فاصله کمتر بین ایستگاه‌ها در مسیرهای ناوگان کرمانشاه است. در مقایسه با چرخه سمنان، نوسانات سرعت در کرمانشاه کوتاه‌تر و بیشتر است، در حالی که چرخه سمنان رفتار روان‌تر و دوره‌های سرعت ثابت طولانی‌تری دارد. این مقایسه بار دیگر اهمیت طراحی چرخه‌های رانندگی مبتنی بر شرایط واقعی هر شهر را برجسته می‌سازد، زیرا تفاوت‌های اقلیمی، هندسی و رفت‌وآمد تأثیر مستقیم بر الگوی رانندگی و در نتیجه بر ارزیابی مصرف سوخت و آلاینده‌ی دارند.



شکل ۸ ساختار نمونه تقسیم بندی بخش‌های یک چرخه رانندگی استخراج شده از اتوبوس‌های شهری کرمانشاه [۱۵]

شکل ۹ روند هموارسازی چرخه رانندگی نهایی بومی ناوگان اتوبوس‌رانی شهر سمنان را نشان می‌دهد که به منظور کاهش پرش‌های لحظه‌ای سرعت و بازتولید یک منحنی واقعی‌تر و قابل‌اعتمادتر انجام شده است. شکل ۹ فرآیند هموارسازی چرخه نهایی مطالعه حاضر را با استفاده از صافی ساویتزکی-گولای نمایش می‌دهد. این روش با کاهش نوسانات ناخواسته و حذف پرش‌های لحظه‌ای، منحنی سرعت را یکنواخت‌تر و واقع‌گرایانه‌تر می‌سازد. نتیجه این فرایند، چرخه‌ای پایدارتر و قابل‌استفاده‌تر برای شبیه‌سازی‌های مهندسی و تحلیل مصرف سوخت است. همچنین، در جدول ۲ مشخصه‌های کلیدی چرخه استخراج شده و چرخه هموارسازی شده درج و با یکدیگر قیاس گردیده اند.



شکل ۹ هموارسازی چرخه نهایی مطالعه حاضر با روش صافی ساویتزکی-گولای

جدول ۲ مقایسه مشخصه‌های عملکردی چرخه رانندگی اصلی و چرخه هموارسازی شده

ویژگی	مقدار چرخه اصلی	مقدار چرخه هموارسازی شده	واحد	درصد اختلاف
زمان	۱۸۰۰	۱۸۰۰	ثانیه	۰/۰۰
بیشینه سرعت	۶۶.۲۱۲	۴۹.۴۲۰	km/h	۲۵.۳۶
میانگین سرعت	۲۸.۷۷۶	۲۸.۲۰۴	km/h	۱.۹۹
کمینه سرعت	۰	۵.۴۲۳	km/h	-
میانگین شتاب مثبت	۱.۹۵	۱.۷۷۴	m/s ²	۹.۰۳
میانگین شتاب منفی	-۲.۱۲۹	-۱.۸۱۳	m/s ²	۱۴.۸۴

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، اعمال صافی ساویتزکی-گولای موجب هموارسازی منحنی سرعت چرخه رانندگی گردید، در حالی که ویژگی‌های اصلی چرخه تا حد زیادی حفظ شدند. مدت زمان چرخه رانندگی در هر دو حالت برابر با ۱۸۰۰ ثانیه باقی ماند که نشان‌دهنده عدم تغییر در طول زمانی چرخه است. میانگین سرعت از ۲۸.۷۷۶ به ۲۸.۲۰۴ کیلومتر در ساعت کاهش یافت که اختلافی در حدود ۱.۹۹٪ را نشان می‌دهد. این میزان اختلاف ناچیز بوده و بیانگر آن است که فرآیند هموارسازی تأثیر محسوسی بر رفتار کلی سرعت چرخه نداشته است.

