Journal of Green Management, Vol.2, No.4, March 2023, pp 105- 132 ISSN:2821-0050

Green and sustainable management solutions for natural gas fuel consumption in public transportation (Case Study: Tehran Bus Company)

Seyed Jamalaldin Razavinasab[1], Mahdi Fadaei Ashkiki[2*], Mahdi Homayounfar[3], Maryam Ooshaksaraie[4]

Received date: 2022/11/11 Acceptance date: 2022/12/13

Abstract

The declining trend of natural gas consumption in the fuel of Tehran's urban gas-powered bus fleet in the last few years, despite the government's large investment in substituting natural gas for diesel fuel in city buses in order to reduce air pollution, especially in large cities, along with the resulting economic savings, has entered into a crisis, putting green transportation in jeopardy. The purpose of this research is to investigate the background and identify the factors contributing to such conditions and provide operational solutions. This study is descriptive and mixed, based on qualitative and quantitative data. In terms of the goal, it is practical and in terms of data collection, it is a survey study. The statistical community of experts consisted of university professors, managers and senior experts with more than 10 years of experience, holding masters degree and above, who were selected as sample members using the purposeful sampling method, based on the principle of theoretical adequacy. The data collection instruments in in the qualitative and quantitative parts of the study included Delphi interview method and system dynamics approach, respectively. Finally, the allocation of a part of the profit made from the subsidy difference of replacing diesel with natural gas in the form of proposed scenarios for purchasing new buses, supplying equipment, and supporting services related to gas-powered buses and CNG fueling stations are presented as the best sustainable solutions for the consumption of natural gas in the fuel used for the city bus fleet.

Keywords: gas-powered buses, green management, system dynamics, natural gas

1 . PhD student in Industrial Management in Production and Operations, Department of Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. Email: j.razavi2000@gmail.com
2 . Assistant Professor, Department of Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.(Corresponding Author) Email: fadaei@iaurasht.ac.ir
3 . Assistant Professor, Department of Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. Email: omayounfar@iaurasht.ac.ir
4 . Assistant Professor, Department of Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. Email:ooshaksaraie@iaurasht.ac.ir

راهکارهای مدیریت سبز و پایدار مصرف سوخت گاز طبیعی در حمل و نقل عمومی مورد مطالعه: شرکت واحد اتوبوس‌رانی شهر تهران

سید جمال‌الدین رضوی‌نسب[۱]، مهدی فدایی اشکیکی[۲*]، مهدی همایون‌فر[۳]، مریم اوشک سرایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

چکیده

روند کاهشی مصرف گاز طبیعی در سوخت ناوگان اتوبوس‌های گازسوز شهری تهران در چند سال اخیر، علی‌رغم سرمایه‌گذاری کلان دولت برای جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل در سوخت اتوبوس‌های شهری در جهت کاهش آلودگی هوا به‌ویژه شهرهای بزرگ و صرفه اقتصادی حاصل از آن وارد بحران شده و حرکت به‌سوی حمل‌ونقل سبز را به مخاطره انداخته است. هدف از این پژوهش بررسی پیشینه و شناسایی عوامل مؤثر بر ایجاد این شرایط و ارائه راهکارهای عملیاتی است. نوع پژوهش توصیفی آمیخته، بر مبنای پژوهش کیفی و کمّی، ازنظر هدف کاربردی و از حیث گردآوری اطلاعات در گروه پژوهش‌های پیمایشی است. جامعه آماری خبرگان، متشکل از اساتید دانشگاه، مدیران و کارشناسان ارشد متخصص باتجربه بالای ۱۰ سال و تحصیلات فوق‌لیسانس و بالاتر بودند که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند و بر اساس اصل کفایت نظری به‌عنوان اعضای نمونه انتخاب شدند. ابزار گردآوری اطلاعات در بخش کیفی مصاحبه به روش دلفی و در بخش کمّی از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی است. درنهایت تخصیص بخشی از سود حاصل از اختلاف یارانه جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل در قالب سناریوهای پیشنهادی برای خرید اتوبوس‌های جدید، تأمین تجهیزات و پشتیبانی خدمات مربوط به اتوبوس‌های گازسوز و ایستگاه‌های سوخت‌رسانی CNG به‌عنوان بهترین راهکارهای پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت ناوگان اتوبوس‌های شهری ارائه‌شده است.

کلمات کلیدی: اتوبوس‌های گازسوز، مدیریت سبز، پویایی سیستم، گاز طبیعی

۱. دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت صنعتی تولید و عملیات، گروه مدیریت، واحدرشت دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران Email: j.razavi2000@gmail.com
۲. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، ایران.(نویسنده مسئول)Email: fadaei@iaurasht.ac.ir
۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، ایران. Email: homayounfar@iaurasht.ac.ir
۴. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، ایران. Email: ooshaksaraie@iaurasht.ac.ir

مقدمه

دستگاه‌های حمل‌ونقل طیف وسیعی از اثرات پایداری منفی دارند (بانیستر و باتون[1]، ۲۰۱۵)، ازجمله گرم‌شدن کره زمین (سیمز[2] و همکاران، ۲۰۱۴) انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا، آب و زمین که باعث مشکلات بهداشتی، سلامتی و سایر اثرات می‌شود (آنتبرگ[3] و همکاران، ۲۰۱۹ و زیا[4] و همکاران، ۲۰۱۵). برای مقابله با چنین چالش‌هایی، سازمان‌ها از انواع مختلف اقداماتی را برای تغییر سیستم حمل‌ونقل در جهتی پایدار انجام می‌دهند. سیاست مدیریت سبز درواقع راه‌حلی فوری و آشکار برای کاهش مشکلات سیستم حمل‌ونقل است. سیاستمداران همواره به فکر بهبود راهکارهای استفاده از سوختی ارزان، ایمن، قابل‌دسترس و پایدار برای سیستم‌های حمل‌ونقل هستند. عوامل اقتصادی مهم‌ترین مؤلفه در میان سایر عوامل پایدار محسوب شده و محققان کمتر در مورد جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی مسئله مطالعه می‌کنند (دیوندر[5] و همکاران، ۲۰۲۰)، بحران انرژی و پیامدهای زیست‌محیطی آن یک نگرانی جهانی است (پن و همکاران[6]، ۲۰۲۰)، همچنین انتشار آلاینده‌های هوا مربوط به حوزه حمل‌ونقل، به‌عنوان یکی از دغدغه‌های مصرف انرژی در مناطق شهری در نظر گرفته‌شده است (پوراحمدیان[7] و همکاران، ۲۰۲۱) ایران به‌عنوان دومین دارنده ذخایر گاز طبیعی در جهان (بی پی[8]، ۲۰۲۱)، وجود ذخایر گاز طبیعی در شمال، شمال شرق و جنوب که توسط خطوط لوله در سراسر ایران منتقل‌شده امنیت، صرفه اقتصادی و دردسترس‌بودن این نوع سوخت را تضمین نموده (رضوی نسب، ۱۳۹۴) و گاز طبیعی به‌عنوان بهترین سوخت جایگزین بنزین و گازوئیل در جهت حرکت به‌سوی حمل‌ونقل سبز در ایران محسوب می‌شود. عواملی نظیر؛ تمایل به استفاده از سوخت گاز طبیعی فشرده[9](CNG) به‌جای بنزین، توسعه پایدار CNG، تدوین سند چشم‌انداز CNG، حمایت از کالای ایرانی، اقتصاد مقاومتی تولید و اشتغال، تسهیلات خرید خودرو جدید دوگانه‌سوز، دسترسی به سوخت CNG، افزایش نسبت قیمت سوخت بنزین به CNG، فرهنگ استفاده از گاز به‌جای بنزین در سوخت خودروها، باعث تقویت و بهبود استفاده از سوخت CNG و در سطح بالاتر موجب رسیدن به اهداف کلان‌تر یعنی خودکفایی در تأمین سوخت‌ها در ایران می‌شود (امین طهماسبی و رضوی نسب، ۱۳۹۸).

1 .Banister & Button
2 .Sims
3 .Anenberg
4 .Xia
5 .Dündar
6 .Pan
7 .Pourahmadiyan
8 .BP
9 .Compressed Natural Gas (CNG)

شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران با داشتن بیشترین تعداد اتوبوس نسبت به سایر شهرهای ایران وظیفه ارائه خدمات حمل‌ونقل مسافر در سطح شهر را بر عهده داشته و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگرچه دولت تا سال ۱۳۹۰ زیرساخت‌های لازم را برای استفاده از سوخت گاز طبیعی در ناوگان اتوبوس‌های گازسوز شهری مانند احداث ایستگاه‌های CNG اختصاصی و تبدیل و تولید خودروهای گازسوز ایجاد کرده است، اما به دلیل بی‌توجهی به این بخش از سیستم حمل‌ونقل از سال ۱۳۹۰ به بعد در زمینه خرید اتوبوس‌های گازسوز و احداث ایستگاه‌های CNG ویژه اتوبوس‌ها اقدام خاصی صورت نگرفته است. نمودار ۱ تعداد اسمی اتوبوس‌های گازسوز در تهران که از سالنامه آماری شهرداری تهران استخراج‌شده از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد (رضوی نسب، ۱۴۰۱). البته استفاده واقعی از این اتوبوس‌ها در خطوط شهری به دلیل فرسودگی و نگهداری ضعیف کمتر از تعداد اسمی است.

نمودار ۱: روند تعداد اتوبوس‌های گازسوز

روند کاهشی تعداد اتوبوس‌های گازسوز در سیستم حمل‌ونقل شهری تهران، نیاز به سوخت CNG را کاهش داده و براین‌اساس مطابق نمودار ۲ وضعیت تعداد ایستگاه‌های CNG اختصاصی فعال شرکت واحد اتوبوس‌رانی از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ روند نزولی داشته است (رضوی نسب، ۱۴۰۱).

نمودار ۲: وضعیت ایستگاه‌های CNG فعال ویژه اتوبوس‌ها

عدم خرید اتوبوس‌های گازسوز از سال ۱۳۹۰، نگهداشت و تعمیرات نامناسب، عدم تأمین قطعات و لوازم‌یدکی، هزینه بالای تعویض مخازن CNG، به‌مرور ناوگان اتوبوس‌های گازسوز شهری را فرسوده نموده و تعداد ایستگاه‌های CNG اختصاصی فعال نیز کاهش‌یافته است. این وضعیت در مصرف سوخت CNG به‌شدت تأثیر گذاشته به‌طوری‌که گزارش شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران در نمودار ۳ مشخص می‌نماید، طی پنج سال گذشته مصرف سالانه گاز طبیعی روند نزولی پیدا نموده (رضوی نسب، ۱۴۰۱) و منجر به بحران در سیستم مصرف سوخت این ناوگان حمل‌ونقل عمومی شده است.

