



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

سید جمال الدین رضوی نسب

دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت صنعتی تولید و عملیات، گروه مدیریت، واحد رشت دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

مهدی فدایی اشکیکی (نویسنده مسؤل)

استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

Email: fadaei@iaurasht.ac.ir

مهدی همایون فر

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

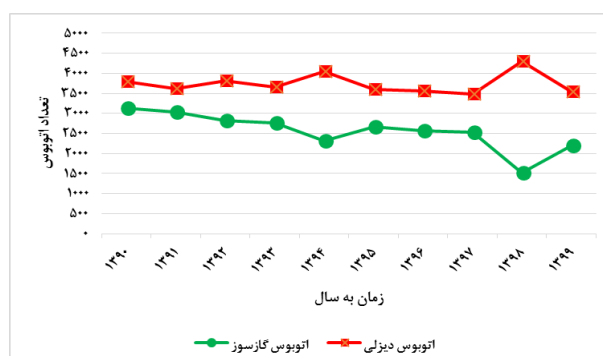
امروزه مدیریت مصرف انرژی ازان جهت اهمیت دارد که علاوه بر حفظ ذخایر خدادادی برای آیندگان، سلامت محیط زیست، اقتصاد و امنیت انرژی کشور را تضمین می کند. در شهر تهران آلودگی هوا به یکی از بحران هایی تبدیل شده که هر سال جان هزاران نفر را به خطر می اندازد. از سوی دیگر تأمین سوخت گازوئیل در شرایط سیاسی فعلی کشور و پرداخت یارانه کلان به این سوخت، دولت را دچار چالش نموده است. یکی از راه های جلوگیری از این مشکلات، استفاده از خودروهای گازسوز (CNG) در سیستم حمل و نقل عمومی شهری است. متأسفانه در سال های اخیر استفاده از اتوبوس های گازسوز (CNG) در سیستم حمل و نقل عمومی کم شده است. این مقاله به استناد رهیافت های تاریخی و با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم ها، عوامل و بازخوردهای مؤثر بر افزایش پایدار تعداد اتوبوس های گازسوز (CNG) را شناسایی و مدلی پویا برای توسعه بهینه و پایدار استفاده از اتوبوس های شهری گازسوز (CNG) ارائه نموده است. پس از اعتبارسنجی مدل و شبیه سازی بازه ۱۰ ساله، نتایج نشان داد در صورتی که حاکمیت به صورت جدی در حوزه خرید اتوبوس های گازسوز عمل نکند تا سال ۱۴۱۰ سهم اتوبوس های گازسوز (CNG) در ناوگان حمل و نقل از ۳۸ درصد به ۱۴ درصد کاهش میابد. در صورت افزایش سالانه ۲۸۲ دستگاه اتوبوس گازسوز (CNG) به ناوگان اتوبوس رانی شهری تهران تا سال ۱۴۱۰ تعداد اتوبوس های دیزلی و گازسوز (CNG) برابر و شرایط پایدار نسبی برقرار می شود. در این شرایط میزان آلاینده های ناشی از سوخت ناوگان اتوبوس ها کاهش و صرفه جویی اقتصادی از نظر پرداخت یارانه سوخت برای دولت به همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: اتوبوس های شهری گازسوز (CNG)، پویایی شناسی سیستم ها، مدیریت مصرف انرژی.