همچنین میانگین شتاب مثبت و منفی بترتیب از ۱.۹۵ به ۱.۷۷۴ و از ۲.۱۲۹- به ۱.۸۱۳- تغییر یافته‌اند که نشان‌دهنده حفظ نسبی ویژگی‌های پویای چرخه پس از اعمال صافی ساویتزکی-گولای است.

در مقابل، بیشینه سرعت از ۶۶.۲۱۲ به ۴۹.۴۲ کیلومتر بر ساعت کاهش یافته است که بیانگر تعدیل پیک‌های لحظه‌ای سرعت در فرآیند هموارسازی است. علاوه بر این، کمینه سرعت از صفر به ۵.۴۲۳ کیلومتر بر ساعت افزایش یافته که نشان می‌دهد نوسانات و تغییرات ناگهانی سرعت در داده اولیه کاهش یافته‌اند. به طور کلی، مقایسه متغیرهای کلیدی نشان می‌دهد که صافی ساویتزکی-گولای توانسته است ضمن کاهش نوسانات سرعت، مقادیر متوسط و روند کلی چرخه رانندگی را با دقت قابل قبولی حفظ کند.

یافته‌های مطالعه حاضر بیانگر آن است که چرخه رانندگی استخراج شده برای ناوگان اتوبوسرانی سمنان، بازتابی از شرایط رفت‌وآمدی یک شهر متوسط با توقف‌های مکرر، سرعت‌های نه‌چندان بالا و شتاب‌گیری‌های ملایم است. در این پژوهش، با به‌کارگیری خوشه‌بندی میانگین و هموارسازی ساویتزکی-گولای، چرخه‌ای نماینده برای ناوگان شهری سمنان استخراج شد که از نظر ساختار سرعت-زمان، قابلیت استفاده برای تحلیل مصرف سوخت و آلاینده‌گی را دارد. مقایسه نتایج این مطالعه با پژوهش‌های مشابه در شهرهای دیگر ایران نشان می‌دهد که الگوی رانندگی سمنان از نظر شدت توقف و میانگین سرعت، با برخی شهرهای بزرگ‌تر تفاوت محسوسی دارد.

برای مثال، در مطالعه موسویان و همکاران درباره شهر تهران با عنوان استخراج چرخه رانندگی محدوده غربی شهر تهران برای خودروی با موتور پرخوران با استفاده از روش خوشه‌بندی ریزسفر، چرخه‌ای با طول ۱۰۶۳ ثانیه، سرعت متوسط ۲۹ کیلومتر بر ساعت، شتاب متوسط ۰.۴۵ متر بر مجذور ثانیه، ترمز متوسط ۰.۴۱- متر بر مجذور ثانیه و سهم توقف ۱۵٪ گزارش شد. این نتایج نشان می‌دهد که در تهران، بویژه در محدوده غربی شهر، سرعت متوسط تندتر و سهم توقف کمتر از سمنان است که می‌تواند ناشی از تفاوت در ساختار معابر، الگوی شلوغی و نوع بهره‌برداری ناوگان باشد [۳۸]. در مطالعه‌ای دیگر در شهر تهران با عنوان توسعه یک چرخه رانندگی براساس داده‌های ضبط شده از یک خودروی دورگه بنزینی-برقی در دو مسیر از شهر تهران با روش میانگین، سرعت متوسط حدود ۳۰ کیلومتر بر ساعت و سهم توقف کمتر از ۲۰٪ گزارش شده است [۲۸].

این مقایسه نیز نشان می‌دهد که چرخه‌های رانندگی در تهران، نسبت به سمنان، عموماً پویاتر و با سرعت متوسط بالاتر هستند؛ موضوعی که می‌تواند به ویژگی‌های شبکه معابر و تفاوت در الگوی سفر مرتبط باشد. از سوی دیگر، در مقاله‌ای درباره شهر کرمانشاه با عنوان خوشه‌بندی و هموارسازی با استفاده از داده‌های واقعی جمع‌آوری شده از اتوبوس شهری برای استخراج چرخه رانندگی در شهر کرمانشاه، هرچند مقادیر عددی دقیق در بخش استخراج‌شده داده‌ها موجود نبود، اما نویسندگان گزارش کرده‌اند که رانندگان اتوبوس تمایل اندکی به شتاب‌گیری شدید یا حرکت سرعت ثابت با سرعت‌های بالا دارند [۱۵].