نمودار ۳: روند مصرف گاز طبیعی در سوخت اتوبوس‌های گازسوز

علی‌رغم سرمایه‌گذاری کلان دولت برای جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل در سوخت اتوبوس‌های شهری از سال ۱۳۸۰ و مجهز نمودن بیش از ۴۷٪ اتوبوس‌های شهری به سیستم گازسوز با احداث ۱۰ ایستگاه اختصاصی مستقر در داخل پارکینگ‌های اتوبوس‌های شهر تهران، به نظر می‌رسد مدیریت نامناسب حوزه ناوگان حمل‌ونقل شهری به‌ویژه در شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران موجب فرسودگی زودرس اتوبوس‌های گازسوز و ایستگاه‌های سوخت‌رسانی CNG شده که تبعات آن کاهش استفاده از اتوبوس‌های گازسوز، از مدار خارج‌شدن ایستگاه‌های سوخت‌رسانی CNG و درنهایت کاهش شدید مصرف گاز طبیعی (جایگزین گازوئیل) را به دنبال داشته و حرکت به‌سوی حمل‌ونقل سبز را دچار بحران نموده است.

پیشینه تحقیق و ادبیات

دردسترس‌بودن سوخت جایگزین برای وسایل نقلیه یکی از عوامل مؤثر برای دستیابی به توسعه پایدار است (دیر[1] و همکاران، ۲۰۱۹) در انگلستان، قیمت خرید وسیله نقلیه گازسوز[2] (NGV) یا هزینه تبدیل خودرو به سیستم گازسوز مهم‌ترین عامل در پذیرش مصرف‌کننده است که از سایر عوامل مانند عملکرد خودرو اهمیت بیشتری دارد (کافیلد[3] و همکاران، ۲۰۱۰). در آلمان، مالکان خودرو هرزمان که مجبور نباشند هزینه‌های اضافی برای تعویض خودرو یا خرید خودروهای جدید پرداخت نمایند از خودرو با سوخت جایگزین[4] (AFV) استفاده می‌کنند (لینزنیچ[5] و همکاران، ۲۰۱۹) در چین مزایای مالی ازجمله صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت گاز طبیعی، تمایل مالکان خودرو را برای پرداخت هزینه تبدیل خودروها به گازسوز افزایش داده است (ژانگ[6] و همکاران، ۲۰۱۹) در مالزی، کاربران خودروهای گازسوز به طور فزاینده‌ای به دنبال استفاده از گاز طبیعی برای صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت بودند. زمانی که قیمت سوخت‌های فسیلی بیشتر از گاز طبیعی افزایش می‌یابد، تفاوت قیمت افزایش می‌یابد و پذیرش خودرو با سوخت جایگزین را تحریک می‌کند (ته و خو[7]، ۲۰۲۰) در ایالات متحده، افزایش قیمت سوخت فسیلی رابطه مستقیم با افزایش سهم بازار خودرو با سوخت جایگزین دارد (دیامند[8]، ۲۰۰۹) در ایران رفاه عمومی و اشتغال‌زایی مهم‌ترین معیارها و راهکار قیمت‌گذاری متناسب سوخت گاز در مقابل بنزین، بهترین گزینه برای تقویت صنعت CNG در بخش حمل‌ونقل می‌باشند (امین طهماسبی و رضوی نسب، ۱۳۹۸).

شاه[9] و همکاران (۲۰۱۷) در یک تحقیق، استفاده از CNG با متان بالا به‌عنوان جایگزینی برای سوخت خودروها را برای حل مشکل آلودگی هوا و در پژوهش دیگر (۲۰۲۱) موانع و چالش‌های مرتبط با اجرای حمل‌ونقل سبز را شناسایی و فناوری‌های نوآورانه را با رویکردهای مدیریتی برای سبز کردن سیستم حمل‌ونقل عمومی پیشنهاد داده‌اند. حسینی و همکاران (۲۰۱۸) کمبود ایستگاه‌های سوخت‌رسانی، نبود مشوق‌های مالیاتی، هزینه نسبتاً بالای قطعات یدکی سوخت‌های گازی و توسعه موتورهای سوخت گازی را موانعی برای بهبود بازار خودروهای گازسوز می‌دانند. وانگ[10] و همکاران (۲۰۱۵) کمبود عرضه گاز طبیعی و قیمت نسبتاً گران آن را به‌عنوان یکی از موانع اساسی برای بهبود خودروهای گازسوز در مقایسه با بنزین در چین در نظر گرفته‌اند. خان[11] (۲۰۱۷) نقشه راه را در چرخه فناوری

1 .Dyr
2 .Natural Gas Vehicle (NGV)
3 .Caulfield
4 .Alternative Fuel Vehicles (AFVs)
5 .Linzenich
6 .Zhang
7 .Teoh & Khoo
8 .Diamond
9 .Shah
10 .Wang
11 .Khan

CNGمطالعه و راهکارهای مفیدی برای وسیله نقلیه گازسوز کشورهای توسعه‌یافته ارائه نموده است. ماتیوشیوس[1] و همکاران (۲۰۲۲) غلظت ذرات تولیدشده توسط اتوبوس‌های گازسوز حمل‌ونقل عمومی را بررسی نمودند. یوان[2] و همکاران (۲۰۱۸) تحقیقاتی در خصوص جایگزینی CNG با سوخت‌های فسیلی و توسعه وسیله نقلیه گازسوز نموده که نتیجه آن موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای[3] (GR) و مزایای زیست‌محیطی در چین شد. رومیجکو و ناکانو[4] (۲۰۱۷) به این نتیجه رسیدند که دولت باید CNG قابل‌اعتماد عرضه کند و به‌طورکلی به تولیدکنندگان خودروهای سوخت گازی کمک نماید تا سرمایه‌گذاران را جذب کنند. کالیکوف[5] (۲۰۲۱) وضعیت و چشم‌انداز توسعه حمل‌ونقل جاده‌ای در منطقه اورال روسیه را در رابطه با مزایای گاز طبیعی از منظر سوخت موتور در زمینه مؤلفه اقتصادی توسعه منطقه‌ای ارزیابی نموده‌اند. نتیجه حاصل اینکه تشکیل و توسعه بازار سوخت موتورهای گازسوز احداث ایستگاه‌های CNG جدید بیشتر که موجب بالا رفتن جذابیت استفاده از سوخت گاز طبیعی می‌گردد. الداود[6] (۲۰۲۲) چالش‌های CNG را بررسی می‌کند و انتشار گازهای گلخانه‌ای، دیزل و بنزین را برای امارات متحده عربی بررسی نموده است. در این پژوهش از مدل گازهای گلخانه‌ای، انتشارات تنظیم‌شده و مصرف انرژی در حمل‌ونقل ۲۰۲۰ برای شبیه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای از فناوری‌های مختلف خودرو و سوخت استفاده شد.

استاد جعفری و حبیبیان (۱۳۹۳) جهت بررسی اثر سیاست‌های ترکیبی بر وضعیت حمل‌ونقل و بررسی روند اثرات متقابل متغیرهای مختلف در طول زمان، از مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل در کلان‌شهر مشهد استفاده نموده است. زارعیان و شکوری گنجوی (۱۳۹۵) اثر مصرف CNG در بخش حمل‌ونقل را با روش پویایی سیستم مدل‌سازی نموده و بازخوردی که برای مصرف CNG در نظر گرفته، اثر مدت‌زمان انتظار در صف برای دریافت فرآورده CNG است. امین‌طهماسبی و رضوی‌نسب، (۱۳۹۸) با استفاده از پویایی سیستم به تحلیل عوامل مؤثر بر توسعه استفاده از CNG به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران پرداختند و یک برنامه بلندمدت برای سبد سوخت، قیمت مناسب برای سوخت‌های مختلف، نسبت رو به رشد خودروهای دوگانه‌سوز با ایستگاه‌های CNGارائه دادند. اشنگوما و گابریل[7] (۲۰۲۱) مدلی را برای بررسی رابطه بین عوامل اقتصادی و تمایل مالکان خودرو به پرداخت برای خرید کامل وسایل نقلیه نفتی[8](OFVs) به

1 .Matijošius
2 .Yuan
3 .GHG Reduction (GR)
4 .Romejko & Nakano
5 .Kulikova
6 .Aldawoud
7 .Ishengoma & Gabriel
8 .Oil-Fuelled Vehicles (OFVs)

خودروهای گاز طبیعی و آگاهی از مزایای استفاده از وسیله نقلیه گازسوز و آگاهی از مزایای استفاده از وسیله نقلیه گازسوز با رویکرد پویایی سیستم ارائه کردند. رضوی‌نسب و همکاران (۱۴۰۱) راهکارهایی برای مدیریت پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت ناوگان تاکسی‌های شهری تهران با رویکرد پویایی سیستم ارائه نمودند.

استاتیسس[1] (۲۰۰۲) پژوهشی در خصوص تبدیل اتوبوس‌های دیزلی به CNG در سال ۱۹۹۳ توسط کمیسیون اقتصادی و اجتماعی آسیا و اقیانوسیه[2] (ESCAP) در کشورهای منطقه ازجمله پاکستان، بنگلادش، چین، هند، ایران، برونئی و دارسسلام انجام‌شده است. روحانی (۱۳۸۲)، میرفتاح (۱۳۸۴) و منظور (۱۳۸۸) طرح گازسوز نمودن اتوبوس‌های شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران را از جنبه مالی و اقتصادی بررسی نموده است. اوه[3] (۲۰۱۰) ترویج سوخت‌های جایگزین وسیله نقلیه[4] (AVFs) و وسایل نقلیه سوخت جایگزین را در ناوگان اتوبوس‌های شهری با مؤلفه‌های چرخه زندگی[5] (LC)، صرفه‌جویی در انرژی[6] (ES) و کاهش گازهای گلخانه‌ای را برای تصمیمات و سیاست‌گذاری راهکارهای کوتاه و بلندمدت دولت چین را بررسی نموده است. دیر و همکاران (۲۰۱۹) هزینه‌ها و مزایای مربوط به خرید و استفاده از اتوبوس‌های CNG برای حمل‌ونقل عمومی را بررسی نموده و نتایج ارزیابی اثربخشی مالی و اقتصادی آن‌ها را ارائه کرده است. شمساپور (۲۰۲۱) چندین سناریو برای جایگزینی سوخت CNG به‌جای گازوئیل در ناوگان اتوبوس‌ها با رویکرد سیستم دینامیک اجرا نمودند. نتایج نشان داد که جایگزینی سوخت CNG با سوخت‌های با آلایندگی بالا می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در کاهش انتشار CO_2 داشته باشد. گمبهیر و برمن[7] (۲۰۲۱) مطالعه و بینش عمیق در خصوص توسعه موتور CNG توربوشارژ تزریق بندری برای کامیون‌ها و اتوبوس‌ها انجام داده است. رضوی‌نسب و همکاران (۱۴۰۱) مدلی پویا برای توسعه بهینه و پایدار استفاده از اتوبوس‌های شهری گازسوز بر اساس تعداد و اتوبوس‌ها بررسی نموده‌اند و پژوهش حاضر در راستای مدیریت سبز، راهکارهای عملیاتی و تحقق پایدار مصرف سوخت گاز طبیعی در این ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهری را ارائه نموده است.

