



Clustering and smoothing using real data collected from city buses to extract the driving cycle in Kermanshah city

Farshad Mohammadsadeghi¹, Mohammad Azadi^{2*}, Masoud Masih Tehrani³, Ali Malekan², Ali Keshavarzi³, Hamed Saeidi Googarchin³

¹ Electrical Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

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

³ Automotive Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Driving Cycle
Clustering
K-means Algorithm
City Bus
Kermanshah City

ABSTRACT

Each driving cycle designed to monitor fuel consumption, vehicle emissions, and the specific driving patterns of a region is created to facilitate better planning and enhancement of local standards. In this study, the Real Driving Emissions (RDE) method, regarded as one of the most precise techniques for determining driving cycles, was employed. To gather the necessary data, GPS from mobile phones was utilized while traveling on city buses through the streets of Kermanshah. This data collection included recording speed, acceleration, duration of constant speed, deceleration, altitude, number of braking events, and the duration of stops along the route from origin to destination. The research employed the clustering of real city data and the K-means method to derive the driving cycle for Kermanshah's city buses. Analyzing the collected data reveals that bus drivers in Kermanshah tend to avoid rapid acceleration and high constant speeds, leading to reduced fuel consumption in the city bus cycle, indicating that this behavior is intentional and aimed at this goal.



© 2024 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: m_azadi@semnan.ac.ir (M. Azadi)

Received 23 March 2024; Accepted 27 May 2024

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

Cite this article: 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):1-17. doi: [10.22034/ER.2024.2025374.1042](https://doi.org/10.22034/ER.2024.2025374.1042)

خوشه‌بندی و هموارسازی با استفاده از داده‌های واقعی جمع‌آوری شده از اتوبوس شهری برای استخراج چرخه رانندگی در شهر کرمانشاه

فرشاد محمصدقی^۱، محمد آزادی^{۲*}، مسعود مسیح طهرانی^۳، علی ملک‌ان^۲، علی کشاورزی^۳، حامد سعیدی گوگرچین^۳

^۱ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

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

^۳ دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

هر چرخه رانندگی به‌منظور بررسی مصرف سوخت، آلاینده‌های خودرویی، الگوی رانندگی ویژه هر منطقه برای برنامه‌ریزی بهتر و بهبود استانداردهای مربوطه در منطقه مدنظر تهیه می‌شود. در این پژوهش از روش چرخه رانندگی واقعی (RDE) که می‌توان گفت یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای استخراج چرخه رانندگی به‌حساب می‌آید استفاده شده است. برای جمع‌آوری داده‌های موردنظر از GPS گوشی‌های همراه و به‌صورت سوار بر اتوبوس‌های شهری در خیابان‌های شهر کرمانشاه استفاده شده است. این داده‌ها در طول مسیر حرکت اتوبوس از مبدأ تا مقصد مقدار سرعت، شتاب‌گیری، مدت‌زمان سرعت ثابت، مقدار کاهش شتاب، ارتفاع از سطح دریا، تعداد فرایند ترمزگیری و مدت‌زمان توقف خودرو را در مسیر ثبت می‌کنند. در این پژوهش با استفاده از روش خوشه‌بندی داده‌های واقعی گرفته شده در سطح شهر و روش میانگین‌گیری (K-means) به استخراج چرخه رانندگی اتوبوس‌های شهری کرمانشاه پرداخته شده است. با تحلیل داده‌های گرفته شده سوار بر اتوبوس دیده می‌شود که رانندگان اتوبوس در شهر کرمانشاه تمایلی به شتاب‌گیری و حرکت با سرعت ثابت تند را ندارند که این امر مصرف سوخت را در چرخه اتوبوس شهری کاهش می‌دهد، که می‌توان گفت این کار به‌صورت آگاهانه و به همین منظور توسط راننده‌ها صورت می‌گیرد.

اطلاعات مقاله

کلیدواژه‌ها:

چرخه رانندگی
خوشه‌بندی
روش میانگین‌گیری
اتوبوس شهری
شهر کرمانشاه



© 2024 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: m_azadi@semnan.ac.ir (محمد آزادی)

دریافت ۴ فروردین ۱۴۰۳؛ پذیرش ۷ خرداد ۱۴۰۳
شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۵۲۱۴-۱۷۳۵

Cite this article: 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):1-17. doi: 10.22034/ER.2024.2025374.1042

۱- مقدمه

در شهرهای بزرگ کشور از مسائل بزرگی که امروزه بسیار اهمیت پیدا کرده است آلودگی هوا است که تأثیر مستقیم بر سلامتی شهروندان هر یک از آن شهرها دارد [۱]. با توجه به آمارهای منتشر شده می‌توان دلیل اصلی آلودگی هوای کلان‌شهرهای کشور را آلودگی‌های ناشی از وسایل نقلیه‌ای دانست که در طول روز در خیابان‌های شهر در حال حرکت هستند، و برای مهار و کاهش این آلودگی‌ها باید از مقدار تردد خودروها و مصرف سوخت آن‌ها کاست [۲].

یک راه‌حل این است که شهروندان از تردد با وسایل نقلیه تک سرنشین به سمت تردد با وسایل نقلیه عمومی روی آورند [۳]. برای تشویق شهروندان در استفاده از سامانه حمل و نقل عمومی باید اطلاعات مناسبی از این سامانه در هر شهر را داشت تا بتوان به بهترین شکل برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری کرد و نتایج مناسبی به دست آورد، که یکی از روش‌های علمی و تأیید شده برای این مهم استخراج چرخه رانندگی اتوبوس‌های شهری در کلان‌شهرها است [۴].

چرخه رانندگی برای تعیین استانداردهای کاربردی استفاده می‌شود، که سبب می‌شود طراحی‌ها بر مبنای شرایط واقعی‌تری از جامعه حال حاضر صورت گیرد و نتایج مناسب‌تری به دست آید [۵]. طراحی‌ها بر اساس چرخه‌های رانندگی استخراج شده صورت می‌گیرد و باید به این موضوع توجه ویژه داشت که شرایط جغرافیایی [۶]، آب و هوایی [۷]، فرهنگی [۷]، عادت‌ها و نحوه رانندگی [۷]، شرایط خیابان‌ها و کیفیت آسفالت [۸] و حجم خودروهای موجود در شهر [۹]، در هر نقطه از کره زمین متفاوت و ویژه آن منطقه است؛ پس نمی‌توان با یک چرخه رانندگی هرچقدر هم که استاندارد و علمی باشد برای همه شهرها و در همه کشورها استانداردهایی را تعیین کرد. از همین رو باید برای هر منطقه جغرافیایی در این پهنه خاکی یک چرخه مخصوص به آن استخراج و بررسی شود تا بتوان استانداردها را مناسب با شرایط همان منطقه تعیین کرد و نتایج مناسبی را شاهد بود [۱۰].

در پژوهشی که مرتضی منتظری و همکاران بر روی استخراج چرخه رانندگی اتوبوس‌های شهری در تهران انجام داده‌اند برای به دست آوردن این چرخه رانندگی از روش زنجیره مارکوف و تحلیل گذار در صفحه سرعت- شتاب استفاده کرده‌اند. آن‌ها بر خلاف روش‌های پیشین که بر اساس تقسیم بندی داده‌ها به اجزاء کوچک‌تری به نام ریزسفر بوده است، و بر اساس تحلیل گذار داده‌ها در صفحه سرعت- شتاب عمل کرده‌اند که نتیجه آن استخراج چرخه با مشخصات مطلوب نزدیک به کل داده‌ها بوده است [۴]. در پژوهشی که شوگل^۱ و همکاران انجام داده‌اند به بررسی عوامل تأثیرگذار در چرخه رانندگی واقعی در مناطق گوناگون با ویژگی‌ها و شرایط خاص به خود پرداخته‌اند. این عوامل را می‌توان شرایط جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، ارتفاع جاده از سطح دریا، دما و فشار مطلق، عادت‌ها و نحوه رانندگی، ورزش باد، حجم خودروهای در حال حرکت در یک مسیر، کیفیت جاده و... دانست [۱۱]. نمودار سرعت- زمان برای گروهی از وسایل نقلیه که ویژگی‌های رانندگی در شرایط واقعی را بیان می‌کند را چرخه رانندگی می‌گویند [۱۲]. چرخه رانندگی باید شرایط جاده و نحوه رانندگی در دنیای واقعی را دربر گیرد [۱۳].

