Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

**Research Paper**

# Development scenarios for electric vehicles in Iran with Dynamic System method

**Saman Pirehbabi, Abolghasem Mosayyebi, Majid Zandi***

Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

## ARTICLE INFO

***Article History:***

Received 06 October, 2022
Revised 05 November, 2022
Accepted 05 Decemberb, 2022

**Keywords:**
Electric vehicles
Foresight
System dynamic
Renewable energy
Carbon emission trade scheme

## ABSTRACT

In recent years, energy shortage and environmental pollution have greatly promoted the rapid development of electric vehicles in the industry. With the growing importance of environmental issues, replacing fossil fuel sources with renewable energies has become a necessity. A large part of environmental pollution is related to the transportation sector. Replacing fossil fuel vehicles with electric vehicles is a suitable solution to reduce environmental pollution and energy consumption. The development of electric vehicles in Iran has many challenges, such as charging stations, the high price of electric vehicles, low mileage, and most importantly, the cheap price of fuel. Therefore, in this article, the scenarios of the development of electric vehicles in Iran are examined. For this purpose, 4 scenarios are defined in Vensim software. In these scenarios, two important parameters of fuel price and environmental issues are considered. The results show that fuel price reform will lead to faster growth of electric vehicles and the higher the slope of fuel price reform will lead to faster growth of electric vehicles. Also, the results show that the environmental problem alone cannot be the reason for the rapid growth of electric vehicles in Iran, but as a primary parameter, it plays a significant role in the growth of these cars.

## Introduction

The emission of greenhouse gases has led to global climate change by increasing the earth's temperature during the last century. One of the major sectors in the emission of greenhouse gases is the transportation sector, which produces nearly 25% of global CO2 emissions. Shifting global energy demand from fossil fuels to clean energy requires replacing fuel-based vehicles with electric vehicles. Accordingly, the electrification of commercial vehicles is a promising opportunity to significantly reduce greenhouse gas emissions, making vehicle electrification an important research area. The success of electric vehicles is driven by several factors. It is necessary to support sustainable policies. Public spending on subsidies and incentives for electric vehicles will almost double in 2021. A growing number of countries have committed to phasing out internal combustion engines or have ambitious goals for vehicle electrification for decades to come.

The main contributions of this article are as follows:

- Economic and technical justification of electric vehicle development compared to other cars
- Examining the challenges of electric vehicle s in Iran
- Development scenarios of electric vehicles in Iran in a 10-year period
- Proposing suitable solutions for the rapid development of electric vehicles in Iran

There are many challenges in the development of electric vehicles in Iran, the most important of which are as follows:

- Low price of fossil fuel
- Charging infrastructure
- Public interest in accepting electric vehicles
- Environmental pollution related to battery recycling
- Electric vehicle security

In Table 1, electric vehicles and fuel cars are compared. The costs of fuel cars with subsidized price and real price have been calculated and compared with the cost of electric vehicles, which shows that the cost of electric vehicles is much lower.

* Corresponding Author Email: m_zandi@sbu.ac.ir

**Table1. Comparing the consumption cost of an electric vehicle with a fuel car in a 100 kilometer journey**

| | Fuel car | Electric vehicle |
|---|---|---|
| The amount of consumption for traveling 100 km | 10 liters | 13.78 kWh |
| The current price of fuel/electricity in Iran is in Tomans | 1500-3000 Tomans per liter of fuel consumption | 100 Tomans per kWh of electricity consumption |
| Actual price of fuel/electricity in Tomans | 28500 Tomans per liter of fuel consumption | 9975 Tomans per kWh of electricity consumption |
| The total cost of traveling 100 kilometers based on the current price (Tomans) | 15000-30,000 | 1378 |
| The total cost of traveling 100 kilometers based on the real price (Tomans) | 285,000 | 134,455 |

**Description of the proposed method**

In this article, the dynamic system model is used to investigate the effect of different scenarios on EV development in Iran. One of the parameters that can affect the expansion of electric vehicles is the real price of fuel. Another parameter that can indirectly affect the development of electric vehicles in Iran is environmental issues that cannot directly promote the electric vehicle industry with financial support. In this article, 4 scenarios are examined: In the first scenario, it is assumed that the price of fuel in Iran will be modified in the form of a linear function, in this scenario, the price of fuel will grow over 10 years with a linear function with a slope of 0.09, until after this period, it will reach the real value. In the second scenario, participation in the carbon emission trade scheme is also added as an environmental stimulus to the first scenario. In the third scenario, the real price of fuel without subsidy is considered, and assuming that the real price of fuel in the current situation in the Persian Gulf is about 0.80 dollars, this value is considered as the initial value, which in The length of 10 years increases with a very slow slope, the slope of this graph is extracted by examining the price of fuel in the past years and the actual price of fuel is predicted for the next 10 years. In the fourth scenario, both the real price of fuel and the participation carbon emission trade scheme are considered.

**Conclusion**

The simulation was done with Vensim software. The total amount of electric vehicles predicted in the period 1402-1412 is shown in Fig1. In 1412, the total number of electric vehicles will reach 482,335, 526,234, 1,021,947 and 1,332,506 in scenario 1 to 4. It should be noted that the difference between scenario 1 and scenario 3 is in the price of fuel. In scenario 1, the price of fuel is in the form of subsidies, which will decrease over time and the price of fuel will become real in 1412. But in scenario 3, the real price of fuel is considered from the very beginning, so the number of electric vehicle in scenario 3 is more at the beginning, so the payment of fuel price subsidies prevents the growth of electric vehicles, and in scenarios 2 and 4, where the real price of gasoline is considered.

The number of electric vehicles is about twice the number of scenarios 1 and 2. Due to the fact that in scenario 1, the price of fuel becomes real over time, so the slope of the growth graph of electric vehicles increases over time in this scenario, and its slope in 1412, when the price has fully become real, is equal to the slope of the scenario 3 graph. The following 6 points can be taken from the diagram:

- By comparing scenario 3 and 4, it can be understood that participation in carbon emission trade scheme has a greater effect in the beginning, for example, in 1407, the difference between scenario 4 and 3 is 52.5%, while this ratio for 1412 is about 29%. Therefore, participation in carbon emission trade scheme cannot cause rapid growth by stimulating investment, but it is more effective as a driving force in the beginning.
- If the prices are not corrected quickly, participation in carbon emission trade scheme will not have much effect.
- The effect of fuel price is greater than the effect of the carbon emission trade scheme, that's why in scenario 1 and 2 in the early years when the price is not real, the rapid growth happens in 1408 and after the price of fuel approaches the real price.

The following suggestions can be made for the better development of electric vehicles in Iran:

- In order to be more effective, government subsidy should be paid to the final consumer.
- Participation in carbon emission trade scheme can be useful as an initial stimulus in the short term.
- The slope of fuel price correction in Iran should be non-smooth for the faster expansion of electric vehicles.
- No need to pay subsidy directly to the producer

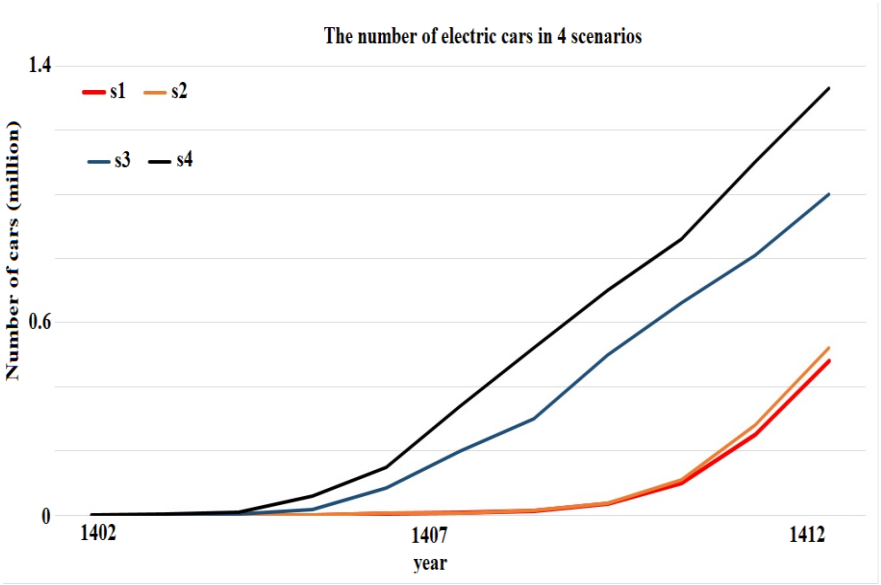



**Fig. 1. Development scenarios of electric vehicles in Iran**

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

# سناریوهای توسعهٔ خودروی برقی در کشور ایران با روش پویایی سیستم

سامان پیره‌بابی[۱]، ابوالقاسم مسیبی[۲]، مجید زندی[۳*]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