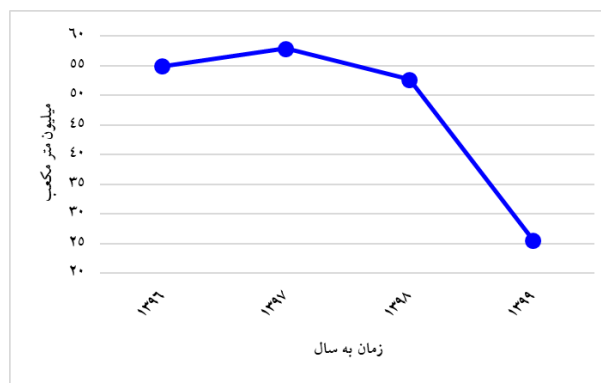
۱- مقدمه

تراکم شدید جمعیت، ازدحام آلوده‌شده، آلودگی هوا و اختصاص سالانه میلیون‌ها دلار بارانه سوخت به بخش حمل‌ونقل درون‌شهری از جمله 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 کارا تر 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، از لحاظ اقتصادی، توجیه‌پذیر می‌نماید (Dale & Ghanbarzadeh, 2012). یکی از راه‌های استفاده بهینه از گاز طبیعی، استفاده آن به‌صورت گاز طبیعی فشرده^۱ 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 آلاینده‌گی 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 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



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

موفقیت یا شکست هر سازمان در نیل به اهداف، منوط به داشتن سیاست ها و برنامه های معقول و منطقی، سازمان دهی مناسب، تصمیم گیری صحیح و بهینه مدیریت است. در دوران توسعه کشور می تواند از امکانات موجود حداکثر استفاده را نمود و با ارائه راهکارهای منطقی مدیران را از اخذ تصمیمات نسنجیده و بی حساب بر حذر داد. پس از بررسی موضوع به استناد رهیافت های تاریخی و عوامل مختلف تأثیرگذار بر افزایش و پایداری مصرف سوخت گاز طبیعی در سیستم حمل و نقل اتوبوس های شهری، فراوانی اتوبوس های گازسوز (CNG) به عنوان اولین مؤلفه مؤثر شناسایی و در این تحقیق با استفاده از ابزار سیستم دینامیک^۲ و مدل پولیا^۳ شبیه سازی و راهکارهای مناسب برای تحقق و پایداری سیستم ارائه شده است.

امر تحقیق و توسعه در ایران به دلیل شکاف بین دانشگاه و صنعت ضعیف است و محققان به آسانی و درستی به صنعت دسترسی ندارند. محققان دانشگاهی در این حوزه عمدتاً بر مسائلی نظیر دوگانه سوز و گازسوز کردن موتورها، خودروهای دوگانه سوز، مخازن CNG و ارزیابی های فنی، اقتصادی و زیست محیطی خودروهای گازسوز تمرکز دارند (Haeri Yazdi, 2017). مطالعه ای در سال ۱۹۹۳ تحت عنوان خط مشی تبدیل اتوبوس های 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، توصیه های ارائه شده در این پژوهش در بخش عمده ای از کشورهای منطقه از جمله پاکستان، بنگلادش، چین، هند، ایران، برونئی دارالسلام قابل اجرا و استفاده است (Duych & Chambers, 2008). میرفتاح (2005) نیز گاز طبیعی فشرده را به عنوان جایگزینی مناسب در مقابل سوخت های دیگر برای توسعه و بهینه سازی ناوگان اتوبوس رانی تهران قابل استفاده دانسته است، وی با بررسی وضعیت ۹ کشور نتیجه گیری نموده که تفاوت بسیار زیاد هزینه ها اعم از هزینه های اولیه و تعمیر و نگهداری میان اتوبوس گازسوز (CNG) و مشابه دیزلی آن را موجب شده در اغلب کشورها ناوگان حمل و نقل سبک عمومی و خصوصی هدف اولیه واقع گردد و تبدیل خودروهای سنگین و اتوبوس ها در اولویت های آخر قرار گیرد (Mirfatah, 2005).