همان قدر که وسیله نقلیه در چگونگی رانندگی اثر می‌گذارد، تصمیم‌گیری‌های راننده نیز تأثیرگذار خواهد بود. 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 [۱۴].

چرخه‌های رانندگی استاندارد ویژگی‌ها و کمیت‌های عمومی را در نظر می‌گیرند و از ویژگی‌ها و کمیت‌های منطقه‌ای چشم پوشی می‌کنند، از این ویژگی‌ها می‌توان به شرایط جاده، آب و هوا، فرهنگ رانندگی، کیفیت آسفالت و ... اشاره کرد [۱۵].

نمی‌توان از تأثیر این عوامل منطقه‌ای بر روی الگوی رانندگی چشم پوشی کرد، به همین دلیل تلاش‌های زیادی شده است تا برای هر منطقه یک چرخه رانندگی محلی به دست آید که ویژگی‌ها و شرایط همان منطقه را دربر گرفته باشد [۱۶]. شرایط رانندگی در مناطق مختلف متفاوت است و با توجه به شرایط جغرافیایی، فرهنگی، اقلیمی، اقتصادی و

¹ Schogel

پهنای گسترده کشور طبیعی است که الگوی رانندگی در یک شهر نسبت به شهری دیگر متفاوت باشد و نتوان یک چرخه رانندگی را برای هر دوی آن‌ها در نظر گرفت. چرخه رانندگی هر شهر یا منطقه با توجه به داده‌های گسترده‌ای که جمع‌آوری می‌شود و بر روی آن‌ها تجزیه و تحلیل فراوانی صورت می‌گیرد به دست می‌آید، و معرف الگوی واقعی رانندگی در آن منطقه است [۱۷].

انتخاب مسیرهای داده‌برداری باید به گونه‌ای باشد که نماینده خوبی برای پهنای جغرافیایی مدنظر باشد و یک شمای واقعی از شهر یا جاده را نشان دهد تا بتوان رفتارهای واقعی رانندگی را در این مناطق ثبت کرد. در این صورت است که می‌توان به چرخه رانندگی استخراج شده و نمودارهای آن اطمینان کرد، در غیر این صورت چرخه استخراجی بیانگر اطلاعات انحرافی خواهد بود و قابل اطمینان نیست [۱۸].

در دسته‌بندی چرخه‌های رانندگی به دو صورت عمل می‌کنند. نخست قانونمند یا غیرقانونمند بودن چرخه رانندگی استخراج شده است، به این صورت که دولتی است یا غیردولتی. اگر دولت در استخراج آن همکاری کرده باشد آن چرخه را قانونمند خواهند نامید که هدف از آن ایجاد استانداردهای مربوطه است، در غیر این صورت استخراج چرخه رانندگی توسط محققان صورت گرفته است که عمدتاً در زمینه‌های تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دوم واقعی یا غیرواقعی بودن چرخه رانندگی استخراج شده است، به این صورت که اگر داده‌برداری با استفاده از یک خودرو در سطح شهر یا جاده و در شرایط واقعی صورت گیرد آن را واقعی گویند و اگر بر روی یک خودرو و در شرایط آزمایشگاهی که شرایط واقعی را شبیه‌سازی می‌کند عمل داده‌برداری صورت گیرد به آن چرخه غیرواقعی گفته می‌شود، که در مقایسه با چرخه‌های واقعی می‌توان گفت که چرخه‌های واقعی کاربردی‌تر هستند [۱۹].

در پژوهشی که رابرتز^۱ و همکاران انجام داده‌اند به بررسی چرخه رانندگی RDE که به آن چرخه رانندگی واقعی نیز گفته می‌شود پرداخته و در نهایت چرخه رانندگی RDE+ را ارائه کرده‌اند. RDE یک برنامه چرخه رانندگی است که در آن عوامل متعددی برای استخراج چرخه رانندگی مدنظر قرار می‌گیرد، که از این عوامل می‌توان شبیه‌سازی شرایط محیطی واقعی، انتقال نیرو و جاده، بایدها و نبایدهای رانندگی در دنیای واقعی، شاسی خودرو، وجود دیگر خودروها به صورت مجازی، مسیرهای متفاوت و ... را نام برد. توجه به این عوامل سبب می‌شود تا چرخه رانندگی RDE به چرخه رانندگی در دنیای واقعی خیلی نزدیک و مشابه باشد [۲۰].

در پژوهشی که توسط احسان میری و حمیدرضا خلیلی به همراه محمد آزادی انجام شده است، با تعریف ریزسفرها پس از داده‌برداری به کوچک کردن داده‌های کلی و سپس با استفاده از روش خوشه‌بندی به دسته‌بندی ریزسفرها پرداخته‌اند. برای استخراج اطلاعات نهفته در داده‌های گرفته شده از ابزار داده‌کاوی استفاده می‌شود که خوشه‌بندی یکی از زیرمجموعه‌های آن به حساب می‌آید. با استفاده از روش خوشه‌بندی داده‌های مشابه را پیدا کرده و در یک خوشه قرار می‌دهند و داده‌های دیگر را نیز همین‌طور تا جایی که در هر خوشه تعدادی داده مشابه وجود دارد که نسبت به داده‌های موجود در خوشه‌های دیگر متفاوت خواهند بود. برای انجام عمل خوشه‌بندی از روش میانگین کی استفاده شده است. در این روش پنج ویژگی موردنظر قرار گرفته است که عبارت‌اند از میانگین سرعت رانندگی، میانگین شتاب مثبت، میانگین شتاب منفی، میانگین سرعت و درصد رانندگی [۲۱].

چرخه‌های رانندگی بیانگر میانگین شرایط رانندگی در یک کشور با فرهنگ خاص به خود و یا یک منطقه جغرافیایی است و بخش قابل توجهی از طرح‌های تحقیقاتی و تدوین استانداردهای زیست محیطی بر پایه همین چرخه‌های رانندگی است [۲۲]. در استخراج یک چرخه رانندگی متغیرهای مختلفی تأثیرگذار خواهند بود که می‌توان به متغیرهای محیطی [۲۳]، خودرویی [۲۴]، رانندگی و داده‌برداری [۲۵] اشاره کرد. هر کدام از این متغیرها خود شامل چند زیر مجموعه هستند که می‌توان برای متغیرهای محیطی به شرایط اقلیم جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، وضعیت جاده، شیب

¹ Roberts

جاده و شرایط رفت و آمدی اشاره کرد، و برای متغیرهای رانندگی نیز به مسافت رانندگی، آرام یا هیجانی بودن رانندگی، آشنایی با مسیر، سن راننده و مقدار ساعت رانندگی اشاره کرد [۲۶].

همچنین برای متغیرهای خودرویی می‌توان به نوع خودرو، نوع جعبه دنده، قدرت موتور خودرو، نوع سوخت و شرایط اقتصادی اشاره کرد. در پژوهشی، محققان اروپایی اثر قدرت موتور وسایل نقلیه را بر روی چرخه رانندگی مورد بررسی قرار داده‌اند، و نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که علاوه بر عوامل بیان شده، قدرت موتور وسایل نقلیه نیز بر نحوه رانندگی تأثیر می‌گذارد. خودروهای با قدرت موتور قویتر از سرعت بیشتر و شتاب سریع‌تری در رانندگی برخوردار هستند [۲۷]. در چرخه‌های رانندگی دیزلی باید اثر زمین را نیز بر روی خودرو مورد توجه قرار داد. برای مناطقی با جاده‌های تپه‌ای متعدد، یک چرخه رانندگی خاص باید شیب را نیز در نظر بگیرد. برای شرایط آزمایشگاهی لگام ترمز شاسی، چرخه رانندگی که اثر گرادیان را در نظر بگیرد ضروری است [۲۸].

