فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هجدهم / شماره ۷۳/ تابستان ۱۴۰۱ / صفحات ۲۷۲-۲۳۷

ارائه راهکاری برای مدیریت پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت ناوگان تاکسی‌های شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها

سید جمال‌الدین رضوی‌نسب
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی تولید و عملیات، گروه مدیریت، واحد رشت دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، razavinasab.ngv@gmail.com
مهدی فدایی اشکیکی[1]
استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، fadaei@iaurasht.ac.ir
مهدی همایون‌فر
استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، homayounfar@iaurasht.ac.ir
مریم اوشک سرایی
استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، ooshaksaraie@iaurasht.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۶

چکیده

علیرغم وجود ۹۰ درصد تاکسی‌های دوگانه‌سوز (بنزین+CNG) در ناوگان تاکسیرانی شهری، انتخاب سوخت مصرفی، وابستگی زیادی به سیاست‌های تعیین قیمت و عواملی مانند یارانه و سهمیه‌بندی سوخت بنزین دارد و با کوچک‌ترین تغییر در نرخ و سهمیه سوخت، استفاده از سوخت گاز طبیعی تحت تأثیر قرارگرفته و مدیریت سوخت در ناوگان حمل‌ونقل عمومی را دچار چالش می‌نماید. هدف اصلی این مطالعه شناسایی راهکارهای استقرار ساختار پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت تاکسی‌های شهری با شرایط ویژه مدیریت در ایران است. پس از مرور تحقیقات گذشته و مصاحبه با خبرگان و کارشناسان متخصص با استفاده، از روش دلفی فازی فرضیات دینامیکی تعیین و بر اساس آن از روش پویایی‌شناسی سیستم نمودارهای علت - معلولی و جریان - انباشت توسعه و استخراج گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در صورت خرید و جایگزین تاکسی‌های فرسوده بنزینی و دوگانه‌سوز معمولی با خودروهای دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز در بازه ۲۰ ساله (از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰)، مصرف گاز طبیعی افزایش ۲۴ درصدی و پایدار خواهد داشت.

طبقه‌بندی JEL: C61, L91, L71, C52
کلید واژه‌ها: تاکسی‌های شهری، پویایی‌شناسی سیستم‌ها، حمل‌ونقل عمومی، گاز طبیعی.

---

۱. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

۱- مقدمه

تخصیص یارانه کلان دولت به بخش سوخت و پایین نگه‌داشتن قیمت آن، تقاضای بالا و غیرمنطقی سوخت در ایران و مصرف بیش از اندازه سوخت در بخش‌های مختلف ازجمله حمل‌ونقل در کنار فقدان استانداردهای صحیح مصرف در حوزه‌های مختلف، وابستگی شدید تأمین انرژی به سوخت‌های فسیلی را به ارمغان آورده است. این موضوع گاهی در کنار واردات مشتقات سوخت، مانند بنزین برای استفاده در بخش حمل‌ونقل باعث شکل‌گیری یک فرآیند وابسته به مسیر در استفاده از انرژی‌های فسیلی شده است. فرآیندی که در آن با گذشت زمان امکان هرگونه تغییر را دشوار، پرهزینه و حتی غیرممکن می‌کند (باستان و شکوری گنجوی، ۱۳۹۸). از طرفی پیامدهای زیست‌محیطی، استفاده از سوخت‌های سنتی را به یک نگرانی جهانی تبدیل نموده (Pan et al, 2020) و انتشار آلاینده‌های هوا مربوط به حمل‌ونقل، به‌عنوان یک بخش بسیار انرژی‌بر، به‌ویژه در مناطق شهری بیشتر موردتوجه قرارگرفته است (Pourahmadiyan et al, 2021) افزایش تعداد وسایل نقلیه، اهمیت زمان، هزینه، امنیت و مسائل زیست‌محیطی باعث شده سیاست‌گذاران کلان همواره با صرف زمان و هزینه به فکر بهبود وضعیت موجود و دست‌یابی به سیستم‌های حمل‌ونقل کاراتر باشند. در حال حاضر کیفیت احتراق سوخت خودروهای داخلی در سطح استانداردهای بین‌المللی نیست و خودروهای داخلی یکی از عوامل مهم آلودگی هوا در شهرهای بزرگ هستند (طاهرپور و همکاران، ۱۳۹۸). ایران به‌عنوان یک کشور تولید و صادرکننده انرژی، پتانسیل‌های زیادی برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (ایرانمنش و شخصی نیایی، ۱۳۹۴). از این‌رو یکی از مهم‌ترین اقداماتی که برای این منظور در بخش حمل‌ونقل می‌توان انجام داد جایگزینی گاز طبیعی به‌جای بنزین در سوخت خودروها است. مطالعات انجام‌شده در ایران نشان می‌دهد جذابیت بالای سوخت گاز طبیعی فشرده[1] (CNG) اولویت اول حتی بالاتر از بنزین را از آن خود نموده و سوخت‌های بنزین، گازوئیل، LPG، اتانول، برق، بیودیزل، بیوگاز و هیدروژن در اولویت‌های بعدی قرارگرفته‌اند (صحت‌پور و کاظمی، ۱۳۹۴). بر این اساس حاکمیت از سال ۱۳۷۹ مطالعات وسیعی برای جایگزین نمودن گاز طبیعی به‌جای

1. Compressed Natural Gas (CNG)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

بنزین در سوخت خودروها نموده و با اجرای طرح‌های مختلف تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز (بنزین+CNG) و احداث جایگاه‌های سوخت CNG (رضوی‌نسب، ۱۳۹۴)، تاکنون موفق به جایگزینی حدود ۲۰ درصد از سبد سوخت بنزین در خودروهای سبک با گاز طبیعی شده است (آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا، ۱۴۰۰). این موضوع از آنجایی اهمیت پیدا می‌کند که دولت تا قبل از این برای تأمین سوخت خودروها با توجه به تحریم‌ها، ملزم به واردات بنزین و پرداخت هزینه‌های بسیار زیاد برای یارانه سوخت بود.

مصرف پایدار از سوخت‌های جایگزین و انتخاب آن از سوی مالکان خودروها در ایران همواره یکی از چالش‌های دولت بوده است. بُعد اقتصادی، عامل برجسته‌ای در بین سایر عوامل پایداری است و محققان نسبتاً کمتر به ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی آن می‌پردازند (Dündar et al, 2020). در دسترس بودن سوخت‌های جایگزین برای بخش حمل‌ونقل به‌عنوان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر عامل اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار (Dyr et al, 2019) و پایداری از مهم‌ترین مسئله در توسعه جوامع شهری در سراسر جهان (Hegazy et al, 2017) و انرژی پیش‌نیاز توسعه پایدار است (Rusu, 2021; Bekhrad et al, 2020). وابستگی شدید حمل‌ونقل شهری به سوخت‌های فسیلی و عادت به استفاده از این نوع سوخت مانعی جدی برای استفاده از سوخت‌های جایگزین در سیستم حمل‌ونقل است. بحران انرژی و گرم شدن کره زمین به دلیل استفاده از سوخت با آلایندگی زیاد در بخش حمل‌ونقل، انگیزه برای به‌کارگیری وسایل نقلیه سوخت جایگزین[1] (AFVs) در بخش حمل‌ونقل را تحریک کرده است (Liu et al, 2020) بنابراین، سیاست سوخت جایگزین در سیستم حمل‌ونقل، به‌عنوان یکی از سیاست‌های اصلی برای کاهش انتشار آلایندگی نیز محسوب می‌شود.

تحقیق حاضر به این صورت ساماندهی شده است که پس از مرور ادبیات موضوع به تبیین روش اجرای پژوهش پرداخته‌شده است. پس از ارائه نمودار زیرسیستم‌ها، فرضیات دینامیکی در قالب نمودار علت و معلولی[2] ارائه‌شده و مبتنی بر آن نمودار جریان-انباشت[3] ارائه گردیده است. به‌منظور شبیه‌سازی مدل روابط ریاضی به مدل

1. Alternative Fuel Vehicles (AFVs)
2. Casual loop diagram
3. Stock-flow diagram

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

واردشده و به اعتبارسنجی مدل پرداخته‌شده است. اعتبارسنجی مدل با کمک آزمون‌های رفتار حدی و بازسازی رفتار مرجع صورت گرفته و پس‌ازآن از مدل برای ارزیابی سناریوها استفاده‌شده و به تبیین نتایج پرداخته‌شده است.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

مطالعات زیادی در مورد میزان نفوذ وسایل نقلیهِ سوخت جایگزین در بازار انجام‌شده است. این مطالعات تأثیرات مختلفی مانند یارانه‌های دولت (Oliveira et al, 2019)، صرفه‌جویی در هزینه و توسعه زیرساخت‌ها، انتخاب فردی، خانواده، همسایگان و همکاران برای استفاده از وسایل نقلیه سوخت جایگزین (Jansson et al, 2017) و سن مصرف‌کنندگان را بررسی کرده‌اند (Andriosopoulos et al, 2018). در انتخاب وسایل نقلیه سوخت جایگزین با استفاده از روش نظرسنجی، جانسون و همکاران مقبولیت سیاست‌های وسایل نقلیه سوخت جایگزین را موردبررسی قرار داده‌اند (Jansson & Rezvani, 2019). در اختیار داشتن ۳۲ تریلیون مترمکعب ذخایر اثبات‌شده گاز طبیعی به‌عنوان دومین دارنده ذخایر گاز طبیعی جهان بعد از روسیه (Petroleum British, 2020) و گستردگی شبکه انتقال گازرسانی در شهرها و روستاهای کشور (Hafeznia et al, 2017)، انتخاب این سوخت را به‌عنوان سوخت جایگزین در خودروها را از لحاظ اقتصادی در ایران توجیه‌پذیر نموده است.