پژوهش‌های داخلی و خارجی اغلب با اهداف امنیت و اقتصاد انرژی با رویکرد محیط زیستی صورت گرفته است. درمجموع عوامل تأثیرگذار برای جایگزین گاز طبیعی به‌جای سوخت‌های مرسوم بنزین و گازوئیل عموماً شامل؛ قیمت سوخت‌ها / تسهیلات برای خرید

1 .Statistics
2 .United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)
3 .Ou
4 .Alternative Vehicle Fuels (AVFs)
5 .Life Cycle (LC)
6 .Energy Savings (ES)
7 .Gambhir & Barman

خودرو گازسوز / تسهیلات برای احداث جایگاه سوخت CNG / دسترسی به سوخت / قیمت خودروهای گازسوز / قیمت تبدیل خودروهای دیزلی به گازسوز / تعداد، ظرفیت و پراکندگی جایگاه CNG / طراحی ظاهری خودرو/ کیفیت فنی قدرت موتور / فکتورهای تقویت شتاب، قدرت و توان موتور / پیمایش بیشتر با هر بار سوخت‌گیری / میزان کاهش مصرف سوخت CNG / استهلاک / پشتیبانی و خدمات پس از فروش / دسترسی و تأمین قطعات خودرو گازسوز / قیمت قطعات سیستم گازسوز / هزینه بازرسی و معاینه فنی / هزینه تعویض مخزن فرسوده شناسایی شده‌اند. این تحقیق سعی نموده با اتکا به نظر خبرگان از روش دلفی فازی عوامل تأثیرگذار برای هدف مقاله را شناسایی و با رویکرد پویایی سیستم و فرایند پولیا[1] مدلی ایجاد و شبیه‌سازی نماید و تأثیر سناریوهای مختلف بر مدل را بررسی و راهکارهای اجرایی برای مصرف پایدار سوخت گاز طبیعی در ناوگان حمل‌ونقل عمومی در راستای مدیریت سبز را استفاده از تأمین بودجه از صرفه‌جویی حاصل ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

نوع پژوهش توصیفی آمیخته، بر مبنای پژوهش کیفی و کمّی و از نوع پژوهش‌های قیاسی استقرایی است. این پژوهش ازنظر هدف کاربردی و از حیث گردآوری اطلاعات در گروه پژوهش‌های پیمایشی است. در این تحقیق برای پوشش مباحث نظری پژوهش، کتب تخصصی، عمومی، مقالات و نشریات تخصصی، اسناد و مدارک موجود در سازمان‌ها و همچنین برای جمع‌آوری داده‌های میدانی از مصاحبه و بهره‌گیری از نظرات افراد خبره استفاده‌شده است. جامعه آماری پژوهش حاضر خبرگان، متشکل از اساتید دانشگاه، مدیران و کارشناسان ارشد متخصص شرکت ملی پخش فرآورده‌های ایران و شرکت‌های مرتبط با صنعت CNG در بخش‌های دولتی و خصوصی که بر اساس میزان تجربه بالای ۱۰ سال و تحصیلات فوق‌لیسانس و بالاتر بودند که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند و بر اساس اصل کفایت نظری ۱۵ نفر از آنان به‌عنوان اعضای نمونه انتخاب شدند. ابزار گردآوری اطلاعات در بخش کیفی مصاحبه و در بخش کمّی از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی است. ازآنجاکه پژوهش حاضر یک پژوهش آمیخته با رویکرد اکتشافی است، ابتدا باید مطالعه کیفی صورت می‌گرفت و پس‌ازآن باید مطالعه کمّی انجام می‌شد. ازاین‌رو داده‌های کیفی با استفاده ازنظر ۱۵ نفر از خبرگان و تا سر حد اشباع اطلاعات و نیل به‌کفایت نظری بررسی شد. پس از تعیین عوامل مؤثر بر جذابیت مصرف CNG، از ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها که مبتنی

1 .Polya process

بر تفکر سیستمی است و کاربرد خود را در انواع تحقیقات مرتبط با سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی به‌خوبی نشان داده (سنگ[1] ۲۰۲۰ و گرکیا[2]، ۲۰۱۴) استفاده‌شده است.

گام‌های لازم برای استفاده از ابزار پویایی سیستم

به‌صورت کلی گام‌های لازم جهت استفاده از سیستم دینامیک برای مدل‌سازی یک مسئله در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

تعریف دقیق مسئله و تعیین مرز سیستم: در این گام مسئله موردنظر به‌صورت کامل بررسی‌شده و مرز سیستم مشخص می‌شود. در صورتی از این ابزار استفاده می‌شود که در مسئله موردنظر فرآیندهای بازخوردی موجب بروز مسئله شده باشند.

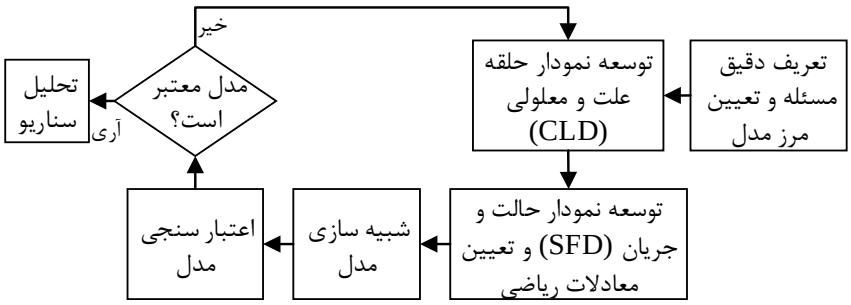
استخراج متغیرهای مؤثر و تدوین روابط علی معلولی: پس از شناسایی زیرسیستم‌ها، متغیرها و بازخوردهایی که در هر زیرسیستم وجود دارند، شناسایی‌شده، سپس رابطه علی معلولی سیستم با استفاده از متغیرها و حلقه‌های شناسایی‌شده ایجاد می‌شود.

ایجاد مدل جریان انباشت و استفاده از داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی این مدل: گام بعدی، ایجاد مدل جریان انباشت از روی روابط علی معلولی است. برای این منظور ابتدا باید متغیرهای نرخ، انباشت و کمکی درون روابط علی معلولی شناسایی شوند؛ سپس مدل جریان انباشت ایجاد می‌شود. پس از ایجاد این مدل، روابط بین متغیرها بر اساس داده‌های تاریخی، استفاده ازنظر خبرگان آن صنعت و منطق بین متغیرها تعیین می‌شود.

اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی‌شده: برای اطمینان از اینکه مدل ایجادشده واقعی‌های درون سیستم را به‌خوبی مدل کرده است، اعتبارسنجی صورت می‌گیرد. برای اعتبارسنجی از آزمون‌هایی مانند رفتار مرجع، آزمون حساسیت، آزمون رفتار حدی استفاده‌شده و اعتبار مدل بررسی می‌شود.

ارزیابی سناریوهای پیشنهادی و بیان راهکار مناسب: در صورت تائید اعتبار مدل، می‌توان سناریوهای متصور پیشنهادی را با تعریف ورودی‌های مدل آزمایش کرد و اثر آنها را بر روی متغیرهای اصلی مشاهده کرد.

1 .Senge
2 .Garcia



شکل ۱. مراحل استفاده از تحلیل دینامیک سیستم در سیستم اجتماعی-اقتصادی

مرز مدل و زیرسیستم‌ها

برای شناسایی مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار و جذاب مسئله با توجه به عدم قطعیت متغیرها، مطابق روش تحقیق از تکنیک دلفی فازی استفاده‌شده است. با تعریف دامنه تغییرهای کیفی، خبرگان با ذهنیت یکسان به سؤال‌ها پاسخ داده، بنابراین متغیرهای کیفی به‌صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای و در طیف سه‌تایی کم (۰،۴،۲،۰)، متوسط (۶،۷،۴،۳) و زیاد (۸،۱۰،۱۰،۶) تعریف می‌شوند (چنگ[1] و همکاران، ۲۰۰۰) چهار دور روش دلفی تکرار شد. در دور اول فهرستی از عوامل مؤثر در جذابیت انتخاب سوخت CNG در اختیار خبرگان قرار گرفت. در گام بعدی میانگین مربوط به نظرات خبرگان در مورد میزان اهمیت هر عامل بر اساس روابط شماره ۱ و ۲ محاسبه شد (چنگ و لین[2]، ۲۰۰۲).

$$A^i = \left(a_1^i . a_2^i . a_3^i . a_4^i\right). \quad i = 1.2.3. \ldots . n \tag{۱}$$

$$A_m = \left(a_{m1}^{(i)} . a_{m2}^{(i)} . a_{m3}^{(i)} . a_{m4}^{(i)}\right) = \left(\frac{1}{n}\sum a_1^{(i)} . \frac{1}{n}\sum a_2^{(i)} . \frac{1}{n}\sum a_3^{(i)} . \frac{1}{n}\sum a_4^{(i)}\right) \tag{۲}$$

روابط ۱ و ۲ A^i بیانگر دیدگاه خبره iام و A_m میانگین دیدگاه‌های خبرگان است. در این مرحله از خبرگان خواسته‌شده است میزان اهمیت عوامل مؤثر بر جذابیت را به‌صورت گزینه‌های کم، متوسط و زیاد انتخاب نمایند. اختلاف‌نظر هر یک از خبرگان بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود (چانگ و لین، ۲۰۰۲) در حقیقت بر اساس این رابطه هر یک از خبرگان می‌توانند نظر خود را با میانگین نظرات بسنجند و در صورت تمایل نظرات قبلی خود را تعدیل کنند.

1 .Chang
2. Cheng & Lin

$$e = \left(a_{m1} \cdot a_{m1}^{(i)}.a_{m2}^{(i)}.a_{m3}^{(i)}.a_{m4}^{(i)}\right) = (\frac{1}{n}\sum a_1^{(i)} - a_1^i.\frac{1}{n}\sum a_2^{(i)} - a_2^i.\frac{1}{n}\sum a_3^{(i)} - a_3^{(i)}.\frac{1}{n}\sum a_4^{(i)}.a_4^i) \quad (۳)$$

با استفاده از رابطه ۳ اختلاف نظرات خبرگان محاسبه و در پرسشنامه تنظیم شد سپس هر یک از خبرگان با توجه به ارزیابی مجدد نظر قبلی خود نظرات جدید را اعلام کردند. در این مرحله با محاسبه اختلاف میانگین‌های دور اول و دوم با استفاده از روابط فاصله میان اعداد فازی (رابطه ۴)، میزان اجماع نظر خبرگان محاسبه می‌شود. چنانچه اختلاف محاسبه‌شده از ۰/۲ کمتر باشد، فرایند دلفی فازی متوقف می‌شود (چانگ و لین، ۲۰۰۲).

$$S(A_{m2}.A_{m1}) = \left|\left[\frac{1}{4}[a_{m21} + a_{m22} + a_{m23} + a_{m24}) - (a_{m11} + a_{m12} + a_{m13} + a_{m14})\right]\right| \quad (۴)$$

دور اول فهرستی از عوامل مؤثر در جذابیت انتخاب سوخت CNG در اختیار خبرگان قرار گرفت. جدول ۱ نتایج اختلاف میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دور اول و دوم را نشان می‌دهد.