نتایج پژوهشی که شهرهای چین را بررسی کرد نشان می‌دهد که در شهرهای بزرگ سرعت رانندگی تندتر است در حالی که به دلیل حجم رفت و آمد توقف‌های زیادی را نیز شاهد خواهند بود، یعنی رانندگی در شهرهای بزرگ همراه با شتاب‌گیری‌های سریع و فرایند ترمزگیری‌های مکرر است که بیانگر فرهنگ رانندگی شدیدتر در شهرهای بزرگ است. در شهرهای متوسط رانندگی بسیار نرم و با توقف‌های کمتری صورت می‌گیرد در حالی که سرعت زیاد نیست، همچنین رانندگی در شهرهای کوچک علی‌رغم نبود رفت و آمد قابل توجه از سرعت کمتری برخوردار است و چرخه رانندگی آرامی را شاهد خواهد بود [۲۹].

پژوهشگران دانشگاه میشیگان برای ایجاد یک سامانه خودروهای برقی با هدف افزایش طول عمر باتری و کوچک نگه داشتن ابعاد باتری برای کاهش هزینه تولید، چرخه رانندگی خاصی را در شهر میشیگان استخراج کرده‌اند تا جایگزین برنامه رانندگی ایالت شود، که این امر تأکیدی بر نیاز هر منطقه جغرافیایی به چرخه رانندگی ویژه خود است [۳۰].

همچنین در پژوهشی دیگر محققان با هدف ارائه افزایش دقت مصرف انرژی و ارزیابی کارایی، در بافت شهر فلورانس به توسعه چرخه‌های رانندگی خودروهای برقی پرداخته‌اند، با این ویژگی که داده‌ها به طور انحصاری از خود خودروهای برقی گرفته شده است [۳۱].

در این پژوهش، چرخه رانندگی که استخراج شده است از نوع واقعی و غیر قانونمند است. در فرایند داده‌برداری با چند گوشی همراه و در ساعت‌های مختلف در اتوبوس‌های متفاوت و به‌صورت سوار بر ماشین و در روزهای مختلف انجام شده است. داده‌برداری در مسیرهای اصلی شرکت واحد در شهر کرمانشاه به‌صورت رفت و برگشت‌های چندباره انجام شده است به گونه‌ای که کل مساحت شهر کرمانشاه را تحت پوشش قرار می‌دهد. در این پژوهش، برای تحلیل و پردازش داده‌های گرفته شده از روش ریزسفر استفاده شده است، به این صورت که داده‌ها به تک سفرهای کوچک تجزیه می‌شوند. ریزسفر به عنوان مسافت طی شده بین دو توقف بیان می‌شود که با سرعت صفر شروع و با سرعت صفر بعدی پایان می‌یابد. دلیل توقف‌ها را می‌توان ایستگاه‌های اتوبوس، رفت و آمد و چراغ‌های راهنمایی و رانندگی دانست.

۲- روند اجرای پژوهش

این پژوهش شهر کرمانشاه را به عنوان هدف برای استخراج چرخه رانندگی در نظر گرفته است. شهر کرمانشاه مرکز استان کرمانشاه در غرب کشور واقع است و نهمین شهر پرجمعیت و یکی از کلان‌شهرهای ایران است. جمعیت این کلان‌شهر بالغ بر ۹۵۰۰۰۰ نفر است، مساحت آن نیز ۹۶ کیلومتر مربع است. شهر کرمانشاه در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد و میانگین دمای سالانه آن ۱۴ درجه سانتی‌گراد است، و دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. کرمانشاه در گذشته دارای ۵۴ خط اتوبوس رانی فعال بوده که به تدریج روبه‌کاهش گذاشته است، تا جایی که قبل از فراگیری کرونا به ۲۸ خط فعال و هم اکنون به ۱۳ خط فعال رسیده است. این روند کاهش بیانگر کوچک شدن ناوگان

حال با داشتن مجموع زمان توقف و زمان کل داده‌برداری می‌توان زمان رانندگی بدون توقف را به صورت معادله ۴ به دست آورد.

$$T_{drive} = T_{total} - T_{stop} \quad (۴)$$

در هنگام رانندگی به طور کلی سه حالت ممکن است پیش بیاید که عبارت‌اند از شتاب‌دهی، شتاب‌کاهی و بدون شتاب (کروز). 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 کروز به ترتیب از روابط ۵، ۶ و ۷ استفاده خواهد شد. برای تعیین این سه مشخصه از متغیر ثابتی به نام آستانه شتاب استفاده می‌شود که در معادلات مذکور با نام $acc_threshold$ آمده است.

$$T_{acc} = \begin{cases} t_2 - t_1 (a_1 > acc_threshold) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (a_i > -acc_threshold) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (۵)$$

$$T_{dec} = \begin{cases} t_2 - t_1 (a_1 < acc_threshold) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (a_i < -acc_threshold) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (۶)$$

$$T_{cruise} = T_{drive} - T_{acc} - T_{dec} \quad (۷)$$

برای بیان نسبی هر یک از فعالیت‌های رانندگی باید مدت‌زمان آن‌ها را بر زمان کل داده‌برداری تقسیم کرد، برای این کار می‌توان بدین صورت عمل کرد:

$$\%drive = \frac{T_{drive}}{T_{total}} \quad (۸)$$

$$\%cruise = \frac{T_{cruise}}{T_{total}} \quad (۹)$$

$$\%acc = \frac{T_{acc}}{T_{total}} \quad (۱۰)$$

$$\%dec = \frac{T_{dec}}{T_{total}} \quad (۱۱)$$

$$\%stop = \frac{T_{stop}}{T_{total}} \quad (۱۲)$$

در ادامه برای محاسبه میانگین سرعت به صورت معادله ۱۳ مسافت کل بر زمان کل تقسیم می‌شود. همچنین برای به دست آوردن مشخصه میانگین سرعت رانندگی باید مسافت کل را بر زمان رانندگی تقسیم کرد، همانند معادله ۱۴.

$$\bar{v}_{trip} = 3.6 \frac{dist}{T_{total}} \quad (۱۳)$$

$$\bar{v}_{drive} = 3.6 \frac{dist}{T_{drive}} \quad (۱۴)$$

در حوزه شتاب نیز برای محاسبه میانگین شتاب مثبت و میانگین شتاب منفی به ترتیب همانند معادله‌های ۱۵ و ۱۶ عمل می‌شود.

$$a_{pos_{av}} = \bar{a}_{pos} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (۱۵)$$

$$a_{neg_{av}} = \bar{a}_{neg} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \quad (۱۶)$$

در انتها برای محاسبه مشخصه‌های تعداد کل شتاب‌ها، تعداد کل توقف‌ها و میانگین زمان توقف‌ها به ترتیب همانند معادله‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ عمل شده است.

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

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

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

که زمان t ، سرعت v و شتاب a به صورت آرایه‌ای از اعداد با n ردیف در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

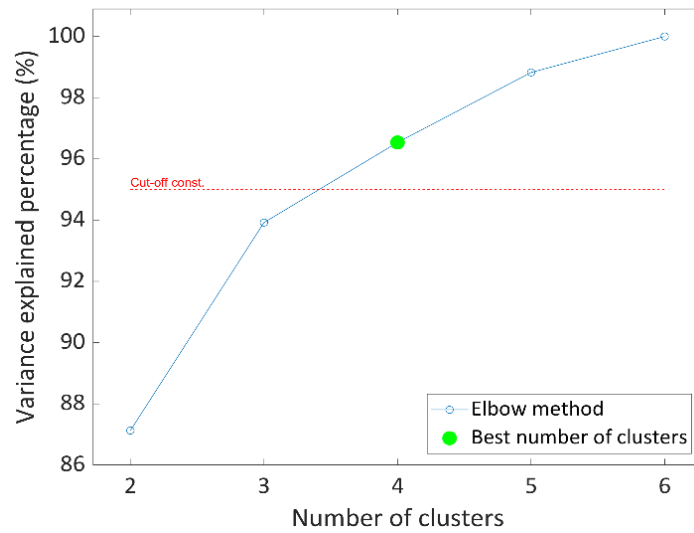
همان‌طور که پیش‌تر گفته شد برای استخراج چرخه رانندگی ابتدا باید فرایند داده‌برداری صورت گیرد و مجموعه‌ای از کلان داده‌ها را در منطقه جغرافیایی یا مسیر مدنظر جمع‌آوری کرد. پس از مرحله داده‌برداری نوبت به تقسیم‌بندی این کلان داده‌ها به بخش‌های کوچک‌تری به نام ریزسفر می‌رسد. در واقع تعریف کلی ریزسفر را می‌توان به این صورت بیان کرد؛ فاصله بین نقاطی که نمودار سرعت-زمان، آستانه سرعتی که از قبل مشخص شده است را قطع کند. با توجه به تحلیل مدنظر می‌توان آستانه سرعت را عددی بین صفر تا بیشینه سرعت در هر سفر انتخاب کرد. با توجه به این که چرخه رانندگی نهایی با استفاده از ریزسفرها ساخته می‌شود، می‌توان گفت که هر چه تعداد ریزسفرها بیشتر و طول زمانی آن‌ها کم‌تر باشد چرخه نهایی به دست آمده باکیفیت‌تر خواهد بود. تعداد ریزسفرهای به وجود آمده از کلان داده‌های ابتدایی بستگی به آستانه سرعتی دارد که برای استخراج چرخه رانندگی در نظر گرفته می‌شود.