[۲] پژوهشگر، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

[۳] دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران

**اطلاعات مقاله**

**تاریخ‌های مقاله:**

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۷/۱۴

تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

**کلیدواژه:**

خودروی برقی

آینده‌نگری

پویایی سیستم

انرژی‌های نو

تجارت کربن

**چکیده**

در سال‌های اخیر، کمبود انرژی و آلودگی محیط زیست توسعهٔ سریع وسایل نقلیهٔ الکتریکی در صنعت را به‌شدت ارتقا داده است. با اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی، جایگزین کردن منابع سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های نو به یک ضرورت تبدیل شده است. بخش زیادی از آلودگی‌های زیست‌محیطی مربوط به بخش حمل‌ونقل است. جایگزینی خودروهای با سوخت فسیلی با خودروهای برقی یک راهکار مناسب برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش مصرف انرژی است. توسعهٔ خودروهای برقی در ایران دارای چالش‌های زیادی مانند ایستگاه‌های شارژ، قیمت زیاد خودروهای برقی، نحوهٔ شارژ این خودروها، پیمایش کم و از همه مهم‌تر، قیمت ارزان سوخت هستند. از این‌رو، در این مقاله سناریوهای توسعهٔ خودروهای برقی برای ۱۰ سال آینده در ایران بررسی می‌شود. برای این کار ۴ سناریو در نرم‌افزار Vensim تعریف می‌شود. در این سناریوها اثر دو پارامتر مهم یعنی قیمت واقعی سوخت و شرکت در طرح تجارت کربن بر توسعهٔ خودروی برقی در ایران بررسی شد. نتایج نشان داد واقعی کردن قیمت سوخت منجر به رشد سریع‌تر خودروهای برقی خواهد شد و هرچه شیب اصلاح قیمت سوخت بیشتر باشد، رشد خودروهای برقی نیز سریع‌تر خواهد بود. همچنین، نتایج نشان داد مسئلهٔ زیست‌محیطی به‌تنهایی نمی‌تواند عامل رشد سریع خودروهای برقی در ایران باشد، ولی به عنوان یک محرک اولیه نقش بسزایی در رشد این خودروها دارد. تعداد خودروها در سناریوهایی که قیمت سوخت واقعی است، بیشتر از ۲ برابر تعداد خودروها در سناریوهایی است که قیمت سوخت یارانه‌ای است.

## ۱. مقدمه

انتشار گازهای گلخانه‌ای به تغییر آب‌وهوای جهانی با افزایش دمای زمین طی قرن گذشته منجر شده است. یکی از مشارکت‌کنندگان بزرگ در انتشار گازهای گلخانه‌ای، بخش حمل‌ونقل است که نزدیک ۲۵ درصد از انتشار $CO_2$ جهانی را تولید می‌کند [۱]. طبق سامانهٔ پایش کیفی هوای کشور ایران [۲]، در سال ۱۴۰۰ در مجموع ۳۶۵ روز فقط ۲ روز هوای پاک و ۱۱۴ روز هوای ناسالم ثبت شده است. تغییر تقاضای جهانی انرژی از سوخت‌های فسیلی به انرژی پاک مستلزم جایگزینی خودروهای مبتنی بر سوخت با خودروهای الکتریکی است. بر این اساس، برقی کردن وسایل نقلیهٔ تجاری یک فرصت امیدوارکننده برای کاهش قابل توجه این انتشارات

* نویسندهٔ مسئول

Email: m_zandi@sbu.ac.ir

است که برقی‌سازی خودروها را به یک حوزهٔ تحقیقاتی مهم تبدیل می‌کند [۱].

فروش خودروهای الکتریکی[1] در سال ۲۰۲۱ میلادی نسبت به سال قبل دو برابر شد و به رکورد جدید ۶/۶ میلیون دستگاه رسید. در سال ۲۰۱۲ میلادی، فقط ۱۲۰ هزار خودروی الکتریکی در سراسر جهان فروخته شد. در سال ۲۰۲۱ میلادی، هر هفته بیش از این تعداد فروخته شد. حدود ۱۰ درصد از فروش جهانی خودرو در سال ۲۰۲۱ برقی بوده است، یعنی چهار برابر سهم بازار در سال ۲۰۱۹. این تعداد کل خودروهای برقی در جاده‌های جهان را به حدود ۱۶/۵ میلیون خودرو رساند که سه برابر میزان آن در سال ۲۰۱۸ است. سیر فروش خودروهای الکتریکی در سراسر جهان از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ در شکل ۱ نشان داده شده است. این آمار برای دو نوع خودروی پلاگین هیبریدی[2] و خودروی برقی مبتنی بر باتری[3] ارائه شده است. خودروهای الکتریکی پلاگین هیبریدی از هر دو منبع انرژی بنزین و الکتریسیته استفاده می‌کنند. برای شارژ مجدد باتری می‌تواند به یک پریز برق یا ایستگاه شارژ وصل شود، در حالی که در BEV فقط از الکتریسیته استفاده می‌شود. با توجه به شکل ۱ شیب رشد خودروهای الکتریکی افزایشی است. فروش جهانی خودروهای الکتریکی در سال ۲۰۲۲ به‌شدت در حال افزایش بوده است، به طوری که در سه‌ماههٔ اول ۲ میلیون دستگاه فروخته شده که ۷۵ درصد نسبت به مدت مشابه در سال ۲۰۲۱ افزایش داشته است. افزایش فروش خودروهای الکتریکی در سال ۲۰۲۱ بیشتر توسط چین انجام شد که نیمی از رشد را به خود اختصاص داد. در سال ۲۰۲۱، ۳/۳ میلیون خودرو برقی در چین فروخته شد که این عدد از کل خودروهای برقی فروخته‌شده در جهان در سال ۲۰۲۰ بیشتر است. فروش در اروپا با رشد قوی پس از رونق سال ۲۰۲۰ با افزایش ۶۵ درصد به ۲/۳ میلیون فروش رسید و در ایالات متحده نیز پس از دو سال کاهش به ۶۳۰ هزار افزایش یافت. سه‌ماههٔ اول سال ۲۰۲۲ روند مشابهی را نشان داد، به طوری که فروش در چین در مقایسه با سه‌ماههٔ اول سال ۲۰۲۱ بیش از دو برابر شد (که بیشترین رشد جهانی را به خود اختصاص داده است)، در ایالات متحده ۶۰ درصد و در اروپا ۲۵ درصد افزایش یافته است. نمودار فروش خودروی الکتریکی در جهان از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ در شکل ۲ نشان داده شده است [۳].

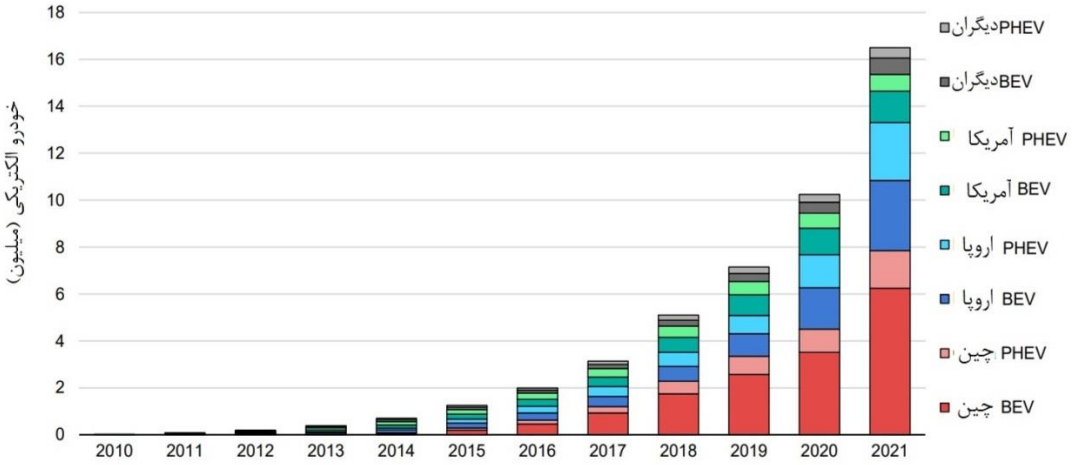
موفقیت خودروهای الکتریکی توسط عوامل متعددی هدایت می‌شود. حمایت از سیاست‌های پایدار رکن اصلی است. هزینه‌های عمومی برای یارانه‌ها و مشوق‌ها برای خودروهای الکتریکی در سال ۲۰۲۱ تقریباً دو برابر شد و به حدود ۳۰ میلیارد دلار رسید. تعداد فزاینده‌ای از کشورها متعهد شده‌اند که موتورهای احتراق داخلی را به‌تدریج کنار بگذارند یا اهداف بلندپروازانه‌ای برای برقی‌سازی وسایل نقلیه برای دهه‌های آینده داشته باشند. در همین حال، بسیاری از خودروسازان برنامه‌هایی برای برقی کردن ناوگان خود دارند که فراتر از اهداف سیاستی است. در نهایت، پنج برابر مدل‌های جدید EV در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۱۵ در دسترس بود و جذابیت را برای مصرف‌کنندگان افزایش داد. تعداد مدل‌های EV موجود در بازار حدود ۴۵۰ دستگاه است که در شکل ۳ نشان داده شده است [۳].