امین طهماسبی و رضوی نسب (۲۰۱۹) با سه هدف خودکفایی در تأمین سوخت های بنزین و گازوئیل، کاهش هزینه های دولت در مقابل درآمد و در نظر گرفتن افزایش رضایت مندی و رفاه عمومی، استفاده از CNG را با استفاده از رویکرد تحلیل و توسعه گزینه های استراتژیک بررسی نمودند (Amin-Tahmasebi & Razavinsab, 2019) و در پژوهشی دیگر باهدف شناسایی و اولویت بندی عوامل مؤثر بر تقویت صنعت CNG از طریق مصاحبه و دریافت نظرات خبرگان، به روش دلفی، گزینه ها و معیارهای مؤثر را شناسایی و سپس با روش ترکیبی تصمیم گیری گروهی فازی، مهم ترین معیارها و بهترین گزینه را برای تقویت صنعت CNG در بخش حمل و نقل را شناسایی نمودند (Amin-Tahmasebi & Razavinsab, 2021). عابدی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود به ارزیابی هزینه زیست محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف سوخت فسیلی در بخش مینی بوس رانی و نیز تحلیل هزینه فایده و امکان سنجی نوسازی و گازسوز نمودن ناوگان مینی بوس رانی 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 بیوگاز طبیعی 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 گاز طبیعی 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 به‌طور کلی 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 از جمله 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 ^۵ 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 ^۶ و همکاران	۲۰۱۲	از سیستم دینامیک برای شبیه‌سازی و ارزیابی سیستم حمل‌ونقل کم‌کربن در شانگهای استفاده کردند.
حق‌شناس ^۷ و همکاران	۲۰۱۵	سیاست‌های توسعه پایدار در سیستم حمل‌ونقل شهری اصفهان را از روش پویایی سیستم ارزیابی کردند.
چانگ ^۸ و همکاران	۲۰۱۵	با روش پویایی سیستم برخی از استراتژی‌ها را برای کاهش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در سیستم حمل‌ونقل شهری شهر Kaohsiung بررسی کرده‌اند.

5 - Han

6 - Lei

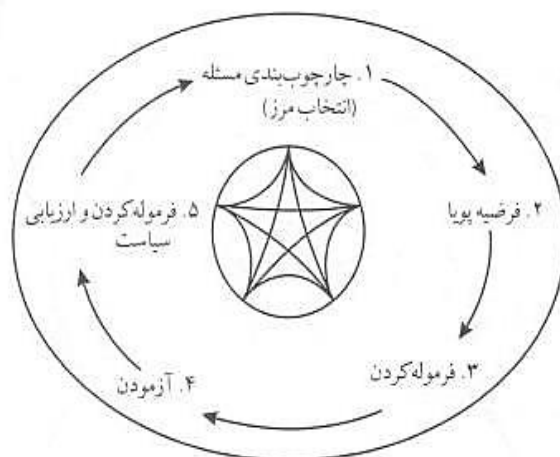
7 - Haghshenas

8 - Cheng

شویی لو ^۹ و همکاران	۲۰۱۵	زیرسیستم اقتصاد، زیرسیستم جمعیت، زیرسیستم حمل و نقل و زیرسیستم انتشار CO ₂ ، کاهش مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن در پکن را با استفاده از پویایی سیستم مطالعه کردند.
بریسا و روزا ^{۱۰}	۲۰۱۸	سیاست های کاهش CO ₂ را در سیستم حمل و نقل جاده ای با استفاده از پویایی سیستم مطالعه کردند.
گوپتا ^{۱۱} و همکاران.	۲۰۱۹	با استفاده از پویایی سیستم، تأثیر سیاست مالیات کربن بر سیستم حمل و نقل جاده ای هند را بررسی کرد.
فونتورا ^{۱۲}	۲۰۱۹	با رویکرد پویایی سیستم برای دریافت رابطه علی بین متغیرهایی که در سیستم حمل و نقل شهری ساوئوپائولو تحقیقی انجام داده است.
شمسپور ^{۱۳} و همکاران	۲۰۲۱	با استفاده از روش پویایی سیستم چندین سناریو برای جایگزینی سوخت بنزین در بخش اتومبیل های شخصی، تاکسی ها و سوخت دیزل در ناوگان اتوبوس با سوخت طبیعی CNC در نظر گرفتند.
گنان ^{۱۴} و همکاران	۲۰۲۲	برای مدل سازی انتشار بازار آینده خودروهای سوخت جایگزین، بدون جنبه های رفتاری استفاده نموده و مهم ترین جنبه های رفتار کاربر که در مدل ها گنجانده شده است را با استفاده از روش پویایی سیستم انجام داده است.
کیان ^{۱۵} و همکاران	۲۰۲۲	تدوین استراتژی های ارتقاء CNG در سید سوخت کشور را با استفاده از مدلسازی پویایی های سیستم بررسی نموده اند.