برخی محققان همچنین بر ایجاد زیرساخت‌های مناسب برای اجرای سیاست سوخت جایگزین در ناوگان حمل‌ونقل تمرکز کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال، کوبی و هانگ[1] (۲۰۱۶) در مورد اهمیت وجود زیرساخت مناسب و جایگزین‌های تأمین سوخت برای تغییر سیستم حمل‌ونقل به ناوگان حمل‌ونقل شهری بحث کردند. بروگلین[2] و همکاران (۲۰۱۹) اثر جایگاه‌های سوخت در وسایل نقلیه سوخت جایگزین را بررسی نموده‌اند. امین طهماسبی و رضوی‌نسب (۱۳۹۸) بهبود استفاده از سوخت CNG در بخش حمل‌ونقل را با رویکرد تحلیل و توسعه گزینه‌های استراتژیک[3] (SODA) و (۱۴۰۰) در پژوهشی دیگر با روش دلفی، گزینه‌ها و معیارهای مؤثر را شناسایی و

1. Kuby & Hong
2. Bruglieri
3. Strategic Option Development and Analysis (SODA)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

سپس با روش ترکیبی تصمیم‌گیری گروهی فازی، مهم‌ترین معیارها و بهترین گزینه برای تقویت صنعت CNG در بخش حمل‌ونقل را شناسایی نمودند. خان[1] (۲۰۱۷) برخی از موانع گسترش گاز طبیعی را به‌عنوان سوخت جایگزین پایدار شناسایی و معرفی کرده است. خان (۲۰۱۷) طیف وسیعی از سیاست‌ها را برای ترویج استفاده از وسایل نقلیه گاز طبیعی در بازارهای جدید و همچنین بازارهای بالغ ارائه کرد. شمساپور[2] و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای چندین سناریو برای جایگزینی سوخت بنزین در بخش اتومبیل‌های شخصی، تاکسی‌ها و سوخت دیزل در ناوگان اتوبوس با سوخت طبیعی CNC در نظر گرفتند. لورنزی و باپتیستا[3] (۲۰۱۸) در تحقیقات خود نتیجه گرفتند که حمل‌ونقل یکی از بخش‌های مصرف انرژی است که در آن حضور انرژی‌های تجدیدپذیر پایین‌تر است و افزایش آن به‌ویژه در کشورهایی که سوخت‌های فسیلی مصرف می‌کنند، ضرورت بیشتری دارد. شاه[4] و همکاران (۲۰۱۷) میزان انتشار گازهای خروجی وسایل نقلیه گاز طبیعی را کمتر از وسایل معمولی محاسبه نموده‌اند. بااین‌حال، به‌رغم اجرای جایگزینی موفقیت‌آمیز این خودروها در بازار حمل‌ونقل در سراسر جهان، تولیدکنندگان خودروهای گازسوز علاقه خاصی به آن ندارند. حسینی[5] و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی کمبود ایستگاه سوخت‌گیری، عدم مشوق‌های مالیاتی، هزینه نسبتاً بالای وسایل نقلیه گازسوز و توسعه موتور خودروهای گازسوز را از موانع مربوط به توسعه بازار خودروهای گازسوز بیان نمودند. خان (۲۰۱۷) نقشه راهی برای استفاده از گاز طبیعی فشرده را بررسی و راهکارهای مفیدی برای کشورهای درحال توسعه که در تلاش برای راه‌اندازی وسایل نقلیه گاز طبیعی هستند را ارائه نموده است. ناکانو رومجکو[6] (۲۰۱۷) و عرضه قابل‌اعتماد CNG و ایجاد جذابیت برای سرمایه‌گذاران و سازندگان خودروهای گازسوز را بررسی نموده است.

1. Imran Khan
2. Shamsapour
3. Lorenzi & Baptista
4. Shah
5. Hosseini
6. Nakano & Romejko

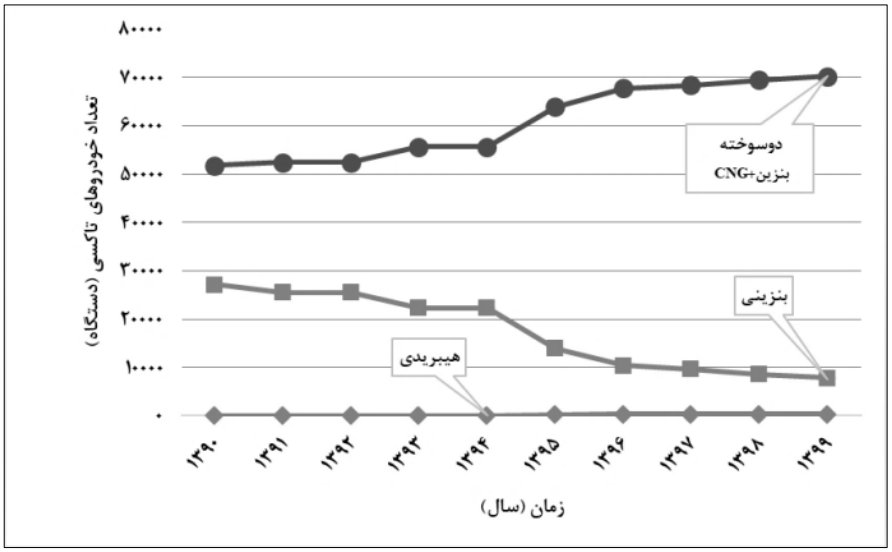
[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

تحقیقات متعددی نیز با استفاده از ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها به مدل‌سازی و تحلیل سیستم حمل‌ونقل پرداخته‌اند. ازجمله این تحقیقات دین‌محمدی و همکاران (۱۳۹۱) با ارائه یک مدل به شبیه‌سازی و بررسی سیاست‌های بلندمدت ناوگان خودروهای گازسوز در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ با استفاده از نرم‌افزار ونسیم[1] پرداخته‌اند. هان[2] و همکاران (۲۰۱۰) پویایی سیستم حمل‌ونقل دهلی را با کمک متدولوژی پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای ارزیابی اثربخشی سیاست‌ها و کاهش تأثیر حمل‌ونقل بر محیط‌زیست و مصرف انرژی ارزیابی کردند. حق‌شناس[3] و همکاران (۲۰۱۵) سیاست‌های توسعه پایدار در سیستم حمل‌ونقل شهری اصفهان را از این متدولوژی ارزیابی کرده‌اند. زارعیان و شکوری گنجوی (۱۳۹۵) مصرف بنزین شهر تهران را با استفاده از مدلی سیستمی که شامل بخش حمل‌ونقل عمومی و حمل‌ونقل شخصی بوده است، پیش‌بینی و کشش قیمتی تقاضا را محاسبه کرده‌اند. دانش شهرکی و همکاران (۱۳۹۶) با مدلی سیستمی روند تعداد خودروهای دوگانه‌سوز و تأثیر آن بر آلودگی شهر تهران را بررسی کرده‌اند. امین طهماسبی و رضوی‌نسب (۱۳۹۹) تحلیل عوامل مؤثر در توسعه استفاده از گاز طبیعی فشرده به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران را با استفاده از مدل پویایی سیستم بررسی نمودند. باریسا و روسا[4] (۲۰۱۸) سیاست‌های کاهش CO_2 را در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای با استفاده از پویایی سیستم مطالعه کردند. گوپتا[5] و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از پویایی سیستم، تأثیر سیاست مالیات کربن بر سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای هند را بررسی کرد.

نمودار ۱ آمار اخذشده از سازمان مدیریت و نظارت بر تاکسیرانی شهر تهران است که وضعیت و روند توسعه تاکسی‌های شهر تهران ازنظر نوع سوخت در یک دهه گذشته را نشان می‌دهد (سالنامه آماری شهر تهران، ۱۳۹۹).

1. Vensim
2. Han
3. Haghshenas
4. Barisa & Rosa
5. Gupta

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



نمودار ۱. ترکیب نوع سوخت تاکسی‌های شهر تهران (سالنامه آماری شهر تهران)

با توجه به افزایش قیمت سوخت بنزین که موجب تمایل مصرف بیشتر CNG و به‌تبع آن کاهش آلایندگی می‌شود (دل‌انگیزان و همکاران، ۱۳۹۵) و تبدیل کارگاهی و کارخانه‌ای ۹۰ درصد تاکسی‌های بنزین‌سوز به سیستم دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)، انتظار می‌رود تمایل به مصرف CNG در خودروها افزایش یابد؛ اما ساختار خودروهای تاکسی در ایران به صورتی است که استفاده از گاز طبیعی وابستگی زیادی به عواملی مانند یارانه و سهمیه سوخت بنزین دارد و با کوچک‌ترین تغییر در نرخ سوخت و سهمیه سوخت، استفاده از سوخت گاز طبیعی را تحت تأثیر قرار داده و مدیریت سوخت در این ناوگان را دچار چالش می‌نماید. هدف اصلی این مطالعه شناسایی سیاست‌هایی است که در کشورهای پیشرفته برای استقرار وسایل نقلیه سوخت جایگزین (Hagos & Ahlgren, 2018) و اصلاح ساختاری آن است. بر اساس ماهیت پژوهش می‌توان سؤالات این تحقیق را شامل مواردی نظیر؛ چه عواملی موجب جذابیت استفاده از سوخت CNG به‌جای بنزین در خودروها می‌گردد؟ نمودار روابط علت و معلولی عوامل جذابیت چگونه است؟ نمودار جریان برای تحلیل این روابط کدامند؟ راهکار لازم برای استفاده پایدار سوخت گاز طبیعی در خودروهای تاکسی شهری با شرایط مدیریت در ایران چیست؟ مطرح نمود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

۳- روش‌شناسی تحقیق

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. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر خبرگان، متشکل از 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 گلوله برفی و بر اساس اصل کفایت نظری ۱۷ 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 ۱۷ 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[1] که مبتنی بر تفکر سیستمی[2] است و کاربرد خود را در انواع تحقیقات مرتبط با سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی[3] به‌خوبی نشان داده (Senge, 2014, Garcia, 2020) مطابق گام‌های زیر استفاده‌شده است.

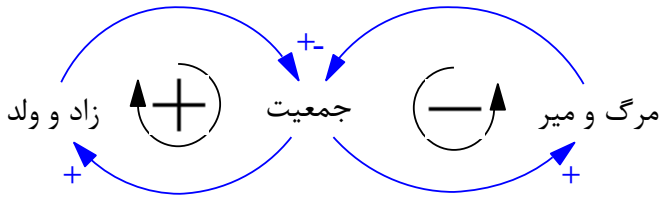
گام اول- چارچوب مسئله: ابتدا مسئله موردبررسی به‌صورت دقیق شناسایی گردید و مبتنی بر مرور ادبیات تحقیق و تکنیک دلفی فازی[4] به شناسایی متغیرهای دخیل در مسئله پرداخته شد.

