



Investigating the effect of spark plug and wire health on gasoline engine exhaust emissions

Mehdi Niajalili^{*1}, Sobhan Rezaei², Ali Kochakinejad³, Mojtaba Masoumnezhad⁴

1. Instructor, Department of Mechanical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran .

2 B.Sc, Department of Mechanical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran.

3. Instructor, Department of Mechanical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran.

4. Associate professor, Department of Mechanical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran.

Abstract

Nowadays, the issue of environmental pollution is one of the major challenges in densely populated cities. In the meantime, due to the prominent role of the automobile as one of the largest producers of pollution, it is very important to examine the equipment effective in producing its pollutants. Considering the effect of spark plug and wire quality on the production of engine exhaust pollutants, research has been conducted on the effect of the lifespan of this equipment on the production of engine exhaust pollutants. In this study, the main goal is to examine the effect of using spark plugs and wires with different functions on the emissions of automobile engines. Thus, spark plugs are considered in four groups including zero to 10, 10 to 20, 20 to 30 and 30 to 40 thousand kilometers and wires are considered in two ranges of zero to 20 and 20 to 40 thousand kilometers. At each stage, after installation on the vehicle, toxic pollutants emitted from the engine, including HC, CO, and NO_x, have been examined. According to the studies conducted, the production of all three pollutant gases has a direct impact on the operation of the spark plug and wire. However, the depreciation of the vehicle's spark plug has the greatest impact on the pollutant gas HC, and the maximum increase in emissions in the study groups was reported to be 51.8%, 13.8%, and 32% for HC, CO, and NO_x gases, respectively.

Keywords

Pollution

Ignition system

Spark plug

Environment

Engine

Received: 10.02.2024

Revised: 01.05.2025

Accepted: 01.12.2025

*Corresponding Author

Mehdi Niajalili

Email

mniajalili@nus.ac.ir

1- Introduction

The issue of increasing environmental pollution in different countries is known as one of their most important problems. Excessive production of vehicles, poor quality of parts and non-standard fuel are among the factors that can be considered very important in the production of polluting gases. On the other hand, the high volume of fossil fuel consumption by passenger cars is considered one of the main causes of air pollution (Salehi and Faghani, 2020). Therefore, considering that the operation of the vehicle is directly related to the production of pollutants, the need for research on equipment

related to the production of pollutants in the vehicle has increased. In this regard, many researchers have conducted research on the control of vehicle emissions and related equipment (Aliakbari et al, 2024; Bidva and Hasanzadeh, 2018; Niajalili et al, 2021). The increasing number of vehicles and their traffic has made the problem of pollution more important. Therefore, given the increasing expansion of urban areas and the increasing use of cars, the most important problem facing today's cities is the increase in pollution caused by urban transportation. Despite the statistics that are



obtained from comparing the amount of pollutants in Tehran with global standards, the main environmental problem of this city, which is one of the largest and most populous cities in Iran, can be considered the issue of air pollution (Ghanbarihamedani, 2016). Behrouz Mashhadi and Ardalan Maleki (2022) have considered the issue of pollution to be one of the most important issues in the world of automobiles and have declared it essential to provide a suitable solution to reduce fuel consumption, reduce greenhouse gas production, improve air quality, and stop the production of toxic gases.

In this study, the first stage describes the performance of the spark plug and wire of the vehicle. In the next stage, in eight stages and four repetitions, spark plugs and wires with different functions were installed on the vehicle ignition system and their effect on engine exhaust pollutants was evaluated.

2- Research Methods

To determine the effect of using spark plugs with different functions on vehicle emissions, a Pride vehicle with the specifications in Table 1 was used. At this stage, four groups of spark plugs were considered in the operating ranges of zero to 10, 10 to 20, 20 to 30, and 30 to 40 thousand kilometers, and two groups of wires were considered with the operating ranges of zero to 20 and 20 to 40 thousand kilometers. The spark plugs used in this study were all from the NGK brand with the technical code BKR6E, and the wires used were from the I.P.N.C brand. Figure 1 and Figure 2 show a view of the spark plugs (one example from each group) and the wires installed on the study vehicle, respectively. Gear wear is a common defect in mechanical power transmission systems, typically developing over time. To expedite wear formation for analysis, controlled resistant load tests were conducted on gear teeth. The crank and spring mechanism enabled precise load application, simulating real-world operational stress conditions. The selected gears had a module of 4, with a 20-tooth pinion of 80 mm diameter and a 50-tooth gear of 200 mm diameter.

Bearings of type 6306 were selected according to DIN625-1 standards to withstand maximum operational speed and load.

Table 1: Technical specifications and equipment status of the study vehicle

<i>Technical specifications</i>	
Vehicle name	Pride 131
Year of manufacture	2011
Engine code	M13
ECU type	S2000
Compression ratio	9.7:1
Engine capacity (cc)	1323
Emission standard	Euro 4
Fuel type	Gasoline
Fuel delivery system	Injector
Injection system	MPFI
<i>Equipment health status</i>	
Fuel System Status	Healthy and without defects
Sensor Status	Healthy and without errors



Figure 1 : View of the spark plugs used for the test with the following performance (thousands of kilometers): A) Zero to 10 B) 10 to 20 C) 20 to 30 D) 30 to 40

Therefore, in eight stages, these spark plugs and wires were installed on the study vehicle and analyzed by the NEW SPX test device, model ULTIMATE 500.



Figure 2: View of the wires used for the test, which have the following performance (thousands of kilometers): A) Zero to 20 B) 20 to 40

It should be noted that the aforementioned emission measuring device has a calibration sheet with a probability of conformity of over 99 percent and was in perfect health at the time of the emission measurement of the study vehicle. To ensure the accuracy of the information, each step was performed in four repetitions and the average of the parameters was taken into account.

3- Results

In the first case, a set of wires with a service life of 0 to 20 thousand kilometers was used for four groups of spark plugs in the service life ranges of 0 to 10, 10 to 20, 20 to 30, and 30 to 40 thousand kilometers, and emission measurements were performed for them. In the second case, wires with a service life of 20 to 40 thousand kilometers were used for spark plugs with the aforementioned classification. Figure 3 to Figure 5 show the comparison graphs of the values of the HC, CO, and NOx parameters for the two aforementioned cases. According to the studies conducted, the operation of spark plugs and wires in most cases has caused an increase in pollutant gases. As is clear from Figure 3 to Figure 5, increasing the service life of car spark plugs has a direct effect on the increase in HC, CO and NOx pollutants. This increase, which is greater in the HC pollutant gas than in the other two cases, except in one case for CO gas, where this parameter did not change with an increase in ten thousand kilometers of spark plug operation, in all categories with an increase in kilometers of spark plug operation, the amount of pollutant gases has increased.