پس از تولید ریزسفرها با توجه به مشخصاتی که دارند آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند و هر کدام در دسته‌ای مخصوص به خود قرار می‌گیرند، این فرایند را خوشه‌بندی گویند. در این پژوهش برای انجام فرایند خوشه‌بندی از روش میانگین کی استفاده شده است، که یک روش بدون ناظر است و بر اساس موقعیت نقاط نسبت به یکدیگر صورت می‌گیرد. با این روش هیچ ریزسفری بدون خوشه نخواهد ماند و به طور هم‌زمان نیز در دو خوشه قرار نمی‌گیرد. در کارهای پیشین دیده شد که برای تعداد خوشه‌ها بیشتر محققان تعداد دو تا شش خوشه را مدنظر قرار داده‌اند که هر کدام دلایل خاص به خود را داشته‌اند. یکی از روش‌هایی که سبب می‌شود بهترین خوشه‌بندی صورت گیرد، روش آرنج^۱ است که به طور خودکار و با توجه به پراکندگی نقاط در هر خوشه بهترین حالت را انتخاب می‌کند.

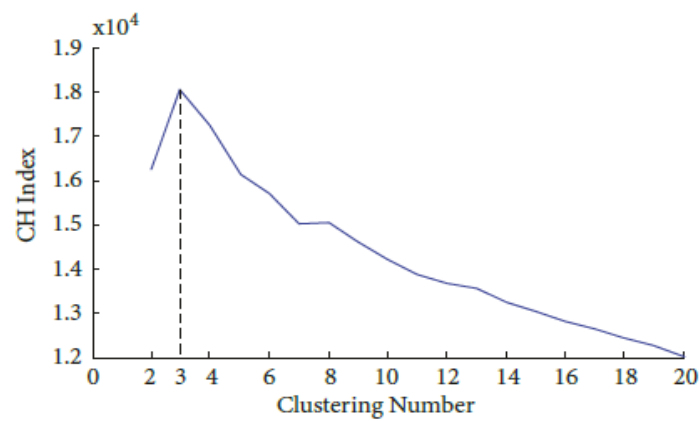
در این پژوهش برای انتخاب بهینه و مناسب تعداد خوشه‌های موردنیاز از روش خودکار آرنج استفاده شده است، و نتیجه آن چهار دسته یا خوشه را نشان داد. شکل ۲ نتیجه روش آرنج را نشان می‌دهد، که در آن محور عمودی مقدار تراکم نقاط را در دسته‌ها نشان می‌دهد و محور افقی بیانگر تعداد خوشه‌ها است. در پژوهشی که برای استخراج چرخه رانندگی اتوبوس شهری در ژنگزو چین انجام گرفته است برای تعیین عدد خوشه‌بندی بهینه از شاخص Calinski-Harabasz (CH) استفاده شده است، به این صورت که یک شاخص CH بزرگتر نشان دهنده یک معادله نزدیک‌تر در همان دسته و یک معادله پراکنده‌تر بین دسته‌های مختلف است [۳۲]. نتیجه شاخص CH در شکل ۳ نشان داده شده است، که تعداد خوشه‌بندی بهینه برابر ۳ است و به دسته‌های متراکم، شهری و برون شهری تقسیم می‌شوند [۳۲].

در گام بعدی به فرایند خوشه‌بندی در دو حالت پرداخته شده است، که در حالت نخست بر اساس میانگین شتاب کل و در حالت دوم بر اساس درصد زمان توقف عمل خوشه‌بندی صورت گرفته است. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج خوشه‌بندی در حالت‌های میانگین شتاب کل و درصد زمان توقف را نشان می‌دهند. در نتایج خوشه‌بندی هر رنگ یک دسته را نشان می‌دهد و مراکز دسته‌ها نیز با علامت + مشخص شده‌اند.

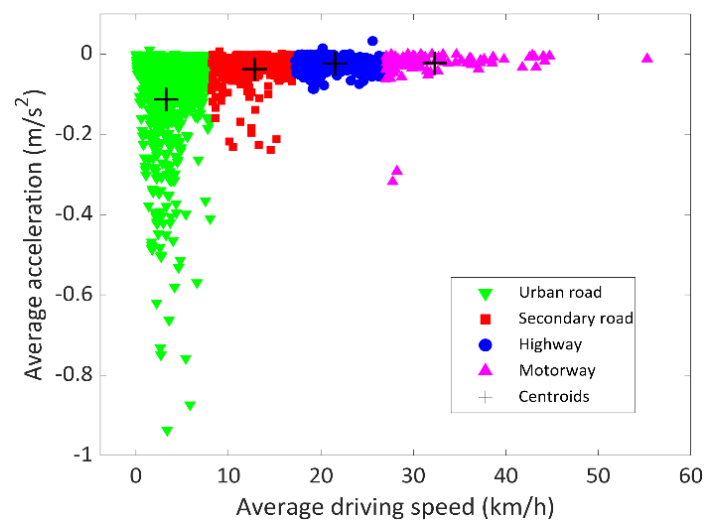
¹ Elbow



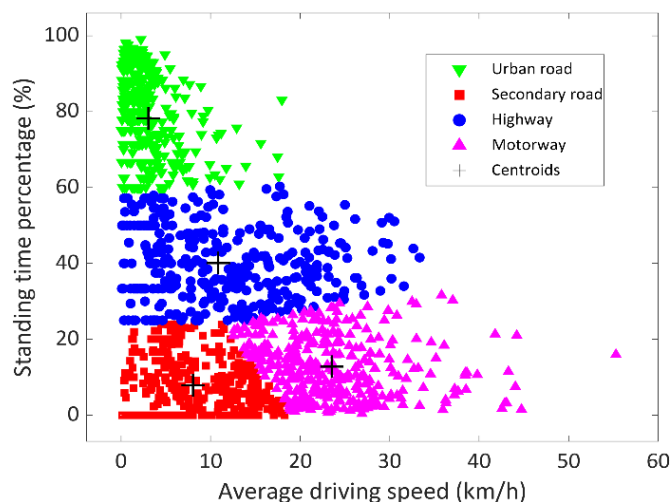
شکل ۲ خروجی روش آرنج برای به دست آوردن بهینه‌ترین تعداد دسته‌های مورد نیاز برای فرایند خوشه‌بندی



شکل ۳ شاخص CH اعداد مختلف خوشه‌بندی [۳۲]



شکل ۴ خوشه‌بندی در چهار دسته بر اساس میانگین شتاب کل و میانگین سرعت رانندگی



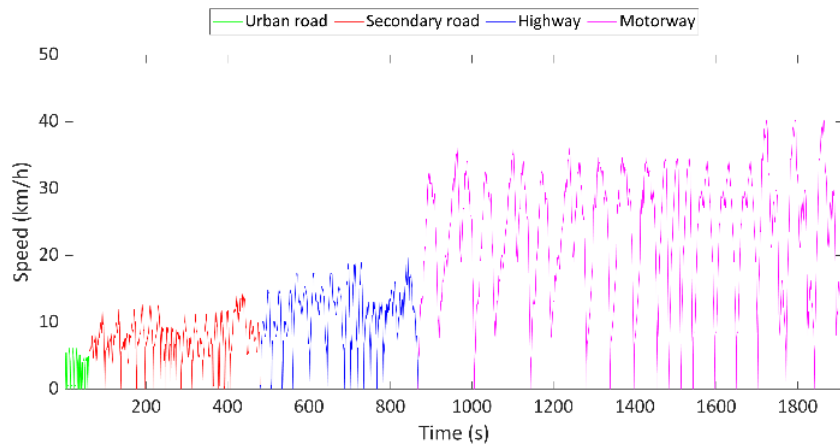
شکل ۵ خوشه‌بندی در چهار دسته بر اساس درصد زمان توقف و میانگین سرعت رانندگی