جدول ۱: اختلاف میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دور اول و دوم

عوامل مؤثر بر جذابیت مصرف CNG	اختلاف میانگین
قیمت خرید اتوبوس‌های گازسوز	۰
قیمت خرید اتوبوس‌های دیزلی	۱/۸
قیمت تبدیل خودروهای دیزلی به گازسوز	۰/۹
دسترسی به سوخت CNG	۰
تعداد جایگاه CNG	۱/۴
ظرفیت جایگاه CNG	۱/۵
پراکندگی جایگاه CNG	۰/۸
طراحی ظاهری خودرو	۰/۷
استقرار مخزن روی شاسی و عدم اشغال صندوق و بار خودرو	۲
امکانات مربوط به کنترل سیستم سوخت‌رسانی و عیب‌یابی	۱/۵
طراحی نمایشگر و ادوات داخل اتاق	۲/۱
کیفیت فنی قدرت موتور	۰
تقویت شتاب، قدرت و توان موتور	۱

پیمایش بیشتر با هر بار سوخت‌گیری	۰/۹
کاهش مصرف سوخت CNG	۱
استهلاک کمتر قطعات سیستم CNG	۱/۲
پشتیبانی و خدمات پس از فروش	۰/۷
دسترسی و تأمین قطعات خودرو CNG	۲
قیمت قطعات سیستم CNG	۱/۳
هزینه بازرسی و معاینه فنی	۰/۸
هزینه تعویض مخزن فرسوده	۱/۲
عدم سوخت‌رسانی به خودروهای غیرمجاز	۲/۱
(منبع: یافته‌های پژوهش)	

اعضای گروه خبره از بین عوامل مؤثر بر جذابیت استفاده از سوخت CNG، به‌جز قیمت خرید اتوبوس‌های گازسوز، دسترسی به سوخت CNG و کیفیت فنی قدرت موتور، در سایر موارد اختلاف نظر بوده و به دلیل اینکه امتیاز به دست آمده برای این عوامل در دامنه کم قرارگرفته‌اند از مجموعه عوامل حذف شدند. با توجه به اینکه اختلاف میانگین‌ها برای سایر عوامل باقیمانده بیش از ۰/۲ است، می‌توان نتیجه گرفت هنوز اجماع قابل قبولی بین نظر خبرگان وجود ندارد؛ بنابراین پس از محاسبه اختلاف نظر هر خبره نسبت به میانگین، بر اساس رابطه شماره ۳ با اعمال تغییرات لازم در عوامل، پرسشنامه جدید طراحی و همراه با دیدگاه قبلی فرد و میزان اختلاف آنها با میانگین دیدگاه سایر خبرگان، بار دیگر برای خبرگان ارسال گردید. جدول ۲ نتایج اختلاف میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دور دوم و سوم را نشان می‌دهد.

جدول ۲: اختلاف میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دور دوم و سوم

عوامل مؤثر بر جذابیت مصرف CNG	اختلاف میانگین
قیمت خرید اتوبوس‌های گازسوز	۱/۸
قیمت تبدیل خودروهای دیزلی به گازسوز	۰/۷
تعداد جایگاه CNG	۱/۵
ظرفیت جایگاه CNG	۲
پراکندگی جایگاه CNG	۱/۳
طراحی ظاهری خودرو	۰
استقرار مخزن روی شاسی و عدم اشغال صندوق و بار خودرو	۰/۸
امکانات مربوط به کنترل سیستم سوخت‌رسانی و عیب‌یابی	۱/۳
طراحی نمایشگر و ادوات داخل اتاق	۱/۴
تقویت شتاب، قدرت و توان موتور	۰/۹
پیمایش بیشتر با هر بار سوخت‌گیری	۱/۴

کاهش مصرف سوخت CNG	۱/۲
استهلاک کمتر قطعات سیستم CNG	۲/۱
پشتیبانی و خدمات پس از فروش	۰
دسترسی و تأمین قطعات خودرو CNG	۱/۹
قیمت قطعات سیستم CNG	۰/۸
هزینه بازرسی و معاینه فنی	۲
هزینه تعویض مخزن فرسوده	۱/۲
عدم سوخت‌رسانی به خودروهای غیرمجاز	۱/۳
(منبع: یافته‌های پژوهش)	

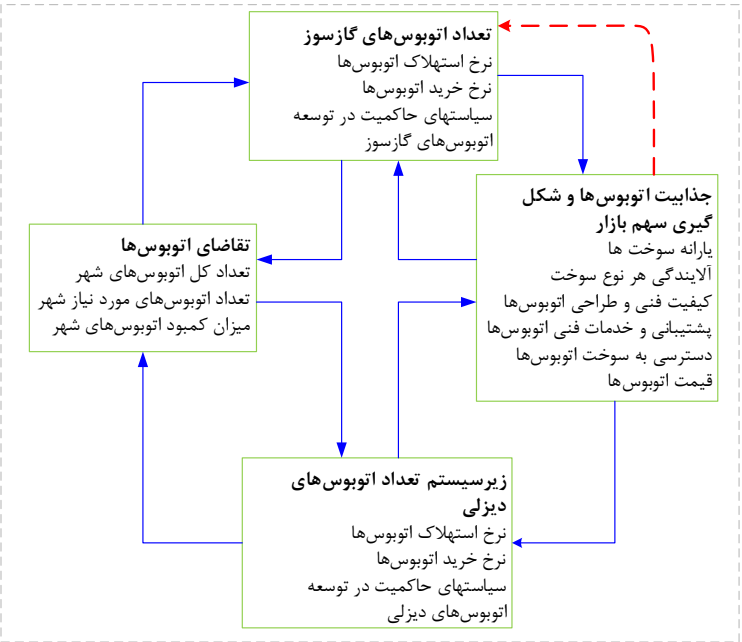
جدول حاصل نشان می‌دهد در مورد طراحی ظاهری خودرو و پشتیبانی و خدمات پس از فروش، اعضای گروه خبره به وحدت نظر رسیده‌اند و میزان اختلاف نظر کمتر از ۰/۲ است؛ بنابراین نظرسنجی در مورد این عوامل نیز متوقف شد. با توجه به اینکه اختلاف سایر میانگین‌ها بیش از ۰/۲ است، می‌توان نتیجه گرفت اجماع قابل قبولی بین نظر خبرگان حاصل نشده است. بر این اساس پس از محاسبه اختلاف نظر هر خبره نسبت به میانگین، مطابق رابطه ۳ با اعمال تغییرات لازم عوامل، پرسشنامه جدید طراحی و بار دیگر همراه با دیدگاه قبلی فرد و میزان اختلاف آنها با میانگین دیدگاه خبرگان دیگر برای آنها ارسال شد. جدول ۳ نتایج اختلاف میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دور سوم و چهارم را نشان می‌دهد.

جدول ۳: اختلاف میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دور سوم و چهارم

عوامل مؤثر بر جذابیت مصرف CNG	اختلاف میانگین
قیمت خرید اتوبوس‌های گازسوز	۰
قیمت تبدیل خودروهای دیزلی به گازسوز	۰
تعداد جایگاه CNG	۰
ظرفیت جایگاه CNG	۰
پراکندگی جایگاه CNG	۰
استقرار مخزن روی شاسی و عدم اشغال صندوق و بار خودرو	۰
امکانات مربوط به کنترل سیستم سوخت‌رسانی و عیب‌یابی	۰
طراحی نمایشگر و ادوات داخل اتاق	۰
تقویت شتاب، قدرت و توان موتور	۰
پیمایش بیشتر با هر بار سوخت‌گیری	۰
کاهش مصرف سوخت CNG	۰
استهلاک کمتر قطعات سیستم CNG	۰
دسترسی و تأمین قطعات خودرو CNG	۰
قیمت قطعات سیستم CNG	۰

هزینه بازرسی و معاینه فنی	۰
هزینه تعویض مخزن فرسوده	۰
عدم سوخت‌رسانی به خودروهای غیرمجاز	۰
(منبع: یافته‌های پژوهش)	

با توجه به آنکه اختلاف میانگین‌ها بیش از ۰/۲ نیست، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجماع خوبی بین نظر خبرگان وجود دارد و فرایند دلفی فازی متوقف می‌شود. درنهایت پنج عامل قیمت خرید اتوبوس‌های گازسوز، دسترسی به سوخت CNG، کیفیت فنی قدرت موتور، طراحی ظاهری خودرو و پشتیبانی و خدمات پس از فروش، به‌منزله عوامل مؤثر بر جذابیت انتخاب سوخت CNG شناخته و زیرسیستم‌ها مطابق شکل ۲ تشکیل شدند. پیشنهاد مشخص این تحقیق لینک خط‌چین شکل زیر است که به‌صورت کمی بررسی می‌شود. نحوه و میزان این ارتباط، چه تأثیری بر تعداد اتوبوس‌های گازسوز، دیزلی و میزان آلایندگی منتشره می‌گذارد.



