فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۵۹ / بهار ۱۴۰۱

ارائه مدلی پویا برای توسعه بهینه و پایدار استفاده از اتوبوس‌های شهری گازسوز (CNG) تهران

سید جمال‌الدین رضوی نسب
دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت صنعتی تولید و عملیات، گروه مدیریت، واحدرشت دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
مهدی فدایی اشکیکی (نویسنده مسؤول)
استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
Email: fadaei@iaurasht.ac.ir
مهدی همایون‌فر
استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
مریم اوشک سرایی
استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

چکیده

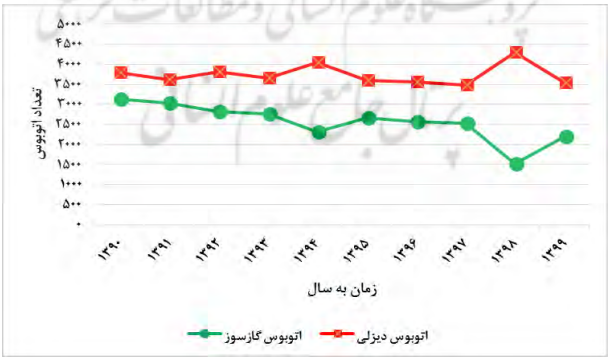
امروزه مدیریت مصرف انرژی ازآن‌جهت اهمیت دارد که علاوه بر حفظ ذخایر خدادادی برای آیندگان، سلامت محیطزیست، اقتصاد و امنیت انرژی کشور را تضمین می‌کند. در شهر تهران آلودگی هوا به یکی از بحران‌هایی تبدیل‌شده که هرسال جان هزاران نفر را به خطر می‌اندازد. از سوی دیگر تأمین سوخت گازوئیل در شرایط سیاسی فعلی کشور و پرداخت یارانه کلان به این سوخت، دولت را دچار چالش نموده است. یکی از راه‌های جلوگیری از این مشکلات، استفاده از خودروهای گازسوز (CNG) در سیستم حمل‌ونقل عمومی شهری است. متأسفانه در سال‌های اخیر استفاده از اتوبوس‌های گازسوز (CNG) در سیستم حمل‌ونقل عمومی کم شده است. این مقاله به استناد رهیافت‌های تاریخی و با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها، عوامل و بازخوردهای مؤثر بر افزایش پایدار تعداد اتوبوس‌های گازسوز (CNG) را شناسایی و مدلی پویا برای توسعه بهینه و پایدار استفاده از اتوبوس‌های شهری گازسوز (CNG) ارائه نموده است. پس از اعتبارسنجی مدل و شبیه‌سازی بازه ۱۰ ساله، نتایج نشان داد درصورتی‌که حاکمیت به‌صورت جدی در حوزه خرید اتوبوس‌های گازسوز عمل نکند تا سال ۱۴۱۰ سهم اتوبوس‌های گازسوز (CNG) در ناوگان حمل‌ونقل از ۳۸ درصد به ۱۴ درصد کاهش میابد. در صورت افزایش سالانه ۲۸۲ دستگاه اتوبوس گازسوز (CNG) به ناوگان اتوبوس‌رانی شهری تهران تا سال ۱۴۱۰ تعداد اتوبوس‌های دیزلی و گازسوز (CNG) برابر و شرایط پایدار نسبی برقرار می‌شود. در این شرایط میزان آلایندگی ناشی از سوخت ناوگان اتوبوس‌ها کاهش و صرفه‌جویی اقتصادی ازنظر پرداخت یارانه سوخت برای دولت به همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: اتوبوس‌های شهری گازسوز (CNG)، پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مدیریت مصرف انرژی.

۱-مقدمه

تراکم شدید جمعیت، ازدحام آمدوشد، آلودگی هوا و اختصاص سالانه میلیون‌ها دلار یارانه سوخت به بخش حمل‌ونقل درون‌شهری ازجمله مشکلات کلان‌شهر تهران است. سلامت اجتماعی و اقتصادی یک منطقه شهری تا حد زیادی بر عملکرد سیستم حمل‌ونقل آن وابسته است (Tang & Waters, 2005). در میان گزینه‌های مختلف ناوگان حمل‌ونقل عمومی، اتوبوس‌رانی به‌عنوان گزینه بسیار مناسب و کم‌هزینه برای گسترش خدمات حمل‌ونقل عمومی در کوتاه‌مدت و میان‌مدت محسوب می‌شود (Johnston, 1956). 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. ایران با در اختیار داشتن ۳۲ تریلیون مترمکعب ذخایر اثبات‌شده گاز طبیعی پس از روسیه، به‌عنوان بزرگ‌ترین دارندگان ذخایر گاز طبیعی جهان به شمار می‌آید (Petroleum British, 2020). وجود ذخایر عظیم گاز طبیعی در ایران، ارزان بودن آن نسبت به دیگر فرآورده‌های نفتی و گستردگی شبکه گازرسانی در کشور انتخاب این سوخت را به‌عنوان سوخت جانشین، ازلحاظ اقتصادی، توجیه‌پذیر می‌نماید (Dale & Ghanbarzadeh, 2012). یکی از راه‌های استفاده بهینه از گاز طبیعی، استفاده آن به‌صورت گاز طبیعی فشرده[1] در صنعت حمل‌ونقل کشور می‌باشد. اگرچه در این راستا شرکت ملی نفت از سوی دولت موظف به ایجاد زیرساخت‌های لازم احداث جایگاه‌های CNG و تبدیل و تولید خودروهای گازسوز جهت این امر گردیده (Razavinsab, 2016)، ولی فقدان وجود یک سند ملی در ارتباط با بخش حمل‌ونقل کشور و مسائل مدیریت سوخت این بخش کلیدی، آسیب‌های زیادی از هرز روی سوخت گرفته تا تولید خودروهای باکیفیت پایین و فرسوده و همچنین آلایندگی شدید در سطح کلان‌شهرها را باعث گردیده است (Amidpour et al., 2012).

عدم تولید و جایگزینی اتوبوس‌های گازسوز (CNG) از سال ۱۳۹۰ (Ministry of Industry, 2021) و قیمت سوخت‌های گازوئیل و گاز طبیعی، مدیریت مصرف سوخت در سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر تهران را وارد چالش نموده، به‌طوری‌که کاهش تعداد از اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و افزایش اتوبوس‌های دیزلی در شهر تهران در شکل شماره ۱ (TMICTO, 2021) و عدم استفاده از اتوبوس‌های گازسوز، کاهش مصرف گاز طبیعی در بخش حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی شهری تهران را در شکل شماره ۲ (NIOPDC, 2021) شاهد هستیم. بدیهی است ادامه این روند در درازمدت به حذف استفاده از گاز طبیعی در سوخت بخش مهمی از حمل‌ونقل عمومی در شهر تهران خواهد انجامید. در حال حاضر ۳۸ درصد از ناوگان اتوبوس‌های شهری تهران گازسوز (CNG) و ۶۲ درصد دیزلی می‌باشند.



شکل شماره (۱): ترکیب استفاده از اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و دیزلی در شهر تهران

1 - Compressed Natural Gas (CNG)

شکل شماره (۲): مصرف سالانه گاز طبیعی اتوبوس‌های شهری گازسوز (CNG) تهران

موفقیت یا شکست هر سازمان در نیل به اهداف، منوط به داشتن سیاست‌ها و برنامه‌های معقول و منطقی، سازمان‌دهی مناسب، تصمیم‌گیری صحیح و بهینه مدیریت است. در دوران توسعه کشور می‌تواند از امکانات موجود حداکثر استفاده را نمود و با ارائه راهکارهای منطقی مدیران را از اخذ تصمیمات نسنجیده و بی‌حساب بر حذر داد. پس از بررسی موضوع به استناد رهیافت‌های تاریخی و عوامل مختلف تأثیرگذار بر افزایش و پایداری مصرف سوخت گاز طبیعی در سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌های شهری، فراوانی اتوبوس‌های گازسوز (CNG) به‌عنوان اولین مؤلفه مؤثر شناسایی و در این تحقیق با استفاده از ابزار سیستم دینامیک[۲] و مدل پولیا[۳] شبیه‌سازی و راهکارهای مناسب برای تحقق و پایداری سیستم ارائه‌شده است.