۲- روش شناسی پژوهش

دنیای امروز پیچیده و پویا است. تفکر سیستمی نوعی نگرش به جهان هستی و پدیده های آن است. در تفکر سیستمی، افزون بر توجه به اجزاء و جزئیات یک سیستم، چگونگی تعامل بین اجزاء و نیز برهم کنش اجزاء و محیط بررسی می شود (Senge, 2014). ابزار مورداستفاده در این پژوهش پویایی شناسی سیستم است که بر اساس نظریه اطلاعات بازخورد شکل گرفته است. این تکنیک، از نمادهایی برای نگاشت سیستم های کسب و کار در قالب نمودارها و معادلات استفاده و از زبان برنامه نویسی برای شبیه سازی رایانه ای استفاده می شود. یکی دیگر از مهم ترین اهداف مدل سازی پویایی های سیستمی، بررسی سیاست های بالقوه ای مختلف برای بهبود عملکرد سیستم است (Fartokzadeh, 1993). مهم ترین اصل اساسی که پویایی های سیستم بیان می کند این است که بازخوردها و تأخیرها رفتار سیستم ها را می سازند و پویایی رفتار سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است (Faghih et al., 2014). در این پژوهش روش تحقیق با رویکرد پویایی های سیستم و مراحل فرایند مدل سازی بر اساس روش شناسی استرمن، مطابق شکل شماره ۳ انجام شده است



شکل شماره (۳): فرآیند مدل سازی رویکرد پویایی های 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 به صورت کامل بررسی شده 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، شناسایی شده، سپس نمودار علی معلولی سیستم با استفاده از متغیرها و حلقه‌های شناسایی شده 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 از نظر خبرگان آن صنعت و منطق بین متغیرها تعیین می‌شود.

گام چهارم: شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده: برای اطمینان از اینکه مدل ایجاد شده واقعی‌های درون سیستم را به خوبی مدل کرده است، اعتبارسنجی صورت می‌گیرد. برای اعتبارسنجی از آزمون‌هایی مانند رفتار مرجع، آزمون حساسیت، آزمون رفتار حدی استفاده شده و اعتبار مدل بررسی می‌شود.

گام پنجم: ارزیابی سناریوهای پیشنهادی و بیان راهکار مناسب: در صورت تأیید 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^{۱۶} از نرم‌افزارهای معروف در حوزه پویایی‌شناسی سیستم‌ها و از نسخه^{۱۷} PLE آن برای کارهای مطالعاتی کمک گرفته شده است.