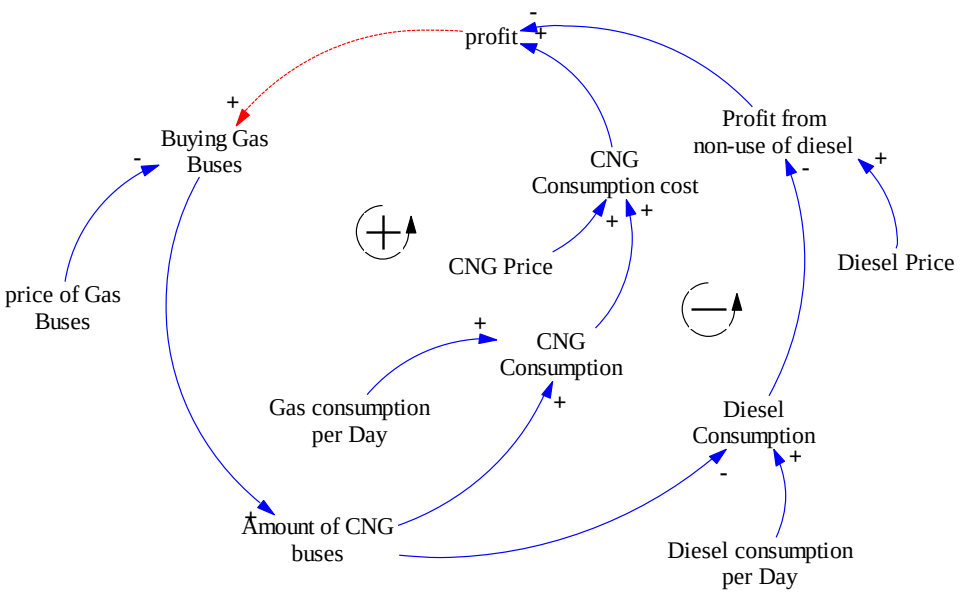
شکل ۲: زیرسیستم‌های اتوبوس‌های شهری (منبع: یافته‌های پژوهش)

رابطه علت و معلولی

شکل ۳ دو حلقه علت و معلولی را نشان می‌دهد که دولت با انتقال سود حاصل از استفاده گاز CNG به‌جای گازوئیل به خرید اتوبوس‌های گازسوز می‌تواند منجر به شکل‌گیری حلقه فزاینده‌ای شود که علاوه بر اینکه تعداد اتوبوس‌های گازسوز را افزایش می‌دهد، منجر به کاهش آلایندگی منتشره می‌شود. در این شکل هرچه خریداری تعداد اتوبوس‌های گازسوز افزایش پیدا کند، تعداد این نوع اتوبوس‌ها افزایش

می‌یابد و با این اقدام، میزان مصرف CNG افزایش و میزان مصرف گازوئیل کاهش خواهد یافت. ازآنجاکه قیمت واقعی سوخت CNG نسبت به گازوئیل کمتر است، سودآوری برای حاکمیت دارد و حاکمیت با اختصاص کل یا بخشی از این درآمد به خرید مجدد اتوبوس‌های گازسوز می‌تواند این حلقه را تشدید نماید.

در حقیقت تحقیق حاضر پیشنهاد می‌دهد تا لینک قرمزرنگ زیر برقرار شود و اینکه ازنظر کمی، شدت این اتصال چه تأثیری بر تعداد اتوبوس‌ها، میزان آلایندگی منتشره، می‌گذارد را اندازه‌گیری کرده است.

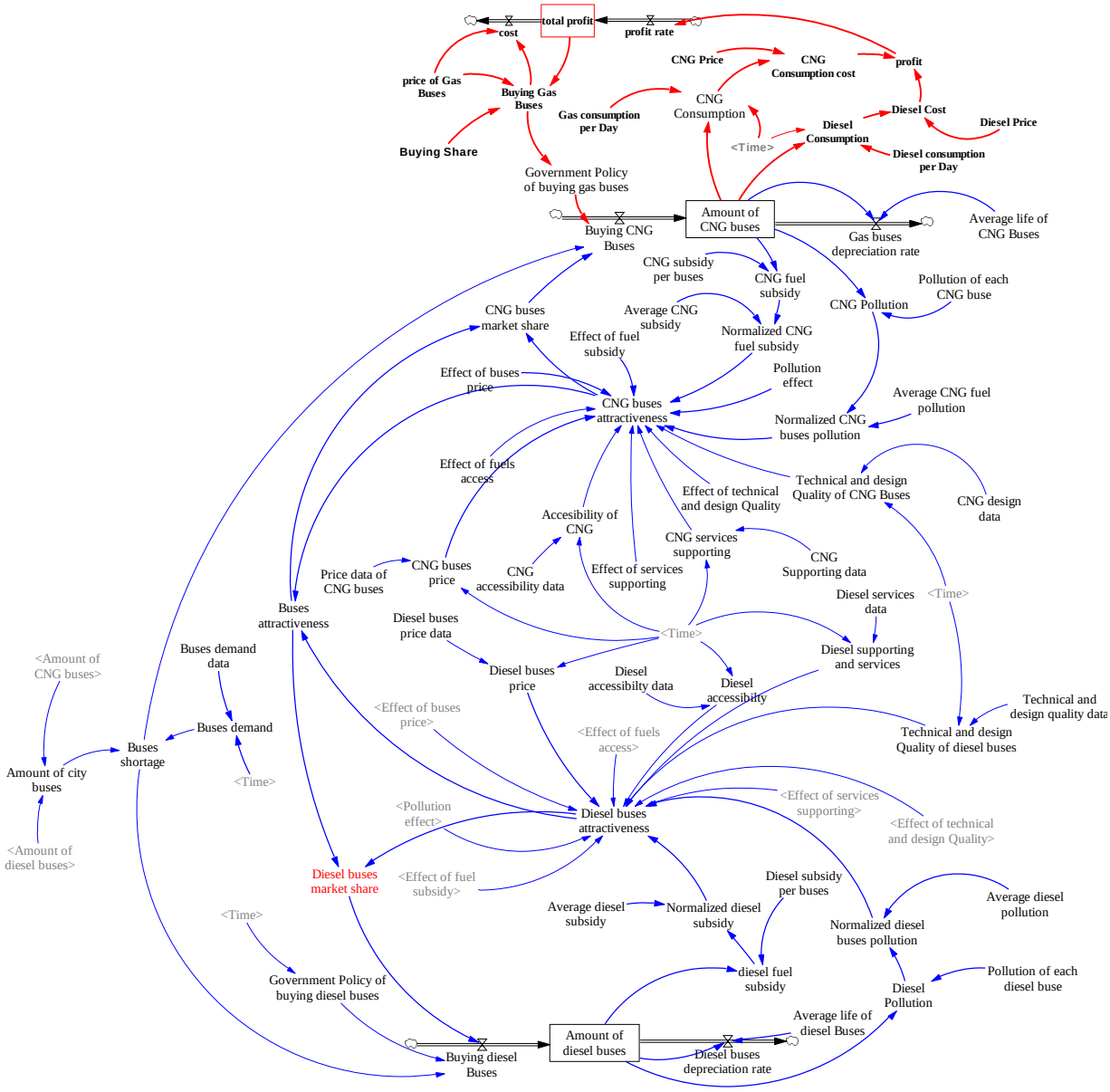


شکل ۳: رابطه علت معلولی مدل (منبع: یافته‌های پژوهش)

مدل حالت جریان

متغیرهای سطح مدل شامل، تعداد اتوبوس‌های گازسوز و تعداد اتوبوس‌های دیزلی و متغیرهای نرخ مدل شامل تولید اتوبوس‌های گازسوز و تولید اتوبوس‌های دیزلی هستند و مهم‌ترین متغیرهای کمکی مدل، یارانه سوخت، آلایندگی سوخت، کیفیت فنی و طراحی، قیمت خرید اتوبوس، پشتیبانی و خدمات فنی، دسترسی به سوخت برای هر یک از اتوبوس‌های گازسوز و اتوبوس‌های دیزلی هستند. درنهایت، نحوه اثرگذاری متغیرها در مدل مشخص و در محیط نرم‌افزار ونسیم[1] شبیه‌سازی شد، مدل حالت جریان در شکل ۴ نشان داده‌شده که سازوکاری که سودآوری حاصل از افزایش مصرف سوخت CNG به‌جای گازوئیل را به منجر به خرید اتوبوس‌های گازسوز جدید و پشتیبانی زنجیره فرایند می‌شود با رنگ قرمز مشخص‌شده است.

1 .Vensim



شکل ۴: مدل جریان انباشت (منبع: یافته‌های پژوهش)

رقابت بین اتوبوس‌های گازسوز و اتوبوس‌های دیزلی برای برتری نمونه‌ای از شکل‌گیری استانداردها برای محصولات جدید در بازار است که در آن فایده محصول به فراوانی محصول مورداستفاده و شبکه کاربرها بستگی دارد. یک اتوبوس گازسوز به‌تنهایی کاربردی ندارد، تنها

وقتی مفید می‌شود که شبکه‌ای از دستگاه‌های سازگار دیگر مانند ایستگاه‌های سوخت‌گیری، تأمین قطعات و خدمات پس از فروش و... موجود باشد.

در مدل توسعه داده‌شده فراوانی هر اتوبوس با میزان خرید آن، افزایش می‌یابد. (معادله ۱)

$$\text{Amount of CNG buses} = \text{INTEG}(\text{Buying CNG Buses} - \text{Gas buses depreciation rate}, 3136) \quad (۱)$$

نرخ فروش هر خودرو حاصل‌ضرب تقاضای کل و سهم بازار آن خودرو است. (معادله ۲)

$$\text{Buying CNG Buses} = \text{Government Policy of buying gas buses} + \text{Buses shortage} * \text{CNG buses market share} \quad (۲)$$

سهم بازار تابع جذابیت نسبی بین خودروها با سوخت‌های مختلف است (معادله ۳). سهم بازار باید معیارهای متعددی را ارضا کند. اول، سهم بازار باید با بالا رفتن جذابیت محصول افزایش یابد و با زیادشدن جذابیت محصولات رقیبش کاسته شود. دوم، سهم بازار باید بین صفرتا صد درصد محدود باشد. سوم، مجموع سهم‌های بازار همه شرکت‌ها باید در هرزمانی برابر با ۱۰۰ درصد شود. معادله ۴ این خواسته را برآورد می‌کند.

$$\text{CNG buses market share} = \text{CNG buses attractiveness} / \text{Buses attractiveness} \quad (۳)$$

$$\text{Buses attractiveness} = \text{Diesel buses attractiveness} + \text{CNG buses attractiveness} \quad (۴)$$

فرمول‌بندی سهم بازار، هر سه معیار یک فرمول‌بندی خوب را پوشش می‌دهد. هرچه جذابیت اتوبوس گازسوز بیشتر باشد، سهم بازارش بیشتر خواهد شد. اگر جذابیت اتوبوس گازسوز صفر باشد، سهم بازار صفر و اگر اتوبوس دیزلی اصلاً جذابیت نداشته باشد، سهم بازار اتوبوس گازسوز ۱۰۰ درصد خواهد بود.