امر تحقیق و توسعه در ایران به دلیل شکاف بین دانشگاه و صنعت ضعیف است و محققان به‌آسانی و درستی به صنعت دسترسی ندارند. محققان دانشگاهی در این حوزه عمدتاً بر مسائلی نظیر دوگانه‌سوز و گازسوز کردن موتورها، خودروهای دوگانه‌سوز، مخازن CNG و ارزیابی‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی خودروهای گازسوز تمرکز دارند (Haeri Yazdi, 2017). مطالعه‌ای در سال ۱۹۹۳ تحت عنوان خط‌مشی تبدیل اتوبوس‌های دیزلی به CNG است که توسط کمیسیون اقتصادی و اجتماعی آسیا اقیانوسیه سازمان ملل موسوم به اسکاپ[۴] به اجرا درآمده است بر اساس مندرجات بخش نخست این مطالعه، توصیه‌های ارائه‌شده در این پژوهش در بخش عمده‌ای از کشورهای منطقه ازجمله پاکستان، بنگلادش، چین، هند، ایران، برونئی دارالسلام قابل‌اجرا و استفاده است (Duych & Chambers, 2008). میرفتاح (2005) نیز گاز طبیعی فشرده را به‌عنوان جایگزینی مناسب در مقابل سوخت‌های دیگر برای توسعه و بهینه‌سازی ناوگان اتوبوس‌رانی تهران قابل‌استفاده دانسته است، وی با بررسی وضعیت ۹ کشور نتیجه‌گیری نموده که تفاوت بسیار زیاد هزینه‌ها اعم از هزینه‌های اولیه و تعمیر و نگهداری میان اتوبوس گازسوز (CNG) و مشابه دیزلی آن را موجب شده در اغلب کشورها ناوگان حمل‌ونقل سبک عمومی و خصوصی هدف اولیه واقع گردد و تبدیل خودروهای سنگین و اتوبوس‌ها در اولویت‌های آخر قرارگیرد (Mirfatah, 2005).

امین طهماسبی و رضوی نسب (۲۰۱۹) با سه هدف خودکفایی در تأمین سوخت‌های بنزین و گازوئیل، کاهش هزینه‌های دولت در مقابل درآمد و در نظر گرفتن افزایش رضایت‌مندی و رفاه عمومی، استفاده از CNG را با استفاده از رویکرد تحلیل و توسعه گزینه‌های استراتژیک بررسی نمودند (Amin-Tahmasebi & Razavinsab, 2019) و در پژوهشی دیگر باهدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تقویت صنعت CNG از طریق مصاحبه و دریافت نظرات خبرگان، به روش دلفی، گزینه‌ها و معیارهای مؤثر را شناسایی و سپس با روش ترکیبی تصمیم‌گیری گروهی فازی، مهم‌ترین معیارها و بهترین گزینه را برای تقویت صنعت CNG در بخش حمل‌ونقل را شناسایی نمودند (Amin-Tahmasebi & Razavinsab, 2021). عابدی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود به ارزیابی هزینه زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف سوخت فسیلی در بخش مینی‌بوس‌رانی و نیز تحلیل هزینه فایده و امکان‌سنجی نوسازی و گازسوز نمودن ناوگان مینی‌بوس‌رانی شهر تهران پرداخته است (Abedi et

2 - System Dynamics (SD)
3 - Polya Model
4 - Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)

al., 2011). لورنزو و باتیستا (۲۰۱۸) در تحقیقات خود نتیجه گرفتند که حمل‌ونقل یکی از بخش‌های مصرف انرژی است که در آن حضور انرژی‌های تجدید پذیر پایین‌تر است و افزایش آن به‌ویژه در کشورهایی که تمام سوخت‌هایی که مصرف می‌کنند، فسیلی است ضرورت بیشتری دارد (Lorenzi & Baptista, 2018). شاه و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی بیوگازطبیعی فشرده با محتوای متان بالا را یک انتخاب امیدوارکننده به‌عنوان سوخت خودرو در جایگزینی سوخت معمولی برای حل این مشکل می‌دانند (Shah et al., 2017). حسینی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی کمبود ایستگاه سوخت‌گیری، عدم مشوق‌های مالیاتی، هزینه نسبی بالا وسایل نقلیه گازسوز و توسعه موتور خودروهای گازسوز را از موانع مربوط به توسعه بازار خودروهای گازسوز بیان نمودند (Hosseini et al., 2018). وانگ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی دیگر کمبود عرضه گاز طبیعی و قیمت نسبتاً گران‌قیمت گازطبیعی در مقایسه با بنزین عوامل اصلی مانع توسعه خودروهای گازسوز چین می‌دانند (Wang et al., 2015). خان (۲۰۱۷) نقشه جاده‌ای را به چرخه فناوری گاز طبیعی فشرده را بررسی و درس‌هایی را که می‌تواند برای کشورهای توسعه‌یافته در تلاش برای راه‌اندازی وسایل نقلیه گاز طبیعی مفید باشد، مشخص نموده است (Khan, 2017). در تحقیق یانگ و همکاران (۲۰۱۸) جایگزینی گاز طبیعی فشرده با سوخت‌های فسیلی و توسعه وسایل نقلیه گاز طبیعی موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای و مزایای زیست‌محیطی در چین بررسی شده است (Yuan et al., 2018). رومینجو و ناکانو (۲۰۱۷) در تحقیقات خود نتیجه گرفتند که دولت باید به دنبال عرضه قابل‌اعتماد CNG باشد و به‌طورکلی به سازندگان خودروهای گازسوز کمک نماید تا برای سرمایه‌گذاران جذابیت ایجاد نمایند (Romejko & Nakano, 2017). یه (۲۰۰۷) در تحقیقات خود بیان می‌نماید در آرژانتین و برزیل، مکانیسم‌های ایجاد بازار با دخالت مستقیم دولت‌های سرمایه‌گذاری در جایگاه‌های سوخت‌رسانی، به‌روزرسانی یا شبکه‌های جدید گاز طبیعی با موفقیت تمرین می‌کنند ضرورت ناوگان‌های دولتی ازجمله اتوبوس‌ها و یا سهم اجباری از آن ناوگان سبز در کل ناوگان به‌عنوان مکانیسم دستیابی به اهداف ملی را در نظر گرفته‌اند (Yeh, 2007). جدول شماره ۱ تعدادی از پژوهش‌هایی که در زمینه خودروهای دوگانه‌سوز (CNG) با روش پویایی سیستم انجام و شبیه‌سازی شده‌اند را نمایش می‌دهد.

جدول شماره (۱): تعدادی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه کاربرد پویایی سیستم در شبیه‌سازی