مقاله‌های کمی آینده‌نگری در صنعت خودرو را بررسی کرده‌اند. بیشتر مراجع بر مسائل فنی شبکه و چالش‌های خودروی برقی متمرکز شده‌اند. بسیاری از مسائل و چالش‌های مربوط به کنترل شارژ EV در [۴] بیان شده است که می‌تواند منجر به تحقیقات بیشتر در مورد چگونگی غلبه بر این چالش‌ها شود، اما در مورد نحوهٔ گسترش صنعت خودروهای برقی راه‌کاری ارائه نمی‌دهد. رویکردهای مختلف و کارهای آینده برای رسیدگی به چالش‌های شارژ خودروهای تجاری در مکان‌های مختلف در [۱] بیان شده است. در [۵] نحوهٔ طراحی، ساختمان و چالش‌های شارژ بی‌سیم خودروهای برقی بررسی می‌شود. یک بررسی جامع و پیشرفته در مورد فناوری‌های شارژ موجود برای BEVها در [۶] ارائه می‌شود که به دو دسته فناوری‌های شارژ سیمی و شارژ بی‌سیم تقسیم می‌شوند. ابتدا، فناوری‌های شارژ سیمی به روش‌های شارژ AC (شارژ غیر مستقیم) و شارژ DC (شارژ مستقیم) بر اساس نحوهٔ تغذیهٔ باتری‌های BEV از

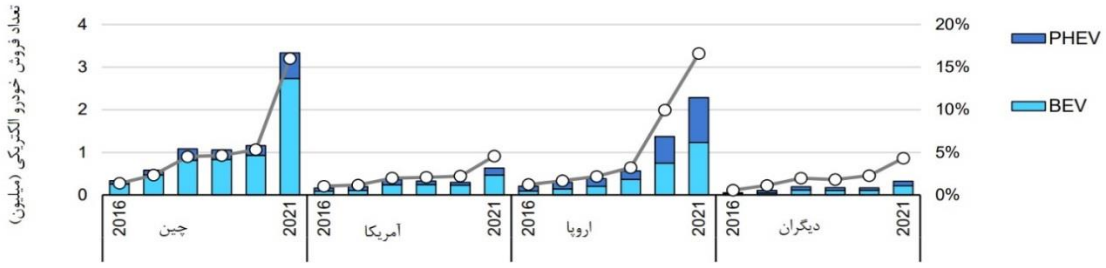
1. Electric Vehicle (EV)
2. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)
3. Battery Electric Vehicle (BEV)

شبکه طبقه‌بندی می‌شوند. سپس، پیکربندی‌های رایج فناوری‌های شارژ بی‌سیم برای BEVs به طور کامل مورد بحث قرار می‌گیرند. در نهایت، به طور گسترده روند تحقیقات اخیر و آینده را همراه با کاربردهای صنعتی برجسته می‌کند، اما سناریوهای آینده‌نگری و امکان‌سنجی در این مرجع مشاهده نمی‌شود.

سناریونویسی یک راه‌کار برای ترسیم فضای کاری آینده است. سناریوهای متفاوت، استراتژی‌های متفاوتی را پیشنهاد می‌کند که کاربردهای متفاوتی را به همراه خواهد داشت. در روند سناریونویسی، گزینه‌های واقعی برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه اهدافی باید انتخاب شوند و نیز ابزار مورد نیاز برای دستیابی به آن اهداف، پیدا می‌شود [۷]. در این مقاله سناریوهای توسعهٔ خودروبرقی در ایران با استفاده از نرم‌افزار Vensim بررسی می‌شود. از این نرم‌افزار به منظور شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی کارکرد سیستم‌ها در واقعیت استفاده می‌شود. به کمک این نرم‌افزار می‌توان یک مدل دینامیکی را تحلیل کرد و آن را توسعه داد. از این نرم‌افزار در حوزه‌های مختلف جهت آینده‌نگری و سناریوهای توسعه صنایع استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در [۸] اثر جایگزینی نیروگاه‌های فسیلی با نیروگاه‌های هسته‌ای و اثر آن بر گرمای زمین با استفاده از نرم‌افزار Vensim بررسی شده است، همچنین مطالعاتی در زمینهٔ محیط زیست، رشد جمعیت، آلودگی هوا، تحلیل پایداری منابع آب و مدیریت با استفاده از این نرم‌افزار انجام شده‌است [۹ـ ۱۳].




**شکل ۱. نمودار تعداد خودروی الکتریکی در سراسر جهان از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ [۳]**




**شکل ۲. تعداد فروش خودروهای الکتریکی در جهان از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ [۳]**

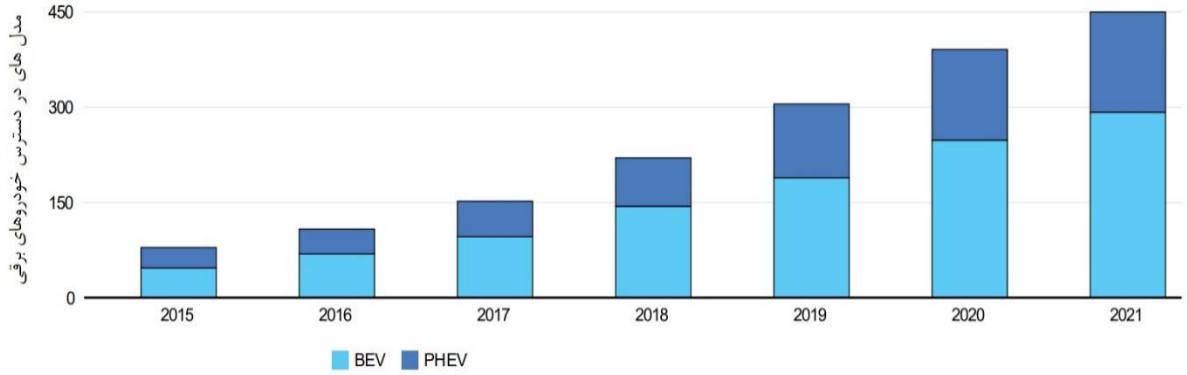
نکات اصلی این مقاله به شرح زیر است:

- توجیه‌پذیری اقتصادی و فنی توسعهٔ خودروی برقی در مقایسه با سایر خودروها
- بررسی چالش‌های خودروی برقی در ایران
- بررسی اثر قیمت سوخت و مسائل زیست‌محیطی بر توسعهٔ خودروهای برقی در ایران در یک بازهٔ ۱۰ ساله با استفاده از روش مبتنی بر سناریو

- ارائهٔ پیشنهادهایی برای توسعهٔ سریع‌تر خودرو برقی در ایران

## ۲. مقایسهٔ هزینهٔ مصرف خودروی برقی با خودروی بنزینی

هزینهٔ مصرف سوخت خودروهای برقی و بنزینی در جدول ۱ مقایسه شده است. متوسط مصرف خودروهای بنزینی تولید داخل به ازای پیمایش ۱۰۰ کیلومتر ۱۰ لیتر در نظر گرفته شده است، در حالی که برای خودروهای برقی ۱۳/۷۸ کیلووات است. با توجه به اینکه قیمت فعلی بنزین و برق، قیمت‌های واقعی نیستند و دولت بخش از هزینه را به صورت یارانه پرداخت می‌کند، در این جدول دو هزینه برای این خودروها محاسبه شده است. یک هزینه بر اساس قیمت فعلی انرژی در ایران و دیگری بر اساس قیمت واقعی محاسبه شده است. در حال حاضر، در ایران بنزین به دو صورت سهمیه‌ای و آزاد عرضه می‌شود که به‌ترتیب هر لیتر ۱۵۰۰ و ۳ هزار تومان قیمت دارد. با توجه به قیمت بنزین در کشورهای همسایه قیمت واقعی بنزین در این مطالعه حدود ۱ دلار برآورد شده است که بر اساس سامانهٔ نیمایی هر دلار معادل ۲۸۵۰۰ تومان است. به روش مشابه قیمت فعلی و واقعی برق به ازای هر کیلووات ساعت در جدول ۱ آمده است.