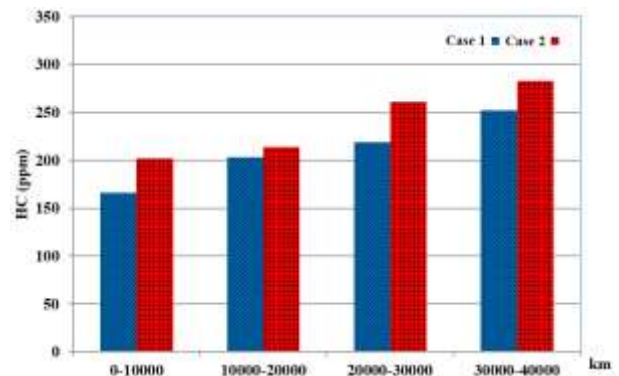


Figure 3: HC parameter values for four candle operating groups and two wire operating modes

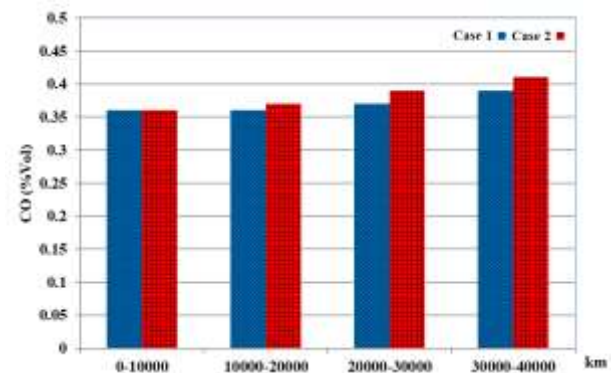


Figure 4: CO parameter values for four candle operating groups and two wire operating modes

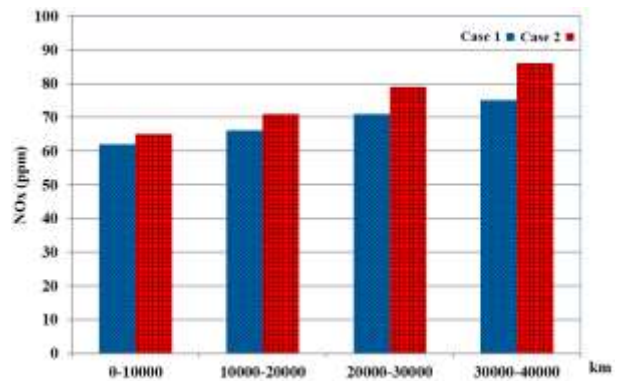


Figure 5: NOx parameter values for four spark plug operating groups and two wire operating modes

4- Conclusion

The increase in environmental pollutants is a major challenge in densely populated cities. On the other hand, cars are estimated to be one of the largest producers of toxic pollutants in Iran. Therefore, research and study on equipment that affects the production of pollutants are very important. In this study, research has been conducted on the effect of the operation of two of the most important parts of

the ignition system, including spark plugs and wires, on environmental pollutants HC, CO and NOx. Thus, spark plugs are classified into four operating groups, including zero to 10, 10 to 20, 20 to 30 and 30 to 40 thousand kilometers, and are considered in two cases with wires with an operation of zero to 20 and 20 to 40 thousand kilometers. In the next stage, in each case, they were carefully evaluated by the emission measuring device, which is of the NEW SPX type. In order to increase the accuracy of the extracted parameters, four repetitions were performed in each case of the experiment. In general, the following results were obtained:

- The percentage increase in pollutants of the study groups in the highest case was reported to be 51.8, 13.8 and 32 percent, respectively, for HC, CO and NOx pollutants.
- The wear of the parts under investigation has the greatest effect on the production of HC gas.
- Carbon monoxide gas has shown the least changes in relation to the increase in the life of the spark plug and wire, so that its changes in the low operating range of the parts are evaluated to be close to zero.
- In the higher wear range, the percentage increase in NOx gas moves with a steeper slope than the other two gases.

Therefore, in general, it can be said that timely replacement of spark plugs and wires in a car can have a significant impact on reducing the pollutants under study, and by more careful monitoring of

vehicles in this category, a cleaner environment can be achieved.

5- References

- [1] M. Salehi and H. Faghani, "Investigation of emissions and energy consumption of DENA hybrid electric vehicle," *J. Engine Res.*, vol. 58, no. 58, pp. 11–16, 2020. Available: https://www.engineerresearch.ir/article_697861_59a56fe59c7e12fa87266f58c365c7cc.pdf.
- [2] K. Aliakbari, S. M. M. Delavari, and M. Sheykhi, "Numerical simulation of EF7 engine in different operating conditions," *Sci. Technol. Mech. Eng.*, 2024. doi: [10.22034/stme.2024.446307.1056](https://doi.org/10.22034/stme.2024.446307.1056).
- [3] S. S. Bidva and M. Hasanzadeh, "Environmental review of the automotive industry and the ways to reduce its pollution," *J. Environ. Res. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 1–7, 2018. doi: [10.29252/3.4.1](https://doi.org/10.29252/3.4.1).
- [4] M. Niajalili, A. R. Nemati, H. Bakhshizadeh Kolori, and A. Kochakinejad, "Research on the effect of using optimal wires in car ignition system on its emissions," *J. Environ. Sci. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 3383–3389, 2021. Available: https://www.jess.ir/article_122515_e8a167034f8a11e4ea4dbf3ff6e0465b.pdf.
- [5] S. Ghanbarihamedani, "Survey and measure the environmental pollutants emitted from exhaust of commercial vehicles in an industrial unit," *J. Environ. Sci. Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 45–52, 2016. Available: https://www.jess.ir/article_46685_97dba5d82a1a5b45e8e7dd486ea4121e.pdf.
- [6] B. Mashadi and A. Maleki, "Influence of cylinder deactivation technology on fuel consumption and emissions of four-cylinder spark ignition engine," *J. Engine Res.*, vol. 35, no. 35, pp. 41–51, 2022. Available: https://www.engineerresearch.ir/article_697724_83821707fd5779c319f2daefc6cf340b.pdf.