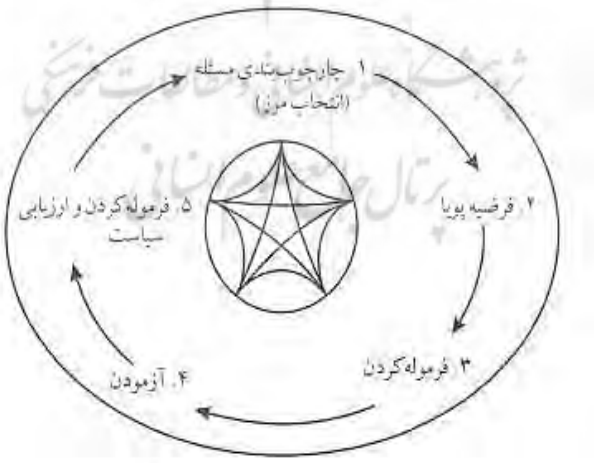
نویسندگان	تاریخ	موضوع
استادی جعفری و حبیبیان	۲۰۱۴	جهت بررسی اثر سیاست‌های ترکیبی بر وضعیت حمل‌ونقل و بررسی روند اثرات متقابل متغیرهای مختلف در طول زمان، از مدل پویایی سیستم حمل‌ونقل در کلان‌شهر مشهد استفاده نموده است.
فرتوک‌زاده و اشراقی	۲۰۱۵	با استفاده از روش پویایی‌های سیستم یک مدل دینامیکی در مورد نحوه اثرگذاری خودروهای دوگانه‌سوز بر میزان مصرف انرژی، یارانه‌های بخش انرژی و ایجاد آلودگی توسط خودروها بررسی شده است.
زارعیان و شکوری گنجوی	۲۰۱۶	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.
امین طهماسبی و رضوی نسب	۲۰۱۹	تحلیل عوامل مؤثر در توسعه استفاده از گاز طبیعی فشرده به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران را با استفاده از مدل پویاشناسی سیستم‌ها بررسی نمودند.
هان[5] و همکاران	۲۰۱۰	پویایی سیستم حمل‌ونقل دهلی را با استفاده از روش سیستم پویا برای ارزیابی اثربخشی سیاست‌ها و کاهش تأثیر حمل‌ونقل بر محیط‌زیست و مصرف انرژی ارزیابی کردند.
لی[6] و همکاران	۲۰۱۲	از سیستم دینامیک برای شبیه‌سازی و ارزیابی سیستم حمل‌ونقل کم‌کربن در شانگهای استفاده کردند.
حق‌شناس[7] و همکاران	۲۰۱۵	سیاست‌های توسعه پایدار در سیستم حمل‌ونقل شهری اصفهان را از روش پویایی سیستم ارزیابی کردند.
چانگ[8] و همکاران	۲۰۱۵	با روش پویایی سیستم برخی از استراتژی‌ها را برای کاهش مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن در سیستم حمل‌ونقل شهری شهر Kaohsiung بررسی کرده‌اند.

5 - Han
6 - Lei
7 - Haghshenas
8 - Cheng

شوئی‌لو[9] و همکاران	۲۰۱۵	زیرسیستم اقتصاد، زیرسیستم جمعیت، زیرسیستم حمل‌ونقل و زیرسیستم انتشار CO_2، کاهش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در پکن را با استفاده از پویایی سیستم مطالعه کردند.
بریسا و روزا[10]	۲۰۱۸	سیاست‌های کاهش CO_2 را در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای با استفاده از پویایی سیستم مطالعه کردند.
گوپتا[11] و همکاران.	۲۰۱۹	با استفاده از پویایی سیستم، تأثیر سیاست مالیات کربن بر سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای هند را بررسی کرد.
فونتورا[12]	۲۰۱۹	با رویکرد پویایی سیستم برای دریافت رابطه علی بین متغیرهایی که در سیستم حمل‌ونقل شهری سائوپائولو تحقیقی انجام داده است.
شمساپور[13] و همکاران	۲۰۲۱	با استفاده از روش پویایی سیستم چندین سناریو برای جایگزینی سوخت بنزین در بخش اتومبیل‌های شخصی، تاکسی‌ها و سوخت دیزل در ناوگان اتوبوس با سوخت طبیعی CNC در نظر گرفتند.
گنان[14] و همکاران	۲۰۲۲	برای مدل‌سازی انتشار بازار آینده خودروهای سوخت جایگزین، بدون جنبه‌های رفتاری استفاده نموده و مهم‌ترین جنبه‌های رفتار کاربر که در مدل‌ها گنجانده شده است را با استفاده از روش پویایی سیستم انجام داده است.
کیان[15] و همکاران	۲۰۲۲	تدوین استراتژی‌های ارتقاء CNG در سبد سوخت کشور را با استفاده از مدلسازی پویایی‌های سیستم بررسی نموده‌اند.

۲- روش‌شناسی پژوهش

دنیای امروز پیچیده و پویا است. تفکر سیستمی نوعی نگرش به جهان هستی و پدیده‌های آن است. در تفکر سیستمی، افزون بر توجه به اجزاء و جزئیات یک سیستم، چگونگی تعامل بین اجزاء و نیز برهم‌کنش اجزاء و محیط بررسی می‌شود (Senge, 2014). ابزار مورداستفاده در این پژوهش پویایی‌شناسی سیستم است که بر اساس نظریه اطلاعات بازخورد شکل‌گرفته است. این تکنیک، از نمادهایی برای نگاشت سیستم‌های کسب‌وکار در قالب نمودارها و معادلات استفاده و از زبان برنامه‌نویسی برای شبیه‌سازی رایانه‌ای استفاده می‌شود. یکی دیگر از مهم‌ترین اهداف مدل‌سازی پویایی‌های سیستمی، بررسی سیاست‌های بالقوه‌ی مختلف برای بهبود عملکرد سیستم است (Fartokzadeh, 1993). مهم‌ترین اصل اساسی که پویایی‌های سیستم بیان می‌کند این است که بازخوردها و تأخیرها رفتار سیستم‌ها را می‌سازند و پویایی رفتار سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است (Faghih et al., 2014). در این پژوهش روش تحقیق با رویکرد پویایی‌های سیستم و مراحل فرایند مدل‌سازی بر اساس روش‌شناسی استرمن، مطابق شکل شماره ۳ انجام‌شده است



شکل شماره (۳): فرآیند مدل‌سازی رویکرد پویایی‌های سیستم (Sterman, 2000)

9 - Xue Liu
10 - Barisa & Rosa
11 - Gupta
12 - Fontoura
13 - Shamsapour
14 - Gnann
15 - Kian

گام‌های فرایند مدل‌سازی (Sterman, 2000)

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

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

گام سوم: ایجاد نمودار جریان انباشت و استفاده از داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی این مدل: گام بعدی، ایجاد نمودار جریان انباشت از روی نمودار علی معلولی است. برای این منظور ابتدا باید متغیرهای نرخ، انباشت و کمکی درون نمودار علی معلولی شناسایی شوند؛ سپس نمودار 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.

گام چهارم: شبیه‌سازی و 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.

گام پنجم: 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.

شکل شماره ۴ گام‌های انجام تحقیق مقاله حاضر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است گام‌های شبیه‌سازی، اعتبارسنجی و سناریوسازی مدل با کمک نرم‌افزار ونسیم[16] از نرم‌افزارهای معروف در حوزه پویایی‌شناسی سیستم‌ها و از نسخه PLE[17] آن برای کارهای مطالعاتی کمک گرفته شده است.

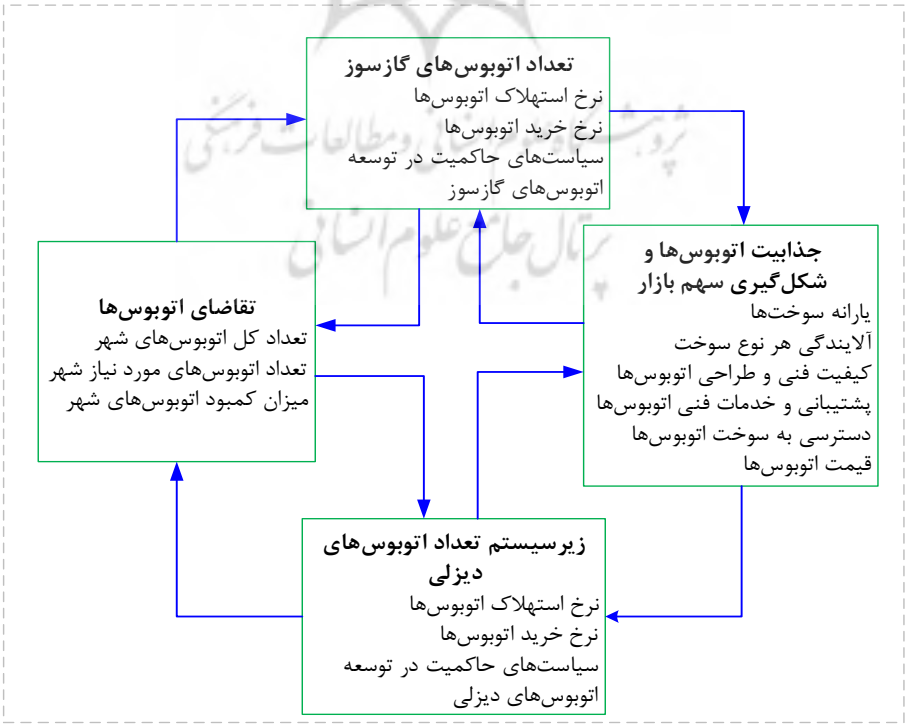
شکل شماره (۴): گام‌های انجام تحقیق (Sterman, 2000)