گام دوم- تدوین فرضیه پویا: با کمک نمودار زیرسیستم‌ها[5] که نشان‌دهنده حدود و مرز مدل شبیه‌سازی است، تصویری از کلیات مدل ارائه گردیده است. سپس حلقه‌ها و

1. System Dynamics
2. System Thinking
3. Socio-economic systems
4. Delphi Fuzzy
5. Subsystem Diagram

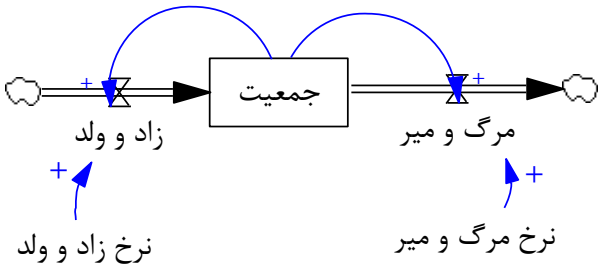
[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

بازخوردهای دخیل در مدل شناسایی و با نرم‌افزار ونسیم ترسیم‌شده و ضمن تبیین نمودار علت - معلولی کلی[1]، متغیرهای انباشت، نمودار جریان - انباشت[2] شناسایی و استخراج‌شده است. به‌عنوان یک مثال ساده جهت مدل‌سازی جمعیت یک کشور به‌صورت ساده نمودار علی- معلولی زیر تهیه می‌شود. از حاصل‌ضرب علامت کمان‌ها در یک حلقه نوع حلقه مشخص می‌شود. در این مدل با ضرب علامت کمان‌ها یک حلقه فزاینده[3] (مثبت) و یک حلقه کاهنده[4] (منفی) وجود دارد. نمودار ۲ رابطه علی–معلولی مدل جمعیت نمایش می‌دهد.



نمودار ۲. نمودار علی – معلولی مدل جمعیت

در نمودار فوق ازآنجاکه متغیر جمعیت درآن‌واحد دارای مقدار است، به‌عنوان متغیر انباشت در نظر گرفته می‌شود و ازآنجاکه برای تعیین مقدار نرخ مرگ‌ومیر و نرخ زادوولد نیاز به تعیین بازه زمانی است متغیر نرخ هستند و نمودار جریان انباشت این مدل به‌صورت زیر است. نمودار ۳ جریان-انباشت مدل جمعیت نمایش می‌دهد.



نمودار ۳. جریان-انباشت مدل جمعیت

1. Overal Causal loop diagam
2. Stock-Flow Diagram
3. Reinforcing loop
4. Balancing Loop

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

گام سوم - فرموله کردن مدل: در این گام روابط ریاضی بین متغیرها با کمک منابع موجود و منطق روابط بین متغیرها به مدل واردشده است.

گام چهارم - شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل: در این مرحله مدل شبیه‌سازی‌شده و با کمک دو روش مرسوم اعتبارسنجی مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها، اعتبار مدل مورد تائید قرارگرفته است. در متدولوژی پویایی‌شناسی سیستم‌ها ممکن است در گام چهارم اعتبار مدل مورد تائید قرار نگیرد و محقق می‌بایست گام‌های ۱ تا ۳ را مجدداً بررسی نماید تا اعتبار مدل ازنظر روش‌های اعتبارسنجی مورد تائید قرارگیری و این تحقیق نیز از این موضوع مستثنی نبوده است.

گام پنجم- تحلیل و ارزیابی سیاست‌ها و تحلیل حساسیت: پس‌ازآنکه اعتبار مدل مورد تائید قرار گرفت، در این گام به ارزیابی و شبیه‌سازی مدل در قبال آینده پرداخته می‌شود. در این گام عموماً تأثیر تغییرات پارامترهای برونزای مدل بر روی متغیرهای هدف موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۱- متغیرهای مورد مطالعه

پس از مطالعه ادبیات و پیشینه پژوهش برای تعیین مهم‌ترین عواملی که در جذابیت انتخاب سوخت CNG در خودروها از سوی راننده مؤثر می‌باشد، از روش دلفی فازی استفاده‌شده است. با توجه به موارد بیان‌شده در این پژوهش خبرگانی انتخاب شدند که نسبت به صنعت CNG آشنایی کامل داشتند. با تعریف دامنه تغییرهای کیفی، خبرگان با ذهنیت یکسان به سؤال‌ها پاسخ خواهند داد، 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 (چانگ[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 (چانگ و لین[2]، ۲۰۰۲).

1. Chang
2. Cheng & Lin

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

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

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

در 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.

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

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، فرآیند دلفی فازی متوقف می‌شود (چانگ و لین، ۲۰۰۲).

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

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

عوامل مؤثر بر جذابیت مصرف CNG	اختلاف میانگین
قیمت خرید تاکسی‌های دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)	۰
قیمت خرید تاکسی‌های بنزینی	۱/۸
قیمت تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)	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، به جز قیمت خرید تاکسی‌های دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)، 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 قرار گرفتند از مجموعه عوامل حذف شدند. با

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

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. بنابر این 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 تاکسی‌های بنزینی	۱/۸
قیمت تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)	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)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

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 تاکسی‌های بنزینی	۰
قیمت تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)	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)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

با توجه به آنکه اختلاف میانگین‌ها بیش از ۰/۲ نیست، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجماع خوبی بین نظر خبرگان وجود دارد و فرآیند دلفی فازی متوقف می‌شود. در نهایت با استفاده از روش دلفی فازی پنج عامل قیمت خرید تاکسی‌های دوگانه‌سوز (بنزین+CNG)، دسترسی به سوخت CNG، کیفیت فنی قدرت موتور، طراحی ظاهری خودرو و پشتیبانی و خدمات پس از فروش، به منزله عوامل موثر بر جذابیت انتخاب سوخت CNG شناخته شدند.

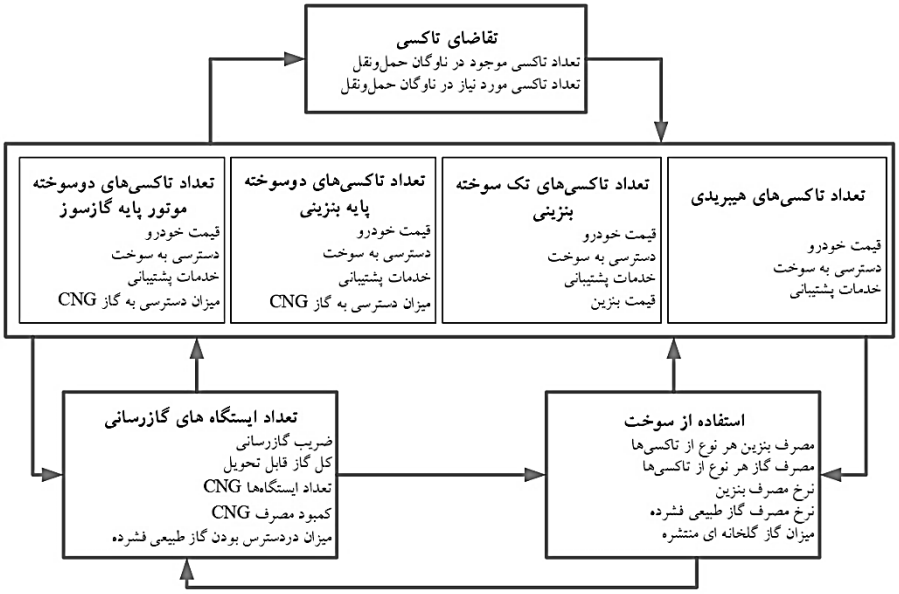
۳-۲- زیرسیستم‌های تاکسی‌های درون‌شهری

تاکسی‌های شهر تهران ازنظر نوع سوخت مصرفی به سه دسته بنزینی، دوگانه‌سوز (بنزین+CNG) و هیبریدی تقسیم‌بندی شده‌اند. خودرو پیشنهادی محقق که در نظر دارد به این سه دسته اضافه شود دارای موتور پایه گازسوز تولید کارخانه‌ای با مخزن گاز تعبیه‌شده روی شاسی و کاهش باک بنزین به میزان ۱۰ لیتر است که بنزین به‌عنوان سوخت دوم کمکی در این خودروهای دوگانه‌سوز (بنزین+CNG) در نظر گرفته می‌شوند.

در نمودار۴ زیرسیستم‌های در نظر گرفته‌شده در شبیه‌سازی ارائه‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تقاضای تاکسی منجر به خرید یک نوع از چهار مدل تاکسی شده که قیمت خودرو (برون‌زا[1])، دسترسی به سوخت خودرو (درون‌زا[2])، خدمات پشتیبانی (برون‌زا) خودرو بر روی جذابیت خرید خودرو تأثیرگذار است. زیرسیستم استفاده از سوخت برآمد تمامی متغیرهای در نظر گرفته‌شده در تقاضای تاکسی‌ها و تعداد هر نوع تاکسی‌ها است.