بررسی تأثیر سلامت شمع و وایر روی آلاینده‌های خروجی موتور خودروهای بنزینی

مهدی نیاجلیلی^{۱*}، سبحان رضایی^۲، علی کوچکی نژاد^۳، مجتبی معصوم نژاد^۴

۱- مربی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

۲- کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

۳- مربی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

چکیده

کلمات کلیدی

آلاینده

سیستم جرقه زنی

شمع

محیط زیست

موتور خودرو

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

* نویسنده مسئول

مهدی نیاجلیلی

ایمیل

mmiajalili@nus.ac.ir

امروزه مسأله‌ی آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌عنوان یکی از چالش‌های بزرگ شهرهای پرجمعیت مطرح می‌باشد. در این میان به دلیل نقش برجسته خودرو به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آلودگی، بررسی تجهیزات مؤثر در تولید آلاینده‌های آن بسیار حائز اهمیت است. با توجه به تأثیر کیفیت شمع و وایر در ایجاد آلودگی‌های خودرو، تحقیقات پیرامون تأثیر طول عمر این تجهیزات بر تولید آلاینده‌های خروجی موتور انجام شده است. در این پژوهش، هدف اصلی بررسی تأثیر استفاده از شمع و وایر با کارکرد متفاوت روی آلاینده‌های خروجی موتور خودرو است. بدین‌صورت که شمع، در چهار گروه که شامل صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر و وایرها در دو بازه صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر در نظر گرفته شده و در هر مرحله پس از نصب روی خودرو، آلاینده‌های سمی خروجی از موتور شامل CO، HC و NOx مورد بررسی قرار گرفته است. برطبق بررسی‌های انجام‌شده، تولید هر سه گاز آلاینده تأثیر مستقیم با میزان کارکرد شمع و وایر دارد. این درحالی است که استهلاک شمع خودرو بیشترین تأثیر را روی گاز آلاینده HC گذاشته و حداکثر مقدار افزایش آلاینده‌ی در گروه‌های مطالعاتی به میزان ۵۱/۸، ۱۳/۸ و ۳۲ درصد به ترتیب برای گازهای CO، HC و NOx گزارش شده است.

۱- مقدمه

استفاده از سوخت‌های جایگزین [۵]، سوخت ترکیبی [۶]، انرژی الکتریکی [۷] و غیره را پیشنهاد داده‌اند. در کشور ایران، به‌عنوان یکی از کشورهای درحال توسعه، بسیاری از شاخص‌های آلودگی بیشتر از استاندارد گزارش شده است [۸]. از طرف دیگر صنعت حمل‌ونقل سهم قابل توجهی در مصرف منابع انرژی و همچنین تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد [۹]. به‌گونه‌ای که برطبق مطالعات انجام‌شده نزدیک به ۴۰ درصد دی‌اکسیدکربن تولیدشده در سال ۲۰۲۰، توسط خودروها بوده است [۱۰]. افزایش روزافزون تعداد وسائل نقلیه و عبور و مرور آن‌ها، باعث شده است مسأله‌ی آلودگی مهم‌تر تلقی گردد. لذا با توجه به افزایش گسترش محدوده‌ی شهری و ازدیاد روزافزون استفاده از خودروها، مهم‌ترین مسأله‌ای که گریبان‌گیر شهرهای امروزی شده، افزایش آلودگی‌های

مسأله‌ی افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی در کشورهای مختلف به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات آن‌ها شناخته می‌شود. تولید بی‌رویه خودروها، کیفیت نامطلوب قطعات و سوخت غیراستاندارد ازجمله عواملی هستند که در تولید گازهای آلاینده می‌توانند بسیار مهم تلقی شوند. از طرف دیگر حجم بالای مصرف سوخت‌های سنگواره‌ای توسط خودروهای سواری از دلایل اصلی آلودگی هوا برشمرده می‌شود [۱]. لذا با توجه به این‌که کارکرد خودرو، ارتباط مستقیم با تولید آلاینده دارد، ضرورت تحقیق روی تجهیزات وابسته به تولید آلاینده خودرو افزایش‌یافته است. در این راستا محققان بسیاری پیرامون کنترل آلاینده‌ی خودروها و تجهیزات وابسته به آن پژوهش کرده‌اند [۲-۴]. با توجه به اهمیت کنترل آلودگی در خودروها، محققان بسیاری



برای شمع‌های چهار الکترودی ۱/۷۵ درصد کاهش هیدروکربن‌های نسوخته مشاهده گردیده است.

سید سجاد بیدوا و مرضیه حسن‌زاده [۳] تحقیقات خود را پیرامون بررسی آلودگی‌های تولیدشده ناشی از صنایع خودروسازی و راه‌های عملی برای کاهش این آلودگی‌ها انجام داده‌اند. آن‌ها در پروژه تحقیقاتی خود اذعان داشتند که با ورود وسایل حمل‌ونقل بنزینی و افزایش انبوه اتومبیل و نیاز روزافزون افراد به آن، افزایش آلودگی محیط‌زیست تحت تأثیر سامانه‌های حمل‌ونقل قرار گرفت. به‌گونه‌ای که امروزه سهم عمده‌ای از تغییرات اقلیمی را ناشی از آلاینده‌های تولیدشده از وسایل نقلیه می‌دانند. آلودگی‌های ناشی از بخش حمل‌ونقل را می‌توان به سه بخش آلودگی‌های هوا، صوتی و دیداری دسته‌بندی کرد. این محققان با بررسی سهم گروه‌های مختلف سیستم حمل‌ونقل در آلودگی منتشرشده در هوای تهران، بیشترین مقدار را برای خودروهای سبک و به میزان ۷۷/۲ درصد ارزیابی کرده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود، برخی از مهم‌ترین راهکارهای عملی برای کاهش آلودگی‌های ناشی از افزایش وسایل نقلیه را بررسی کرده و اعلام نمودند که استفاده از منابع سوختی پاک مانند LPG و CNG، بهینه‌کردن مهندسی موتور خودروها، استفاده از خودروهای جدید هیبریدی و فناوری‌های نوین برای ساخت خودروهایی با وزن کمتر، از جمله مهم‌ترین راه‌های مقابله با این آلودگی‌ها می‌باشد. همچنین آن‌ها این نظر را داشتند که استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی مانند قطار شهری، اتوبوس، مونوریل، تاکسی و دوچرخه نقش به‌سزایی در کاهش آلودگی هوا خواهد داشت.

ابراهیم عبدی و همکاران [۶] روی تأثیر استفاده از موتورهای ترکیب‌سوز بر پارامترهای خروجی موتور پژوهش کرده‌اند. این محققان با بیان این‌که نوع سوخت خودروها اثر قابل‌توجهی در تولید گازهای گلخانه‌ای دارد، استفاده از موتور اشتعال جرقه‌ای ترکیب‌سوز را پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها بیان کردند که با توسعه موتورهای ترکیب‌سوز می‌توان به مزایای خودروهای بنزینی و گازسوز دست یافت. لذا موتور را در دو حالت گازسوز و ترکیب‌سوز با هم مقایسه کرده و در نهایت اعلام نمودند که غلظت HC در حالت موتور ترکیب‌سوز بیشتر از گازسوز بوده اما مقدار CO موجود در گازهای خروجی در حد قابل قبولی کاهش یافته است.