**شکل ۳. مدل‌های در دسترس خودروهای برقی در سراسر جهان از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ [۳]**

## ۳. دلایل فنی و اقتصادی توجیه‌پذیری خودروهای برقی

دلایل فنی و اقتصادی بسیاری در توجیه‌پذیری استفاده از خودروهای برقی وجود دارد. بدون در نظر گرفتن هزینه‌های ناشی از آلودگی، قیمت اولیهٔ خودروهای هیبریدی و تمام‌برقی بیش از خودروهای درون‌سوز است؛ یعنی خودروی هیبریدی یا برقی معادل تقریباً ۲/۵ برابر خودروی درون‌سوز است. اما اگر هزینهٔ ناشی از آلودگی خودروهای درون‌سوز به قیمت اولیهٔ آن‌ها اضافه شود، قیمت تمام‌شدهٔ یک خودروی برقی تقریباً با قیمت یک خودروی درون‌سوز در شهر بزرگی مانند تهران برابر است. بر اساس گزارش وزارت بهداشت [۱۴] در ۲۵ شهر کشور، سالانه حدود ۳۰ میلیارد دلار، تنها خسارت بهداشتی ناشی از آلودگی هوا است که حدود ۲/۵ درصد تولید ناخالص داخلی است. به گزارش وزارت بهداشت در خصوص آلودگی هوا، آلودگی هوا سالیانه حدود ۳ هزار و ۷۵۱ نفر در شهر تهران قربانی می‌گیرد و همچنین، میزان مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در کل کشور به سالیانه ۱۱ هزار و ۱۵۹ نفر می‌رسد. به طور میانگین در سال ۱۴۰۱ شمسی روزانه حدود ۱۰۰ میلیون لیتر بنزین در ایران مصرف شده است [۱۵] که از این میزان ۶۰ میلیون لیتر بنزین سهمیه‌ای و ۴۰ میلیون لیتر نیز بنزین آزاد بوده است [۱۶]. با توجه به قیمت ۱۵۰۰ تومانی برای بنزین سهمیه‌ای و ۳ هزار تومانی بنزین آزاد و با توجه به قیمت واقعی بنزین که ۲۸۵۰۰ تومان به ازای هر لیتر است، برای هر لیتر بنزین سهمیه‌ای ۲۷ هزار تومان و برای هر لیتر بنزین آزاد نیز ۲۵۵۰۰ تومان یارانه پرداخت می‌شود. روزانه یک هزار و ۶۲۰ میلیارد تومان یارانه به بنزین سهمیه‌ای و یک هزار و ۲۰ میلیارد تومان یارانه

به بنزین آزاد تعلق می‌گیرد که نشان می‌دهد دولت هر روز بیش از ۲ هزار و ۶۴۰ میلیارد تومان یارانه به بنزین می‌دهد. طبق این آمار، یارانهٔ پرداخت‌شده به بنزین در ماه ۷۹/۲ هزار میلیارد تومان و در سال ۹۶۳/۶ هزار میلیارد تومان خواهد بود. این در حالی است که بودجهٔ عمومی دولت بر اساس قانون بودجهٔ سال ۱۴۰۱ حدود ۱۵۰۰ هزار میلیارد تومان است. بنابراین، یارانهٔ پرداختی به بنزین در صورت ثابت بودن، قیمت بنزین و قیمت دلار، معادل ۶۴ درصد بودجهٔ عمومی دولت در یک سال است. مسیر استخراج و مصرف انرژی از چاه‌های نفت تا باک سوخت خودروهای درون‌سوز و هیبریدی یا تمام‌برقی دارای تلفاتی است که این رقم برای خودروهای درون‌سوز به علت پایین بودن سطح بازدهی موتور درون‌سوز به ۱۴/۶ درصد و برای خودروهای هیبریدی برابر ۲۳ درصد و خودروی تمام‌برقی برابر ۳۱ درصد است و به این معناست که تلفات انرژی در مسیر چاه نفت تا حرکت خودروی درون‌سوز تقریباً دو برابر تلفات انرژی در مسیر چاه نفت یا گاز تا حرکت خودروی برقی است [۱۷].

## ۴. چالش‌های خودرو برقی در ایران

توسعهٔ خودروهای برقی در جهان با چالش‌های زیادی روبه‌رو است که تعدادی از آن‌ها در جدول ۲ بیان شده است. یکی از چالش‌های مهم در صورت گسترش انبوه این خودروها، مدیریت شارژ و توسعهٔ ظرفیت شبکهٔ برق است. از مشکلات دیگر می‌توان به مسافت کوتاه پیمایش، کمبود ایستگاه‌های شارژ، هزینهٔ زیاد و مدت زمان طولانی برای شارژ این خودروها اشاره کرد. در جدول ۳ فقط به مهم‌ترین (نه همه) چالش‌های خودروی برقی در کشور ایران اشاره شده است. در مورد امکان جایگزینی خودروهای برقی با خودروهای معمولی، با توجه به قیمت بسیار کم سوخت‌های فسیلی در کشور و همچنین، قیمت زیاد تأمین انرژی این خودروها، شاید به‌راحتی نتوان آن‌ها را جایگزین خودروهای فعلی کرد. این در حالی است که کشور ما به علت تولید و استفاده از سوخت‌های فسیلی سهم بالایی در آلودگی‌های محیط زیستی دارد و باید به دنبال راه‌های نوین و پاک تأمین انرژی بود. موضوع دیگر توسعهٔ ایستگاه‌های شارژ است. خودروی‌های برقی در حال حاضر به علت مداومت انرژی پایین باتری‌های به‌کاررفته در آن‌ها، نیاز به زیرساخت‌های شارژ در فواصل مشخص و کوتاهی دارند. در حال حاضر، در کشور تنها یک ایستگاه شارژ برق وجود دارد که مخصوص موتورسیکلت‌های برقی است. همچنین، در کشورهای پیشرفته مانند آمریکا نیز تعداد این ایستگاه‌ها چندان نیست. در مجموع، می‌توان گفت که مسئلهٔ ایستگاه‌های شارژ و از سوی دیگر، فواصل زمانی کوتاه برای شارژ مجدد از مهم‌ترین مسائلی است که صنعت خودروهای برقی را با چالش روبه‌رو کرده است. موضوع دیگری که دربارهٔ خودروهای برقی وجود دارد، مسئلهٔ محیط زیست است. در حال حاضر، این خودروها از باتری‌های لیتیومی بهره می‌برند که دارای آلودگی‌های محیطی بسیار هستند و آسیب جدی به محیط زیست وارد می‌کنند.

**جدول ۱. مقایسهٔ هزینهٔ مصرف خودروی برقی با خودروی بنزینی در پیمایش ۱۰۰ کیلومتر**

| | خودروی بنزینی | خودروی برقی |
|---|---|---|
| میزان مصرف برای پیمایش ۱۰۰ کیلومتر | ۱۰ لیتر | ۱۳/۷۸ کیلووات ساعت |
| قیمت فعلی بنزین/برق در ایران به تومان | ۱۵۰۰-۳۰۰۰ تومان به ازای هر لیتر مصرف بنزین | ۱۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت مصرف برق |
| قیمت واقعی بنزین/برق به تومان | ۲۸,۵۰۰ تومان به ازای هر لیتر مصرف بنزین | ۹۹۷۵ تومان به ازای هر کیلووات ساعت مصرف برق |
| هزینهٔ کل در پیمایش ۱۰۰ کیلومتر بر اساس قیمت فعلی (تومان) | ۱۵۰۰۰-۳۰,۰۰۰ | ۱۳۷۸ |
| هزینهٔ کل در پیمایش ۱۰۰ کیلومتر بر اساس قیمت‌واقعی (تومان) | ۲۸۵,۰۰۰ | ۱۳۴,۴۵۵ |

**جدول ۲. چالش‌های مهم خودروهای برقی در جهان**

| چالش | مرجع |
|---|---|
| مدیریت شارژ خودروهای برقی | [۵]، [۱۸]–[۲۱] |
| ظرفیت شبکهٔ برق | [۱۸]، [۲۰]، [۲۲] |
| مسافت کوتاه پیمایش | [۵]، [۲۱] |
| فضای اشغالی زیاد توسط باتری | [۵]، [۲۱] |
| مدت‌زمان طولانی شارژ | [۲۱] |
| هزینهٔ زیاد | [۲۱] |
| زیرساخت‌های ایستگاه شارژ | [۲۱]، [۲۲] |