این مشاهدات با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوان است و نشان می‌دهد که در ناوگان اتوبوسرانی شهری، الگوی رانندگی معمولاً محافظه‌کارانه و مبتنی بر توقف‌های مکرر است. همچنین، در مطالعه مربوط به شهر بابل با عنوان تحلیل آرایه درهم ریختگی در طبقه‌بندی چندبرچسبی برای توسعه چرخه رانندگی در شهر بابل، دقت ۱۰۰٪ برای هسته خطی^۱ گزارش

¹ Linear Kernel

شده است که اگرچه این پژوهش بیشتر بر طبقه‌بندی تمرکز دارد، اما نشان می‌دهد روش‌های یادگیری ماشین در استخراج و تفکیک داده‌های رانندگی می‌توانند عملکرد بسیار مناسبی داشته باشند [۲۵].

علاوه بر این، مطالعه‌ای با عنوان بررسی اثرات اقلیم جغرافیایی بر مشخصه‌های داده‌های آماری و چرخه رانندگی که شهرهای اراک، تهران، اهواز و رشت را مقایسه کرده است، نشان داد که متغیرهای اقلیمی و جغرافیایی می‌توانند موجب تغییر حدود ۲۱٪ در سرعت متوسط، ۱۸٪ در مدت سفر، ۲۲٪ در میانگین سرعت و تا ۸۴٪ در زمان توقف شوند [۱۹].

این نتیجه اهمیت عوامل محیطی و اقلیمی را در شکل‌گیری چرخه رانندگی تأیید می‌کند و می‌تواند یکی از دلایل تفاوت چرخه سمنان با سایر شهرها باشد. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که چرخه رانندگی سمنان، در مقایسه با تهران، کرمانشاه، بابل، اراک، اهواز و رشت، نمایانگر شرایط ویژه بهره‌برداری ناوگان در یک شهر متوسط با سرعت‌های کمتر و توقف‌های بیشتر است. استفاده از خوشه‌بندی کی میانگین همراه با تعیین تعداد خوشه به روش آرنج و هموارسازی ساویتزکی-گولای، موجب شد چرخه نهایی از نظر آماری و رفتاری، بازنمایی قابل اتکایی از الگوی رانندگی واقعی ناوگان شهری سمنان باشد.