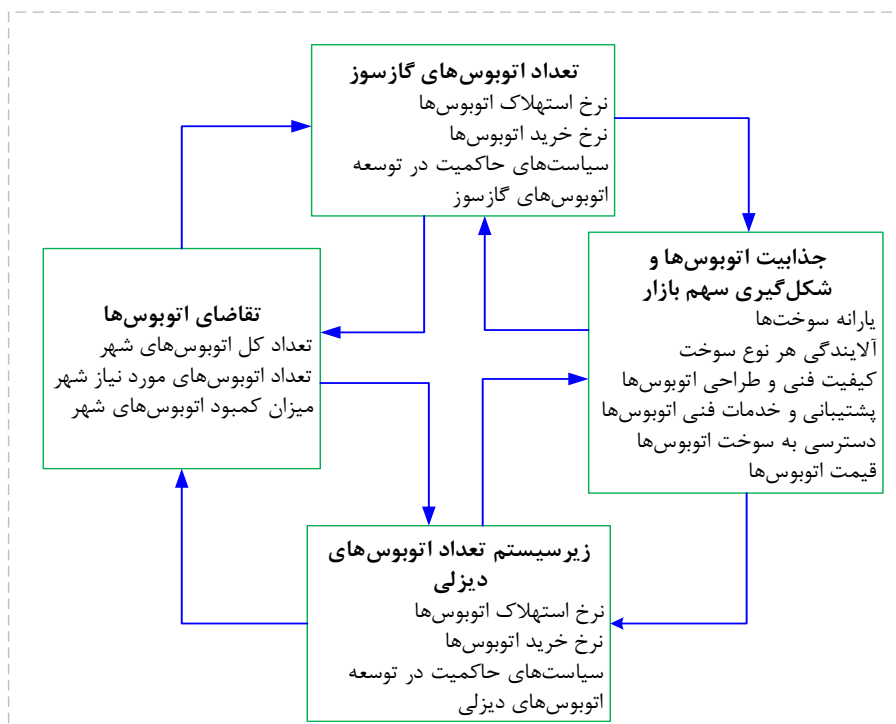


شکل شماره (۴): گام‌های انجام تحقیق (Sterman, 2000)

در این تحقیق از یک مدل ریاضی استفاده خواهیم کرد که مدتی است وجود داشته، اما طبق اطلاعات به دست آمده فقط به صورت پراکنده در علم مدیریت استفاده شده 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 می شود. روند پولیا را می توان به عنوان یک تئوری پیچیدگی طبقه بندی کرد. پولیا یک فرایند تصادفی است که در شرایط بازخورد مثبت در اقتصاد اعمال می شود و "طرح های تعمیم یافته از نوع پولیا" نامیده می شود (Arthur et al., 1983) فرآیندهای پولیا در علم اقتصاد (Arthur, 1994) و در زمینه شبیه سازی سیستم دینامیک (Forrester, 1961 & Sterman, 2000) نیز پیاده سازی شده است. در این تحقیق یک بازار را با دو بازیکن مفهوم سازی خواهیم کرد. این ایده پردازی بر اساس فرآیند پولیا انجام می شود (Chung et al., 2003).

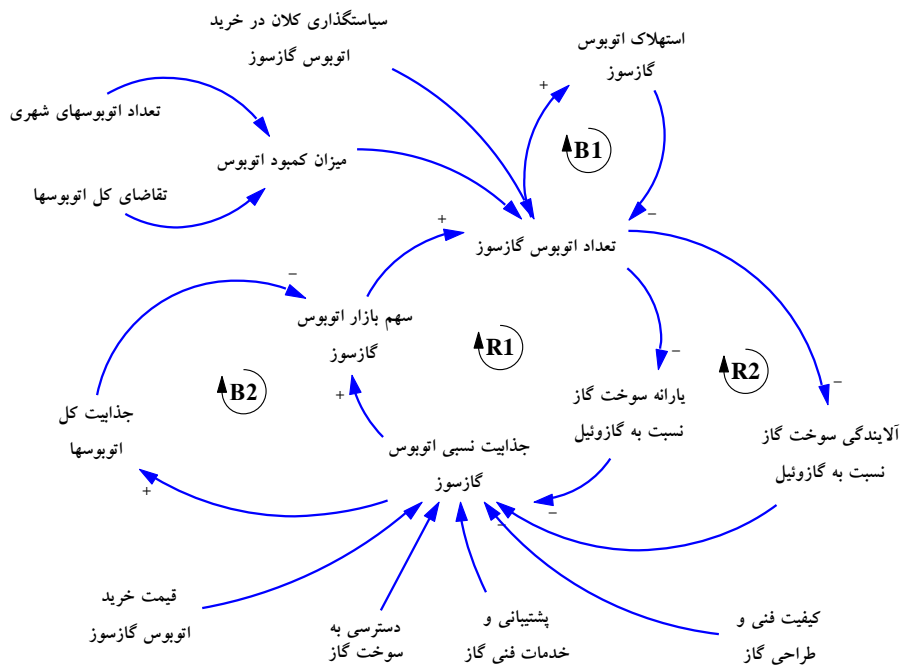
روش گردآوری داده ها در این پژوهش مصاحبه نیمه ساختاریافته و پرسشنامه است و استراتژی این تحقیق استفاده از روش دلفی است. جامعه آماری این پژوهش شامل ۱۷ نفر از اساتید دانشگاه، کارشناسان حرفه ای و اجرایی شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران، مدیران، کارشناسان و متخصصان شرکت های مرتبط با صنعت CNG در بخش های دولتی و خصوصی که بر اساس میزان تجربه بالای ۱۰ سال و تحصیلات فوق لیسانس و بالاتر انتخاب شدند. نمونه گیری ابتدا از طریق معرفی خبرگان و بر اساس امکان دسترسی محقق انجام شد. پرسشنامه دور اول دلفی با توجه به مدل طراحی شده تدوین گردید و از پاسخگوها خواسته شد علاوه بر تعیین اهمیت هر یک از ابعاد، مؤلفه ها و شاخص ها، اگر ابعاد، مؤلفه ها یا شاخص های دیگری را مهم می دانند، اضافه نمایند. با بازخورد نتایج به دست آمده دلفی در سه دوره ادامه پیدا کرد.