16 - Vensim
17 - Personal Learning Edition (PLE)

در این تحقیق از یک مدل ریاضی استفاده خواهیم کرد که مدتی است وجود داشته، اما طبق اطلاعات به‌دست‌آمده فقط به‌صورت پراکنده در علم مدیریت استفاده‌شده است (Schwaninger & Mandl, 2011). فرآیندهای پولیا[۱۸] خطی و غیرخطی، مدل کلاسیک مبتنی بر فرایندهایی با بازخورد مثبت است که باعث پدیده وابستگی به مسیر و قفل شدن می‌شود. روند پولیا را می‌توان به‌عنوان یک تئوری پیچیدگی طبقه‌بندی کرد. پولیا یک فرایند تصادفی است که در شرایط بازخورد مثبت در اقتصاد اعمال می‌شود و "طرح‌های تعمیم‌یافته از نوع پولیا" نامیده می‌شود (Arthur et al., 1983) فرآیندهای پولیا در علم اقتصاد (Arthur, 1994) و در زمینه شبیه‌سازی سیستم دینامیک (Forrester, 1961 & Sterman, 2000) نیز پیاده‌سازی شده است. در این تحقیق یک بازار را با دو بازیکن مفهوم‌سازی خواهیم کرد. این ایده پردازی بر اساس فرآیند پولیا انجام می‌شود (Chung et al., 2003).

روش گردآوری داده‌ها در این پژوهش مصاحبه نیمه ساختاریافته و پرسشنامه است و استراتژی این تحقیق استفاده از روش دلفی است. جامعه آماری این پژوهش شامل ۱۷ نفر از اساتید دانشگاه، کارشناسان حرفه‌ای و اجرایی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، مدیران، کارشناسان و متخصصان شرکت‌های مرتبط با صنعت CNG در بخش‌های دولتی و خصوصی که بر اساس میزان تجربه بالای ۱۰ سال و تحصیلات فوق‌لیسانس و بالاتر انتخاب شدند. نمونه‌گیری ابتدا از طریق معرفی خبرگان و بر اساس امکان دسترسی محقق انجام شد. پرسشنامه دور اول دلفی با توجه به مدل طراحی‌شده تدوین گردید و از پاسخگوها خواسته شد علاوه بر تعیین اهمیت هر یک از ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌ها، اگر ابعاد، مؤلفه‌ها یا شاخص‌های دیگری را مهم می‌دانند، اضافه نمایند. با بازخورد نتایج به‌دست‌آمده دلفی در سه دوره ادامه پیدا کرد.

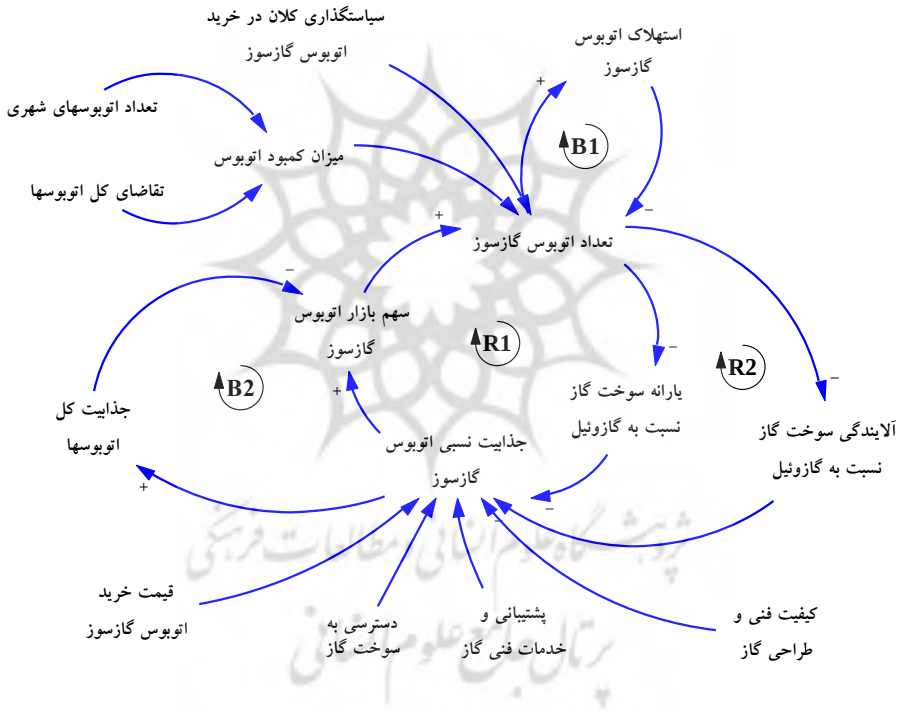
برای شروع ابتدا نمودار زیرسیستم‌ها به‌منظور مشخص‌سازی مرز مدل مورداستفاده قرار می‌گیرد. در مدل طراحی‌شده جهت شبیه‌سازی تعداد اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و اتوبوس‌های دیزلی نمودار زیرسیستم‌ها به‌صورت شکل شماره ۵ ترسیم‌شده است.



شکل شماره (۵): نمودار زیرسیستم‌های اتوبوس‌های شهری (منبع: یافته‌های پژوهش)

18 - Polya process

سپس به استخراج متغیرهای مؤثر و تدوین نمودار علی معلولی پرداخته شد. در این مرحله نمودار علی معلولی سیستم با استفاده از متغیرها و حلقه‌های شناسایی‌شده ایجاد می‌شود. طبق شکل شماره ۶ حلقه‌های R1 و R2 حلقه‌های مثبتی است که افزایش جذابیت نسبی اتوبوس‌های گازسوز (CNG) را تشدید می‌کند. در حلقه R1، با افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز موجب پرداخت یارانه کمتر نسبت به سوخت اتوبوس‌های دیزلی شده و جذابیت نسبی اتوبوس‌های گازسوز را تشدید می‌نماید که موجب تخصیص بیشتر سهم بازار اتوبوس‌های گازسوز و درنتیجه افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز می‌شود. از سوی دیگر، افزایش یافتن تعداد اتوبوس‌های گازسوز در حلقه R2، آلایندگی هوا نسبت به اتوبوس‌های دیزلی کاهش‌یافته و درنتیجه جذابیت نسبی اتوبوس‌های گازسوز را تشدید نموده که موجب تخصیص بیشتر سهم بازار اتوبوس‌های گازسوز و درنتیجه افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز می‌شود. در این سیستم حلقه‌های کاهنده نیز اثرگذارند و ازجمله مهم‌ترین آنها در حلقه B1 افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز (CNG)، اسقاط بیشتر این خودروها را در بر داشته و در حلقه B2 با افزایش یافتن جذابیت نسبی اتوبوس‌های گازسوز منجر به افزایش جذابیت کل اتوبوس‌ها شده که سهم بازار اتوبوس‌های گازسوز کاهش میابد و درنهایت کنترل سهم بازار هر نوع اتوبوس ازنظر سوخت انجام می‌شود.