1. exogenous
2. endogenous

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

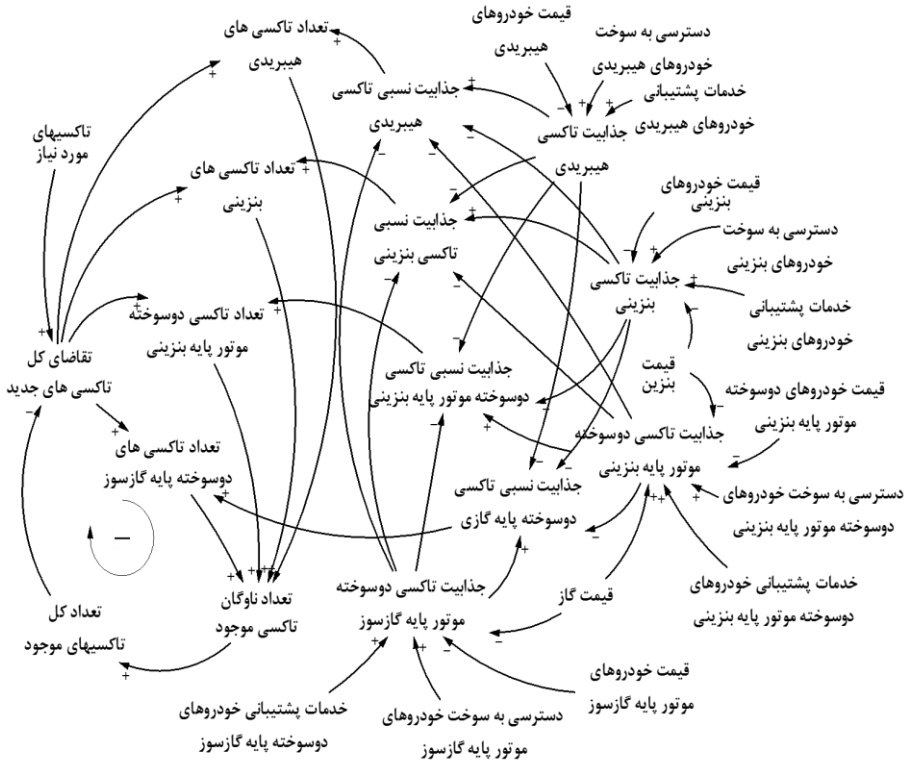


نمودار ۴. نمودار زیرسیستم‌های تاکسی‌های شهری (منبع: یافته‌های پژوهش)

۳-۳- نمودار علت-معلولی مدل

یکی از مهم‌ترین حلقه‌های مدل مربوط به نحوه برآورد تقاضا در ناوگان حمل‌ونقل تاکسی‌های درون‌شهری است. در مدل طراحی‌شده پس از مقایسه میزان تقاضا و میزان تاکسی‌های موجود در ناوگان حمل‌ونقل، تعداد تقاضای تاکسی‌های جدید شکل می‌گیرد. با توجه به جذابیت نسبی هر نوع تاکسی، این تعداد به تفکیک تاکسی‌های هیبریدی، بنزینی، دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی و دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز خریداری‌شده و به ناوگان حمل‌ونقل اضافه می‌گردد. قیمت هر نوع خودرو، دسترسی به سوخت هر نوع خودرو، خدمات پشتیبانی هر خودرو و نهایتاً قیمت سوخت در شکل‌گیری جذابیت هر نوع تاکسی در نمودار ۵ تأثیرگذار است.

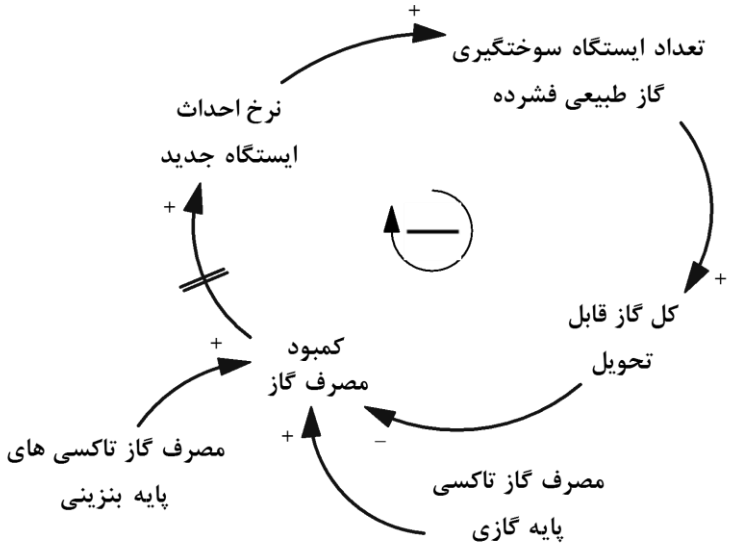
[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



نمودار ۵. حلقه برآورد تقاضای تاکسی‌ها در شهر (منبع: یافته‌های پژوهش)

بازخورد دیگری که تأثیر آن در مدل‌سازی لحاظ گردیده است مربوط به اثر دسترسی به سوخت CNG می‌باشد که در نمودار ۶ نمایش داده‌شده است. هرچه تعداد ایستگاه‌های سوخت‌گیری گاز طبیعی فشرده بیشتر باشد، کل گاز قابل تحویل افزایش‌یافته و با توجه به نیاز گاز CNG برای تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز و دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی، کمبود مصرف شکل می‌گیرد. درصورتی‌که از ناحیه تأمین گاز CNG کمبود وجود داشته باشد حاکمیت نسبت به احداث ایستگاه‌های جدید اقدام خواهد کرد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



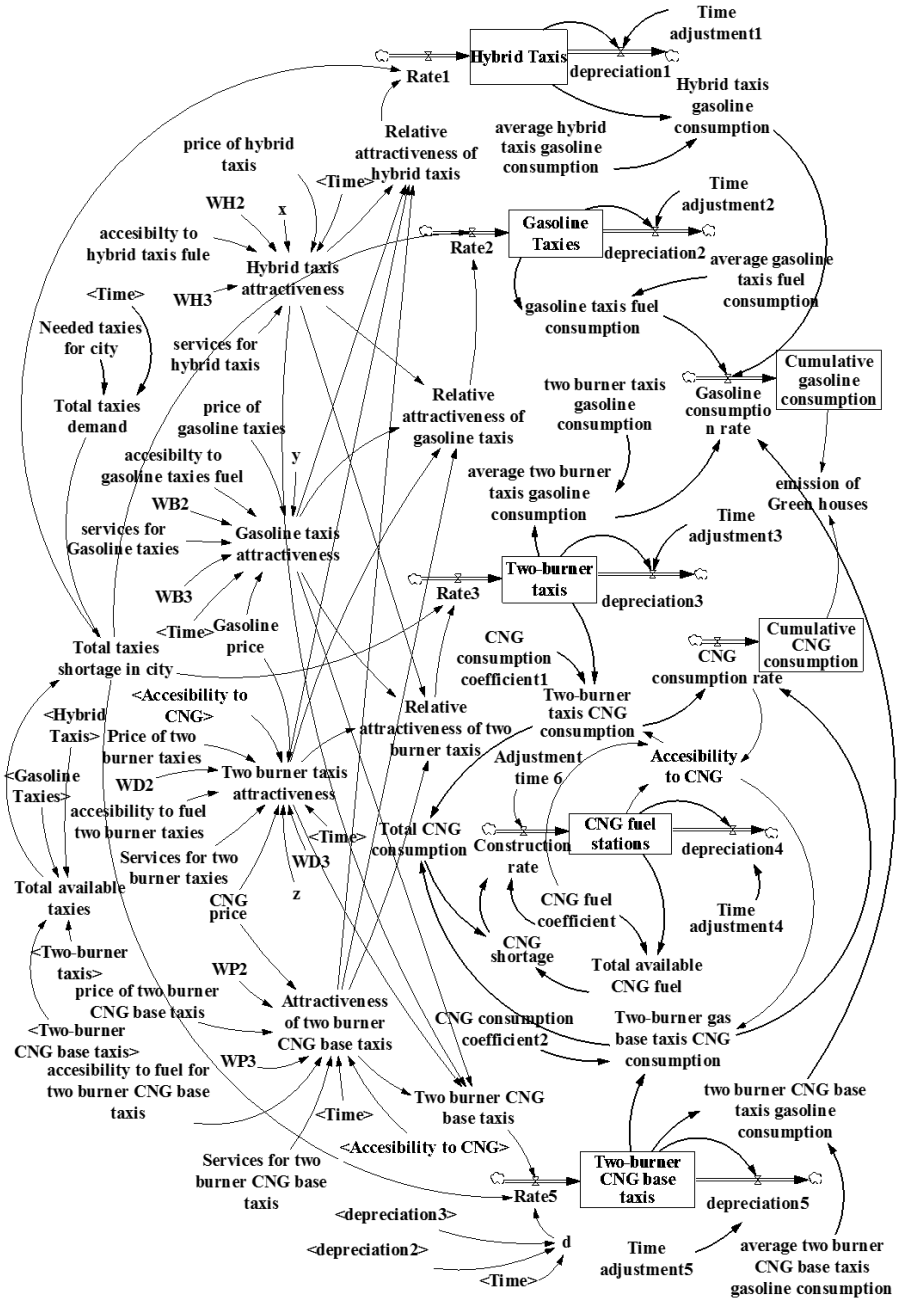
نمودار ۶. حلقه اثر دسترسی به سوخت CNG (منبع: یافته‌های پژوهش)

جهت شبیه‌سازی مدل لازم است تا نمودار جریان انباشت تدوین شود. در پویایی‌شناسی سیستم‌ها نمودار جریان-انباشت مبتنی بر نمودار حلقه‌های علت و معلولی استخراج می‌گردد. در قسمت بعد این نمودار بر اساس دو شکل بالا تدوین گردیده است.