برای شروع ابتدا نمودار زیرسیستم ها به منظور مشخص سازی مرز مدل مورد استفاده قرار می گیرد. در مدل طراحی شده جهت شبیه سازی تعداد اتوبوس های گازسوز (CNG) و اتوبوس های دیزلی نمودار زیرسیستم ها به صورت شکل شماره ۵ ترسیم شده است.



شکل شماره (۵): نمودار زیرسیستم های اتوبوس های شهری (منبع: یافته های پژوهش)

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 شناسایی شده 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 در نتیجه افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز می‌شود. از سوی دیگر، افزایش یافتن تعداد اتوبوس‌های گازسوز در حلقه R2، آلاینده‌گی هوا نسبت به اتوبوس‌های دیزلی کاهش یافته و در نتیجه جذابیت نسبی اتوبوس‌های گازسوز را تشدید نموده که موجب تخصیص بیشتر سهم بازار اتوبوس‌های گازسوز و در نتیجه افزایش تعداد اتوبوس‌های گازسوز می‌شود. در این سیستم حلقه‌های کاهنده نیز اثرگذارند و از جمله 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 می‌یابد و در نهایت کنترل سهم بازار هر نوع اتوبوس از نظر سوخت انجام می‌شود.



شکل شماره (۶): نمایش حلقه‌های فزاینده و کاهنده

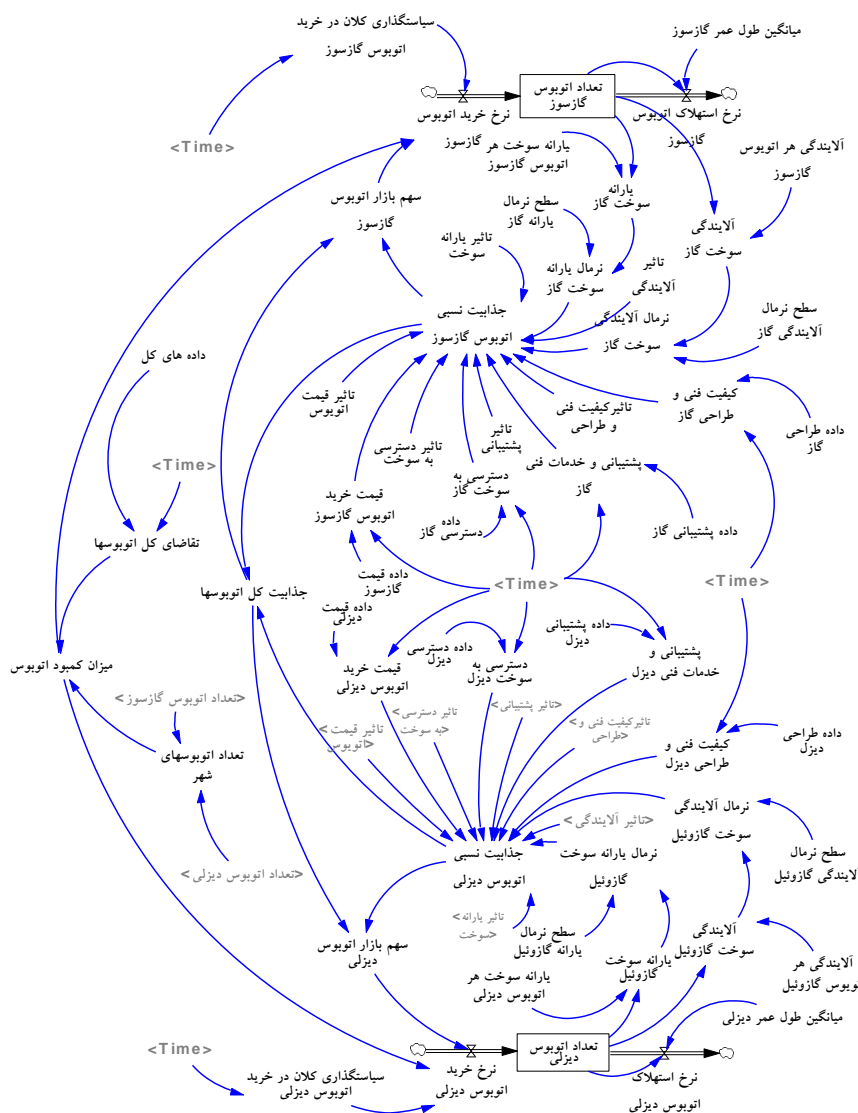
مرحله بعدی، ایجاد نمودار حالت جریان از روی نمودار علی معلولی است متغیرهای آن به شرح ذیل می‌باشد:

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، آلاینده‌گی 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.

در نهایت، نحوه اثرگذاری متغیرها در مدل مشخص و در محیط نرم‌افزار ونسیم پیاده سازی و شبیه‌سازی شده، نمودار کلی حالت جریان مدل در شکل ۷ نمایش داده شده 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)

$$\text{فراوانی اولیه اتوبوس گازسوز} \times \text{خرید اتوبوس گازسوز} = \text{انتگرال} = \text{فراوانی اتوبوس گازسوز} \tag{۱}$$

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

$$\text{سهم بازار اتوبوس گازسوز} \times \text{تقاضای کل} = \text{فروش اتوبوس گازسوز} \tag{۲}$$

سهم بازار تابع جذابیت نسبی بین خودروها با سوخت‌های مختلف است (معادله ۳). سهم بازار باید معیارهای متعددی را ارضا کند. اول، سهم بازار باید با بالا رفتن جذابیت محصول افزایش یابد و با زیاد شدن جذابیت محصولات رقیبش کاسته شود. دوم، سهم

بازار باید بین صفر تا صد درصد محدود باشد. سوم، مجموع سهم‌های بازار همه شرکت‌ها باید در هر زمانی برابر با ۱۰۰ درصد شود. معادله ۴ این خواسته را برآورد می‌کند.

$$(۳) \quad \text{جذابیت کلی همه اتوبوس‌ها} / \text{جذابیت اتوبوس گازسوز} = \text{سهم بازار اتوبوس گازسوز}$$

$$(۴) \quad \text{جذابیت اتوبوس گازسوز} + \text{جذابیت اتوبوس دیزلی} = \text{جذابیت کلی همه اتوبوس‌ها}$$