شکل شماره (۶): نمایش حلقه‌های فزاینده و کاهنده

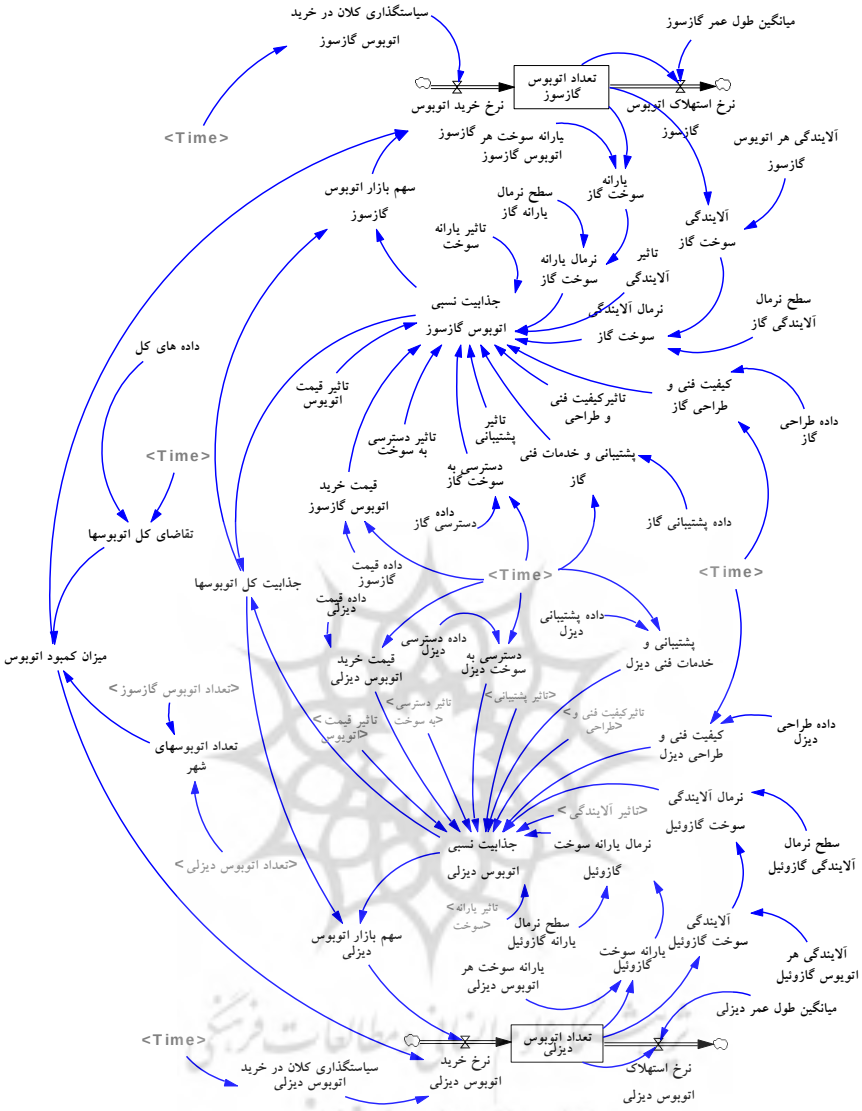
مرحله بعدی، ایجاد نمودار حالت جریان از روی نمودار علی معلولی است متغیرهای آن به شرح ذیل می‌باشد:

متغیرهای سطح مدل شامل؛ تعداد اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و تعداد اتوبوس‌های دیزلی است.

متغیرهای نرخ مدل شامل؛ تولید اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و تولید اتوبوس‌های دیزلی است.

متغیرهای کمکی مدل شامل؛ یارانه سوخت، آلایندگی سوخت، کیفیت فنی و طراحی، قیمت خرید اتوبوس، پشتیبانی و خدمات فنی، دسترسی به سوخت برای هر یک از اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و اتوبوس‌های دیزلی که بر اساس نظر خبرگان انتخاب شده‌اند، تعیین شده است.

درنهایت، نحوه اثرگذاری متغیرها در مدل مشخص و در محیط نرم‌افزار ونسیم پیاده سازی و شبیه‌سازی شد، نمودار کلی حالت جریان مدل در شکل ۷ نمایش داده‌شده است.



شکل شماره (۷): نمای کلی نمودار حالت و جریان

رقابت بین اتوبوس‌های گازسوز (CNG) 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 موجود باشد. در مدل توسعه داده‌شده فراوانی هر اتوبوس با میزان خرید آن، افزایش می‌یابد. (معادله ۱)

(۱) (فراوانی اولیه اتوبوس گازسوز× خرید اتوبوس گازسوز) انتگرال = فراوانی اتوبوس گازسوز

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

(۲) سهم بازار اتوبوس گازسوز× تقاضای کل = فروش اتوبوس گازسوز

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.

(۳) جذابیت کلی همه اتوبوس‌ها / جذابیت اتوبوس گازسوز= سهم بازار اتوبوس گازسوز

(۴) جذابیت اتوبوس گازسوز+ جذابیت اتوبوس دیزلی= جذابیت کلی همه اتوبوس‌ها

جذابیت تابعی از گستره وسیعی از متغیرها شامل، قیمت، در دسترس بودن، کیفیت خدمات، طراحی و مانند آن. در این مدل ساده جذابیت هر محصول حاصل‌ضرب دو عامل تأثیر سازگاری بر جذابیت (تأثیر شبکه) و تأثیر همه عوامل دیگر بر جذابیت در معادله ۵ در نظر گرفته‌شده است

(۵) تأثیر دیگر عوامل بر جذابیت اتوبوس گازسوز× تأثیر سازگاری بر جذابیت اتوبوس گازسوز = جذابیت اتوبوس گازسوز

تأثیر سازگاری بر جذابیت، شامل تأثیرات شبکه و سازگاری است، هرچه فراوانی بیشتر باشد، جذابیت محصول بیشتر می‌شود. برای رابطه بین فراوانی و جذابیت عموماً از معادله ۶ استفاده می‌شود که با تابع‌نمایی نشان داده‌شده است. در این معادله با رشد فراوانی نسبت به آستانه تأثیرات سازگاری جذابیت به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. پارامتر حساسیت جذابیت به فراوانی، شدت این تأثیر را کنترل می‌کند. آستانه یک عامل مقیاس‌گذاری است و بیانگر میزانی از فراوانی است که در فراوانی‌های بالاتر از آن، تأثیرات شبکه اهمیت می‌یابد.

(۶) [(آستانه تأثیرات سازگاری/فراوانی محصول)×حساسیت جذابیت فراوانی]EXP= تأثیر سازگاری بر جذابیت محصول

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

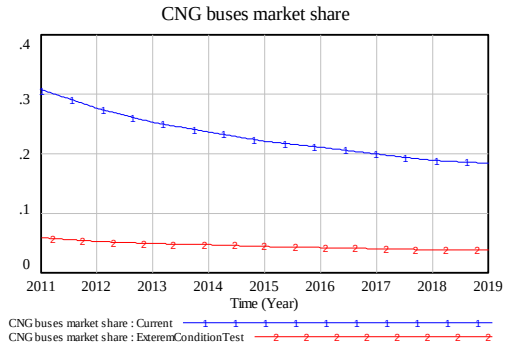
زمان شروع شبیه‌سازی سال ۱۳۹۰ و گام‌های زمانی شبیه‌سازی ۰/۰۳۱۲۵ در نظر گرفته‌شده است. پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی که مقادیر آنها از توسط آمارهای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران و نظر خبرگان اعضای کارشناسان حرفه‌ای و اجرایی، مدیران، کارشناسان و متخصصان شرکت‌های مرتبط با صنعت CNG تعیین‌شده است مطابق جدول شماره ۲ است.

جدول شماره (۲): پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی (منبع: یافته‌های پژوهش)

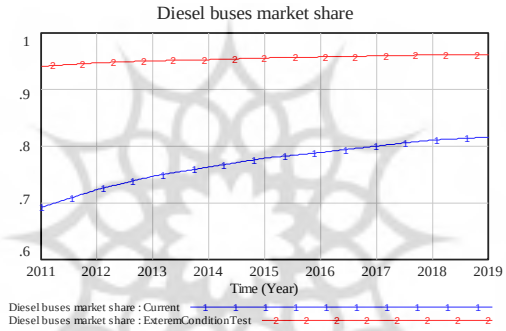
پارامتر	مقدار	واحد
اثر یارانه سوخت	۴۰	درصد
اثر آلودگی	۱۰	درصد
تأثیر قیمت اتوبوس‌ها	۵	درصد
اثر دسترسی به سوخت‌ها	۲۵	درصد
تأثیر پشتیبانی خدمات	۱۵	درصد
تأثیر کیفیت فنی و طراحی	۵	درصد
سیاست دولت در خرید اتوبوس گازسوز (CNG)	۰	سال / اتوبوس
سیاست دولت در خرید اتوبوس دیزلی	۰	سال / اتوبوس
آلودگی در هر اتوبوس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

برای اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی‌شده از دو آزمون‌های رفتار حدی و رفتار مرجع استفاده‌شده و اعتبار مدل بررسی‌شده است. در این آزمون مقدار ورودی‌های مدل مقدار حدی خود را گرفته و اثر آن بر روی متغیرهای مدل موردبررسی قرار می‌گیرد (Sterman, 2000). به‌منظور اعتبارسنجی مدل با استفاده از این روش فرض کنیم قیمت اتوبوس‌های دیزلی به صفر میل کند.