**جدول ۳. چالش‌های مهم خودروهای برقی در ایران**

| چالش | شرح |
|---|---|
| سوخت فسیلی ارزان | با توجه به قیمت بسیار سطح پایین سوخت‌های فسیلی در کشور و همچنین، قیمت زیاد تأمین انرژی این خودروها، شاید به‌راحتی نتوان آن‌ها را جایگزین خودروهای فعلی کرد |
| اقبال عمومی در پذیرش خودروهای برقی | پذیرش ابزارها و تجهیزات نوین به‌ویژه خودروهای برقی و جایگزینی آن‌ها یک چالش است |
| آلودگی‌های زیست‌محیطی بازیافت باتری‌ها | در درازمدت یک آلایندهٔ جدی طبیعت و به‌خصوص آب و خاک بوده و اهمیت آن کمتر از آلودگی هوا نیست. |
| امنیت خودروی برقی | در صورت عدم کنترل مناسب شاهد انفجارهای مهیبی خواهیم بود که خطر استفاده از این خودروها را افزایش می‌دهد. |
| تکنولوژی تولید و تست باتری | تولید انبوه باتری جهت استفاده در خودروی برقی با توجه به امکانات موجود یک چالش جدی است. |
| زیرساخت‌های شارژ | خودروهای برقی در حال حاضر به علت مداومت انرژی پایین باتری‌های به‌کاررفته در آن‌ها، نیاز به زیرساخت‌های شارژ در فواصل مشخص و کوتاهی دارند. |

## ۵. شرح روش پیشنهادی

در این مقاله از مدل پویاسازی سیستم‌ها [۲۳]، برای بررسی اثر سناریوهای مختلف بر فرایند توسعهٔ EV در ایران به کار گرفته شده است. سوخت فسیلی ارزان در ایران در بخش ۴ به عنوان یک چالش معرفی شد. همچنین، میزان یارانهٔ اختصاصی به آن نیز در بخش ۳ بیان شد و نشان داده شد که یارانهٔ پرداختی سالانه به بنزین، معادل ۶۴ درصد بودجهٔ عمومی دولت است. بنابراین، یکی از سناریوهایی که می‌تواند گسترش خودروی برقی را تحت تأثیر قرار دهد قیمت واقعی سوخت است. یکی دیگر از سناریوها که می‌تواند به صورت غیرمستقیم بر روند گسترش خودروی برقی در ایران اثرگذار باشد، مسائل زیست‌محیطی است که نمی‌تواند به صورت مستقیم صنعت خودروهای برقی را با حمایت مالی ارتقا دهد، اما می‌تواند خودروهای برقی را از منظر زیست‌محیطی تحریک کند. طرح تجارت انتشار کربن[1]، که در «پروتکل کیوتو» ارائه شده است، در کمک به بشر برای ترویج کاهش کربن با ارائهٔ یک مکانیسم به‌صرفه موفق بوده است و به طور کلی، به عنوان یک مکانیسم مهم همکاری بین‌المللی برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی پذیرفته شده است. در مقایسه با خودروهای سوخت سنتی، EV با مزیت انتشار کمتر $CO_2$ و آلاینده‌های هوا، سازگارتر با محیط زیست است. بنابراین، سازندگان خودروهای انرژی جدید می‌توانند با شرکت در ETS سودآوری داشته باشند. بنابراین، ETS به عنوان یک سیاست غیر مستقیم مهم در نظر گرفته می‌شود. ساختار این مدل پویا در نرم‌افزار Vensim شبیه‌سازی شده که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. این نرم‌افزار از طریق نمودارهای علّی و معلولی و نمودار جریان مدل را شبیه‌سازی می‌کند. این نمودار اثر متقابل و روابط متقابل بین متغیرهای اصلی را توصیف می‌کند، و فلش‌ها اثر متقابل بین آن‌ها را نشان می‌دهد. متغیر

1. Emission Trading Scheme

حالت متغیری است که جمع می‌شود و نرخ، مقداری است که اندازهٔ متغیر حالت را تغییر می‌دهد. متغیر کمکی متغیری است که جمع نمی‌شود و حاوی رابطه یا مقدار ثابتی است. یکی دیگر از عناصر ساختاری مدل‌های دینامیکی ،تأخیر زمانی است که در نمودارهای حلقهٔ علّی با علامت یک پیکان با خط مورب نشان داده می‌شود. تأخیر به فرایندی گفته می‌شود که خروجی با تأخیری به دنبال ورودی حاصل می‌شود. این اختلاف بین ورودی و خروجی فرایند در یک انباشت جمع می‌شود. تأخیرها در ایجاد پویایی اهمیت حیاتی دارند. تأخیرها نوسان ایجاد می‌کنند و در ایجاد توازن بین اثرهای کوتاه و بلند مدت سیاست‌ها عامل اصلی محسوب می‌شوند. بیش از هفتاد معادله در این مدل وجود دارد که برای بیان روابط کمی بین پارامترها و متغیرها استفاده می‌شود. این معادله‌ها از مرجع [۲۳] استخراج شده و پارامترها متناسب با شرایط کشور ایران اصلاح شده‌اند. این پارامترها در جدول ۴ توضیح داده شده است. بر این اساس، ۴ سناریو در این مقاله بررسی می‌شود که در جدول ۵ آمده است. در سناریوی اول فرض بر این است که قیمت بنزین در ایران به صورت یک تابع خطی اصلاح شود، قیمت فعلی بنزین در ایران به عنوان مقدار اولیه، معادل ۰/۱ دلار در نظر گرفته شده است. در این سناریو قیمت بنزین طی ۱۰ سال با یک تابع خطی با شیب ۰/۰۹ رشد می‌کند تا بعد از این مدت به مقدار واقعی خودش برسد. در سناریوی دوم شرکت در طرح تجارت کاهش کربن نیز به عنوان یک محرک زیست‌محیطی به سناریوی اول اضافه می‌شود. در سناریوی سوم قیمت واقعی سوخت و بدون پرداخت یارانه در نظرگرفته می‌شود و با فرض اینکه قیمت واقعی بنزین در شرایط فعلی در حوزهٔ خلیج فارس حدود ۰/۸۰ دلار است، این مقدار به عنوان مقدار اولیه در نظر گرفته می‌شود که طی ۱۰ سال با شیب خیلی کند افزایش می‌یابد، شیب این نمودار با بررسی قیمت بنزین در سال‌های گذشته استخراج شده و قیمت واقعی بنزین برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شده است. در سناریوی چهارم هر دو عامل قیمت واقعی سوخت و شرکت در طرح تجارت کاهش کربن لحاظ می‌شود.

مدل پیشنهادی شامل مواردی همچون هزینهٔ کل خودروی الکتریکی، هزینهٔ کل خودروی بنزینی، پارامترهای سرمایه‌گذاری، متغیرهای تحقیق و توسعه و مسائل زیست‌محیطی است. هزینهٔ کل خودروی برقی شامل هزینل خرید خودرو، هزینهٔ نگهداری، هزینهٔ تعویض باتری و هزینهٔ برق مصرفی است. به طور مشابه، هزینهٔ خودروی بنزینی شامل پنج متغیر کلیدی: هزینهٔ کل خودرو، هزینهٔ خرید خودرو، هزینهٔ تعمیر و نگهداری، و هزینهٔ سوخت مصرفی است. همچنین، رابطهٔ بین نوآوری فناوری، هزینهٔ تحقیق و توسعهٔ EV و نقش دولت بر هزینهٔ تولید EV در این مدل نشان داده شده است. بخش سرمایه‌گذاری را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد: ۱) سرمایه‌گذاری EV؛ ۲) سرمایه‌گذاری خودروی سوختی و ۳) سرمایه‌گذاری باتری. علاوه بر این، یک متغیر مهم تمایل به سرمایه‌گذاری[1] برای نشان دادن رفتار سرمایه‌گذاری در رابطهٔ ۱ بیان شده است [۲۳]. تمایل به سرمایه‌گذاری تابعی جزئی از هزینهٔ کل EV[2] و هزینهٔ خودروی بنزینی[3] است. اگر TCE به مراتب کمتر از TCF باشد، خودروسازان بیشتر در صنعت EV سرمایه‌گذاری خواهند کرد.

$$\mathrm{WTI}=\begin{cases}1*COU*COC & TCF>1.2*TCE\\ 0.8*COU*COC & 1.1*TCE<TCF<1.2*TCE\\ 0.5*COU*COC & TCE<TCF<1.1*TCE\\ 0.25*COU*COC & TCF<TCE\end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه COU[4] راحتی استفاده از EV و COC[5] راحتی شارژ است.