۴- نتیجه‌گیری

- مطالعه حاضر، چرخه رانندگی بومی ناوگان اتوبوسرانی شهری سمنان با تکیه بر داده‌های واقعی پیمایش و با بهره‌گیری از روش‌های هوشمند خوشه‌بندی و پردازش سیگنال استخراج گردید. نتایج این مطالعه که با هدف ارائه مدلی دقیق برای تحلیل‌های حوزه انرژی و آلاینده‌گی تدوین شده است، در موارد زیر خلاصه می‌شود:
- استخراج چرخه رانندگی ۱۸۰۰ ثانیه‌ای نماینده با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین و تعیین خودکار تعداد خوشه‌ها به کمک تکنیک آرنج، چرخه‌ای استخراج شد که از نظر آماری و دینامیکی، انحراف بسیار نسبت به کل داده‌های ناوگان دارد.
 - شناسایی الگوی حرکتی اختصاصی: تحلیل ریزسفرها نشان داد که الگوی رانندگی اتوبوس‌های سمنان ماهیتی آرام و کم‌شتاب با توقف‌های پرتکرار دارد که این موضوع ریشه در ساختار معابر، فاصله ایستگاه‌ها و شرایط شلوغی این شهر دارد.
 - ارتقای کیفیت داده‌ها با هموارسازی: به‌کارگیری صافی ساویتزکی-گولای به عنوان یک روش کارآمد در پردازش چرخه، منجر به حذف پرش‌های لحظه‌ای و نوسانات غیرواقعی شتاب شد، بدون آنکه ساختار کلی و مقادیر بیشینه سرعت دچار تغییر ناخواسته گردد.
 - تأیید ضرورت بومی‌سازی چرخه‌های رانندگی: مقایسه تطبیقی نشان داد که چرخه سمنان تفاوت‌های معناداری با چرخه‌های استاندارد و چرخه‌های سایر شهرها دارد؛ امری که استفاده از چرخه‌های عمومی را برای برآورد دقیق مصرف سوخت و آلاینده‌گی در سطح محلی به چالش می‌کشد.
 - ارائه ابزار کاربردی برای مدیریت حمل‌ونقل: چرخه تدوین شده یک مبنای علمی معتبر برای شبیه‌سازی‌های مهندسی موتور، تخمین دقیق انتشار آلاینده‌ها و برنامه‌ریزی برای ارتقای بهره‌وری ناوگان حمل و نقل عمومی شهری فراهم می‌آورد.

فهرست علائم

GPS	سامانه موقعیت‌یاب جهانی
V	سرعت لحظه‌ای
ACC	شتاب

SG Filter	صافی ساویتزکی - گولای
IMU	واحد اندازه‌گیری اینرسی
SOM	نقشه خودسازمان دهنده
CH	شاخص کالینسکی-هاراباز

References

- [1] Anthony Jnr B. Sustainable mobility governance in smart cities for urban policy development—a scoping review and conceptual model. *Smart and sustainable built environment*. 2025 Apr 15;14(3):649-71. doi: 10.1108/SASBE-05-2023-0109
- [2] Zhang L, Liang W, Li S, Chen XL, Song M. Impact of urban public transportation expansion on carbon emission reduction: Addressing public participation gaps. *Journal of Cleaner Production*. 2025 May 10;505:145513. doi: 10.1016/j.jclepro.2025.145513
- [3] Gebisa A, Gebresenbet G, Gopal R, Nallamotheu RB. Driving cycles for estimating vehicle emission levels and energy consumption. *Future transportation*. 2021 Nov 1;1(3):615-38. doi: 10.3390/futuretransp1030033
- [4] Mafi S, Kakaee A, Mashadi B, Moosavian A, Abdolmaleki S, Rezaei M. Developing local driving cycle for accurate vehicular CO2 monitoring: A case study of Tehran. *Journal of Cleaner Production*. 2022 Feb 15;336:130176. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130176
- [5] Huzayyin OA, Salem H, Hassan MA. A representative urban driving cycle for passenger vehicles to estimate fuel consumption and emission rates under real-world driving conditions. *Urban Climate*. 2021 Mar 1;36:100810. doi: 10.1016/j.uclim.2021.100810
- [6] Singh S, Kulshrestha MJ, Rani N, Kumar K, Sharma C, Aswal DK. An overview of vehicular emission standards. *Mapan*. 2023 Mar;38(1):241-63. doi: 10.1007/s12647-022-00555-4
- [7] Simion D, Postolache F, Fleacă B, Fleacă E. Ai-driven predictive maintenance in modern maritime transport—Enhancing operational efficiency and reliability. *Applied Sciences*. 2024 Oct 16;14(20):9439. doi: 10.3390/app14209439
- [8] Kharazmi S, Shahabiniya MP, FakhrAvar A, Parivar A. Investigating the effects of n-Butanol-Gasoline blends on the performance of the Iranian national engine. *The Journal of Engine Research*. 2026 May 22;73(1):1-7. (In Persian). doi: 10.22034/er.2026.2076346.1109
- [9] Montella A, Chiaradonna S, Mihiel AC, Lovegrove G, Nunziante P, Rella Riccardi M. Sustainable complete streets design criteria and case study in Naples, Italy. *Sustainability*. 2022 Oct 13;14(20):13142. doi: 10.3390/su142013142
- [10] Balsa-Barreiro J, Valero-Mora PM, Menéndez M, Mehmood R. Extraction of naturalistic driving patterns with geographic information systems. *Mobile Networks and Applications*. 2023 Apr;28(2):619-35. doi: 10.1007/s11036-020-01653-w
- [11] Zhang L, Huang Z, Yu F, Liao S, Luo H, Zhong Z, Zhu M, Li Z, Cui X, Yan M, Zheng J. Road type-based driving cycle development and application to estimate vehicle emissions for passenger cars in Guangzhou. *Atmospheric Pollution Research*. 2021 Aug 1;12(8):101138. doi: 10.1016/j.apr.2021.101138
- [12] Liang K, Zhao Z, Li W, Zhou J, Yan D. Comprehensive identification of driving style based on vehicle's driving cycle recognition. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2022 Sep 15;72(1):312-26.
- [13] Goel R, Goodman A, Aldred R, Nakamura R, Tatah L, Garcia LM, Zapata-Diomed B, de Sa TH, Tiwari G, de Nazelle A, Tainio M. Cycling behaviour in 17 countries across 6 continents: levels of cycling, who cycles, for what purpose, and how far?. *Transport reviews*. 2022 Jan 2;42(1):58-81. doi: 10.1080/01441647.2021.1915898
- [14] Shahabiniya MP, Davari Dolatabadi A, Khalesi MH. Development of a Local Driving Cycle for Semnan City Based on Real-World Urban Diesel Bus Fleet Data. *The 14th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil*; 2025 Sep 4.
- [15] Mohammadsadeghi F, Azadi M, Masih Tehrani M, Malekan A, Keshavarzi A, Saeidi Googarchin H. Clustering and smoothing using real data collected from city buses to extract the driving cycle in Kermanshah city. *The Journal of Engine Research*. 2024 Jun 21;71(2):1-7. doi: 10.22034/er.2024.2025374.1042
- [16] Montazeri-Gh M, Varasteh H, Naghizadeh M. Driving Cycle Simulation for heady duty engine