مهدی نیاجلیلی و همکاران [۴] در پژوهشی با بررسی وایرهای بهینه در سیستم سوخت‌رسانی، تأثیر استفاده از این وایرها در آلاینده‌های خروجی را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌اند. آن‌ها

ناشی از حمل‌ونقل شهری است. باوجود آمارهایی که از مقایسه میزان آلاینده‌های تهران با استانداردهای جهانی صورت می‌گیرد، اصلی‌ترین مشکل زیست‌محیطی این شهر، که به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهرهای ایران است را می‌توان، مسأله آلودگی هوا دانست [۱۱]. بهروز مشهدی و اردلان ملکی [۱۲] بحث آلاینده‌های را از مهم‌ترین مباحث دنیای خودروها دانسته و ارائه راهکار مناسب برای کاهش مصرف سوخت، کاهش تولید گاز گلخانه‌ای، بهبود کیفیت هوا و توقف تولید گازهای سمی را ضروری اعلام کرده‌اند.

آندرس آرسیلا و همکاران [۱۳] اثر افزایش مالیات روی خودروهایی با آلودگی بیشتر را در کشور چین مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها با بیان اینکه آلودگی هوا پیامدهای نامطلوبی برای سلامت انسان دارد، اعمال مالیات بر خودروهایی با آلودگی بیشتر را مفید دانسته‌اند. این محققان اعلام کردند که در پی افزایش مالیات روی این خودروها، انتشار همه آلاینده‌های مورد بررسی کاهش یافته که در بیشترین حالت مقدار ذرات معلق و مونوکسید کربن ۱۱ درصد کاهش یافته است.

میثم صفر و همکاران [۱۴] با بررسی شمع‌های چند الکترودی، تحقیقاتی را پیرامون بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌های خروجی انجام داده‌اند. آن‌ها بررسی‌های خود را پیرامون تأثیر استفاده از شمع‌های دو و چهار الکترودی روی پارامترهای گشتاور ترمزی، توان ترمزی و آلاینده‌های در دور موتور ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه، در دو حالت استفاده از بنزین معمولی و بنزین با افزودنی انجام داده‌اند. آن‌ها بعد از انجام تحقیقات خود این‌گونه بیان داشتند که استفاده از شمع‌های دو و چهار الکترودی باعث افزایش گشتاور و توان ترمزی در هر دو حالت استفاده از بنزین معمولی و نیز به همراه افزودنی گردیده است که این افزایش در حالتی که از بنزین معمولی استفاده شده است، بیشتر می‌باشد. همچنین آن‌ها در مورد بررسی میزان تولید آلاینده‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که انتشار اکسیدهای نیتروژن در حالت استفاده از بنزین معمولی و در شمع دو الکترودی ۲/۲۳ درصد و برای شمع چهار الکترودی ۳/۲۳ درصد افزایش داشته که این افزایش برای بنزین به همراه افزودنی برای شمع دو الکترودی به‌طور میانگین ۱/۱ درصد و برای شمع چهار الکترودی ۱/۸۵ درصد گزارش شده است. این درحالی است که انتشار هیدروکربن‌های نسوخته کاهش یافته است. به‌طوری‌که در حالت استفاده از بنزین معمولی و شمع‌های دو الکترودی ۳/۴۶ درصد و برای شمع‌های چهار الکترودی ۶/۶۷ درصد و در حالت استفاده از بنزین با افزودنی و شمع‌های دو الکترودی ۱/۰۲ درصد و

توسط واحد کنترل الکترونیکی خودرو انجام می‌شود. در مرحله بعد جریان برق ایجاد شده از طریق وایرها به شمع رسیده و جرقه زده می‌شود تا عمل احتراق در موتور انجام شود [۴].

با توجه به این که موضوع اصلی تحقیق حاضر در مورد تأثیر کارکرد شمع و وایر خودرو در آلاینده‌های خروجی خودرو می‌باشد، در این قسمت توضیحات پیرامون این قطعات، وظایف و تأثیرات ناشی از خرابی آن‌ها در آلاینده‌های خروجی خودرو آورده شده است. وظیفه شمع، ایجاد جرقه به منظور مشتعل ساختن مخلوط هوا و بنزین در داخل سیلندر است. نکته حائز اهمیت این است که جرقه‌زنی باید با ولتاژ بسیار بالا، چند بار در ثانیه، در معرض حرارت بالا و در فشار هوای بالا انجام گیرد. مهم‌تر آن که کوچک‌ترین خللی در عملکرد این قطعه باعث افت بازده موتور، آلودگی محیط‌زیست و صدمه به دیگر اجزای موتور می‌گردد. اجزا و قطعات اصلی تشکیل‌دهنده شمع به ترتیب بدنه یا حفاظ، الکتروود جانبی، عایق و الکتروود مرکزی می‌باشند. در بطن عایق، قطعه‌ی میله‌ای شکلی از رسانای فلزی قرار داده شده است که از بالا تا پایین امتداد یافته است. هر شمع دارای یک بخش فلزی است که در بالا به صورت شش‌گوش بوده و از بخش روزه شده پایین به سرسیلندر متصل می‌شود [۱۵]. در بعضی از شمع‌ها، در راستای الکتروود مرکزی شمع، یک مقاومت الکتریکی قرار می‌دهند. مقدار این مقاومت بین ۵ تا ۸ کیلو اهم با توجه به نوع شمع متفاوت است. چنانچه فیلر دهانه شمع از حد مجاز کمتر شود، ولتاژ جرقه کاهش می‌یابد و حداقل ولتاژ تابع مقاومت مسیر ولتاژ از کوئل تا شمع است [۱۶]. شکل ۱ نمای شماتیک از شمع خودرو را نشان می‌دهد. در مورد وایرها هم این نکته حائز اهمیت است که با توجه به این که جریان برق ایجاد شده توسط کوئل از طریق وایرها به شمع رسیده و جرقه زده می‌شود تا عمل احتراق در موتور انجام شود، لذا وایرهای خودرو به‌عنوان عاملی مهم در انتقال برق کوئل به شمع‌ها محسوب می‌شوند. از این رو مقاومت وایرها در کیفیت جرقه تأثیرگذار می‌باشد. مقاومت داخلی وایرها نباید از ۵ کیلو اهم بیشتر باشد. افزایش مقاومت باعث می‌شود که کیفیت ارسال برق به شمع‌ها و به تناسب آن جرقه ایجاد شده ضعیف‌تر گردد [۴].