## ۶. تحلیل نتایج

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی مورد بحث قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی با نرم‌افزار Vensim انجام شده است. در بخش قبل ۴ سناریو تعریف شد. مقدار کل خودروهای برقی پیش‌بینی‌شده طی دورهٔ ۱۴۰۲-۱۴۱۲ در شکل ۶ نشان داده شده است. در سال ۱۴۱۲، تعداد کل خودروهای برقی به ۴۸۲,۳۳۵، ۵۲۶,۲۳۴، ۱,۰۲۱,۹۴۷ و ۱,۳۳۲,۵۰۶ در سناریوی ۱ تا ۴ خواهد رسید. قابل یادآوری است که تفاوت سناریوهای ۱ و ۳ در قیمت سوخت است. در سناریوی ۱ قیمت سوخت به

1. Willingness To Invest (WTI)
2. Total Cost of EV (TCE)
3. Total Cost of Fuel vehicle (TCF)
4. Convenience Of EV Use
5. Convenience Of Charging

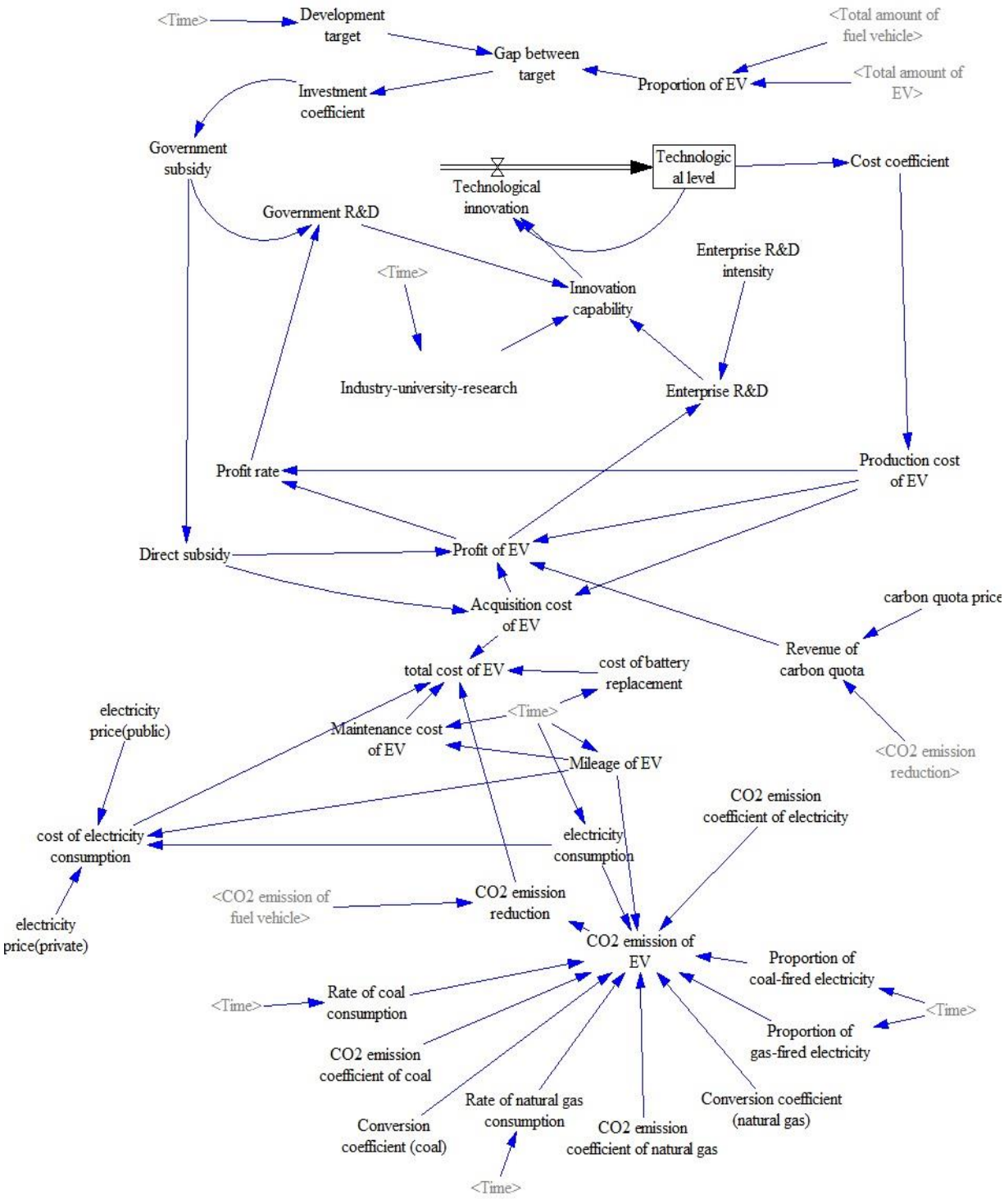
صورت یارانه‌ای است که به مرور زمان یارانه کم می‌شود و قیمت سوخت در سال ۱۴۱۲ واقعی می‌شود. اما در سناریوی ۳ از همان ابتدا قیمت واقعی سوخت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، در سال‌های ابتدایی تعداد خودروها در سناریوی ۳ بیشتر است. بنابراین، پرداخت یارانه به قیمت سوخت از رشد خودروهای برقی جلوگیری می‌کند و در سناریوهای ۲ و ۴ که قیمت واقعی بنزین در نظرگرفته شده، تعداد خودروهای برقی حدود دو برابر سناریوهای ۱ و ۲ است. از نمودار شکل ۶ نکته‌های زیر را می‌توان برداشت کرد:

- با مقایسهٔ سناریوهای ۳ و ۴ می‌توان فهمید که شرکت در ETS در اوایل اثر بیشتری دارد؛ مثلاً در سال ۱۴۰۷ تفاوت سناریوی ۴ با ۳، ۵۲/۵ درصد است، در حالی که این نسبت برای سال ۱۴۱۲ حدود ۲۹ درصد است. بنابراین، شرکت در ETS نمی‌تواند با تحریک سرمایه‌گذاری باعث رشد سریع شود، ولی به عنوان یک محرک پیشران در اوایل اثر بیشتری دارد.
- اگر قیمت‌ها به‌سرعت اصلاح نشود، شرکت در ETS زیاد اثر نخواهد داشت.
- اثر قیمت سوخت از اثر شرکت در ETS بیشتر است، به همین دلیل در سناریوهای ۱ و ۲ در سال‌های ابتدایی که قیمت واقعی نیست، رشد سریع در سال ۱۴۰۸ و بعد از نزدیک شدن قیمت بنزین به قیمت واقعی اتفاق می‌افتد.
- با توجه به اینکه در سناریوی ۱ قیمت بنزین به مرور واقعی می‌شود، شیب نمودار رشد خودروهای برقی در این سناریو به مرور افزایش می‌یابد و شیب آن در سال ۱۴۱۲ که قیمت به صورت کامل واقعی شده است با شیب نمودار سناریوی ۳ برابر می‌شود.