- emission evaluation and testing. Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition. 2005. Jan 1; 1506-24.
- [17] Schogel M. Real driving emissions (RDE). AVL Emission TechDay. 2018.
- [18] Duan X, Schockenhoff F, Koch A. Implementation of driving cycles based on driving style characteristics of autonomous vehicles. World Electric Vehicle Journal. 2022 Jun 20;13(6):108. doi: 10.3390/wevj13060108
- [19] Asadi A, Azadi M, Khalesi MH, Moosavian A. Investigating the effects of geographics climate on the characteristics of statistical data and driving cycle. The Journal of Engine Research. 2023 Jun 22;70(2):37-65. doi: 10.22034/er.2023.2009114.1013
- [20] Mohammed HA, Hurwitz DS, Noyce DA, Wang X. Influence of following vehicle's tailway and classification on subject driver's response to the circular yellow indication. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour. 2021 Feb 1;77:73-86. doi: 10.1016/j.trf.2020.11.016
- [21] Gong H, Zou Y, Yang Q, Fan J, Sun F, Goehlich D. Generation of a driving cycle for battery electric vehicles: A case study of Beijing. Energy. 2018 May 1;150:901-12. doi: 10.1016/j.energy.2018.02.092
- [22] Ansari Laleh A, Faghihi F. Performance Analysis of Electric Vehicles with a Comparative Approach of New versus Used Batteries in Various Driving Scenarios. In: Proceedings of the 9th International Conference on Knowledge and Technology of Electrical, Computer, and Mechanical Engineering of Iran; 2025; Tehran, Iran. [In Persian]
- [23] Malekpour Astalaki M, Ahmadi Arkami A. Determination of driving cycle during morning peak hours in Rasht. In: Proceedings of the 10th National Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development of Iran; 2022; Tehran, Iran. [In Persian]
- [24] Hajjalimohammadi A, Honnery D, Abdullah A, Mirsalim SM. Sensitivity analysis of parameters affecting image processing of high pressure gaseous jet images. The Journal of Engine Research. 2022 Nov 27;33(33):43-52.
- [25] Aliari Boroujeni A, Jarrah A, Yadollahi M, Azadi M. Comparison of Kernel Functions in the Application of Support Vector Machine Algorithm for Classification of Driving Data. In: Proceedings of the 14th International Conference on Internal Combustion Engines; 2025; Tehran, Iran. [In Persian]
- [26] Kharazmi S, Talebi F, Shahabiniya MP, Majidi Majd M, Kamalzadeh H, Saghaei R. Experimental Performance Analysis and ANN Prediction of Emissions in EF7 Engines with Blended Fuels. Journal of Heat and Mass Transfer Research. 2026 Jan 25. doi: 10.22075/jhmtr.2026.39336.1851
- [27] Vaziri B, Malkan A, Deziyanian Sh, Aliari Boroujeni A, Azadi M. Effect of Smartphone GPS Module on Driving Data Acquisition Along the Semnan-Shahrud Route. In: Proceedings of the 13th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil; 2023; Tehran, Iran. [In Persian]
- [28] Azadi M, Deziyanian S, Navi A, Salmani A, Qaraati T, Faraji A. 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. Karafan Journal. 2022 May 22;19(1):629-52. doi: 10.48301/kssa.2022.315133.1840
- [29] André M. The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. Science of the total Environment. 2004 Dec 1;334:73-84. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.04.070
- [30] Zhao X, Zhao X, Yu Q, Ye Y, Yu M. 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. 2020 Apr 1;81:102279. doi: 10.1016/j.trd.2020.102279
- [31] Kamble SH, Mathew TV, Sharma GK. Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2009 Mar 1;14(2):132-40. doi: 10.1016/j.trd.2008.11.008
- [32] Tong HY, Hung WT, Cheung CS. Development of a driving cycle for Hong Kong. Atmospheric Environment. 1999 Jul 1;33(15):2323-35. doi: 10.1016/S1352-2310(99)00074-6
- [33] Desineedi RM, Mahesh S, Ramadurai G. Developing driving cycles using k-means clustering and determining their optimal duration. Transportation Research Procedia. 2020 Jan 1;48:2083-95. doi: 10.1016/j.trpro.2020.08.268