جذابیت نیز تابعی از گستره وسیعی از متغیرها شامل، قیمت، در دسترس بودن، کیفیت خدمات، طراحی و مانند آن. در این مدل ساده جذابیت هر محصول از حاصل جمع حاصل‌ضرب هر عامل و ضریب تأثیر آن مطابق با معادله ۵ به‌دست‌آمده است.

$$\text{CNG buses attractiveness} = \sum Factor \times Effect\ of\ factor \quad (۵)$$

پارامترهای شبیه‌سازی

زمان شروع شبیه‌سازی بر اساس اطلاعات موجود سال ۱۳۹۰ در نظر گرفته‌شده است. پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی که مقادیر آنها که توسط آمارهای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران و نظر اعضای خبرگان، کارشناسان حرفه‌ای و اجرایی، مدیران، کارشناسان و متخصصان شرکت‌های مرتبط با صنعت CNG تعیین‌شده مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴: پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی (منبع: یافته‌های پژوهش)

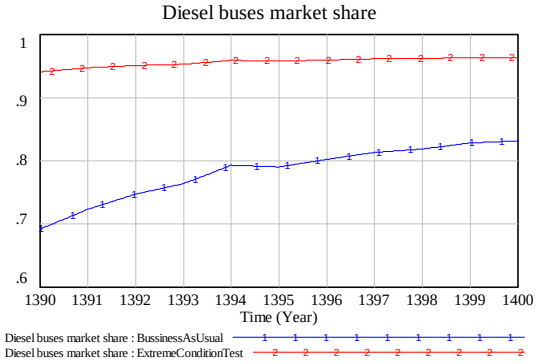
پارامتر	مقدار	واحد
اثر یارانه سوخت	۴۰	درصد
اثر آلودگی	۱۰	درصد
تأثیر قیمت اتوبوس‌ها	۵	درصد
اثر دسترسی به سوخت‌ها	۲۵	درصد
تأثیر پشتیبانی خدمات	۱۵	درصد
تأثیر کیفیت فنی و طراحی	۵	درصد
سیاست دولت در خرید اتوبوس گازسوز	۰	سال / اتوبوس
سیاست دولت در خرید اتوبوس دیزلی	۰	سال / اتوبوس
آلودگی در هر اتوبوس گازسوز	۶۴۸/۲	(اتوبوس×سال) / کیلوگرم
آلودگی در هر اتوبوس دیزل	۲۱۰۲/۳	(اتوبوس×سال) / کیلوگرم
طول عمر اتوبوس‌های گازسوز	۱۵	سال
طول عمر اتوبوس‌های دیزلی	۱۵	سال
قیمت اتوبوس گازسوز	۴۵	میلیارد ریال

اعتبارسنجی مدل

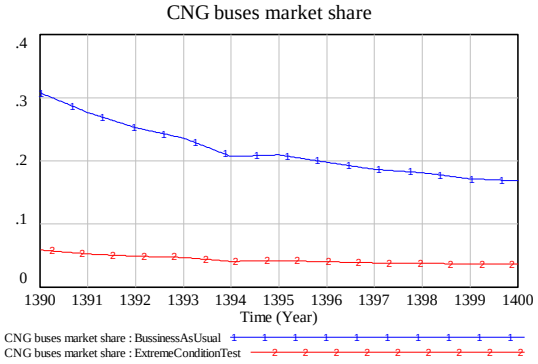
اعتبار مدل از دو روش بازسازی رفتار مرجع (بازسازی داده‌های تاریخی) و آزمون شرایط حدی موردبررسی قرار گرفت (استرمن[1]، ۲۰۰۰). در آزمون شرایط حدی مقدار ورودی‌های مدل مقدار حدی خود را گرفته و اثر آن بر روی متغیرهای مدل موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور اعتبارسنجی مدل با استفاده از این روش فرض کنیم قیمت اتوبوس‌های دیزلی به صفر میل کند. در این فرض، ازآنجاکه قیمت اتوبوس‌های گازسوز تغییری نکرده است، انتظار داریم سهم بازار اتوبوس‌های دیزلی به سمت ۱ میل کند و کلیه تقاضای مربوط به اتوبوس‌های ناوگان درون‌شهری با استفاده از اتوبوس‌های دیزلی تأمین گردد. همان‌طور که در نمودار ۴ نتایج آزمون رفتار حدی بر روی

1 .Sterman

تعداد اتوبوس‌های دیزلی و نمودار ۵ نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس‌های گازسوز ملاحظه می‌شود، مدل توانست نتایج این شرایط فرضی را به‌درستی شبیه‌سازی نماید، لذا اعتبار مدل ازنظر این روش اعتبارسنجی نیز مورد تائید قرارگرفته است.

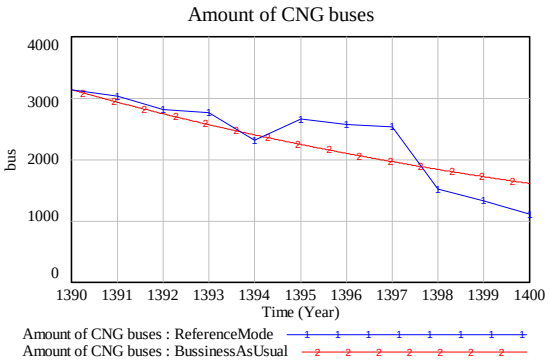


نمودار ۴: نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس‌های دیزلی

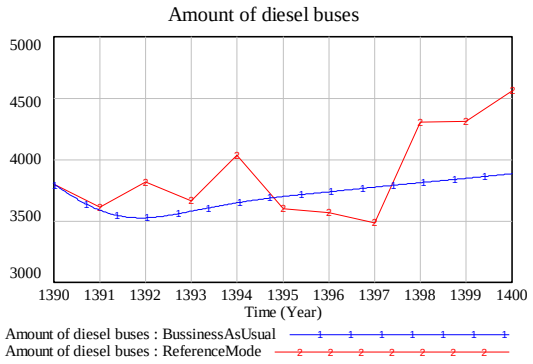


نمودار ۵: نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس‌های گازسوز

در آزمون بازسازی رفتار مرجع نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی مقایسه می‌شود و مدل باید بتواند رفتار تغییر متغیرهای اساسی را به‌درستی شبیه‌سازی و بازسازی نماید. با مقایسه اطلاعات شبیه‌سازی و داده‌های واقعی این مدل توانسته است رفتار متغیرهای اتوبوس‌های گازسوز و اتوبوس‌های دیزلی را مطابق نمودار ۶ (مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های تاریخی اتوبوس‌های گازسوز) و نمودار ۷ (مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های تاریخی اتوبوس‌های دیزلی) با دقت نسبتاً بالایی شبیه‌سازی کند. لذا اعتبار این مدل ازنظر این آزمون نیز مورد تائید قرارگرفته است.



نمودار ۶: مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های تاریخی اتوبوس‌های گازسوز



نمودار ۷: مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های تاریخی اتوبوس‌های دیزلی

سناریو راهکارهای مختلف

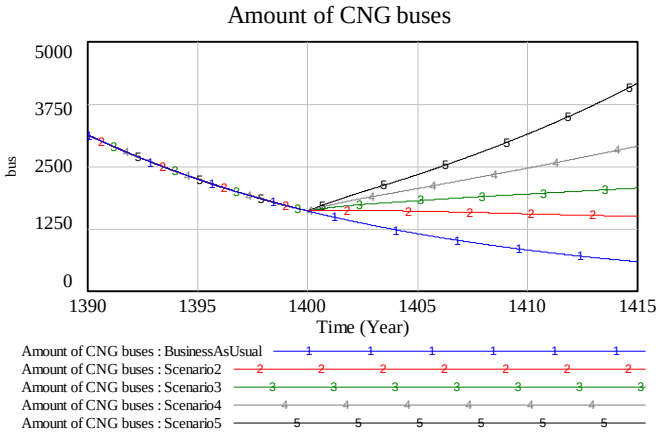
با توجه به برنامه‌های دولت ایران در قبال اتوبوس‌های گازسوز و اتوبوس‌های دیزلی و همچنین جمع‌بندی که در جلسه با خبرگان امر صورت گرفت سه سناریوی به همراه سناریو حالت جاری (پایه) ارائه‌شده در جدول ۵ بر روی مدل اجرا شد و نتایج برای سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۱۵ توسط نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی شده است.

جدول ۵: سناریوهای شبیه‌سازی (منبع: یافته‌های پژوهش)

سناریو	شرح
سناریوی حالت جاری (پایه):	فرض می‌شود تغییری در پارامترهای مدل صورت نگیرد و مدل بدون هیچ تغییری مطابق با شرایطی که از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ حاکم بوده است تا سال ۱۴۱۵ ادامه پیدا کند.
سناریوی اول:	فرض می‌شود حاکمیت ۲۵ درصد از سود حاصل از اختلاف جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل را به‌منظور تأمین بودجه پروژه تخصیص داده شود.
سناریوی دوم:	فرض می‌شود حاکمیت ۵۰ درصد از سود حاصل از اختلاف جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل را به‌منظور تأمین بودجه پروژه تخصیص داده شود.
سناریوی سوم:	فرض می‌شود حاکمیت ۷۵ درصد از سود حاصل از اختلاف جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل را به‌منظور تأمین بودجه پروژه تخصیص داده شود.
سناریوی چهارم:	فرض می‌شود حاکمیت ۱۰۰ درصد از سود حاصل از اختلاف جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل را به‌منظور تأمین بودجه پروژه تخصیص داده شود.

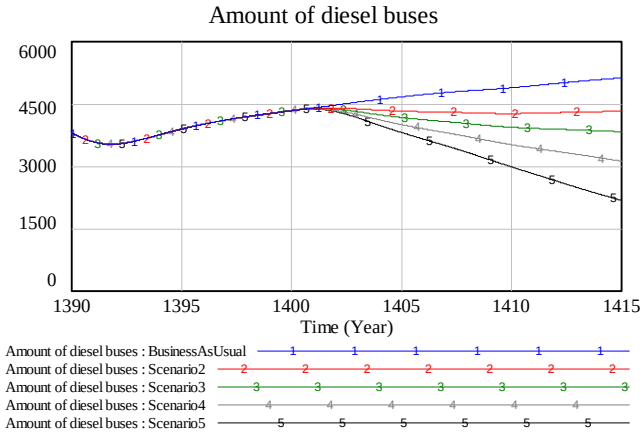
نتایج شبیه‌سازی راهکارهای مختلف

سناریوی پایه شرایط جاری ناوگان اتوبوس‌های شهری تهران است. در نمودار ۸ ادامه روند حالت جاری و تأثیر تخصیص بخشی از سود حاصل از جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل را در سه سناریو مختلف بر تعداد اتوبوس‌های گازسوز را نشان می‌دهد. خط ۱ (رنگ آبی) حالت جاری، خط ۲ سناریو اول (رنگ قرمز)، خط ۳ سناریو دوم (رنگ سبز)، خط ۴ سناریو سوم (رنگ خاکستری) را نمایش می‌دهند.



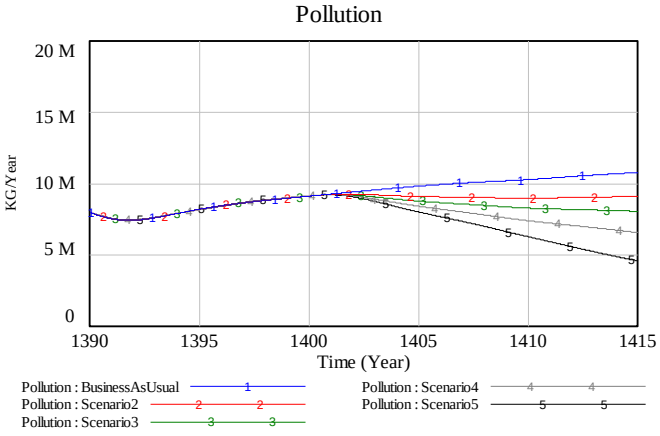
نمودار ۸: شبیه‌سازی سناریوها برای اتوبوس‌های گازسوز

نمودار ۹ ادامه روند حالت جاری و تأثیر تخصیص بخشی از سود حاصل از جایگزینی گاز طبیعی به‌جای گازوئیل به پروژه ناوگان اتوبوس‌های گازسوز و کاهش تعداد اتوبوس‌های دیزلی را در سه سناریو مختلف نشان می‌دهد.