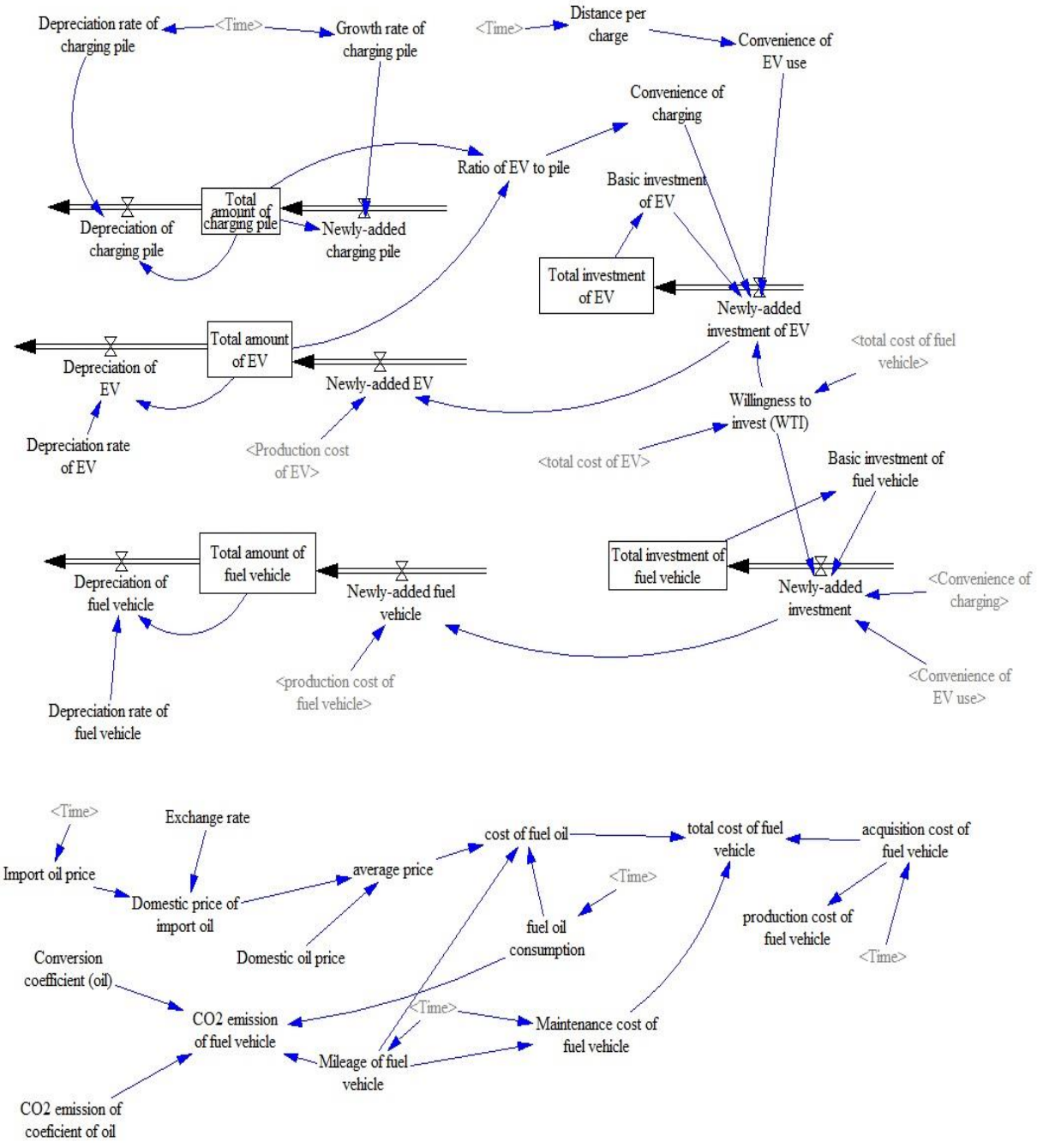
به عنوان پیشنهاد می‌توان موارد جدول ۶ را برای توسعهٔ سریع‌تر خودروی برقی در ایران ارائه داد. پیشنهادها از نتایج سناریوها استخراج شده‌اند. در ستون اول پیشنهادها و در ستون دوم سناریویی که دلیل ارائهٔ آن پیشنهاد بوده بیان شده است.

## ۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله چالش‌های توسعهٔ خودروی برقی در کشور ایران بررسی شد و با توجه به این چالش‌ها ۴ سناریو تعریف شد و اثر هر یک بر توسعهٔ خودروی برقی در ایران بیان شد و نشان داده شد که حذف یارانهٔ بنزین باعث رشد خودروهای برقی خواهد شد. درواقع، قیمت سوخت بیشترین اثر را در توسعهٔ خودروهای برقی دارد. در سناریویی که قیمت واقعی سوخت در نظر گرفته می‌شود، تعداد خودروها بعد از ۱۰ سال بیشتر از ۲ برابر سناریویی است که قیمت سوخت به مرور زمان اصلاح شده و به قیمت واقعی نزدیک می‌شود. همچنین، واقعی کردن قیمت سوخت باعث صرفه‌جویی فراوان در هزینه‌های دولت می‌شود. علاوه بر این، اثر مسائل زیست‌محیطی نیز به عنوان یکی از سناریوهای مهم در این مقاله بررسی شد که به صورت غیرمستقیم می‌تواند گسترش خودروهای الکتریکی در ایران را تحریک کند و باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های مرتبط با آلودگی هوا شود. مقایسهٔ سناریوها نشان می‌دهد بیشترین اثر در توسعهٔ خودروی برقی را واقعی کردن قیمت سوخت خودروهای سوختی دارد و تعداد خودروها در این سناریو حدود ۲ برابر بیشتر از سناریوی مربوط به مسائل زیست‌محیطی است. شرکت در طرح تجارت کربن در سال‌های ابتدایی باعث رشد سریع خودروها می‌شود، بنابراین به عنوان یک محرک پیشران می‌تواند نقش مهمی در توسعهٔ خودروهای برقی داشته باشد.




**شکل ۴. مدل پیشنهادی برای بررسی سناریوهای توسعهٔ خودروی برقی در ایران در نرم‌افزار Vensim (بخش اول)**

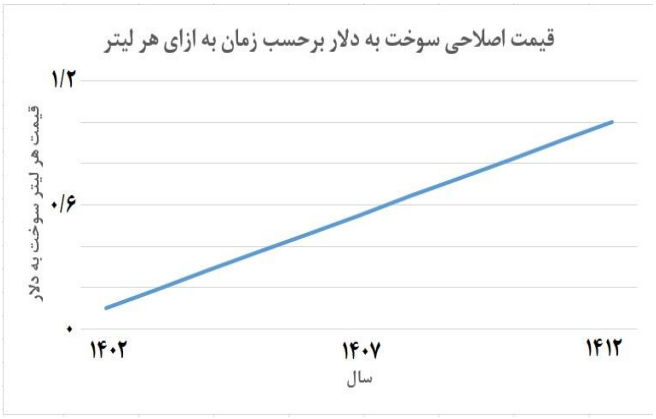
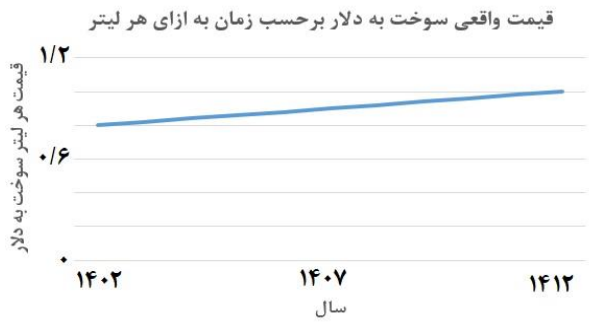