۳-۴- نمودار جریان-انباشت مدل

نمودار جریان انباشت سیستم شکل‌گیری تعداد تاکسی‌ها در نمودار ۷ ارائه گردیده است. این مدل مبتنی بر بازخوردهای تبیین شده در قسمت قبل و پس از شناسایی متغیرهای انباشت ایجاد گردیده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



نمودار ۷. نمای کلی نمودار حالت و جریان (منبع: یافته‌های پژوهش)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

به‌منظور شبیه‌سازی مدل، میزان در دسترس بودن گاز طبیعی[۱] (TACF) بر اساس ضریب گازرسانی هر ایستگاه[۲] (CFC)، تعداد ایستگاه سوخت‌گیری گاز طبیعی فشرده[۳] (CFS) و نرخ مصرف گاز[۴] (CCR) محاسبه می‌گردد.

$$TACF = \frac{\mathrm{CFS} \times \mathrm{CFC}}{CCR}$$

مصرف سوخت[۵] (FC) بر اساس تعداد هر نوع تاکسی[۶] (NT) و ضریب مصرف[۷] (CC) محاسبه‌شده است.

$$FC = NT \times CC$$

ازآنجاکه تعداد تاکسی‌ها (NT) به‌صورت متغیر انباشت تعریف‌شده‌اند رابطه ریاضی نشان‌دهنده تعداد هر نوع تاکسی بر اساس نرخ خرید تاکسی‌ها[۸] (BNT) و استهلاک تاکسی‌ها[۹] (TD) مطابق رابطه زیر تعریف‌شده است.

$$NT = \int (\mathrm{TD} - \mathrm{BNT}) + \mathrm{NT}_{1390}$$

جذابیت نسبی تاکسی‌های تک سوخته[۱۰] (RAGT) بر اساس میزان دسترسی به سوخت بنزین[۱۱] (AGTF)، خدمات پشتیبانی خودروهای تک سوخته[۱۲] (SSGT)، قیمت خودروها[۱۳] (CP) و قیمت بنزین[۱۴] (GP) به‌صورت زیر محاسبه‌شده است:

$$RAGT = \frac{C_1 \times \mathrm{AGTF} + C_2 \times \mathrm{SSGT}}{C_3 \times \mathrm{CP}} \times \left(\frac{1}{\mathrm{GP}}\right)$$

1. Total Available CNG Fuel
2. CNG Fuel Coefficient
3. CNG Fuel Stations
4. CNG Consumption Rate
5. Fuel Consumption
6. No. of Taxies
7. Consumption Coefficient
8. Buying New Taxies
9. Taxies Depreciation
10. Relative Attractiveness of Gasoline Taxis
11. Accesibilty to Gasoline Taxies Fuel
12. Services Support for Gasoline Taxies
13. Cars Price
14. Gasoline Price

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

جذابیت نسبی تاکسی‌های دوگانه‌سوز[1] (TBTA) نیز مشابه رابطه قبل به‌صورت زیر تعریف می‌گردد. در این رابطه از میزان در دسترس بودن گاز طبیعی فشرده[2] (AC)، خدمات پشتیبانی خودروهای دوگانه‌سوز[3] (SSTBT) و قیمت گاز طبیعی فشرده[4] (CNGP) استفاده‌شده است.

$$TBTA = \frac{C_1 \times \mathrm{AC} + C_2 \times \mathrm{SSTBT}}{C_3 \times \mathrm{CP}} \times \left(\frac{1}{\mathrm{CNGP}}\right)$$

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مبتنی بر ضرایب ارائه‌شده در جدول ۴ در مدل محاسبه می‌گردد.

جدول ۴. ضرایب در نظر گرفته‌شده در محاسبات میزان انتشار آلاینده (عتابی و همکاران، ۱۳۸٦)

نوع سوخت	آلاینده‌ها (گرم در هر لیتر)				جمع
	PM_{10}	CO	NO_x	SO_2	
بنزین	۱۰,۱۱	۳۱۱,۶	۱۰,۹۵	۱,۳۰	۳۳۳,۹۶
گاز طبیعی فشرده	۲	۰,۲۹	۳	۰,۴	۵,۶۹

رابطه ریاضی تعریف‌شده جهت محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای[5] (EGHG) بر اساس میزان مصرف بنزین[6] (GC) و مصرف CNG[7] (CNGC) کل تاکسی‌ها به شرح زیر است.

$$EGHG = GC \times 333.96 + 5.69 \times CNGC$$

۳-۵- پارامترهای شبیه‌سازی

زمان شروع شبیه‌سازی سال ۱۳۹۰ و گام‌های زمانی شبیه‌سازی ۰/۰۳۱۲۵ در نظر گرفته‌شده است. پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی که مقادیر آن‌ها بر اساس آمارهای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران و نظر خبرگان مرتبط با صنعت CNG تعیین‌شده مطابق جدول شماره ۵ ارائه گردیده است.

1. Relative Attractiveness of Two Burner Taxis
2. Accesibility to CNG
3. Services Support for Two Burner CNG Base Taxis
4. CNG Price
5. Emission of Green House Gases
6. Gasoline Consumption
7. CNG Consumption

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

جدول ۵. پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار	واحد
ضریب مصرف روزانه بنزین تاکسی بنزینی	۲۵	لیتر
ضریب مصرف روزانه بنزین تاکسی هیبریدی	۱	لیتر
ضریب مصرف روزانه بنزین تاکسی دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی	۱۴	لیتر
ضریب مصرف روزانه بنزین موتور پایه گازسوز	۱	لیتر
ضریب مصرف روزانه گاز موتور پایه گازسوز	۱۷	مترمکعب
ضریب مصرف روزانه گاز موتور بنزینی	۱۱	مترمکعب
ضریب گازرسانی هر ایستگاه CNG	۹۰۰۰	مترمکعب در سال
زمان احداث هر جایگاه سوخت CNG	۱	سال

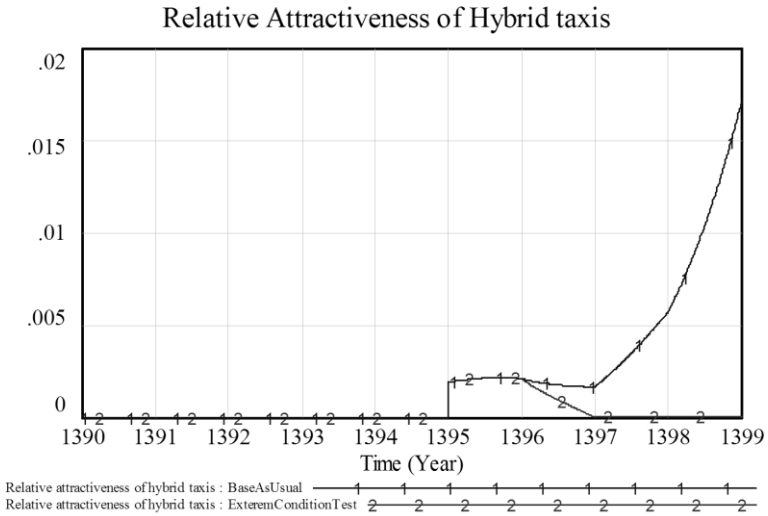
(منبع: یافته‌های پژوهش)

۳-۶- اعتبارسنجی مدل

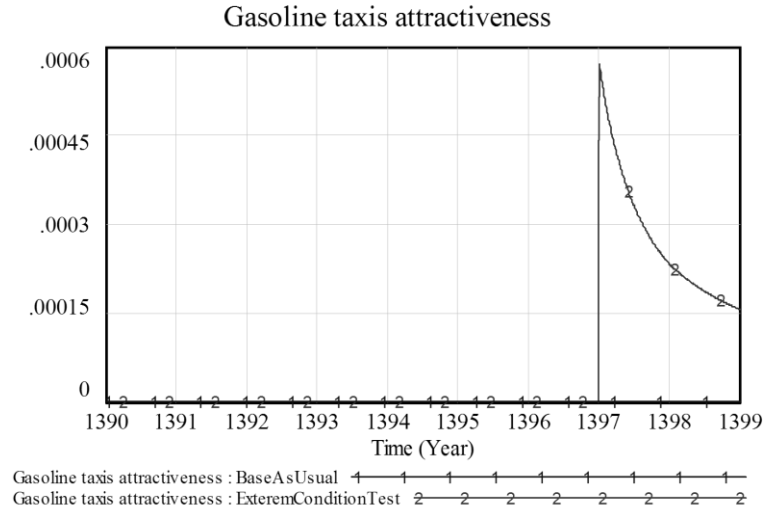
آزمون رفتار حدی[1]: در این آزمون مقدار ورودی‌های مدل مقدار حدی خود را گرفته و اثر آن بر روی متغیرهای مدل موردبررسی قرار می‌گیرد (Sterman, 2000). به منظور آزمون مدل با این روش لازم است تا یکی از پارامترهای مدل مقدار حدی به خود گرفته و تأثیر آن بر روی متغیرهای هدف مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور در گام اول قیمت بنزین از سال ۱۳۹۷ به بعد را صفر قرار داده‌ایم. در این صورت مقدار جذابیت تاکسی‌های هیبریدی مطابق نمودار ۸ به‌شدت کاهش یافته و به صفر میل می‌کند. همچنین جذابیت تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی نیز با این تغییر به‌صورت ناگهانی مطابق نمودار ۹ افزایش پیدا می‌کند.

1. Exterem condition test

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



نمودار ۸. جذابیت تاکسی‌های هیبریدی (منبع: یافته‌های پژوهش)



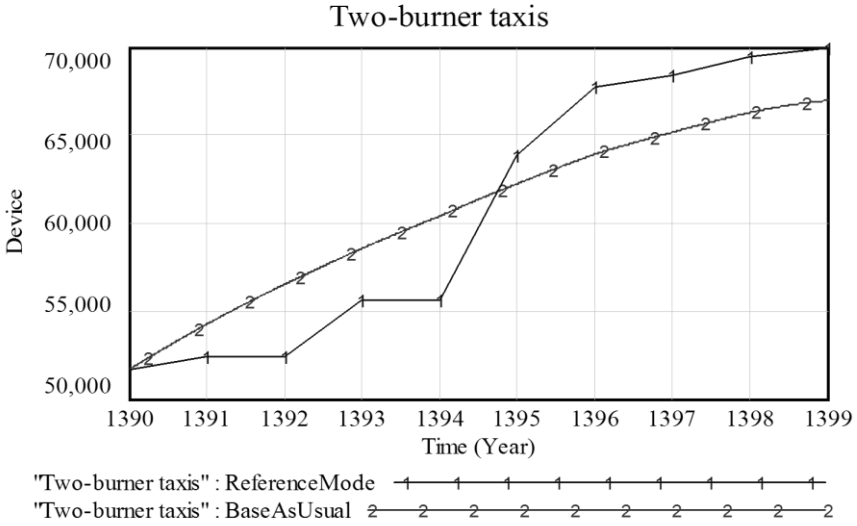
نمودار ۹. جذابیت تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی (منبع: یافته‌های پژوهش)

آزمون بازسازی رفتار مرجع[1]: در این آزمون نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی مقایسه می‌شود. مدل باید بتواند رفتار تغییر متغیرهای اساسی را به‌درستی شبیه‌سازی و بازسازی نماید. با مقایسه اطلاعات شبیه‌سازی و داده‌های واقعی این مدل توانسته