نمودار ۹: شبیه‌سازی سناریوها برای اتوبوس‌های دیزلی

اعمال سناریوهای مختلف تغییری در روند تعداد اتوبوس‌های (افزایش اتوبوس‌های گازسوز و کاهش اتوبوس‌های دیزلی) ایجاد می‌نماید که کاهش روند آلودگی هوا بر اساس پارامترهای ارائه‌شده را مطابق نمودار ۱۰ به همراه خواهد داشت.



نمودار ۱۰: شبیه‌سازی تأثیر سناریوها بر آلایندگی هوا

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روش استفاده از انرژی مستلزم تغییر سیاست‌ها و راهکارهای تولید انرژی است. بااین‌حال، اصلاح روش‌ها یک پدیده پیچیده است (لاکسو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). در این مقاله از روش پویایی سیستم برای ایجاد مدل ذهنی مشترک و نشان دادن تأثیر متغیرهای مرتبط در مدیریت

1 .Laakso

ناوگان اتوبوس‌رانی شهر تهران استفاده‌شده است. ابتدا تحقیقات گذشته موردبررسی قرار گرفت و خلأهای پژوهشی شناسایی شد. موضوعی که این تحقیق را از سایر تحقیقات قبلی متمایز می‌کند، ویژگی‌های نگرش مدیریت سبز به فرایند و نوع تأمین بودجه و تصمیم‌گیری خرید یا تعویض اتوبوس‌های جدید به این ناوگان در ایران است که در مدل‌سازی به‌درستی موردتوجه قرارگرفته و در مطالعات قبلی به این موضوع توجهی نشده است. پس از بررسی تحقیقات گذشته با استفاده از روش دلفی فازی، همچنین مصاحبه با متخصصان و متخصصان، نظریه‌های پویا و روابط حلقه علی بر اساس فرآیند پولیا تولید شد. در این تحقیق میزان تأثیر هر یک از عوامل در تصمیم‌گیری هر نوع اتوبوس با استفاده از نظرات خبرگان سنجیده شد. سپس برای اعتبار مدل با استفاده از آزمون بازتولید رفتار مرجع و آزمون شرایط حدی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ شبیه‌سازی و تأیید شد، همچنین مدل می‌تواند رفتار تعداد اتوبوس‌های دیزل و گازسوز را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند.

این مطالعه نشان می‌دهد که برای افزایش و رسیدن به مصرف پایدار سوخت گاز طبیعی در اتوبوس‌های عمومی شهر تهران و کاهش آلودگی هوا در جهت پایداری حمل‌ونقل سبز، بر اساس فرآیند پولیا، نیاز به افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز فعال تا حداقل رسیدن به تعداد اتوبوس دیزلی است. با توجه به مدیریت دولتی در مجموعه اتوبوس‌رانی (علیرغم خصوصی‌سازی بخشی از ناوگان) و نیاز به تأمین بودجه مستمر جهت خرید اتوبوس، تأمین قطعات برای خدمات به اتوبوس‌ها و ایستگاه‌های CNG که برای تحقق آن مستلزم طی نمودن مصوبات و بوروکراسی خاص و پیچیده‌ای است، نیازمند راهکارهای مناسب برای مدیریت سبز و پایدار مصرف سوخت گاز طبیعی در ناوگان حمل‌ونقل عمومی هستیم.

نتایج ارزیابی سناریوهای مختلف بر اساس مدل شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد، در صورت عدم توجه دولت به تقویت تعداد اتوبوس‌های گازسوز تا سال ۱۴۱۵ تعداد اتوبوس‌های گازسوز در خوش‌بینانه‌ترین حالت به ۵۹۱ دستگاه خواهد رسید که درواقع طرح ملی سوخت‌های جایگزین در این حوزه به شکست می‌انجامد. جدول ۶ خلاصه نتایج سناریو حالت جاری (پایه) و چهار سناریو که با مدل پویا ارائه و شبیه‌سازی‌شده است را نمایش می‌دهد. در صورت تخصیص ۲۵، ۵۰، ۷۵ و یا ۱۰۰٪ از اختلاف سود جایگزینی گاز طبیعی به‌جای سوخت گازوئیل در این ناوگان نتایج قابل‌ملاحظه‌ای انتظار داریم که می‌تواند موجب تأمین مالی طرح گردد و با افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز در ناوگان و استفاده در خطوط پُر تردد خصوصاً در مرکز شهر پیش‌بینی می‌شود تأثیر فزاینده‌ای روی کاهش آلودگی هوا داشته و حرکت به‌سوی حمل‌ونقل سبز در کشور را بهبود بخشید.

جدول ۶: خلاصه نتایج سناریوها در سال ۱۴۱۵

متغیر	سناریوی پایه		سناریوی اول		سناریوی دوم		سناریوی سوم		سناریوی چهارم	
تعداد اتوبوس‌های گازسوز در سال ۱۴۱۵	۵۹۱	٪۰	۱۵۰۰	٪۱۵۴	۲۰۶۷	٪۲۵۰	۲۹۰۷	٪۳۹۲	۴۱۷۱	٪۶۰۵
تعداد اتوبوس‌های دیزلی در سال ۱۴۱۵	۵۱۲۷	٪۰	۴۳۲۵	-٪۱۶	۳۸۳۳	-٪۲۵	۳۱۲۵	-٪۳۹	۲۱۸۰	-٪۵۷
میزان آلایندگی منتشره در سال ۱۴۱۵	۱۰۷۷۸۹۳۸	٪۰	۹۰۹۳۷۷۷	-٪۱۶	۲۶۶	-٪۲۵	۶۵۷۲۳۰۵	-٪۳۹	۴۵۸۶۳۸۲	-٪۵۷
میزان کمبود اتوبوس در ناوگان شهری در سال ۱۴۱۵	۴۴۸	٪۰	۳۴۱	-٪۲۴	۸۰۶۱۰۵۲	-٪۴۱	۱۳۴	-٪۷۰	-۱۸۴	-٪۱۴۱

اغلب طرح‌ها و پروژه‌ها در کشور در صورت برنامه‌ریزی مناسب و متناسب در ابتدای اجرا و یا کوتاه‌مدت موفق عمل می‌نمایند ولی در ادامه مسیر و بلندمدت دچار چالش‌های اساس می‌شوند. یکی از ریشه‌های اصلی این چالش‌ها به تأمین منابع مالی پروژه بازمی‌گردد. پیشنهادهای ارائه‌شده در غالب راهکارهای مدیریت سبز و پایدار مصرف سوخت گاز طبیعی در حمل‌ونقل عمومی، دیدگاه متفاوتی را برای تصمیم‌گیری مسئولین نشان می‌دهد که می‌تواند موجب حل تأمین بودجه به صورت مستمر از محل خود پروژه گردد. با تخصیص این منبع بودجه مستمر به زنجیره علاوه بر خرید اتوبوس‌های گازسوز جدید، تأمین قطعات و تعمیرات ایستگاه‌های CNG به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زنجیره‌های بهره‌برداری از سوخت گاز طبیعی نیز تقویت خواهد شد.

منابع

استادی، جعفری مهدی و حبیبیان، میقات (۱۳۹۳) ارزیابی بلندمدت اثر ترکیبی سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل با استفاده از مدل پویایی سیستم (مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد). فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، ۶(۱)، ۲۱-۳۴

امین طهماسبی، حمزه و رضوی نسب، سید جمال‌الدین. (۱۳۹۹). تحلیل عوامل مؤثر در توسعه استفاده از گاز طبیعی فشرده (CNG) به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران با استفاده از مدل پویاشناسی سیستم‌ها. پژوهشنامه حمل‌ونقل، ۱۷(۳)، ۴۵-۵۸.

امین طهماسبی، حمزه و رضوی نسب، سید جمال‌الدین. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی استراتژی‌های تأثیرگذار بر صنعت حمل‌ونقل گازسوز با روش ترکیبی تصمیم‌گیری گروهی فازی. جاده، ۳۰(۱۱۲)، ۱۶۷-۱۸۰.

امین طهماسبی، حمزه و رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین. (۱۳۹۸) بهبود استفاده از سوخت CNG در بخش حمل‌ونقل با رویکرد تحلیل و توسعه گزینه‌های استراتژیک. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۵(۲)، ۱۶۹-۱۴۵

رضوی نسب، سید جمال‌الدین (۱۴۰۱) صنعت CNG در ایران. تهران: انتشارات ارشدان

رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین. (۱۳۹۴) شناسایی و اولویت‌بندی موانع موجود در اجرای مؤثر توسعه جایگاه‌های CNG (مطالعه موردی، مدیریت طرح CNG، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران (کردستان).

رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین؛ فدایی اشکیکی، مهدی؛ همایونفر، مهدی و اوشک سرایی، مریم (۱۴۰۱) ارائه مدلی پویا برای توسعه بهینه و پایدار استفاده از اتوبوس‌های شهری گازسوز (CNG) تهران. فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم‌های صنعتی ۱۷(۵۹)، ۴۲-۵۹.

رضوی‌نسب سید جمال الدین، فدایی اشکیکی مهدی، همایون فر مهدی، اوشک سرایی مریم (۱۴۰۱) ارائه راهکاری برای مدیریت پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت ناوگان تاکسی های شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی; ۱۸ (۷۳): ۲۷۲-۲۳۷.

روحانی، مهرناز. (۱۳۸۲) تحلیلی هزینه-فایده گازسوز نمودن وسایط نقلیه دیزلی با گاز طبیعی متراکم (CNG) مطالعه موردی اتوبوس های شرکت واحد اتوبوس رانی تهران و حومه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اقتصادی، دانشگاه الزهرا تهران.

زارعیان مزرعه خسرو، رحمان و شکوری گنجوی، حامد (۱۳۹۵) تحلیل سیستمی تقاضای بنزین و برآورد کشش قیمتی تقاضای آن در استان تهران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵(۱۸)، ۶۱-۹۸.

منظور، داود، صفارزاده، محمود و میرفتاح، سید مهدی. (۱۳۸۸) ارزیابی اقتصادی توسعه به کارگیری سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG) در ناوگان اتوبوس‌رانی تهران. پژوهشنامه حمل‌ونقل، ۶(۱)، ۵۳-۶۴.

میرفتاح، سید مهدی. (۱۳۸۴) ارزیابی اقتصادی جایگزینی سوخت در ناوگان اتوبوس‌رانی تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه امام صادق.