در این فرض، ازآنجاکه قیمت اتوبوس‌های گازسوز (CNG) 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 شکل‌های شماره ۸ و ۹ ملاحظه می‌شود، مدل توانست نتایج این شرایط فرضی را به‌درستی شبیه‌سازی نماید، لذا اعتبار مدل ازنظر این روش اعتبارسنجی نیز مورد تائید قرار می‌گیرد.

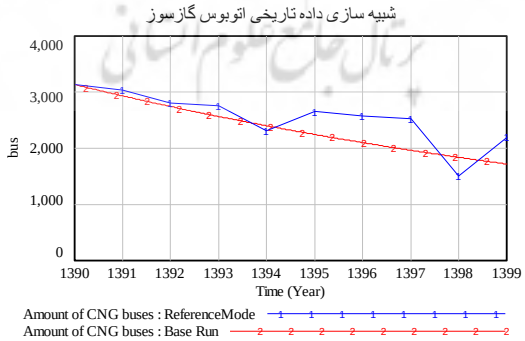


شکل شماره (۸): نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس‌های گازسوز

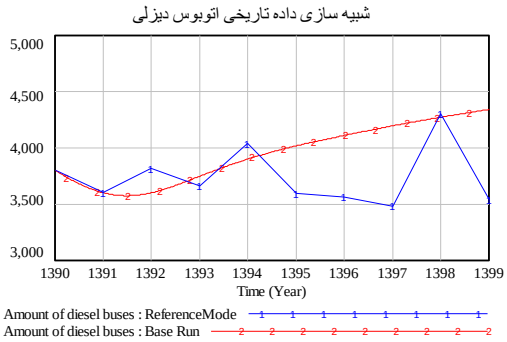


شکل شماره (۹): نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس‌های دیزلی

در آزمون اعتبارسنجی بازسازی رفتار مرجع نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی مقایسه می‌شود و مدل باید بتواند رفتار تغییر متغیرهای اساسی را به‌درستی شبیه‌سازی و بازسازی نماید (Sterman, 2000). با مقایسه اطلاعات شبیه‌سازی و داده‌های واقعی این مدل توانسته است رفتار متغیرهای اتوبوس‌های گازسوز (CNG) مطابق شکل شماره ۱۰ و اتوبوس‌های دیزلی را مطابق شکل شماره ۱۱ با دقت نسبتاً بالایی شبیه‌سازی کند. لذا اعتبار این مدل ازنظر این آزمون نیز مورد تائید قرار می‌گیرد.



شکل شماره (۱۰): شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی اتوبوس‌های گازسوز



شکل شماره (۱۱): شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی اتوبوس‌های دیزلی

۳- نتایج و بحث

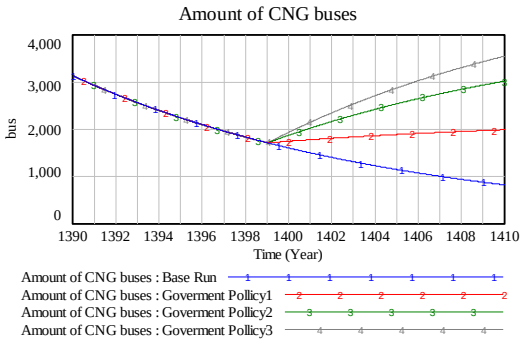
با توجه به برنامه‌های اجرا شده دولت ایران در قبال اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و اتوبوس‌های دیزلی که از داده‌های تاریخی اخذ شده از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ (TMICTO, 2021) و جمع‌بندی‌ای که در جلسه با خبرگان امر صورت گرفت حالت جاری و سه سناریوی ارائه‌شده مطابق جدول شماره ۳ بر روی مدل شبیه‌سازی و اجرا شد که نتایج آن برای سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ در ادامه نشان داده‌شده است.

جدول شماره (۳): سناریوهای شبیه‌سازی‌شده

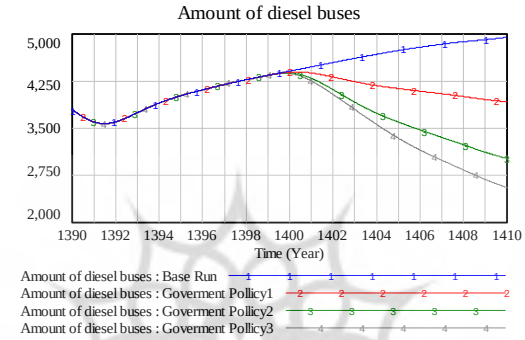
سناریو	شرح
حالت جاری	فرض می‌شود تغییری در پارامترهای مدل صورت نگیرد و مدل بدون هیچ تغییری مطابق با شرایطی که از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ حاکم بوده است تا سال ۱۴۱۰ شبیه‌سازی شود
سناریوی اول	فرض می‌شود حاکمیت هرساله ۱۵۰ دستگاه اتوبوس گازسوز (CNG) به ناوگان حمل‌ونقل اضافه نماید.
سناریوی دوم	فرض می‌شود حاکمیت هرساله ۲۸۲ دستگاه اتوبوس گازسوز (CNG) به ناوگان حمل‌ونقل اضافه نماید.
سناریوی سوم	فرض می‌شود حاکمیت هرساله ۳۵۰ دستگاه اتوبوس گازسوز (CNG) به ناوگان حمل‌ونقل اضافه نماید.

حالت اول شرایط جاری ناوگان اتوبوس‌های شهری تهران است و همان‌طور که مشخص است درصورتی‌که حاکمیت در جهت حمایت از توسعه اتوبوس‌های گازسوز اقدامی انجام ندهد، تعداد اتوبوس‌های گازسوز با توجه به مستهلک شدن آنها کاهش قابل‌توجه یافته و با افزایش یافتن سهم اتوبوس‌های دیزلی آلودگی شهر تهران و یارانه پرداختی بابت انرژی افزایش قابل‌توجه پیدا می‌کند؛ در سناریوی اول حاکمیت با خرید ۱۵۰ دستگاه اتوبوس گازسوز در سال تعداد اتوبوس‌های گازسوز در سال ۱۴۱۰، به ۱۹۹۳ دستگاه رسیده و میزان آلودگی‌های منتشره کاهش خواهد یافت. در سناریوی دوم پیشنهادشده با خرید سالانه ۲۸۲ دستگاه اتوبوس گازسوز تعداد اتوبوس‌ها در سال ۱۴۱۰ تقریباً برابر شده و بر اساس نظریه پولیا تعداد اتوبوس‌های گازسوز و دیزلی به شرایط تعادل نسبی خواهند رسید و به‌تبع آن کاهش آلایندگی و صرفه‌جویی در پرداخت یارانه سوخت خواهد شد. در سناریو سوم با افزایش ۳۵۰ دستگاه خودرو گازسوز به ناوگان میزان انتشار آلودگی از سوی اتوبوس‌های کاهش‌یافته و صرفه‌جویی در پرداخت یارانه برای دولت افزایش میابد. شکل شماره ۱۲ شبیه‌سازی سناریوها برای اتوبوس‌های گازسوز و شکل شماره ۱۳ شبیه‌سازی سناریوها برای اتوبوس‌های دیزلی را نمایش می‌دهد.