**شکل ۵. مدل پیشنهادی برای بررسی سناریوهای توسعهٔ خودروی برقی در ایران در نرم‌افزار Vensim (بخش دوم)**

**جدول ۴. متغیرهای مدل پیشنهادی در نرم‌افزار Vensim**

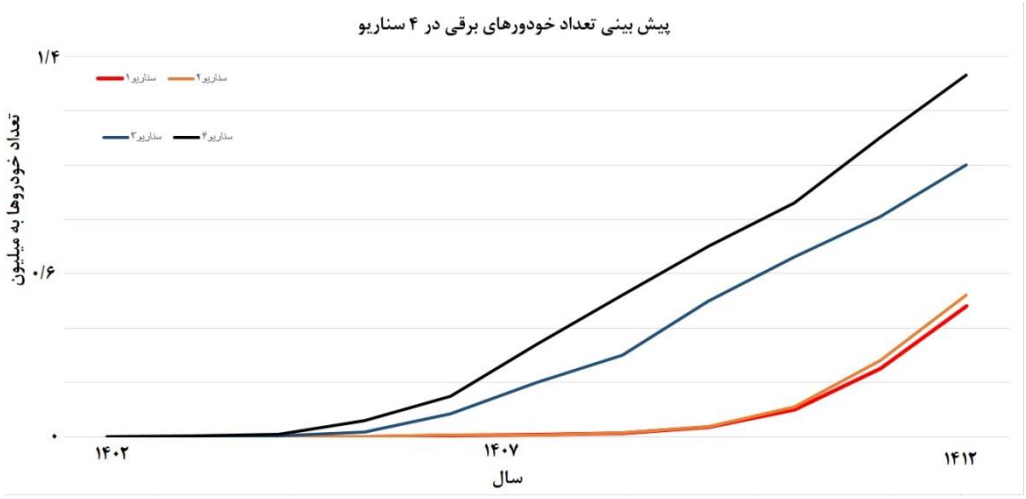
| نام متغیر | توضیحات |
|---|---|
| Development target | هدف توسعه |
| Enterprise R&D intensity | شدت تحقیق و توسعهٔ سازمانی |
| Total subsidy | کل یارانه |
| Industry-university-research cooperation | همکاری صنعت، دانشگاه و پژوهش |
| CO2 emission coefficient of coal | ضریب انتشار CO2 زغال سنگ |
| CO2 emission coefficient of natural gas | ضریب انتشار CO2 گاز طبیعی |
| Rate of coal consumption | نرخ مصرف زغال سنگ |
| Rate of natural gas consumption | نرخ مصرف گاز طبیعی |
| Conversion coefficient (coal) | ضریب تبدیل (زغال سنگ) |
| Conversion coefficient (natural gas) | ضریب تبدیل (گاز طبیعی) |
| Proportion of gas-fired electricity | نسبت برق گازسوز |
| Proportion of coal-fired electricity | نسبت برق زغال سنگ |
| Carbon quota price | قیمت سهمیهٔ کربن |
| Exchange rate | قیمت ارز |
| Imported oil price | قیمت سوخت وارداتی |
| Fuel oil consumption | مصرف سوخت |
| Domestic oil price | قیمت سوخت داخلی |
| Electricity price (private) | قیمت برق (خصوصی) |
| Electricity price (public) | قیمت برق (عمومی) |
| Electricity consumption | مصرف برق |
| Mileage of EV | مسافت پیموده‌شده EV |
| Mileage of fuel vehicle | مسافت پیموده‌شدهٔ خودروی سوختی |
| Distance per charge | فاصله در هر شارژ |
| Total amount of charging pile | مقدار شارژ کل باتری |
| Depreciation rate of charging pile | نرخ استهلاک باتری |
| Depreciation rate of EV | نرخ استهلاک EV |
| Depreciation rate of fuel vehicle | نرخ استهلاک خودروهای سوختی |
| Growth rate of charging pile | نرخ رشد باتری شارژی |
| Ratio of EV to pile | نسبت EV به باتری |
| Convenience of charging | راحتی شارژ |
| Convenience of EV use | راحتی استفاده از EV |
| Depreciation rate of charging pile | نرخ استهلاک باتری |
| average price | قیمت متوسط |
| Total amount of fuel vehicle | تعداد کل خودروهای بنزینی |
| Total amount of EV | تعداد کل خودروهای برقی |
| Total investment of fuel vehicle | سرمایه‌گذاری کل در خودروهای بنزینی |
| Total investment of EV | سرمایه‌گذاری کل در خودروهای برقی |
| Production cost of EV | هزینهٔ تولید خودروهای برقی |
| Production cost of fuel vehicle | هزینهٔ تولید خودروهای بنزینی |
| Investment coefficient | ضریب سرمایه‌گذاری |
| Government subsidy | یارانه دولتی |
| cost of battery replacement | هزینهٔ جایگزینی باتری |
| Cost coefficient | ضریب هزینه |

**جدول ۵. سناریوهای توسعهٔ خودروی برقی در ایران**

| پارامترها | carbon quota price=0 | carbon quota price= (Time-1401) ^0.3 |
|---|---|---|
| fuel oil consumption=0.09*Time-126.08<br>مقدار اولیه = ۰/۱ دلار<br>  <br><br>**قیمت اصلاحی سوخت** | سناریوی ۱ | سناریوی ۲ |
| fuel oil consumption=0.02*Time-27.24<br>مقدار اولیه = ۰/۸ دلار<br>  <br><br>**قیمت واقعی سوخت** | سناریوی ۳ | سناریوی ۴ |

**جدول ۶. لیست پیشنهادهای حاصل از سناریوها، برای توسعهٔ سریع‌ترخودروی برقی در ایران**

| پیشنهاد | سناریو |
|---|---|
| به منظور اثرگذاری بهتر، یارانهٔ دولتی به مصرف‌کنندهٔ نهایی پرداخت شود. | ۱و۳ |
| شرکت در ETS به عنوان یک محرک اولیه در کوتاه‌مدت می‌تواند مفید باشد. | ۲و۴ |
| شیب اصلاح قیمت سوخت در ایران برای گسترش سریع‌تر خودروهای برقی باید غیرنرم باشد. | ۱و۳ |
| عدم نیاز پرداخت مستقیم یارانه به تولیدکننده | ۱و۳ |




**شکل ۶. سناریوهای گسترش خودروهای برقی در ایران**

## منابع


[1].B. Al-Hanahi, I. Ahmad, D. Habibi, and M. A. S. Masoum, "Charging infrastructure for commercial electric vehicles: Challenges and future works," IEEE Access, vol. 9, pp. 121476–121492, 2021.

[2].Air Pollution Monitoring System, 2020. https://aqms.doe.ir/

[3]." Global EV Outlook 2022," 2022. [Online]. Available: http://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022

[4].A. S. Al-Ogaili et al., "Review on scheduling, clustering, and forecasting strategies for controlling electric vehicle charging: Challenges and recommendations," Ieee Access, vol. 7, pp. 128353–128371, 2019.

[5].M. R. R. Razu et al., "Wireless Charging of Electric Vehicle While Driving," IEEE Access, vol. 9, pp. 157973–157983, 2021.

[6].S. A. Q. Mohammed and J.-W. Jung, "A comprehensive state-of-the-art review of wired/wireless charging technologies for battery electric vehicles: Classification/common topologies/future research issues," IEEE Access, vol. 9, pp. 19572–19585, 2021.

[7].M. Gandomzadeh, S. Younesi, Mahmoudian, A. Mosayyebi, and M. Zandi, "Development scenarios for electrical energy storage in Iran with Cross-Impact Balance method," Sustain. Energy Syst., vol. 1, no. 4, 2022, doi: 10.22059/SES.2023.356379.1030.

[8].E. Shobeiri, H. Shen, F. Genco, and A. Tokuhiro, "Investigating long-term commitments to replace electricity generation with SMRs and estimates of climate change impact costs using a modified VENSIM dynamic integrated climate economy (DICE) model," Energies, vol. 15, no. 10, p. 3613, 2022.

[9].K. Shahgholian and H. Hajihosseini, "A dynamic model of air pollution, health, and population growth using system dynamics: A study on Tehran-Iran (with computer simulation by the software Vensim)," Int. J. Comput. Syst. Eng., vol. 3, no. 11, pp. 372–379, 2009.

[10]. E. Kasperska, E. Mateja-Losa, and R. others Marjasz, "Sensitivity analysis and optimization for selected supply chain management issues in the company--using system dynamics and Vensim," Syst. Theor. Pract., pp. 29–44, 2013.

[11]. A. Ebrahimi, M. H. Ehrampoush, H. Hashemi, and M. Dehvari, "Predicting municipal solid waste generation through time series method (ARMA technique) and system dynamics modeling (Vensim Software)," Iran. J. Heal. Environ., vol. 9, no. 1, pp. 57–68, 2016.

[12]. H. P. Koushali, R. Moshtagh, and R. Mastoori, "Water resources modelling using system dynamic in Vensim," J. Water Resour. Hydraul. Eng., vol. 4, no. 3, pp. 251–256, 2015.

[13]. L. S. K. Abadi, A. Shamsai, and H. Goharnejad, "An analysis of the sustainability of basin water resources using Vensim model," KSCE J. Civ. Eng., vol. 19, pp. 1941–1949, 2015.

[14]. " air pollution damage," Tasnim News Agency, 2021. https://tn.ai/2727171

[15]. " Average gasoline consumption," Tasnim News Agency, 2022. https://tn.ai/2827054

[16]. "Iranian gasoline subsidy," 2022. https://bama.ir/news/9165/gasoline-price-in-iran

[17]. M. Bashiri et al., “Strategic document and road map for the development of electric vehicle infrastructure technology,” 2015.

[18]. C. Zhang, Q. Huang, J. Tian, L. Chen, Y. Cao, and R. Zhang, “Smart grid facing the new challenge: The management of electric vehicle charging loads,” Energy Procedia, vol. 12, pp. 98–103, 2011.

[19]. G. Fan, Z. Yang, H. Jin, X. Gan, and X. Wang, “Enabling optimal control under demand elasticity for electric vehicle charging systems,” IEEE Trans. Mob. Comput., vol. 21, no. 3, pp. 955–970, 2020.

[20]. B. K. Sovacool, J. Kester, L. Noel, and G. Z. de Rubens, “Actors, business models, and innovation activity systems for vehicle-to-grid (V2G) technology: A comprehensive review,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 131, p. 109963, 2020.

[21]. P. K. Preetha, P. Poornachandran, and others, “Electric vehicle scenario in India: roadmap, challenges and opportunities,” in 2019 IEEE international conference on electrical, computer and communication technologies (ICECCT), 2019, pp. 1–7.

[22]. S. Mishra et al., “A comprehensive review on developments in electric vehicle charging station infrastructure and present scenario of India,” Sustainability, vol. 13, no. 4, p. 2396, 2021.

[23]. D. Liu and B. Xiao, “Exploring the development of electric vehicles under policy incentives: A scenario-based system dynamics model,” Energy Policy, vol. 120, pp. 8–23, 2018.