پس از به دست آوردن خوشه‌ها و مشخص شدن مراکز آن‌ها نوبت به نمودار سرعت-زمان یا همان چرخه رانندگی می‌رسد. برای رسم نمودار سرعت-زمان باید زمانی تعیین گردد تا مشخص شود که چرخه رانندگی در چه بازه زمانی باید طی شود، که با بررسی کارهای پیشین [۳۳-۳۷] و استانداردهای موجود در این زمینه ۱۸۰۰ ثانیه برای بازه زمانی چرخه رانندگی در این پژوهش انتخاب شد. مدت زمان ۱۸۰۰ ثانیه یکی از چندین استاندارد موجود در استخراج چرخه‌های رانندگی است که پژوهش‌های متعددی از این استاندارد استفاده کرده‌اند [۳۷].

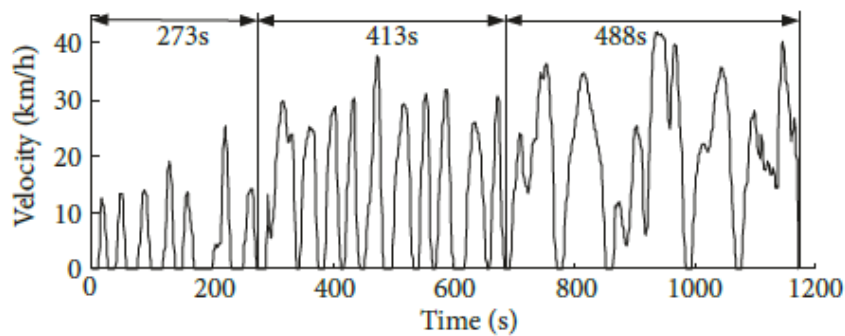
مدت زمان چرخه رانندگی نباید خیلی کوتاه باشد تا بتوان ریزسفرهای کافی برای انعکاس الگوهای رانندگی در دنیای واقعی را در خود جای دهد، همچنین نباید خیلی طولانی هم باشد زیرا که برای آزمایش لگام ترمز عملی نخواهد بود [۲۶]. حال با کنار هم قراردادن ریزسفرهای منتخب بر اساس میانگین سرعت رانندگی مرکز هر خوشه، چرخه رانندگی موردنظر تشکیل می‌شود. این چرخه در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۷ چرخه رانندگی استخراج شده اتوبوس‌های شهری در شهر ژنگزو چین به دلیل وجود سه حالت مشابه رانندگی شهری، رفت و آمدی و برون شهری با چرخه اتوبوس شهری کرمانشاه، برای مقایسه آورده شده است [۳۲]. در این چرخه رانندگی مدت‌زمان برابر ۱۱۷۴ ثانیه است که شامل ۲۷۳ ثانیه در حالت رفت و آمد، ۴۱۳ ثانیه حالت شهری و ۴۸۸ ثانیه حالت برون شهری است [۳۲].

همچنین به دلیل وجود متغیرهای مشابه در چرخه مورد نظر با پژوهشی که برای استخراج چرخه رانندگی اتوبوس شهری تانگشان چین انجام شد مقایسه‌ای صورت گرفت، که چهار متغیر رانندگی در حالت شتاب، سرعت ثابت، کاهش سرعت و بدون حرکت برای تجزیه و تحلیل چرخه‌های حرکت اتوبوس‌ها انتخاب شدند و در این میان نسبت حالت شتاب گیری و در عین حال نسبت حالت کاهش سرعت بیشتر است [۳۳]. این امر به این دلیل بود که مسیر سفر اتوبوس عمدتاً در منطقه شهری است بنابراین در طول فرایند سفر، حالت شتاب گیری و کاهش سرعت مکرر وجود دارد [۳۳].

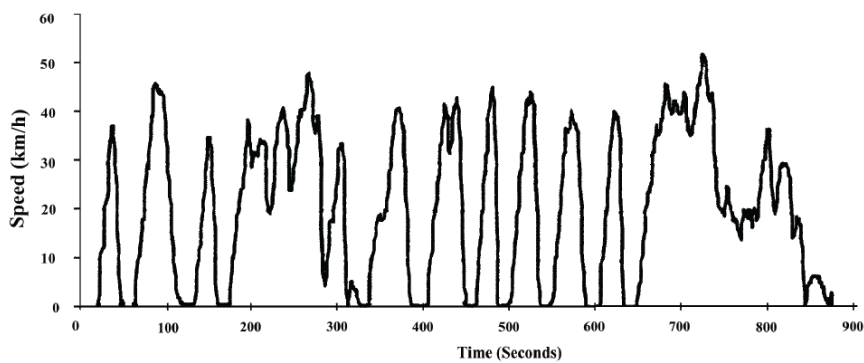
برای بررسی و مقایسه در شرایطی که اتوبوس پر از مسافر است پژوهشی که حالت رانندگی تحت فشار یک چرخه رانندگی استخراج شده برای کامیون ۱۲ تنی که از قبل توسط استیوز و همکاران [۳۴] انجام شده است، در شکل ۸ آورده شده است. بخشی از مسیر چرخه رانندگی اتوبوس شهری کرمانشاه از مرکز شهر عبور می‌کند که بیشتر ساعات دارای رفت و آمد سنگین است و برای بررسی نحوه رانندگی تحت تاثیر رفت و آمد، پژوهشی که برای استخراج چرخه رانندگی در شهر هنگ‌کنگ انجام شده است مورد مقایسه قرار گرفته است، که دیده می‌شود چرخه رانندگی حاوی بسیاری از پروفایل‌های سرعت پایین با نوسان‌های قابل توجه است، این امر نشان دهنده رفتار رانندگی شامل توقف و شروع مکرر به دلیل حجم رفت و آمدی است [۳۵]. چرخه رانندگی شهری هنگ‌کنگ برای مقایسه و بررسی تأثیر حجم رفت و آمدی بر روی نحوه رانندگی شهری در شکل ۹ آورده شده است [۳۵].



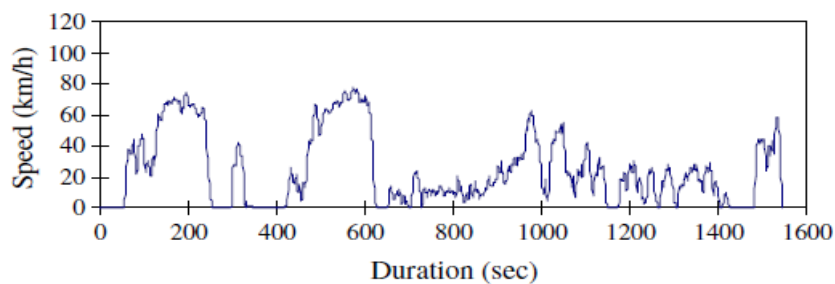
شکل ۶ چرخه رانندگی استخراج شده برای چهار دسته‌بندی بر اساس درصد زمان توقف و میانگین سرعت رانندگی



شکل ۷ چرخه رانندگی استخراج شده اتوبوس‌های شهری در شهر ژنگزو چین [۳۲]