- [34] Yuhui P, Yuan Z, Huibao Y. Development of a representative driving cycle for urban buses based on the K-means cluster method. Cluster Computing. 2019 May;22(Suppl 3):6871-80. doi: [10.1007/s10586-017-1673-y](https://doi.org/10.1007/s10586-017-1673-y)
- [35] Aliari Boroujeni A, Vaziri B, Kianifar M, Azadi M. Effect of Driving Modes in a Toyota Prius on the Development of a Driving Cycle for the City of Semnan. In: Proceedings of the 13th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil; 2023; Tehran, Iran. [In Persian]
- [36] Gao J, Xu Z, Gao X. Control strategy for PHEB based on actual driving cycle with driving style characteristic. Journal of Control Science and Engineering. 2019 May 2;1496202. doi: [10.1155/2019/1496202](https://doi.org/10.1155/2019/1496202)
- [37] Hung WT, Tong HY, Lee CP, Ha K, Pao LY. Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2007 Mar 1;12(2):115-28. doi: [10.1016/j.trd.2007.01.002](https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.01.002)
- [38] Moosavian A, Abdolmaleki S, Rezaei M, Nejat M. Driving cycle extraction of Tehran city's west region for a car with turbocharged engine using microtrip clustering method. The Journal of Engine Research. 2019;55(55):3-12. [In Persian]