یکی از مهم‌ترین وظایف شمع خودرو به‌غیر از جرقه‌زنی، انتقال مناسب حرارت از درون اتاق انفجار به بیرون است. عایق شمع درجه حرارتی 800°C را به‌خوبی تحمل می‌کند. اما در 900°C مقاومت عایق بودن آن ضعیف شده و ولتاژ الکتروود میانی را به بدنه هدایت می‌کند. بنابراین وضعیت شمع در ساختمان موتور باید طوری طراحی گردد تا

تحقیقات خود را روی شش خودرو سالم و معیوب انجام داده و به این نتیجه رسیده‌اند که مقدار پارامتر O_2 در تمامی موارد کاهش داشته است که این موضوع نشان‌دهنده احتراق کامل‌تر می‌باشد. آن‌ها همچنین بیان داشتند که کاهش گازهای آلاینده CO و HC نیز در زمان استفاده از وایرهای بهینه در خودروهای سالم کاملاً مشهود بود، به‌گونه‌ای که میانگین کاهش CO در خودروهای سالم را حدود ۶۰ درصد بیان کرده‌اند. آن‌ها در مورد تغییرات غیرعادی گازهای آلاینده در خودروهای دارای ایرادات فنی، این‌گونه بیان کردند که ایرادات این خودروها در بخش‌های موتوری، جرقه و سوخت‌رسانی بوده که تأثیر مستقیم روی کیفیت احتراق می‌گذارد و لذا استفاده از این نوع وایر، روی خودروهایی با نقص فنی را توصیه نکرده و در نهایت اعلام کردند که استفاده از وایرهای بهینه در سیستم سوخت‌رسانی خودرو، با کاهش مقدار آلاینده‌های زیست‌محیطی، موجب داشتن هوای پاک و سالم می‌گردد.

در این پژوهش در مرحله اول تشریح عملکرد شمع و وایر خودرو آورده شده است. در مرحله بعد، در هشت مرحله و چهار تکرار، شمع‌ها و وایرهایی با کارکرد متفاوت روی سیستم جرقه‌زنی خودرو نصب شده و تأثیر آن بر آلاینده‌های خروجی موتور مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- روش کار

۲-۱- تشریح تجهیزات مورد بررسی و آلاینده‌ها

برای ایجاد جرقه در موتور و شروع فرآیند احتراق، از قطعاتی همچون کوئل، دلكو، وایر و شمع، که از اجزای سیستم جرقه‌زنی می‌باشند، استفاده می‌شود. در خودروهایی با تکنولوژی قدیمی جرقه‌زنی، از قطعاتی همچون دلكو و کوئل بهره می‌بردند. دلكو و کوئل وظیفه تولید و تقسیم برق و جرقه موردنیاز را دارند. با پیشرفت تکنولوژی این سیستم قدیمی جای خود را به کوئل‌های دبل داد که دستور جرقه را از واحد کنترل الکترونیکی خودرو دریافت کرده و از طریق وایرها، جرقه را به شمع منتقل می‌کند. امروزه بعضی از خودروها برای هریک از شمع‌ها از یک کوئل به‌صورت جداگانه استفاده می‌کنند. در این سیستم دیگر از وایر مرسوم استفاده نشده و کوئل به‌صورت مستقیم همراه یک وایر بسیار کوتاه روی شمع قرار می‌گیرد. ولتاژ ابتدایی حدود ۱۲ ولت بوده و کار کوئل این است که ولتاژ برق را بالا ببرد تا برای ایجاد جرقه توسط شمع مناسب باشد. در خودروهای قدیمی، برق بعد از کوئل وارد دلكو می‌شود. دلكو کار تقسیم برق به شمع‌ها و همچنین زمان‌بندی ایجاد جرقه در شمع را برعهده دارد. در اتومبیل‌های انژکتوری این کار

۲-۲- مطالعه موردی و آزمایش تجربی

برای تعیین میزان تأثیر استفاده از شمع‌ها با کارکرد متفاوت روی آلایندگی خودرو، از یک خودرو پراید با مشخصات موجود در جدول ۱ استفاده شده است.

در این مرحله چهار گروه شمع در بازه‌های کارکرد صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر و دو گروه وایر با کارکرد صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر در نظر گرفته شده است. شمع‌های مورد استفاده در این پژوهش در تمام حالات از برند NGK با کد فنی BKR6E و وایرهای مورد استفاده هم از برند I.P.N.C در نظر گرفته شده است. شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب نمایی از شمع‌ها (یک نمونه از هر گروه) و وایرهای نصب شده روی خودروی مطالعاتی را نشان می‌دهند.

جدول ۱: مشخصات فنی و وضعیت تجهیزات خودروی مطالعاتی

مشخصات فنی [۱۸]	
نام خودرو	پراید ۱۳۱
سال ساخت	۱۳۹۰
کد موتور	M13
نوع ECU	S2000
نسبت تراکم	۹/۷ : ۱
حجم موتور (سی)	۱۳۲۳
استاندارد آلایندگی	Euro 4
نوع سوخت	بنزین
سیستم سوخت‌رسانی	انژکتور
سیستم پاشش	چند نقطه‌ای
وضعیت سلامت تجهیزات	
وضعیت سیستم سوخت‌رسانی	سالم و بدون ایراد
وضعیت سنسورها	سالم و بدون خطا
کاتالیست	سالم
سرویس‌های دوره‌ای	انجام شده است

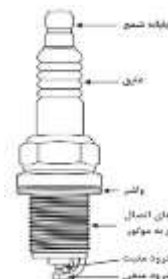


شکل ۲: نمایی از نمونه شمع‌های مورد استفاده برای آزمایش دارای کارکرد به ترتیب (بر حسب هزار کیلومتر):

(الف صفر تا ۱۰ - ب) ۱۰ تا ۲۰ - (ج) ۲۰ تا ۳۰ - (د) ۳۰ تا ۴۰

درجه حرارت آن از ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سلیسیوس تجاوز نکند. از طرفی درجه حرارت کمتر از ۵۰۰°C برای شمع مناسب نمی‌باشد؛ زیرا باعث سرد ماندن شمع و رسوب‌گیری در آن می‌شود. ظرفیت انتقال حرارت در شمع، ارزش حرارتی آن را معین می‌کند. براساس ارزش حرارتی و نوع موتور، شمع‌ها در دو نوع ساخته می‌شوند که عبارتند از: شمع پایه کوتاه یا سرد و شمع پایه بلند یا گرم. به شمع‌هایی که حرارت را سریعاً انتقال می‌دهد شمع سرد و به شمع‌هایی که کندتر حرارت را انتقال داده و مقداری از حرارت را در خود نگه می‌دارد، شمع گرم اطلاق می‌گردد. شمع‌های سرد اصولاً در موتورهای با ضریب تراکم بالا مثل موتورهای توربو و موتورهای تقویت‌شده کاربرد دارند. شمع‌های گرم معمولاً برای خودروهای استاندارد که هم در دورهای پایین مثل ترافیک‌های روزمره و هم در دورهای بالا مثل جاده کار می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵].