نتایج حاصل از ادامه شرایط جاری نشان می‌دهد درصورتی‌که همچنان مطابق با ۱۰ سال گذشته برای ۱۰ سال آینده در حوزه خرید اتوبوس‌های گازسوز برنامه‌ریزی شود، تعداد اتوبوس‌های گازسوز در آینده ۱۰ ساله به حدود ۸۰۰ عدد کاهش خواهد یافت و در مقابل تعداد اتوبوس‌های دیزلی نیز به حدود ۵۰۰۰ دستگاه افزایش پیدا می‌کند و عملاً وضعیت آلایندگی منتشره از این ناحیه افزایش خواهد یافت؛ اما درصورتی‌که حاکمیت مبتنی بر هرکدام از سناریوهای ۱، ۲ و ۳ اقدام به‌اضافه کردن اتوبوس‌های گازسوز به ناوگان حمل‌ونقل نماید وضعیت آلایندگی منتشره نسبت به حالت جاری به نسبت بهبود خواهد یافت.

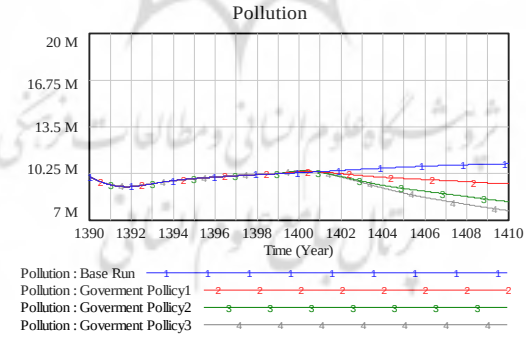


شکل شماره (۱۲): سناریوها برای اتوبوس‌های گازسوز



شکل شماره (۱۳): سناریوها برای اتوبوس‌های دیزلی

شکل شماره ۱۴ شبیه‌سازی سناریوها برای وضعیت انتشار آلاینده‌های محیط زیستی مجموع اتوبوس‌های گازسوز و دیزلی را نمایش می‌دهند.



شکل شماره (۱۴): تأثیر سناریوها بر صرفه‌جویی یارانه سوخت

به‌طورکلی می‌توان نتیجه حالت جاری و سه سناریوی فوق را در جدول شماره ۴ مشاهده کرد. نتایج نشان می‌دهد اجرای هرکدام از سناریوهای ۱، ۲ و ۳ میزان انتشار آلایندگی منتشره از ناوگان اتوبوس‌رانی تهران را در سال ۱۴۱۰ نسبت به سال ۱۴۰۰ به ترتیب ۱۸، ۳۴ و ۴۲ درصد کاهش خواهد داد.

جدول شماره (۴): خلاصه نتایج حالت جاری و سه سناریو در سال ۱۴۱۰

متغیر	حالت جاری	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
تعداد اتوبوس‌های گازسوز (CNG) در سال ۱۴۱۰	۸۲۵	۱۹۹۳	۳۰۲۱	۳۵۵۰
تعداد اتوبوس‌های دیزلی در سال ۱۴۱۰	۴۹۴۹	۳۹۲۲	۳۰۱۸	۲۵۵۴
میزان آلایندگی منتشره در سال ۱۴۱۰	۹/۹۳۱/۵۷۱	۸/۲۵۹/۹۰۳	۶/۲۷۵/۴۷۶	۵/۷۵۲/۹۲۶
درصد صرفه‌جویی یارانه سوخت در سال ۱۴۱۰	٪۰	٪۱۸↓	٪۳۴↓	٪۴۲↓

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. تفکر غیرخطی و نگاه پویا به پدیده‌ها و پیامدها نقطه مغفول تصمیم‌گیری‌های مدیران در کسب‌وکارها و سازمان‌های تجاری و غیرتجاری است. نادیده گرفتن پوياييِ ذاتی پدیده‌ها منجر به اتخاذ تصمیمات ضعیف و بی‌کیفیتی می‌شود که به‌جای حل یک مسئله، مسائل جدیدی را ایجاد می‌کند و به چالش‌های موجود پروبال می‌دهد. در این مقاله به‌منظور ایجاد مدل ذهنی مشترک و ترسیم تأثیر و اثرات مابین متغیرهای دخیل در مدیریت ناوگان اتوبوس‌رانی شهر تهران، از متدولوژی سیستم دینامیک با مدل پولیا استفاده گردید. در ابتدا تحقیقات گذشته مرور، رهیافت تاریخی بررسی‌شده و شکاف تحقیقاتی شناسایی گردید. آنچه تحقیق پیش رو را از مطالعات گذشته متمایز می‌کند، ویژگی‌های خاص کشور ایران در حوزه دولتی، خصوصی و نیمه‌خصوصی بودن ناوگان اتوبوس‌رانی شهری است که به نحو مناسب در مدل‌سازی در نظر گرفته شده و در تحقیقات پیشین به این موضوع توجهی نشده است.

با استفاده از روش دلفی و مصاحبه با خبرگان و کارشناسان فرضیات دینامیکی و نمودار علت و معلولی بر مبنای مدل پولیا، توسعه و استخراج گردید. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که با افزایش و جایگزین اتوبوس‌های گازسوز (CNG) با دیزلی کاهش آلایندگی و صرفه‌جویی در یارانه تخصیص داده‌شده به سوخت را شاهد خواهیم بود. مهم‌ترین فاکتورهایی که منجر به خرید اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و اتوبوس‌های دیزلی توسط حاکمیت مورد تأکید است مربوط به قیمت هرکدام از اتوبوس‌ها، میزان دسترسی به هر نوع از سوخت‌ها، یارانه انرژی مربوط به هر سوخت، کیفیت طراحی و فنی اتوبوس‌ها، میزان آلایندگی هرکدام از اتوبوس‌ها و سطح پشتیبانی خدمات فنی هرکدام از اتوبوس‌ها می‌باشد. سرمایه‌گذاری و حمایت دولت در ایجاد و توسعه ناوگان اتوبوس‌های گازسوز نقش بسیار مؤثری ازجمله مزایای زیست‌محیطی و صرفه اقتصادی قابل‌توجه داشته که به نظر می‌رسد با روند موجود رو به افول است. لذا برای اجرا و پیاده‌سازی مدل ایجاد یک مدیریت ویژه جهت سوخت اتوبوس‌های شهری می‌تواند بهترین پیشنهاد باشد و موارد به شرح ذیل نیز با جمع‌بندی نظرات خبرگان جهت پایداری این سیستم توصیه می‌گردد:

تدوین یک برنامه بلندمدت برای سبد سوخت ناوگان اتوبوس‌رانی شهری به‌گونه‌ای که سهم مناسبی برای هر یک از سوخت‌ها اختصاص داده شود تا فرصت‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، صنعتی و سیاسی بهینه حاصل گردد.

آزادسازی یا تناسب پرداخت یارانه به قیمت انواع سوخت‌ها.

پرداخت بخشی از صرفه‌جویی اقتصادی سوخت به ناوگان حمل‌ونقل عمومی جهت خرید، تأمین تجهیزات و نوسازی اتوبوس‌ها و جایگاه‌های سوخت.

به‌منظور افزایش رضایت‌مندی استفاده‌کنندگان از CNG و بهره‌وری مناسب ناوگان گازسوز کشور، هماهنگی لازم میان رشد اتوبوس‌های گازسوز و ارائه خدمات عرضه سوخت توسط جایگاه‌ها صورت پذیرد.

تبلیغات مفید و مستمر و تدابیر لازم جهت رشد دانش فنی و آموزش تربیت نیروی انسانی متخصص.

حرکت شرکت‌های خودروسازی به سمت تولید اتوبوس‌های گازسوز (CNG) با تکنولوژی‌های روز دنیا.