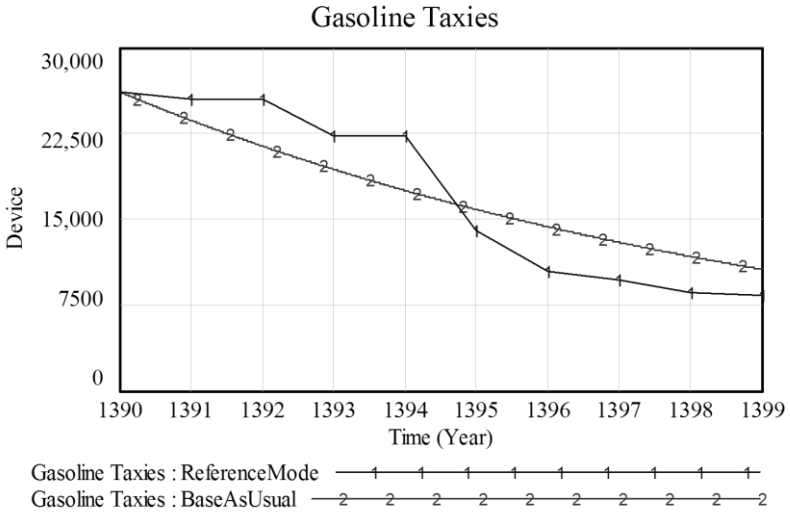
1. Behavior reporoduction test

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

است رفتار متغیرهای تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی را مطابق نمودار ۱۰ و تاکسی‌های بنزینی را مطابق نمودار ۱۱ با دقت نسبتاً بالایی شبیه‌سازی کند. لذا اعتبار این مدل ازنظر این آزمون نیز مورد تائید قرار می‌گیرد.



نمودار ۱۰. بازسازی رفتار مرجع تعداد تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی (منبع: یافته‌های پژوهش)



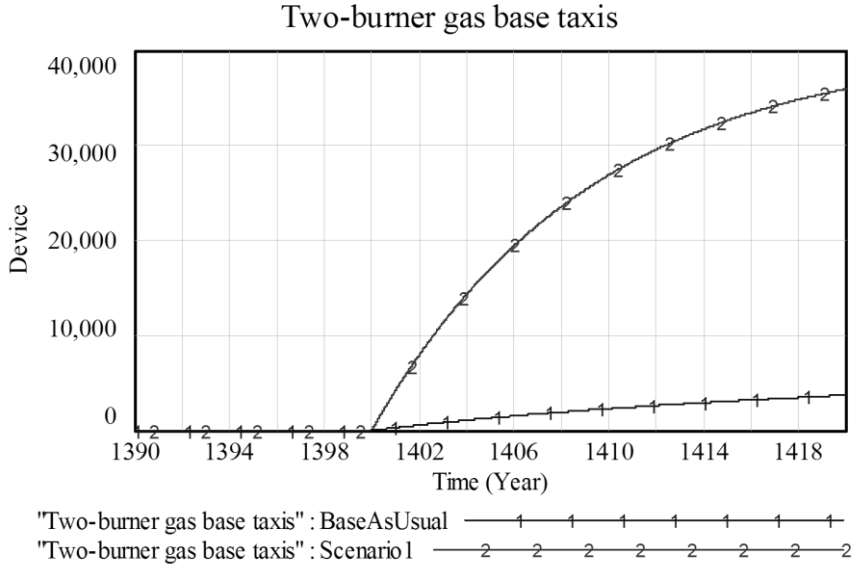
نمودار ۱۱. بازسازی رفتار مرجع تعداد تاکسی‌های بنزینی (منبع: یافته‌های پژوهش)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

۴- یافته‌های تحقیق

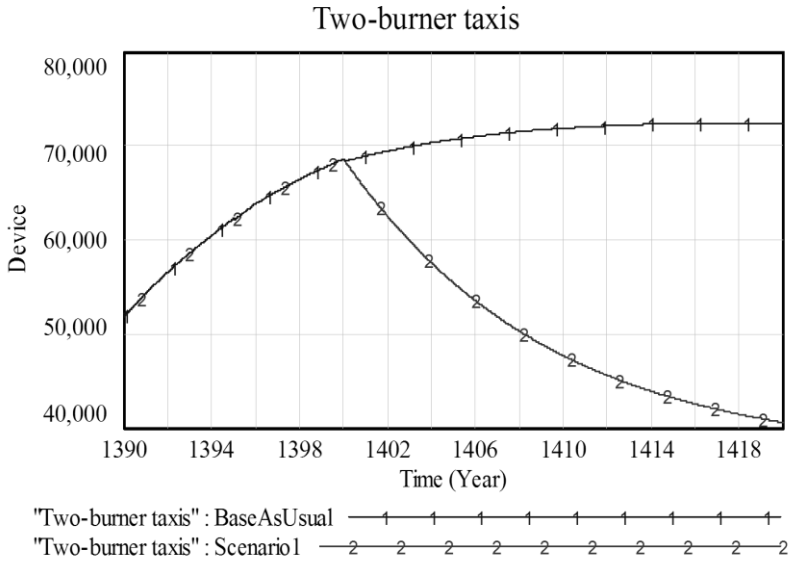
۴-۱- تحلیل سناریوی توسعه تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز

در این سناریو با توجه به مشخصات تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز، فرض می‌کنیم حاکمیت تصمیم به جایگزین کردن خودروهای فرسوده دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی و تک سوخته با خودروهای دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز بگیرد. برای این منظور نرخ اضافه شدن خودروهای دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز در نمودار ۱۲ از سال ۱۴۰۰ به بعد برابر با نرخ استهلاک خودروهای دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی و تک سوخته در نظر گرفته‌شده است. در نمودار ۱۳ وضعیت تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی، نمودار ۱۴ تعداد تاکسی‌های بنزینی و نمودار ۱۵ تعداد تاکسی‌های هیبریدی مشخص‌شده است.

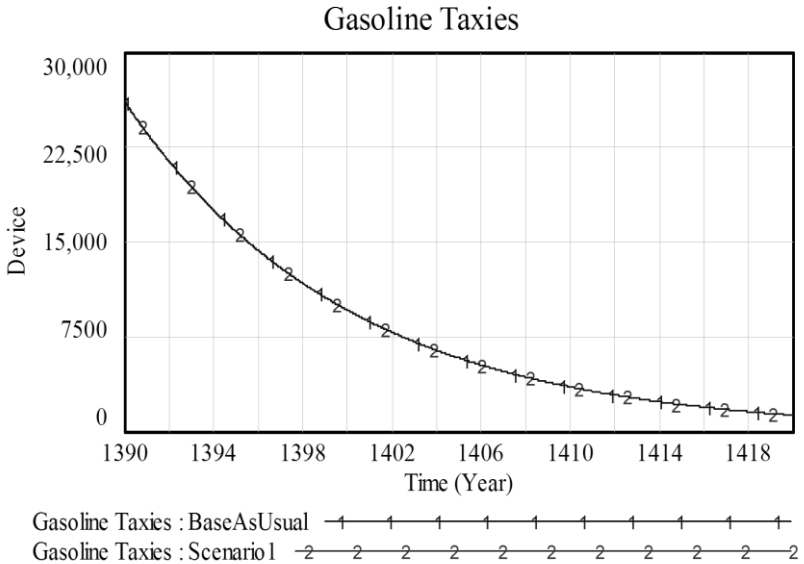


نمودار ۱۲. تعداد تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز (منبع: یافته‌های پژوهش)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

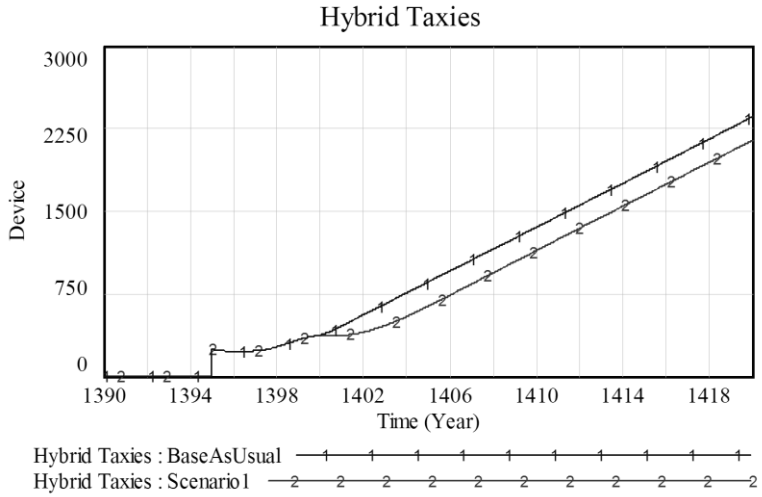


نمودار ۱۳. تعداد تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی (منبع: یافته‌های پژوهش)



نمودار ۱۴. تعداد تاکسی‌های بنزینی (منبع: یافته‌های پژوهش)

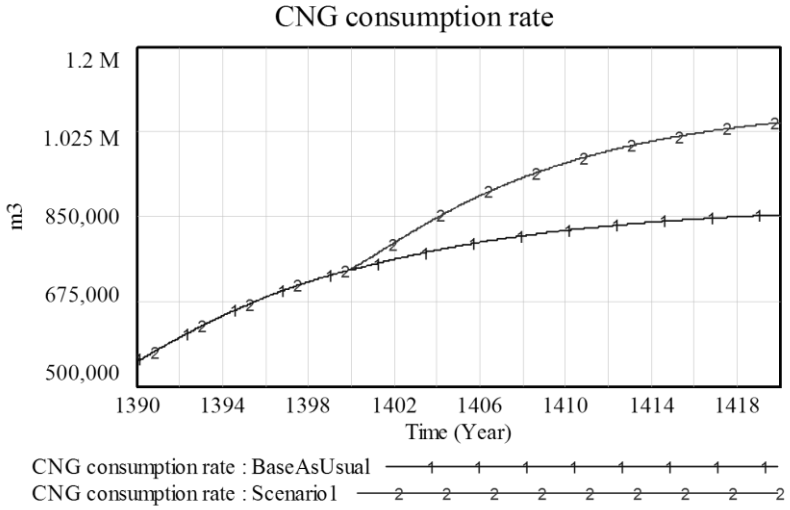
[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