ALDAWOUD, A., ALDAWOUD, A., ALSYOUF, I., ASSAD, M. E. H., & OMAR, O. H. (2022, FEBRUARY). COMPARATIVE STUDY INVESTIGATING COMPRESSED NATURAL GAS, DIESEL, AND GASOLINE AS FUEL FOR THE TRANSPORTATION SECTOR: A CASE OF UAE. IN 2022 ADVANCES IN SCIENCE AND ENGINEERING TECHNOLOGY INTERNATIONAL CONFERENCES (ASET) (PP. 1-8). IEEE.

ANENBERG, S., MILLER, J. O. S. H. U. A., HENZE, D. A. V. E. N., & MINJARES, R. (2019). A GLOBAL SNAPSHOT OF THE AIR POLLUTION-RELATED HEALTH IMPACTS OF TRANSPORTATION SECTOR EMISSIONS IN 2010 AND 2015. INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION: WASHINGTON, DC, USA.

BANISTER, D., & BUTTON, K. (2015). TRANSPORT, THE ENVIRONMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. ROUTLEDGE.

BP. STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2021. [EB/OL]. AVAILABLE ONLINE: HTTPS://WWW.BP.COM/EN/GLOBAL/CORPORATE/ENERGYECONOMICS/STATISTICAL-REVIEW-OF-WORLD-ENERGY.HTML (ACCESSED ON 8 JULY 2021).

CAULFIELD, B., FARRELL, S., & MCMAHON, B. (2010). EXAMINING INDIVIDUALS PREFERENCES FOR HYBRID ELECTRIC AND ALTERNATIVELY FUELLED VEHICLES. TRANSPORT POLICY, 17(6), 381-387.

CHANG, P. T., HUANG, L. C., & LIN, H. J. (2000). THE FUZZY DELPHI METHOD VIA FUZZY STATISTICS AND MEMBERSHIP FUNCTION FITTING AND AN APPLICATION TO THE HUMAN RESOURCES. FUZZY SETS AND SYSTEMS, 112(3), 511-520.

CHENG, C. H., & LIN, Y. (2002). EVALUATING THE BEST MAIN BATTLE TANK USING FUZZY DECISION THEORY WITH LINGUISTIC CRITERIA EVALUATION. EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, 142(1), 174-186.

DIAMOND, D. (2009). THE IMPACT OF GOVERNMENT INCENTIVES FOR HYBRID-ELECTRIC VEHICLES: EVIDENCE FROM US STATES. ENERGY POLICY, 37(3), 972-983.

DÜNDAR, H., ÖMÜRGÖNÜLŞEN, M., & SOYSAL, M. (2021). A REVIEW ON SUSTAINABLE URBAN VEHICLE ROUTING. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 285, 125444.

DYR, T., MISIURSKI, P., & ZIÓŁKOWSKA, K. (2019). COSTS AND BENEFITS OF USING BUSES FUELLED BY NATURAL GAS IN PUBLIC TRANSPORT. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 225, 1134-1146.

GAMBHIR, H., & BARMAN, J. (2021). THE STUDY AND DEEP INSIGHTS OF PORT INJECTION TURBOCHARGED CNG ENGINE DEVELOPMENT FOR TRUCKS AND BUSES (NO. 2021-26-0214). SAE TECHNICAL PAPER.

GARCÍA, J. M. (2020). THEORY AND PRACTICAL EXERCISES OF SYSTEM DYNAMICS: MODELING AND SIMULATION WITH VENSIM PLE. PREFACE JOHN STERMAN. JUAN MARTIN GARCIA.

HOSSEINI, M., DINCER, I., & OZBILEN, A. (2018). EXPERT OPINIONS ON NATURAL GAS VEHICLES RESEARCH NEEDS FOR ENERGY POLICY DEVELOPMENT. EXERGETIC, ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL DIMENSIONS, 731-750.

ISHENGOMA, E. K., & GABRIEL, G. (2021). FACTORS INFLUENCING THE PAYMENT OF COSTS OF CONVERTING OIL-TO CNG-FUELLED CARS IN A MARKET DOMINATED BY USED-CARS. ENERGY POLICY, 156, 112368.

KHAN, M. I. (2017). POLICY OPTIONS FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF NATURAL GAS AS TRANSPORTATION FUEL. ENERGY POLICY, 110, 126-136.

KULIKOVA, E., DURANDINA, O., & MOLOKOVA, E. (2021). DEVELOPING NATURAL GAS VEHICLE MARKET AS A BASIS FOR INDUSTRIALIZED FUTURE OF TERRITORIAL SUSTAINABILITY. IN E3S WEB OF CONFERENCES (VOL. 270, P. 01032). EDP SCIENCES.

LAAKSO, S., JENSEN, C. L., VADOVICS, E., APAJALAHTI, E. L., FRIIS, F., & SZŐLLŐSSY, A. (2021). TOWARDS SUSTAINABLE ENERGY CONSUMPTION: CHALLENGING HEATING-RELATED PRACTICES IN DENMARK, FINLAND, AND HUNGARY. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 308, 127220.

LINZENICH, A., ARNING, K., BONGARTZ, D., MITSOS, A., & ZIEFLE, M. (2019). WHAT FUELS THE ADOPTION OF ALTERNATIVE FUELS? EXAMINING PREFERENCES OF GERMAN CAR DRIVERS FOR FUEL INNOVATIONS. APPLIED ENERGY, 249, 222-236.

MATIJOŠIUS, J., JUCIŪTĖ, A. ., RIMKUS, A. ., & ZARANKA, J. . (2022). INVESTIGATION OF THE CONCENTRATION OF PARTICLES GENERATED BY PUBLIC TRANSPORT GAS (CNG) BUSES. COGNITIVE SUSTAINABILITY, 1(1).

OU, X., ZHANG, X., & CHANG, S. (2010). ALTERNATIVE FUEL BUSES CURRENTLY IN USE IN CHINA: LIFE-CYCLE FOSSIL ENERGY USE, GHG EMISSIONS AND POLICY RECOMMENDATIONS. ENERGY POLICY, 38(1), 406-418.

PAN, D., TAO, L., SUN, K., GOLSTON, L. M., MILLER, D. J., ZHU, T., ... & ZONDLO, M. A. (2020). METHANE EMISSIONS FROM NATURAL GAS VEHICLES IN CHINA. NATURE COMMUNICATIONS, 11(1), 1-10.

POURAHMADIYAN, A., AHMADI, P., & KJEANG, E. (2021). DYNAMIC SIMULATION AND LIFE CYCLE GREENHOUSE GAS IMPACT ASSESSMENT OF CNG, LNG, AND DIESEL-POWERED TRANSIT BUSES IN BRITISH COLUMBIA, CANADA. TRANSPORTATION RESEARCH PART D: TRANSPORT AND ENVIRONMENT, 92, 102724.

ROMEJKO, K., & NAKANO, M. (2017). PORTFOLIO ANALYSIS OF ALTERNATIVE FUEL VEHICLES CONSIDERING TECHNOLOGICAL ADVANCEMENT, ENERGY SECURITY AND POLICY. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 142, 39-49.

SENGE, P. M. (2006). THE FIFTH DISCIPLINE: THE ART AND PRACTICE OF THE LEARNING ORGANIZATION. BROADWAY BUSINESS.

SHAH, K. J., PAN, S. Y., LEE, I., KIM, H., YOU, Z., ZHENG, J. M., & CHIANG, P. C. (2021). GREEN TRANSPORTATION FOR SUSTAINABILITY: REVIEW OF CURRENT BARRIERS, STRATEGIES, AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 326, 129392.

SHAH, M. S., HALDER, P. K., SHAMSUZZAMAN, A. S. M., HOSSAIN, M. S., PAL, S. K., & SARKER, E. (2017). PERSPECTIVES OF BIOGAS CONVERSION INTO BIO-CNG FOR AUTOMOBILE FUEL IN BANGLADESH. JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY, 2017.

SHAMSAPOUR, N., HAJINEZHAD, A., & NOOROLLAHI, Y. (2021). DEVELOPING A SYSTEM DYNAMICS APPROACH FOR CNG VEHICLES FOR LOW-CARBON URBAN TRANSPORT: A CASE STUDY. INTERNATIONAL JOURNAL OF LOW-CARBON TECHNOLOGIES, 16(2), 577-591.

SIMS, R., SCHAEFFER, R., CREUTZIG, F., CRUZ-NUNEZ, X., D'AGOSTO, M., DIMITRIU, D., ... & TIWARI, G. (2014). TRANSPORT CLIMATE CHANGE 2014: MITIGATION OF CLIMATE CHANGE. CONTRIBUTION OF WORKING GROUP III TO THE FIFTH ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE ED O EDENHOFER ET AL. CAMBRIDGE AND NEW YORK: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. AVAILABLE AT: HTTP://WWW. IPCC. CH/PDF/ASSESSMENT-REPORT/AR5/WG3/IPCC_WG3_AR5_CHAPTER8. PDF.

STATISTICS, B. O. T. (2002). TRANSPORTATION STATISTICS ANNUAL REPORT 2000, WWW.BTS.GOV: 192.

STERMAN, J. D. (2000). BUSINESS DYNAMICS: SYSTEM THINKING AND MODELING FOR A COMPLEX WORLD IRWIN MCGRAW-HILL. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ENGINEERING SYSTEMS DIVISION: CAMBRIDGE, MA, USA.

TEOH, L. E., & KHOO, H. L. (2021). ANALYSIS OF NATURAL GAS VEHICLE ACCEPTANCE BEHAVIOR FOR KLANG VALLEY, MALAYSIA. INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION, 15(1), 11-29.

WANG, H., FANG, H., YU, X., & WANG, K. (2015). DEVELOPMENT OF NATURAL GAS VEHICLES IN CHINA: AN ASSESSMENT OF ENABLING FACTORS AND BARRIERS. ENERGY POLICY, 85, 80-93.

XIA, T., NITSCHKE, M., ZHANG, Y., SHAH, P., CRABB, S., & HANSEN, A. (2015). TRAFFIC-RELATED AIR POLLUTION AND HEALTH CO-BENEFITS OF ALTERNATIVE TRANSPORT IN ADELAIDE, SOUTH AUSTRALIA. ENVIRONMENT INTERNATIONAL, 74, 281-290.

YUAN, J. H., ZHOU, S., PENG, T. D., WANG, G. H., & OU, X. M. (2018). PETROLEUM SUBSTITUTION, GREENHOUSE GAS EMISSIONS REDUCTION AND ENVIRONMENTAL BENEFITS FROM THE DEVELOPMENT OF NATURAL GAS VEHICLES IN CHINA. PETROLEUM SCIENCE, 15(3), 644-656.

ZHANG, X., WANG, K., HAO, Y., FAN, J. L., & WEI, Y. M. (2013). THE IMPACT OF GOVERNMENT POLICY ON PREFERENCE FOR NEVS: THE EVIDENCE FROM CHINA. ENERGY POLICY, 61, 382-393.