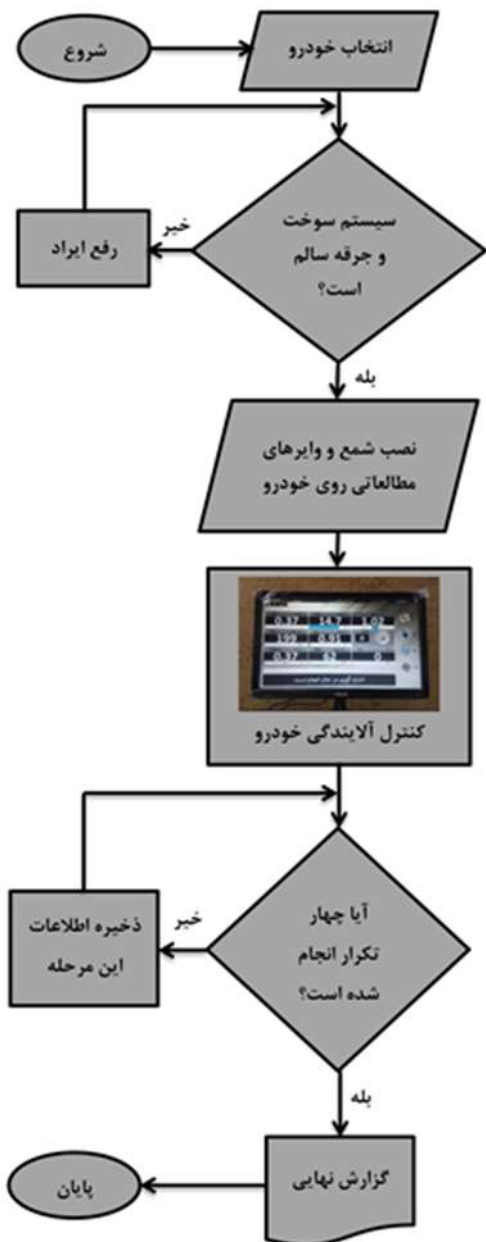
در موتورهای بنزینی عمده آلاینده‌های خروجی ناشی از احتراق شامل موارد HC، CO، و NOx می‌باشد [۱۷]. در ایران حداکثر مقدار مجاز گازهای آلاینده CO و HC به ترتیب ۰/۷ درصد حجمی و ۲۵۰ ppm در نظر گرفته شده که آلایندگی خودروها جهت اخذ برگه معاینه فنی نباید از این مقادیر تجاوز کند. لازم به ذکر است که سنجش گاز NOx برای دریافت برگه معاینه فنی الزامی نیست. مونوکسید کربن یا CO به دلیل احتراق ناقص و ایراد در سیستم جرقه‌زنی و پاشش مانند شمع، وایر و سوزن انژکتورها تولید می‌شود. از جمله نشانه‌های ظاهری برای بالا بودن CO خروج دود سیاه در دور بالا از اگزوز می‌باشد. علاوه بر این، وجود ایراد در کاتالیست خودرو نیز می‌تواند باعث بالا رفتن مقدار CO از حد مجاز شود. هیدروکربن‌های نسوخته یا HC به دلیل احتراق ناقص از اگزوز خارج می‌شود. این گاز که به شدت سمی بوده و باعث ایجاد بوی نامطبوع و دود سیاه در خروجی اگزوز می‌شود. اکسیدهای نیتروژن یا NOx نیز در اثر ترکیب گاز نیتروژن با اکسیژن در درجه حرارت بالای محفظه احتراق تولید می‌شوند. این گاز بسیار واکنش‌پذیر بوده و می‌تواند به‌عنوان یک عامل مهم در آلودگی هوا تلقی گردد.



شکل ۱: نمایی شماتیک از شمع خودرو

۳- نتایج و بحث

در اولین حالت از یکدست وایر در محدوده بین صفر تا ۲۰ هزار کیلومتر کارکرد، برای چهار گروه شمع در محدوده‌های کاری صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر استفاده شده و سنجش آلاینده‌ها برای آن انجام شده است. در حالت بعد، از وایرهایی با کارکرد ۲۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر برای شمع‌ها با دسته‌بندی مذکور استفاده شده است. شکل ۵ تا شکل ۷ نمودار مقایسه مقادیر پارامترهای CO، HC و NOx برای دو حالت مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۴: فلوجارت کلی پژوهش حاضر برای هر مرحله آزمایش

از این رو، در هشت مرحله این شمع و وایرها روی خودروی مطالعاتی نصب شده و توسط دستگاه تست ۵ گاز NEW SPX مدل ULTIMATE 500 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. لازم به ذکر است دستگاه سنجش آلاینده‌ها مذکور دارای برگه کالیبراسیون با احتمال تطابق بالای ۹۹ درصد بوده و در زمان سنجش آلاینده‌های خودروی مطالعاتی از سلامت کامل برخوردار بوده است. جدول ۲ مشخصات دستگاه سنجش آلاینده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات دستگاه سنجش آلاینده‌ها [۱۹]

نام دستگاه	New SPX	
مدل	ULTIMATE 500	
کشور سازنده	فرانسه	
فشار محیط کاری دستگاه (میلی‌بار)	۷۵۰-۱۱۵۰	
حداکثر زمان پیش‌گرمایش (دقیقه)	۹	
محدوده اندازه‌گیری		
CO (درصد حجمی)	۰-۱۵	
CO ₂ (درصد حجمی)	۰-۲۰	
HC (ppm)	۰-۲۰۰۰۰	
O ₂ (درصد حجمی)	۰-۲۵	
NO _x (ppm)	۰-۵۰۰۰	
λ	۰-۹.۹۹	

جهت اطمینان از صحت اطلاعات، هر کدام از مراحل چهار تکرار انجام شده و میانگین پارامترها در نظر گرفته شده است. فلوجارت کلی این پژوهش از زمان انتخاب خودرو تا گزارش‌گیری نهایی برای هر مرحله از آزمایش شمع و وایر در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل نمایی از دستگاه سنجش آلاینده‌ها NEW SPX در زمان ثبت اطلاعات نیز نشان داده شده است.



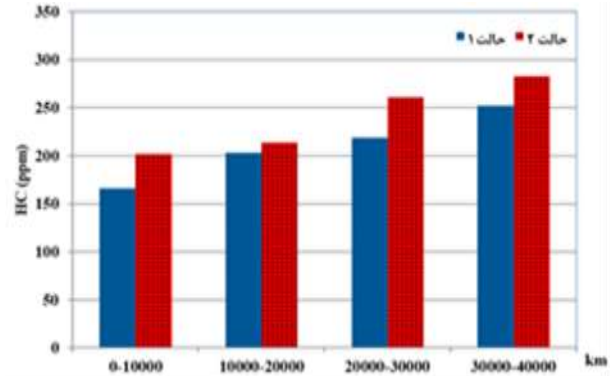
شکل ۳: نمایی از وایرهای مورد استفاده برای آزمایش که دارای کارکرد به ترتیب (بر حسب هزار کیلومتر): الف) صفر تا ۲۰ (ب) ۲۰ تا ۴۰

این که گروه بندی شمع جهت انجام آزمایش سنجش آلاینده‌گی، در محدوده‌ای با فاصله ۱۰ هزار کیلومتر در نظر گرفته شده است، جهت بررسی دقیق‌تر، این افزایش آلاینده‌گی در دسته بندی‌های کامل تر و برای دو حالت گزینش وایر، در جدول ۳ آورده شده است.