نمودار ۱۵. تعداد تاکسی‌های هیبریدی (منبع: یافته‌های پژوهش)

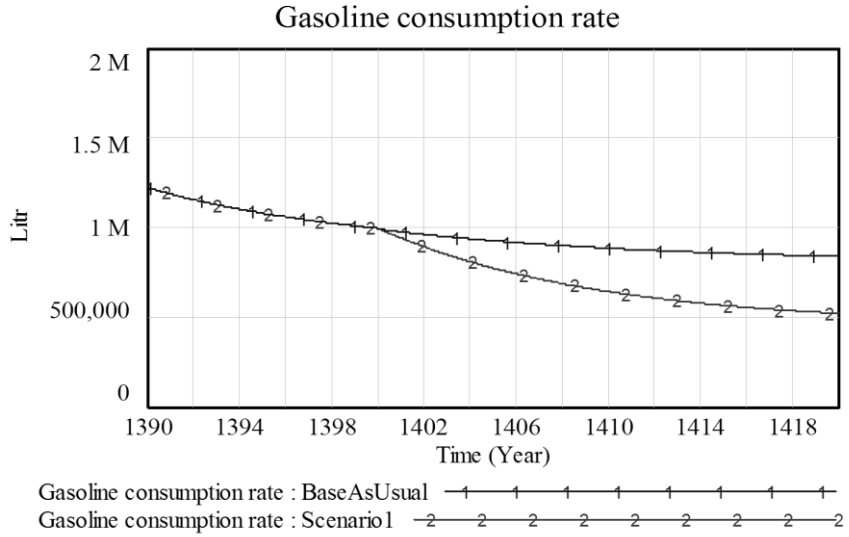
۴-۲- تحلیل سناریوی افزایش پایدار سهم CNG

با اجرای طرح جایگزین نمودن تاکسی‌های بنزینی و دوگانه‌سوز موتور پایه بنزینی با تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز پیشنهادی نرخ مصرف گاز طبیعی مطابق نمودار ۱۶ افزایش و نرخ مصرف بنزین مانند نمودار ۱۷ کاهش یافته و پایدار خواهد ماند.



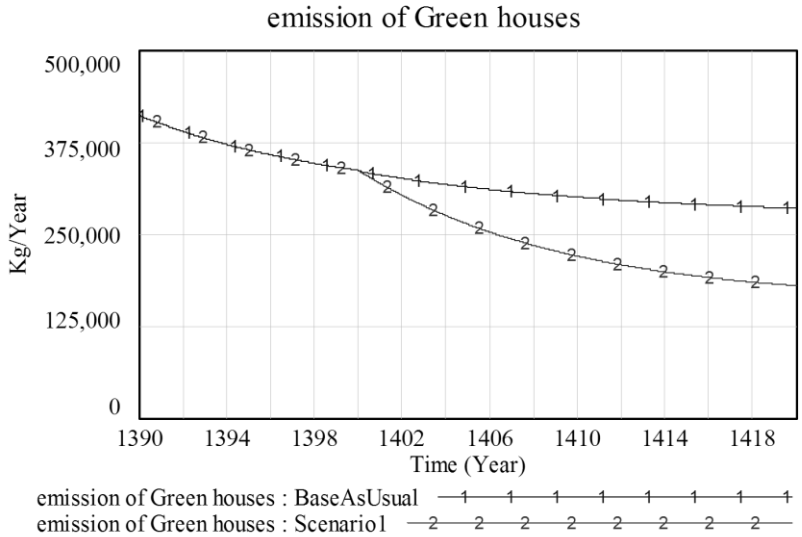
نمودار ۱۶. نرخ مصرف گاز طبیعی در تاکسی‌ها (منبع: یافته‌های پژوهش)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]



نمودار ۱۷. نرخ مصرف بنزین در تاکسی‌ها (منبع: یافته‌های پژوهش)

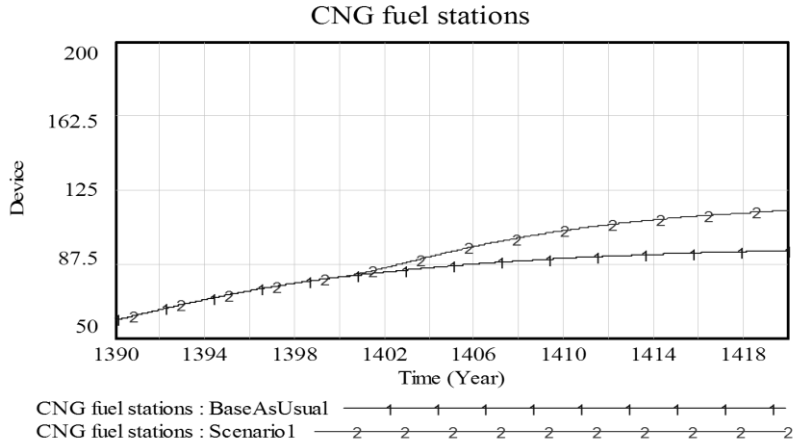
با اعمال این سناریو ازآنجاکه میزان مصرف بنزین کاهش یافته و از طرفی به همان نسبت مصرف گاز افزایش می‌یابد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشره نیز مطابق نمودار ۱۸ کاهش خواهد یافت.



نمودار ۱۸. میزان انتشار آلاینده‌ها (CO، NO_x، SO_2 و PM_{10}) در تاکسی‌ها (منبع: یافته‌های پژوهش)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

از طرفی تغییر خودروهای بنزینی و دوگانه‌سوز فعلی به خودروهای دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز پیشنهادشده موجب افزایش تقاضای مصرف گاز طبیعی شده و نیاز به افزایش ایستگاه‌های سوخت‌رسانی CNG می‌باشد که تناسب افزایش آن در نمودار ۱۹ نشان داده‌شده است.



نمودار ۱۹. تعداد جایگاه‌های CNG (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۶ نتایج حاصل از ادامه شرایط جاری و اعمال تغییر ساختار خودرو و اجرای این سناریو بر روی مدل در بلندمدت تا سال ۱۴۲۰ را نشان می‌دهد.

جدول ۶: نتایج حاصل از اعمال سناریو

متغیر	شرایط جاری	سناریوی پیشنهادی محقق	
تعداد خودرو دوگانه‌سوز معمولی	۷۲۴۰۷	۴۰۵۷۶	-%۴۴↓
تعداد خودرو دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز	۳۶۹۹	۳۵۹۲۵	%۸۷۱↑
تعداد خودرو بنزینی	۱۲۹۹	۱۲۹۹	%۰
تعداد خودرو هیبریدی	۲۳۶۰	۲۱۴۵	-%۹↓
مصرف بنزین (متوسط لیتر در روز)	۸۳۹۷۴۶	۵۲۱۱۸۳	-%۳۸↓
مصرف CNG (متوسط مترمکعب در روز)	۸۵۳۹۷۹	۱۰۴۴۰۰۰	%۲۴↑
تعداد جایگاه‌های CNG	۹۴	۱۱۴	%۲۱↑
میزان آلاینده منتشره ناشی از تاکسی‌ها (کیلوگرم در سال)	۲۸۵۳۰۱	۱۷۹۹۹۵	-%۳۷↓

(منبع: یافته‌های پژوهش)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله به‌منظور ایجاد مدل ذهنی مشترک و ترسیم تأثیر و اثرات مابین متغیرهای دخیل در مدیریت ناوگان تاکسیرانی شهر تهران، از رویکرد سیستم دینامیک استفاده گردید. در ابتدا تحقیقات گذشته مرور و شکاف تحقیقاتی شناسایی گردید. آنچه تحقیق پیش رو را از مطالعات گذشته متمایز می‌کند، توجه به ساختار خودرو (موتور پایه گازسوز، حجم مخزن بنزین، طراحی و جانمایی مناسب مخزن گاز) و ویژگی‌های خاص مدیریت ایران در حوزه دولتی، خصوصی و نیمه‌خصوصی بودن ناوگان تاکسیرانی شهری است که به نحو مناسب در مدل‌سازی در نظر گرفته می‌شود و در تحقیقات پیشین به این موضوعات توجهی نشده است. پس از مرور تحقیقات گذشته با استفاده از روش دلفی فازی و مصاحبه با خبرگان و کارشناسان فرضیات دینامیکی و نمودار علت و معلولی توسعه و استخراج گردید. سپس به بررسی تأثیر و اثرات بین متغیرهای تأثیرگذار بر توسعه و استفاده از تاکسی‌های هیبریدی، تاکسی‌های بنزنی، تاکسی‌های دوگانه‌سوز معمولی و تاکسی‌های دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز (پیشنهادی محقق) در ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهر تهران پرداخته شد. ازجمله نتایج ارزشمند به‌دست‌آمده، جزئیات استخراج‌شده در خصوص اعمال این سناریو بر روی میزان مصرف بنزین، میزان آلاینده منتشره، روند تعداد خودروهای بنزینی، هیبریدی، دوگانه‌سوز معمولی و دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز تا چشم‌انداز ۱۴۲۰ است. در این تحقیق با استفاده ازنظر خبرگان میزان تأثیر هرکدام از فاکتورهای یادشده بر روی تصمیم جهت خرید هرکدام از تاکسی‌ها ارزیابی و سپس به شبیه‌سازی مدل از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰ پرداخته شده است. اعتبار مدل ازنظر روش بازسازی رفتار مرجع و آزمون رفتار حدی مورد تائید قرار گرفت و مدل توانست با دقت خوبی رفتار تاکسی‌ها را شبیه‌سازی کند.