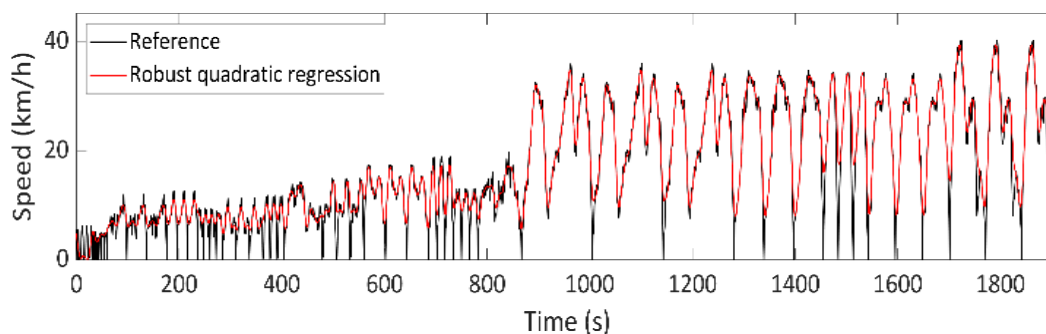
شکل ۸ چرخه رانندگی ۱۵ دقیقه‌ای برای کامیون ۱۲ تنی (رفتار تحت فشار) [۳۴]



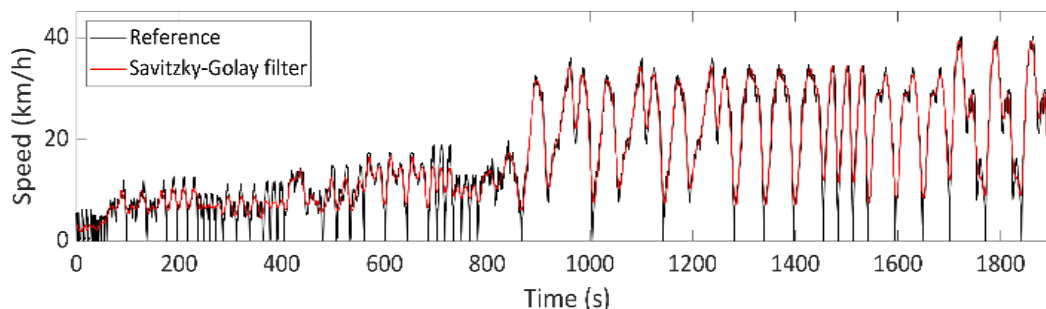
شکل ۹ چرخه رانندگی شهری هنگ‌کنگ [۳۵]

در چرخه رانندگی استخراج شده برای اتوبوس‌های شهری کرمانشاه مدت زمان کل برابر ۱۸۰۰ ثانیه است، که ۴۹۰ ثانیه از آن شامل رانندگی در خیابان‌هایی از شهر است که معمولاً دارای رفت و آمد و چراغ‌های راهنمایی و رانندگی زیاد است. رانندگی در این خیابان‌ها شامل سرعت پایین، توقف‌های پی‌درپی و تغییرات زیاد در سرعت است. همچنین ۳۷۰ ثانیه از کل زمان چرخه استخراج شده شامل رانندگی در خیابان‌هایی از شهر است که معمولاً دارای رفت و آمد پیوسته و روان‌تر با حجم خودرویی کم‌تر است و چراغ قرمزهای کم‌تری نیز دارد. رانندگی در این خیابان‌ها شامل توقف‌های کم‌تر و تغییرات سرعت کم‌تری است و نسبت به حالت قبلی از سرعت تندتری نیز برخوردار است. ۹۴۰ ثانیه باقی مانده از چرخه رانندگی مورد نظر شامل رانندگی در خیابان‌هایی از شهر همچون کمربندی‌ها، خیابان‌ها و خیابان‌های چندباند (بزرگراه‌ها) که مناطق مختلف شهر را به هم متصل می‌کنند است که دارای چندین خط عبور، کم‌ترین رفت و آمد شهری با چراغ‌های راهنمایی و رانندگی کم است. تردد در این خیابان‌ها به صورت روان انجام می‌شود و از سرعت رانندگی تندتری نسبت به حالت‌های قبلی برخوردار است.

داده‌های GPS حاوی خطاهای تصادفی هستند که در پردازش متغیرهای سفر (سرعت، شتاب و مسافت) اثر مخرب می‌گذارد [۳۶]. برای پیاده‌سازی چرخه نهایی بر روی ابزارآلات آزمایشگاهی به منظور آزمون‌های موتور و خستگی قطعات، چرخه استخراجی باید بدون نویز و بدون تغییرات ناگهانی باشد. برای این کار باید فرایند هموارسازی را انجام داد. برای هموارسازی روش‌های مختلفی وجود دارد و در این پژوهش، برای هموارسازی داده‌های به دست آمده برای چرخه نهایی از روش‌های Robust Quadratic Regression و صافی sgolay استفاده می‌شود. در این دو روش، نرخ تغییرات داده‌های خروجی به نرخ تغییرات داده‌های اولیه بسیار نزدیک‌تر است و دارای خطای نسبتاً کمتری نسبت به روش‌های دیگر هستند. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب اعمال هموارسازی به روش‌های Robust Quadratic Regression و صافی sgolay بر روی چرخه استخراجی را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها خطوط قرمز رنگ نمایانگر خروجی هموارسازی شده برای چرخه رانندگی زیرین خود هستند.

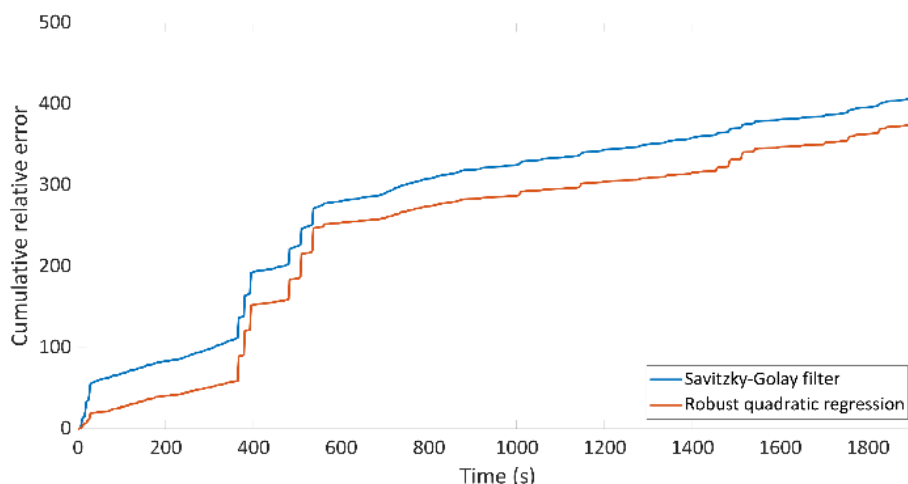


شکل ۱۰ هموارسازی چرخه نهایی با روش Robust Quadratic Regression



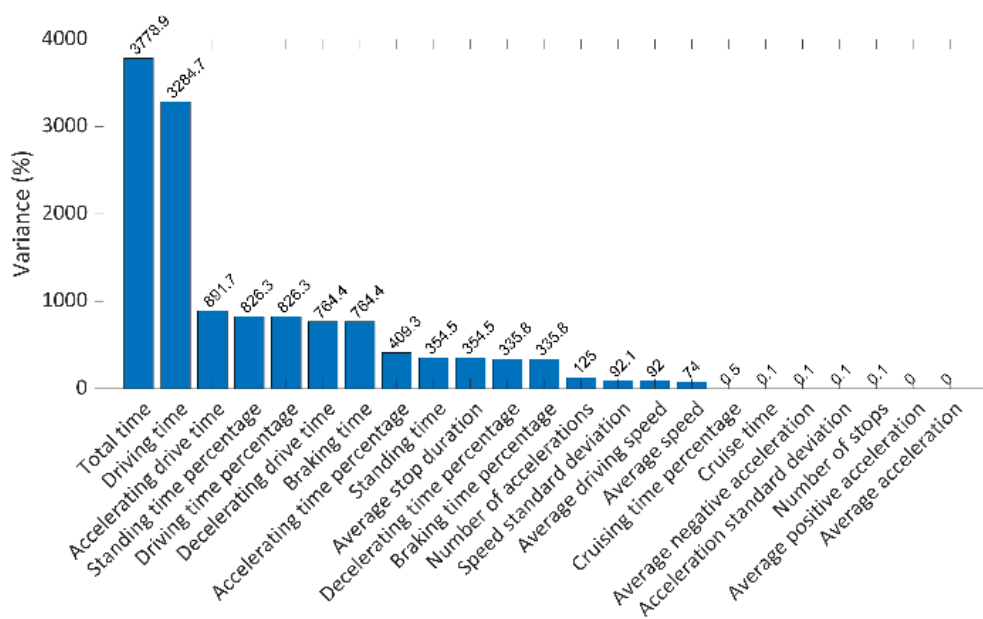
شکل ۱۱ هموارسازی چرخه نهایی با روش صافی sgolay

برای مقایسه این دو روش می‌توان یک نمودار تجمیعی را به صورت شکل ۱۲ نشان داد، که با توجه به این نمودار دیده می‌شود که روش Robust Quadratic Regression نسبت به روش صافی sgolay خطای کمتری دارد.