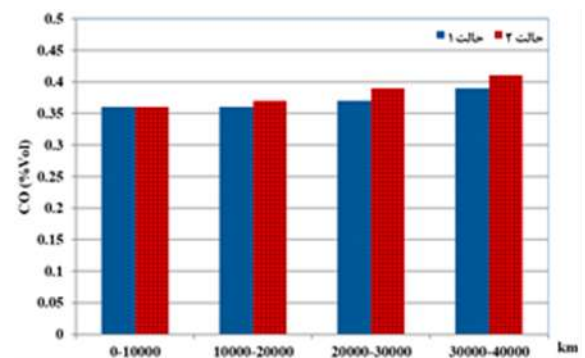
همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، درحالتی که شمع خودرو در محدوده کارکرد ۳۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر است در مقایسه با شمع با کارکرد صفر تا ۱۰ هزار کیلومتر، ۵۱/۸ درصد HC بیشتر، ۸/۳ درصد CO بیشتر و ۲۰/۹ درصد NOx بیشتر گزارش شده است که محدوده کارکرد وایر برای این حالت صفر تا ۲۰ هزار کیلومتر می‌باشد. این افزایش در محدوده کارکرد ۲۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر وایر، ۴۰ درصد HC، ۱۳/۸ درصد CO و ۳۲ درصد NOx بیشتر، ارزیابی شده است.

جدول ۳: درصد افزایش گازهای آلاینده در بازه‌های مختلف کارکرد شمع و وایر خودرو

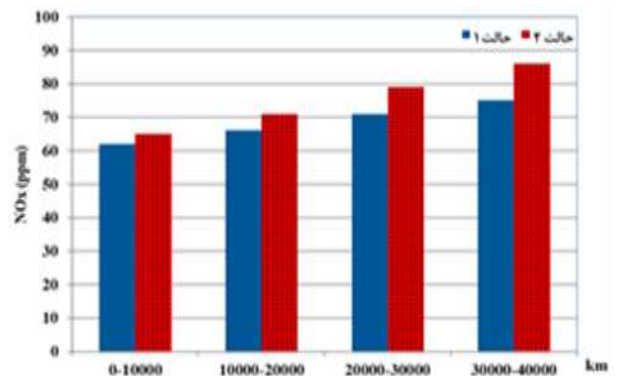
درصد افزایش گاز آلاینده NOx	درصد افزایش گاز آلاینده CO	درصد افزایش گاز آلاینده HC	محدوده کارکرد شمع (هزار کیلومتر)	محدوده کارکرد وایر (هزار کیلومتر)
۶/۴	۰	۲۲/۲	۰ تا ۱۰ نسبت به ۲۰ تا ۳۰	۲۰ تا ۴۰
۷/۵	۲/۷	۷/۸	۱۰ تا ۲۰ نسبت به ۳۰ تا ۴۰	۲۰ تا ۴۰
۵/۶	۵/۴	۱۵	۲۰ تا ۳۰ نسبت به ۴۰ تا ۵۰	۲۰ تا ۴۰
۱۴/۵	۲/۷	۳۱/۹	۳۰ تا ۴۰ نسبت به ۵۰ تا ۶۰	۲۰ تا ۴۰
۱۳/۶	۸/۳	۲۴/۱	۴۰ تا ۵۰ نسبت به ۶۰ تا ۷۰	۲۰ تا ۴۰
۲۰/۹	۸/۳	۵۱/۸	۵۰ تا ۶۰ نسبت به ۷۰ تا ۸۰	۲۰ تا ۴۰
۹/۲	۲/۷	۵/۹	۶۰ تا ۷۰ نسبت به ۸۰ تا ۹۰	۲۰ تا ۴۰
۱۱/۲	۵/۴	۲۱/۹	۷۰ تا ۸۰ نسبت به ۹۰ تا ۱۰۰	۲۰ تا ۴۰
۸/۸	۵/۱	۸/۴	۸۰ تا ۹۰ نسبت به ۱۰۰ تا ۱۱۰	۲۰ تا ۴۰
۲۱/۵	۸/۳	۲۹/۲	۹۰ تا ۱۰۰ نسبت به ۱۱۰ تا ۱۲۰	۲۰ تا ۴۰
۲۱/۱	۱۰/۸	۳۲/۲	۱۰۰ تا ۱۱۰ نسبت به ۱۲۰ تا ۱۳۰	۲۰ تا ۴۰
۳۲	۱۳/۸	۴۰	۱۱۰ تا ۱۲۰ نسبت به ۱۳۰ تا ۱۴۰	۲۰ تا ۴۰



شکل ۵: مقادیر مربوط به پارامتر HC برای چهار گروه کارکرد شمع و دو حالت کارکرد وایر



شکل ۶: مقادیر مربوط به پارامتر CO برای چهار گروه کارکرد شمع و دو حالت کارکرد وایر



شکل ۷: مقادیر مربوط به پارامتر NOx برای چهار گروه کارکرد شمع و دو حالت کارکرد وایر

برطبق بررسی‌های انجام شده، کارکرد شمع و وایر در اکثر حالات باعث افزایش گازهای آلاینده شده است. همان طور که در شکل ۵ تا شکل ۷ مشخص است، افزایش عمر کارکرد شمع خودرو تأثیر مستقیم روی افزایش آلاینده‌های HC، CO و NOx دارد. این افزایش که در گاز آلاینده HC نسبت به دو مورد دیگر بیشتر است، به جز در یک مورد برای گاز CO، که این پارامتر با افزایش ده هزار کیلومتر کارکرد شمع تغییری نکرده است، در کل دسته بندی‌ها با افزایش کیلومتر کارکرد شمع، مقدار گازهای آلاینده افزایش یافته است. با توجه به

۴- نتیجه‌گیری

افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌عنوان چالش مهمی در شهرهای پرجمعیت مطرح می‌باشد. از سمت دیگر خودروها به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آلاینده‌های سمی در ایران برآورد شده‌اند. لذا تحقیق و پژوهش پیرامون تجهیزات تأثیرگذار در تولید آلاینده‌ی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش بررسی‌ها روی تأثیر کارکرد دو مورد از مهم‌ترین قطعات سیستم جرقه‌زنی شامل شمع و وایر بر آلاینده‌های زیست‌محیطی HC، CO و NOx انجام شده است. بدین‌صورت که شمع‌ها در چهار گروه کارکرد که شامل صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر دسته‌بندی شده و در دو حالت با وایرهایی با کارکرد صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ هزار کیلومتر در نظر گرفته شده‌اند.