مکانیسم‌های تصمیم‌گیری در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری خصوصی و عمومی برای جایگزینی و استفاده از سوخت CNG متفاوت است، اجرای سیاست‌های جایگزینی سوخت CNG نیز باید در این دو بخش مختلف، متفاوت باشد. این سیاست‌ها بر افزایش استفاده از وسایل نقلیه CNG در بخش خصوصی معمولاً با کاهش قیمت نسبی سوخت CNG و افزایش کارایی وسایل نقلیه گازسوز متمرکز است و در بخش دولتی، حمایت دولت برای افزایش سهم سوخت CNG انجام‌شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

از نتایج به‌دست‌آمده روشن است که تغییر در نحوه استفاده از انرژی مستلزم تغییر رویه‌هایی است که انرژی تولید می‌کنند. بااین‌حال، به چند دلیل، پیکربندی مجدد روش‌ها یک فرآیند پیچیده است (Laakso et al, 2021). این مطالعه نشان می‌دهد که برای افزایش و رسیدن به مصرف پایدار سوخت CNG در تاکسی‌های عمومی شهر تهران که نتایج آن کاهش آلایندگی هوا و پرداخت یارانه کلان دولت به سوخت بنزین را به دنبال دارد، ابتدا نیاز به تغییر ساختار خودرو می‌باشد، به‌طوری‌که خرید و جایگزین تاکسی‌ها صرفاً از نوع خودرو موتور پایه گازسوز با در نظر گرفتن پیشنهادی محقق یعنی کاهش باک بنزین به ۱۰ لیتر و فضاسازی مناسب مخزن گاز می‌تواند نقش مؤثری در تمایل مصرف و پایداری CNG در سوخت خودروها ایفا نماید. این منطق با مدل شبیه‌سازی ارائه‌شده بیان شد. از طرفی تقاضای مصرف CNG نیازمند رشد متناسب جایگاه‌های سوخت CNG است تا همواره تقاضای مؤثر برای مصرف سوخت CNG مهیا باشد (عتابی و همکاران، ۱۳۸۶). لذا توصیه می‌شود دولت با هدف تغییر ساختار خودروها و گسترش دسترسی به سوخت گاز بستر مناسب ایجاد نموده و با اعطای تسهیلات به متقاضیان برای خرید تاکسی‌های جدید و تبلیغات مؤثر، کشش تقاضا و رضایتمندی عمومی پایدار را نیز تقویت نماید.

تعارض منافع

پژوهش حاضر مستخرج از رسالهٔ دکتری تخصصی است که در تاریخ ۱۴۰۰/۰۳/۲۰ به شماره قرارداد ۱۰۲ ق‌د ۱۶/۱۴۰۰۰۳۰۴ تحت حمایت شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران قرارگرفته است. نویسندگان مقاله از حمایت شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران سپاسگزاری می‌کنند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

منابع

- آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا، (۱۴۰۰) انتشارات روابط عمومی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران.
- 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، سال پنجم شماره ۱۵، ۱۶۹-۱۴۵.
- امین طهماسبی، حمزه و رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین. (۱۴۰۰) شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تقویت صنعت CNG در بخش حمل‌ونقل با روش ترکیبی تصمیم‌گیری گروهی فازی، فصلنامه علمی جاده، انتشار آنلاین از تاریخ ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۰.
- امین طهماسبی، حمزه و رضوی‌نسب، 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، فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال هفدهم، دوره سوم، شماره ۶۴، ۵۸ – ۴۵.
- ایرانمنش، سیدحسین و شخصی نیایی، مجید. (۱۳۹۴) ارائه مدل انتخاب پروژه‌های کاهش انتشار کربن در سطح کلان. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۱۱، شماره ۴۷، ۶۶-۲۷.
- باستان، مهدی و شکوری گنجوی، حامد (۱۳۹۸) ارزیابی مبتنی بر مدل سیاست‌های کاهش وابستگی به انرژی: مدلی بر اساس رویکرد پویاشناسی سیستم، چشم‌انداز مدیریت صنعتی، سال نهم، شماره ۳۴، ۱۰۶-۸۱.
- دانش شهرکی، سعید و شکوری گنجوی، حامد و زارعیان، رحمان،۱۳۹۶، تحلیل و پیش‌بینی روند تعداد خودروهای دوگانه‌سوز و تأثیر آن بر آلودگی هوای شهر تهران با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران.
- دل‌انگیزان، سهراب؛ خانزادی، آزاد و مریم حیدریان (۱۳۹۵) اثر تغییر قیمت واقعی سوخت بر بهبود تکنولوژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۱۲، شماره ۵۱، ۲۴۶-۲۱۵.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

- دین‌محمدی، مصطفی؛ صادقی، زین‌العابدین؛ صادقیان بافقی، رجبعلی و قاسمی، روستا (۱۳۹۱) شبیه‌سازی پویای توسعه خودروهای گازسوز ایران، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی در ایران، سال اول، شماره ۱، ۲۲۷-۱۹۱.
- 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).
- زارعیان، رحمان و شکوری گنجوی، حامد، (۱۳۹۵)، تحلیل سیستمی تقاضای بنزین و برآورد کشش قیمتی تقاضای آن در استان تهران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۵، شماره ۱۸، ۶۱-۹۸.
- سالنامه آماری شهر تهران، (۱۳۹۹) انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- صحت‌پور، محمدهادی و کاظمی، عالیه (۱۳۹۴) اولویت سوخت‌های مرسوم در خودروهای سبک با استفاده از روش رتبه‌بندی مافوقی و مادونی (SIR)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۱۱، شماره ۴۷، ۲۵-۱.
- طاهرپور جواد، قاسمی عبدالرسول، درخشان شبنم (۱۳۹۸) اثر حمایت‌های تعرفه‌ای خودرو بر میزان آلایندگی خودروها (انتشار گاز CO2)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۱۵، شماره ۶۱، ۹۳-۶۷.
- عتابی، فریده؛ عابدی، زهرا؛ اصفهانیان، وحید و ماهوتچی سعید، کامران (۱۳۸۶) تحلیل هزینه - منفعت احداث و بهره‌برداری از جایگاه سوخت‌رسانی تک منظوره CNG برای بخش خصوصی در شهر تهران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۴، ۱۴، ۹۷-۱۱۹
- Andriosopoulos, K., Bigerna, S., Bollino, C. A., & Micheli, S. (2018). The impact of age on Italian consumers' attitude toward alternative fuel vehicles. Renewable Energy, 119, 299-308.
- Barisa, A., & Rosa, M. (2018). A system dynamics model for CO2 emission mitigation policy design in road transport sector. Energy Procedia, 147, 419-427.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

- Bekhrad, K., Roumi, S., Yousefi, H., & Noorollahi, Y. (2020). Decrease in CO2 emission per capita as a result of the reduction in power grid losses in Iran. International Journal of Ambient Energy, 41(1), 8-18.
- Bruglieri, M., Mancini, S., & Pisacane, O. (2019). The green vehicle routing problem with capacitated alternative fuel stations. Computers & Operations Research, 112, 104759.
- 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.
- 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.
- Garcia, J. M. (2020). Theory and practical exercises of system dynamics: modeling and simulation with Vensim PLE. Preface John Sterman. Juan Martin Garcia.
- Gupta, P., Zhuge, W., Luo, S., & Ma, F. (2019). The well-to-wheel analysis of hydrogen enriched compressed natural gas for heavy-duty vehicles using life cycle approach to a fuel cycle. International Journal of Low-Carbon Technologies, 14(3), 432-439.
- Hafeznia, H., Pourfayaz, F., & Maleki, A. (2017). An assessment of Iran's natural gas potential for transition toward low-carbon economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 71-81.
- Haghshenas, H., Vaziri, M., & Gholamialam, A. (2015). Evaluation of sustainable policy in urban transportation using system dynamics and world cities data: A case study in Isfahan. Cities, 45, 104-115.
- Hagos, D. A., & Ahlgren, E. O. (2018). Well-to-wheel assessment of natural gas vehicles and their fuel supply infrastructures–Perspectives on gas in transport in Denmark. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 65, 14-35.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

- Han, J., Bhandari, K., & Hayashi, Y. (2010). Assessment of policies toward an environmentally friendly urban transport system: Case study of Delhi, India. Journal of urban planning and development, 136(1), 86-93.
- Hegazy, I., Seddik, W., & Ibrahim, H. (2017). Towards green cities in developing countries: Egyptian new cities as a case study. International Journal of Low-Carbon Technologies, 12(4), 358-368.
- Hong, S., & Kuby, M. (2016). A threshold covering flow-based location model to build a critical mass of alternative-fuel stations. Journal of Transport Geography, 56, 128-137.
- Hosseini, M., Dincer, I., & Ozbilen, A. (2018). Expert Opinions on Natural Gas Vehicles Research Needs for Energy Policy Development. In Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions (pp. 731-750). Academic Press.
- Jansson, J., & Rezvani, Z. (2019). Public responses to an environmental transport policy in Sweden: Differentiating between acceptance and support for conventional and alternative fuel vehicles. Energy Research & Social Science, 48, 13-21.
- Jansson, J., Pettersson, T., Mannberg, A., Brännlund, R., & Lindgren, U. (2017). Adoption of alternative fuel vehicles: Influence from neighbors, family and coworkers. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 54, 61-73.
- Khan, M. I. (2017). Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. Energy Policy, 110, 126-136.
- 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.
- Liu, W., Shadloo, M. S., Tlili, I., Maleki, A., & Bach, Q. V. (2020). The effect of alcohol–gasoline fuel blends on the engines' performances and emissions. Fuel, 276, 117977.
- Lorenzi, G., & Baptista, P. (2018). Promotion of renewable energy sources in the Portuguese transport sector: A scenario analysis. Journal of cleaner production, 186, 918-932.
- Oliveira, G. D., Roth, R., & Dias, L. C. (2019). Diffusion of alternative fuel vehicles considering dynamic preferences. Technological Forecasting and Social Change, 147, 83-99.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]

- 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.
- Petroleum, British. (2020) Statistics https://www. Bp. Com /en/global/corporate/ energy-economics/ statistical-review-of-world-energy. Html.
- 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.
- Rusu, E. (2021). Special Issue "Advances and Challenges in Harvesting Ocean Energy". Energies, 14(15), 4543.
- Senge, P. M. (2014). The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization. Currency.
- 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.

  Sterman, J. (2000). Instructor's Manual to Accompany Business Dyanmics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill.A

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-29]