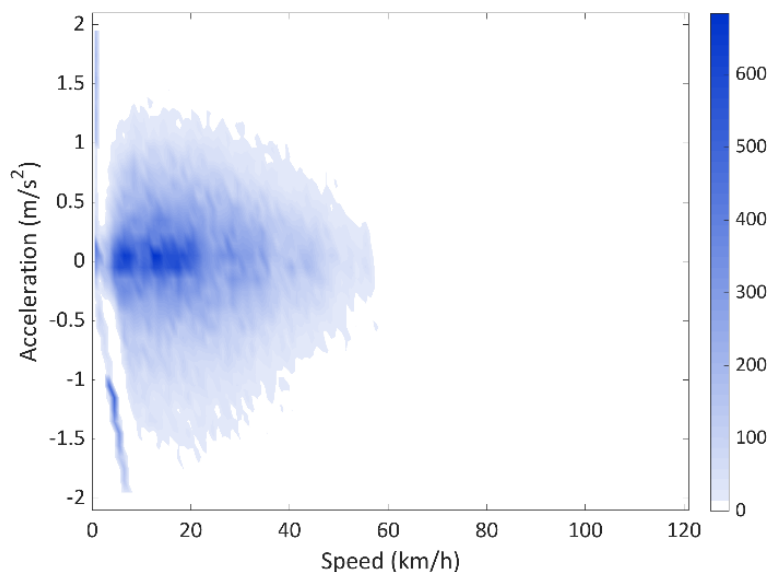
شکل ۱۲ نمودار تجمیعی خطای نسبی برای دو روش هموارسازی Robust Quadratic Regression و صافی sgolay

در شکل ۱۳ نتیجه تحلیل حساسیت برای مجموع داده‌ها آورده شده است.

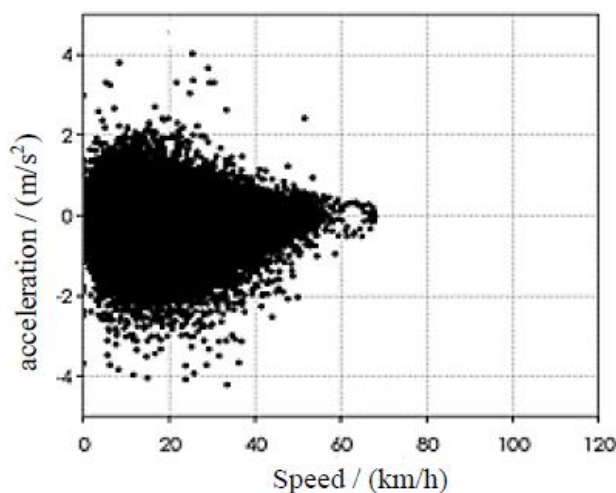


شکل ۱۳ نمودار نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی

همچنین، شکل ۱۴ نقشه سرعت-شتاب را برای چرخه استخراج شده نشان می‌دهد. برای مقایسه نیز در شکل ۱۵ نقشه سرعت-شتاب برای اتوبوس‌های شهر تانگشان در کشور چین نمایش داده شده است [۳۳]. در هر دو نقشه محور عمودی مقدار شتاب و محور افقی مقدار سرعت را نشان می‌دهند و در این بخش مقدار شتاب‌گیری و سرعت متوسط در دو چرخه رانندگی مورد نظر، با هم مقایسه می‌شود.



شکل ۱۴ نقشه شتاب-سرعت برای اتوبوس شهری کرمانشاه



شکل ۱۵ نقشه شتاب-سرعت برای اتوبوس‌های شهر تانگشان در کشور چین [۳۳]

با توجه به شکل ۱۴ دیده می‌شود که سرعت از ۶۰ کیلومتر بر ساعت تجاوز نکرده است و می‌توان گفت که میانگین سرعت حدود ۳۰ کیلومتر بر ساعت است. این در حالی است که با توجه به شکل ۱۵ رنج شتاب برای اتوبوس‌های شهر تانگشان چین تقریباً دو برابر بوده اما میانگین سرعت همچنان حدود ۳۰ کیلومتر بر ساعت است [۳۳]. این امر عمدتاً به دو دلیل رخ داده است، اول این که مسیرهای اتوبوس بیشتر در مناطق شهری بودند و چرخه وسایل نقلیه پیچیده‌تر بود و دوم به سبک رانندگی رادیکال‌تر رانندگان اتوبوس در شهر تانگشان مربوط می‌شود [۳۳].

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مکان‌یاب‌های سه تلفن همراه به صورت هم‌زمان و سوار بر خودرو در مسیرهای اصلی ناوگان حمل و نقل عمومی شهر کرمانشاه به طور رفت و برگشت‌های چندباره و ساعت‌های مختلف در طول روز و شب، و روزهای متفاوت طول هفته فرایند داده‌برداری انجام شد. عمل داده‌برداری با استفاده از نرم‌افزار GPS logger و به مقدار ۹۵۰ کیلومتر در

مسیرهای اصلی شهر صورت گرفت، به طوری که تقریباً تمام مساحت شهر کرمانشاه را تحت پوشش قرار می‌دهد. با بکارگیری چندگوشی به صورت رفت و برگشت‌های چندباره در فرایند داده‌برداری می‌توان هم اثر GPS‌های متفاوت و هم اثر تکرارپذیری را در استخراج چرخه نهایی اعمال کرد. پس از فرایند داده‌برداری اقدام به تقسیم کردن کلان داده‌ها به بخش‌های کوچک‌تری به نام ریزسفر شد، سپس به بررسی مشخصه‌های هر یک از این ریزسفرها پرداخته شد. از مشخصه‌های بررسی شده می‌توان به میانگین سرعت، میانگین شتاب مثبت، میانگین شتاب منفی، میانگین سرعت رانندگی و درصد رانندگی اشاره کرد. در ادامه با توجه به این مشخصه‌ها و با استفاده از روش میانگین کی به خوشه‌بندی داده‌ها پرداخته شد. برای استخراج چرخه رانندگی ریزسفرهای منتخب در هر دسته کنار هم چیده شده است تا طول زمانی مدنظر برای چرخه رانندگی تکمیل شود، در ادامه با استخراج چرخه رانندگی برای این که بتوان از آن در ابزارآلات آزمایشگاهی استفاده کرد، با استفاده از دو روش Robust Quadratic Regression و صافی sgolay به هموارسازی چرخه استخراجی پرداخته شد.

با توجه به چرخه نهایی دیده می‌شود که اکثر راننده‌های ناوگان حمل و نقل عمومی در شهر کرمانشاه با میانگین سرعت رانندگی پایین و شتاب مثبت کم به رانندگی می‌پردازند. دلیل این امر همان مشخصه اقتصادی (کاهش مصرف سوخت) تأثیرگذار بر چرخه‌های رانندگی است، به این صورت که با شتاب‌گیری آهسته و حرکت با سرعت کم در دنده‌هایی که دور موتور را پایین نگاه می‌دارد تا سوخت کمتری استفاده شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های انجام شده از سوی شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو (ایپکو) و همچنین بنیاد ملی نخبگان کمال تشکر را دارند.