در مرحله بعد، در هر حالت توسط دستگاه سنجش آلاینده‌ی، که از نوع NEW SPX است، مورد ارزیابی دقیق قرار گرفته‌اند. جهت افزایش دقت پارامترهای استخراج‌شده، در هر مورد از آزمایش، چهار تکرار انجام شده است. در حالت کلی نتایج زیر به‌دست آمده است:

۱- استهلاک قطعات به‌جز در یک مورد، در تمام حالات باعث افزایش هر سه گاز آلاینده موردبررسی شده است.

۲- درصد افزایش آلاینده‌های گروه‌های مطالعاتی در بیشترین حالت به ترتیب ۵۱.۸، ۱۳/۸ و ۳۲ درصد، برای آلاینده‌های HC، CO و NOx گزارش شده است.

۳- استهلاک قطعات موردبررسی بیشترین تأثیر را رو تولید گاز HC دارد.

۴- گاز مونوکسید کربن کمترین تغییرات را در مقابل افزایش عمر شمع و وایر از خود نشان داده است به‌گونه‌ای که تغییرات آن در محدوده کم کارکرد قطعات نزدیک به صفر ارزیابی شده است.

۵- در محدوده استهلاک بالاتر درصد افزایش گاز NOx با شیب بیشتری نسبت به دو گاز دیگر حرکت می‌کند.

لذا در حالت کلی می‌توان گفت، تعویض به‌موقع شمع و وایر خودرو می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش آلاینده‌های مورد مطالعه داشته و با پایش دقیق‌تر خودروها در این مقوله، می‌توان محیط‌زیست پاک‌تری را به ارمغان آورد.

۵- منابع

[1] M. Salehi and H. Faghani, "Investigation of emissions and energy consumption of DENA hybrid electric vehicle," *J. Engine Res.*, vol. 58, no. 58, pp. 11–16, 2020. Available: https://www.engineerresearch.ir/article_697861_59a56fe59c7e12fa87266f58c365c7cc.pdf.

[2] K. Aliakbari, S. M. M. Delavari, and M. Sheykhi, "Numerical simulation of EF7 engine in different operating conditions," *Sci. Technol. Mech. Eng.*, 2024. doi: [10.22034/stme.2024.446307.1056](https://doi.org/10.22034/stme.2024.446307.1056).

[3] S. S. Bidva and M. Hasanzadeh, "Environmental review of the automotive industry and the ways to reduce its pollution," *J. Environ. Res. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 1–7, 2018. doi: [10.29252/3.4.1](https://doi.org/10.29252/3.4.1).

[4] M. Niajalili, A. R. Nemati, H. Bakhshizadeh Kolori, and A. Kochakinejad, "Research on the effect of using optimal wires in car ignition system on its emissions," *J. Environ. Sci. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 3383–3389, 2021. Available: https://www.jess.ir/article_122515_e8a167034f8a1e4ea4dbf3ff6e0465b.pdf.

[5] B. Shadidi, H. Haji Agha Alizade, G. Najafi, S. A. Moosavian, and M. Khazaei, "Investigation of performance and exhaust emission of diesel engine in different ratios of lambda coefficient using diesel-ethanol fuel blends," *J. Engine Res.*, vol. 60, no. 60, pp. 19–28, 2022. Available: https://www.engineerresearch.ir/article_697880_9a862f952e34c585dc9a7c415e5fecc8.pdf.

[6] E. Abdi Aghdam, M. Ataee Tarzanagh, and J. Kanani, "The output performance of the 25% gasoline-75% NG combination mode and its comparison with NG mode," *J. Engine Res.*, vol. 71, no. 1, pp. 40–51, 2024. doi: [10.22034/er.2024.2025041.1037](https://doi.org/10.22034/er.2024.2025041.1037).

[7] F. Ommi, S. Soury, and E. Rostami, "Design and simulation of a hybrid electric vehicle in order to increasing efficiency and reducing pollution," *J. Engine Res.*, vol. 37, no. 37, pp. 35–48, 2022. Available: https://www.engineerresearch.ir/article_697736_4065d11beaa4956b91e82b75cee04987.pdf.

- [13] A. Arcila, T. Chen, and X. Lu, "The effectiveness of consumption tax on the reduction of car pollution in China," *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.*, vol. 134, p. 104302, 2024.
- [14] M. Safar, F. Ommi, and Z. Saboohi, "Experimental study of the effects of multi-electrode spark plugs to improve engine performance and reduce pollutants of the XU7JP/L3 engine," *J. Mech. Eng.*, vol. 50, no. 4, pp. 105–113, 2021. doi: [10.22034/jmeut.2021.9959](https://doi.org/10.22034/jmeut.2021.9959).
- [15] M. Baghani and A. HoseinAbadi, "Car spark plug," *Mater. World J.*, vol. 9, pp. 17–19, 2010.
- [16] A. Ahmad, A. Shahram, D. Davood, and G. Kiomarc, *Fuel and ignition system for passenger cars*, Iranian Textbook Publishing Company, 2019. (in Persian)
- [17] E. Akbarpouran Khayati et al., "Reduction of emissions and fuel consumption of diesel engine by using common rail fuel injection and aftertreatment systems," *J. Engine Res.*, vol. 68, no. 68, pp. 3–11, 2022. doi: [10.22034/er.2022.697921](https://doi.org/10.22034/er.2022.697921).
- [18] *M13 Engine Repair Manual*, Saipa Motor Corporation. Available: <https://www.saipacorp.com/>. (in Persian)
- [19] *Gas Analyzer, ULTIMATE 500 NEW SPX*. Available: <https://parizanzabazar.ir/>. (in Persian)
- [8] S. Khalilzadeh, Z. Khalilzadeh, H. Emami, and M. R. Masjedi, "The relation between air pollution and cardiorespiratory admissions in Tehran," 2009.
- [9] M. R. Saberi, A. Ghandehariun, and E. Naghashzadeh, "Investigating the sustainability of diesel, biodiesel and hydrogen fuels in diesel engines with the approach of sustainable development analysis," *Sci. Technol. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 101–113, 2023. doi: [10.22034/stme.2023.409418.1042](https://doi.org/10.22034/stme.2023.409418.1042).
- [10] R. Zhang and S. Fujimori, "The role of transport electrification in global climate change mitigation scenarios," *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 3, p. 034019, 2020.
- [11] S. Ghanbarihamedani, "Survey and measure the environmental pollutants emitted from exhaust of commercial vehicles in an industrial unit," *J. Environ. Sci. Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 45–52, 2016. Available: https://www.jess.ir/article_46685_97dba5d82a1a5b45e8e7dd486ea4121e.pdf.
- [12] B. Mashadi and A. Maleki, "Influence of cylinder deactivation technology on fuel consumption and emissions of four-cylinder spark ignition engine," *J. Engine Res.*, vol. 35, no. 35, pp. 41–51, 2022. Available: https://www.engineerresearch.ir/article_697724_83821707fd5779c319f2daefc6cf340b.pdf.