٤-منابع

1. Abedi, Z; Arhmandi, R; Anabi, F & Kiwani, A. (2011) Investigating the Social Resources of Replacing CNG Instead of Gasoline in Tehran Urban Taxis, *Environmental Science and Technology*, 13(2), 39-48.
2. Amidpour, M; Moradi, M; Ghorbani, B; Ahmadinejad, SA & Akbari, A. (2012) *Modeling and Analysis of Energy System*, Tehran: National Iranian Petroleum Products Distribution Company.
3. Amin-Tahmasbi, H., & Razavinasab, S. J. (2019). Analysis of the effective variables of the development of use of compressed natural gas (CNG) instead of gas in Iran's road transport system using the system dynamics model. *Journal of Transportation Research*, 17(3), 45-58

4. Amin-Tahmasebi, H., & Razavinsab, S. J. (2019) Improving the use of CNG fuel in the transportation sector with the approach of analysis and development of strategic options, *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 15(5), 145-169.
5. Amin-Tahmasebi, H., & Razavinsab, S. J. (2021) Identification and Prioritization of Effective Factors in Strengthening the CNG Industry in the Transportation Sector by a Combined Fuzzy Group Decision Making Method, *Road Scientific Quarterly*, published online from 8 May 2021.
6. Arthur, W. B. (1994). *Increasing returns and path dependence in the economy*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
7. Arthur, B. (1994). On Generalized Urn Scheme of the Polya Kind. *Kibernetika*, 3.
8. Barisa, A., & Rosa, M. (2018). A system dynamics model for CO2 emission mitigation policy design in road transport sector. *Energy Procedia*, 147, 419-427.
9. Duych, R., & Chambers, M. (2008). Transportation Statistics Annual Report 2008.
10. Chung, F., Handjani, S., & Jungreis, D. (2003). Generalizations of Polya's urn problem. *Annals of combinatorics*, 7(2), 141-153.
11. Dale, F & Ghanbarzadeh, M (2012) A Look at the Relationship between Natural Gas Consumption in Economic Growth and Prioritization of Gas Consumption in the Country, *Economic Journal*, 12(2), 143-148.
12. Faghih, N., Ranaei-Kordshooli, H., Mohammadi, A., Samadi, A. H., Moosavi-haghighi, H., & Ghafournian, M. (2014). Evaluationof services supply chain in telecommunication company of Iran using system dynamics approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 11 (11), 111-137.
13. Fartokzadeh, H. (1993) A Look at the Dynamics of Systems, *Journal of Management Knowledge*, 19(3), 25-34.
14. Fartokzadeh, H. & eshraghi. H. (2015) Dynamic Modeling of the Effect of Dual-Combustion of Vehicles on Pollution Production and Energy Consumption, *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1), 1-19.
15. Fontoura, W. B., Chaves, G. D. L. D., & Ribeiro, G. M. (2019). The Brazilian urban mobility policy: The impact in São Paulo transport system using system dynamics. *Transport policy*, 73, 51-61.
16. Forrester, J. W. (1961). Industrial dynamics. 2nd printing. *Mass: Productivity Press, Cambridge*.
17. Gnann, T., Speth, D., Seddig, K., Stich, M., Schade, W., & Vilchez, J. G. (2022). How to integrate real-world user behavior into models of the market diffusion of alternative fuels in passenger cars-An in-depth comparison of three models for Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112103.
18. Gupta, M., Bandyopadhyay, K. R., & Singh, S. K. (2019). Measuring effectiveness of carbon tax on Indian road passenger transport: A system dynamics approach. *Energy Economics*, 81, 341-354.
19. Haeri Yazdi, A. (2017) Policy-making to determine the portfolio of energy carriers in the transportation sector of the country, *Journal of Strategic Studies of Public Policy*, 21(6), 251-260.
20. 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.
21. 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.

22. 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.
23. Johnston, J. (1956). Scale, costs and profitability in road passenger transport. *The Journal of Industrial Economics*, 4(3), 207-223.
24. Kian, Morteza; Azizi, Amir M & Zeinalnejad, Masoumeh (2022) *Using CNN modeling of the dynamics of the studied systems, developed CNG developments in the country's fuel economy*, (Master Thesis) Research Sciences of Islamic Azad University of Tehran.
25. Khan, M. I. (2017). Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. *Energy Policy*, 110, 126-136.
26. Lei, X., Zhang, J., & Li, J. (2012). A system dynamics model for urban low-carbon transport and simulation in the city of Shanghai, China. *AISS: Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 4(1), 239-246.
27. Liu, X., Ma, S., Tian, J., Jia, N., & Li, G. (2015). A system dynamics approach to scenario analysis for urban passenger transport energy consumption and CO2 emissions: A case study of Beijing. *Energy Policy*, 85, 253-270.
28. 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.
29. Ministry of Industry, Mines and Trade (2021) *Reports within the Ministry Ministry of Industry, Mine and Trade*. Transportation industries
30. Mirfatah, SM. (2005) *Economic Evaluation of Fuel Replacement in Tehran Bus Fleet*, (Master Thesis), Imam Sadegh University of Tehran.
31. NIOPDC (2021) *In- National Iranian Oil Products Distribution Company reports*. CNG plan management
32. Ostsd Jafari, M & Habibian, M. (2014) Long-Term Evaluation of the Combined Effect of Transportation Demand Management Policies Using the System Dynamics Model Case Study: Mashhad Metropolis, *Transportation Engineering Quarterly*, 6(1), 21-34.
33. Petroleum, British. (2020) Statistics https://www. Bp. Com /en/global/corporate/ *energy-economics*/ statistical-review-of-world-energy. Html.
34. Razavinsab, S. J. (2016) *Identification and Prioritization of Obstacles in the Effective Implementation of CNG Site Development, Case Study, CNG Project Management, N.I.O.P.D.C,* (Master Thesis) Research Sciences of Islamic Azad University of Tehran, Kurdistan.
35. 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.
36. Schwaninger, M., & Mandl, C. (2011, February). Understanding the system dynamics of high-technology markets: Pólya processes with positive feedback, path dependence and lock-in. In *International Conference on Computer Aided Systems Theory* (pp. 129-136). Springer, Berlin, Heidelberg.
37. Senge, P. M. (2014). *The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization*. Currency.
38. 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.
39. 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.

40. Sterman, J. (2000). *Instructor's Manual to Accompany Business Dyanmics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
41. Tang, K. X., & Waters, N. M. (2005). The internet, GIS and public participation in transportation planning. *Progress in Planning*, 64(1), 7-62.
42. TMICTO (2021) *Tehran City Statistics (Tehran City Statistical Yearbook)*, Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization Publications
43. 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.
44. Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy policy*, 35(11), 5865-5875.
45. 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.
46. Zareean, R & Shakoori Ganjavi, F. (2016) Systematic Analysis of Gasoline Demand and Estimation of Price Elasticity of Its Demand in Tehran Province, *Iranian Journal of Energy Economics*, 5 (18), 61-98.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

A Dynamic Model for the Optimal and Sustainable Development of the Use of Compressed Natural Gas (CNG) Buses in Tehran

Seyed Jamalaldin Razavinasab
PhD student in Industrial Management in Production and Operations, Department of Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
Mahdi Fadaei Ashkiki (Corresponding Author)
Assistant Professor, Department of Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
Email:fadaei@iaurasht.ac.ir
Mahdi Homayounfar
Assistant Professor, Department of Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
Maryam Ooshaksaraie
Assistant Professor, Department of Industrial Management, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

Abstract
Energy consumption management is essential because the natural resources should be preserved for the future people, and environment, the economy and the energy security of the country are also considered. Air pollution in Tehran has increased very much and thousands of people die every year because of it. In addition, the supply of diesel fuel under the current political circumstances of the country and the allocation of high value of subsidies to it have become a big problem for the government; the use of Compressed Natural Gas (CNG) buses for public transportation can be a solution to this problem. However, the CNG buses are not widely used in recent years. Based on historical approaches and using system dynamics (SD), the factors and feedback affecting the sustainable increase in the number CNG buses are identified in this paper and a dynamic model is introduced for the optimal and sustainable development of CNG buses. The model was validated and a 10-year period was simulated; according to the results, if the government does not increase the rate of its purchased CNG buses, the rate of the CBG buses being used now will be reduced from 38 percent to 14 percent in 2032. If 282 new CNG buses are purchased annually, the number of CNG buses and the number of diesel buses will be almost the same in 2032. Accordingly, fuel pollution produced by the buses and the fuel subsidies will be reduced.

Keywords: Compressed Natural Gas (CNG) buses, System Dynamics (SD), Energy consumption management.