References

- [1] Alessandrini A, Orecchini F, Ortenzi F, Villatico Campbell F. Drive-style emissions testing on the latest two Honda hybrid technologies. *European Transport Research Review*. 2009 Jul;1:57-66. doi: 10.1007/s12544-009-0008-3
- [2] Beusen B, Broekx S, Denys T, Beckx C, Degraeuwe B, Gijssbers M, Scheepers K, Govaerts L, Torfs R, Panis LI. Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course. *Transportation research part D: transport and environment*. 2009 Oct 1;14(7):514-20. doi: 10.1016/j.trd.2009.05.009
- [3] The study on an integrated master plan for air pollution control in the greater Tehran area, Chapter 8, Japan International Co-operation Agency (JICA), 1997.
- [4] Montazeri M, Arefian M, Fatuhi A. Obtaining the driving cycle of buses in Tehran using transition analysis in the speed-acceleration plane and Markov chain, The Second Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, Iran, 2008. [In Persian]
- [5] Alessandrini A, Orecchini F. A driving cycle for electrically-driven vehicles in Rome. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2003 Sep 1;217(9):781-9. doi: 10.1177/095440700321700903
- [6] Neubauer J, Wood E. The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility. *Journal of Power Sources*. 2014 Jul 1;257:12-20. doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.075
- [7] Donkers A, Yang D, Viktorovic M. Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle performance. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020 Nov 1;88:102569. doi: 10.1016/j.trd.2020.102569
- [8] Lyons TJ, Kenworthy JR, Austin PI, Newman PW. The development of a driving cycle for fuel consumption and emissions evaluation. *Transportation Research Part A: General*. 1986 No 1;20(6):447-62. doi: 10.1016/0191-2607(86)90081-6
- [9] Sadik Ozdemir OE, Acar F, Selamogullari US. Analyzing the capacity utilization rate of traction motor drives in electric vehicles with real world driving cycles. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Coimbra, Portugal, 2014 Oct 27.

- [10] Montazeri-Gh M, Varasteh H, Naghizadeh M. Driving cycle simulation for heavy duty engine emission evaluation and testing. Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition. 2005 Jan 1;1506-24.
- [11] M. Schogel, Real driving emissions (RDE), AVL Emission TechDay, 2018.
- [12] Brady J, O'Mahony M. Development of a driving cycle to evaluate the energy economy of electric vehicles in urban areas. Applied Energy. 2016 Sep 1;177:165-78. doi: [10.1016/j.apenergy.2016.05.094](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.094)
- [13] Saleh W, Kumar R, Kirby H, Kumar P. Real world driving cycle for motorcycles in Edinburgh. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2009 Jul 1;14(5):326-33. doi: [10.1016/j.trd.2009.03.003](https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.03.003)
- [14] Crolla D, Mashadi B. Vehicle powertrain systems. John Wiley & Sons, 2011 Dec 30.
- [15] Travasset-Baro O, Rosas-Casals M, Jover E. Transport energy consumption in mountainous roads. A comparative case study for internal combustion engines and electric vehicles in Andorra. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2015 Jan 1;34:16-26. doi: [10.1016/j.trd.2014.09.006](https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.09.006)
- [16] Arun NH, Mahesh S, Ramadurai G, Nagendra SS. Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India. Sustainable cities and society. 2017 Jul 1;32:508-12. doi: [10.1016/j.scs.2017.05.001](https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.001)
- [17] Yang Y, Li T, Zhang T, Yu Q. Time dimension analysis: Comparison of Nanjing local driving cycles in 2009 and 2017. Sustainable Cities and Society. 2020 Feb 1;53:101949. doi: [10.1016/j.scs.2019.101949](https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101949)
- [18] Galgamuwa U, Perera L, Bandara S. Development of a driving cycle for Colombo, Sri Lanka: an economical approach for developing countries. Journal of Advanced Transportation. 2016 Nov;50(7):1520-30. doi: [10.1002/atr.1414](https://doi.org/10.1002/atr.1414)
- [19] Qaraeti T, Momeni Movahed A, Azadi M, Mousavian SA, Nikkhah M, Comparison of characteristic parameters of driving cycle using real data collected in Iran and world standard cycles, 11th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil, Tehran, Iran, 2018. [In Persian]
- [20] Roberts P, Mason A, Tabata K, Whelan S. RDE plus - A road to rig development methodology for whole vehicle RDE compliance: Engine-in-the-loop and virtual tools. SAE Technical Paper; 2020 Sep 15. doi: [10.4271/2020-01-2183](https://doi.org/10.4271/2020-01-2183)
- [21] Miri SE, Khalili H, Azadi M. Development of the driving cycle of the Tehran-Semnan route based on real driving emission considerations with a hybrid vehicle, 12th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil, Tehran, Iran, 2022. [In Persian]
- [22] Weiss M, Bonnel P, Kuhlwein J, Provenza A, Lambrecht U, Alessandrini S, Carriero M, Colombo R, Forni F, Lanappe G, Le Lijour P. Will Euro 6 reduce the NOx emissions of new diesel cars? Insights from on-road tests with portable emissions measurement systems (PEMS). Atmospheric Environment. 2012 Dec 1;62:657-65. doi: [10.1016/j.atmosenv.2012.08.056](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.056)
- [23] Asadi A, Azadi M, Khalsi MH, Mousavian SA. Investigating the effects of geographic climate on the characteristics of statistical data and driving cycle. The Journal of Engine Research, 2023 Jun 22;70(2):37-65. [In Persian]
- [24] Smith R, Shahidinejad S, Blair D, Bibeau EL. Characterization of urban commuter driving profiles to optimize battery size in light-duty plug-in electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2011 May 1;16(3):218-24. doi: [10.1016/j.trd.2010.09.001](https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.09.001)
- [25] Mousaviyan SA, Abdulmaleki 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;55:3-12. [In Persian]
- [26] Bagheri E, Masih Tehrani M, Azadi M, Mousavian SA. Selection of data collection path using hierarchical analysis method to extract the driving cycle in Shiraz city. 12th International Conference on Internal Combustion Engines and Oil, Tehran, Iran, 2022. [In Persian]
- [27] Andre M, Joumard R, Vidon R, Tassel P, Perret P. Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high-and low-powered cars. Atmospheric Environment. 2006 Oct 1;40(31):5944-53. doi: [10.1016/j.atmosenv.2005.12.057](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.057)
- [28] Han DS, Choi NW, Cho SL, Yang JS, Kim KS, Yoo WS, Jeon CH. Characterization of driving patterns and development of a driving cycle in a military area. Transportation research part D: Transport and Environment. 2012 Oct 1;17(7):519-24. doi: [10.1016/j.trd.2012.06.004](https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.06.004)

- [29] Wang Q, Huo H, He K, Yao Z, Zhang Q. Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. *Transportation research part D: Transport and Environment*. 2008 Jul 1;13(5):289-97. doi: [10.1016/j.trd.2008.03.003](https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003)
- [30] Adornato B, Patil R, Filipi Z, Baraket Z, Gordon T. Characterizing naturalistic driving patterns for Plug-in Hybrid Electric Vehicle analysis. In 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2009 Sep 7 (pp. 655-660). IEEE. doi: [10.1109/VPPC.2009.5289786](https://doi.org/10.1109/VPPC.2009.5289786)
- [31] Berzi L, Delogu M, Pierini M. Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2016 Aug 1;47:299-322. doi: [10.1016/j.trd.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.010)
- [32] 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)
- [33] Zhang X, Wang J, Wang Z, Bai Z, Xie Z. Construction of Driving Cycle and Establishment of Emission Inventory of Urban Buses in Tangshan City. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 Aug 1 (Vol. 555, No. 1, p. 012043). IOP Publishing. doi: [10.1088/1755-1315/555/1/012043](https://doi.org/10.1088/1755-1315/555/1/012043)
- [34] Esteves-Booth A, Muneer T, Kubie J, Kirby H. A review of vehicular emission models and driving cycles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2002 Aug 1;216(8):777-97. doi: [10.1243/09544060260171429](https://doi.org/10.1243/09544060260171429)
- [35] 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)
- [36] Montazeri M, Fotouhi A, Naderpour A. Driving segment simulation for determination of the most effective driving features for HEV intelligent control. *Vehicle System Dynamics*. 2012 Feb 1;50(2):229-46. doi: [10.1080/00423114.2011.577898](https://doi.org/10.1080/00423114.2011.577898)
- [37] Azadi M, Dezianian S, Navi A, Salmani A, Gheraati 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*. 2022 May 22;19(1):629-653. doi: [10.48301/KSSA.2022.315133.1840](https://doi.org/10.48301/KSSA.2022.315133.1840) [In Persian]