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 حاصل ضرب دو عامل تأثیر سازگاری بر جذابیت (تأثیر شبکه) و تأثیر همه عوامل دیگر بر جذابیت در معادله ۵ در نظر گرفته شده است

$$(۵) \quad \text{تأثیر دیگر عوامل بر جذابیت اتوبوس گازسوز} \times \text{تأثیر سازگاری بر جذابیت اتوبوس گازسوز} = \text{جذابیت اتوبوس گازسوز}$$

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 داده شده است. در این معادله با رشد فراوانی نسبت به آستانه تأثیرات سازگاری جذابیت به صورت 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.

$$(۶) \quad [\text{آستانه تأثیرات سازگاری/فراوانی محصول}] \times \text{حساسیت جذابیت فراوانی} = \text{EXP} = \text{تأثیر سازگاری بر جذابیت محصول}$$

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.

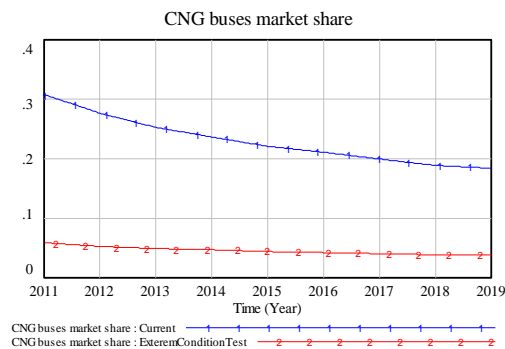
زمان شروع شبیه‌سازی سال ۱۳۹۰ و گام‌های زمانی شبیه‌سازی ۰/۰۳۱۲۵ در نظر گرفته شده است. پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی که مقادیر آنها از توسط آمارهای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران و نظر خبرگان اعضای کارشناسان حرفه‌ای و اجرایی، مدیران، کارشناسان و متخصصان شرکت‌های مرتبط با صنعت CNG تعیین شده است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

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

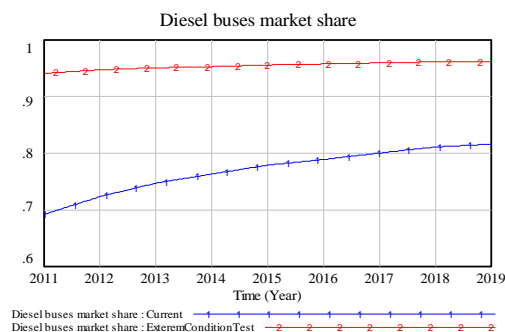
پارامتر	مقدار	واحد
اثر یارانه سوخت	۴۰	درصد
اثر آلودگی	۱۰	درصد
تأثیر قیمت اتوبوس‌ها	۵	درصد
اثر دسترسی به سوخت‌ها	۲۵	درصد
تأثیر پشتیبانی خدمات	۱۵	درصد
تأثیر کیفیت فنی و طراحی	۵	درصد
سیاست دولت در خرید اتوبوس گازسوز (CNG)	۰	سال / اتوبوس
سیاست دولت در خرید اتوبوس دیزلی	۰	سال / اتوبوس
آلودگی در هر اتوبوس 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 شبیه‌سازی شده از دو آزمون‌های رفتار حدی و رفتار مرجع استفاده شده و اعتبار مدل بررسی شده است. 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 اعتبارسنجی مدل با استفاده از این روش فرض کنیم قیمت اتوبوس‌های دیزلی به صفر میل کند.

در این فرض، از آنجاکه قیمت اتوبوس های گازسوز (CNG) تغییری نکرده است، انتظار داریم سهم بازار اتوبوس های دیزلی به سمت ۱ میل کند و کلیه تقاضای مربوط به اتوبوس های ناوگان درون شهری با استفاده از اتوبوس های دیزلی تأمین گردد. همان طور که در شکل های شماره ۸ و ۹ ملاحظه می شود، مدل توانست نتایج این شرایط فرضی را به درستی شبیه سازی نماید، لذا اعتبار مدل از نظر این روش اعتبارسنجی نیز مورد تأیید قرار می گیرد.

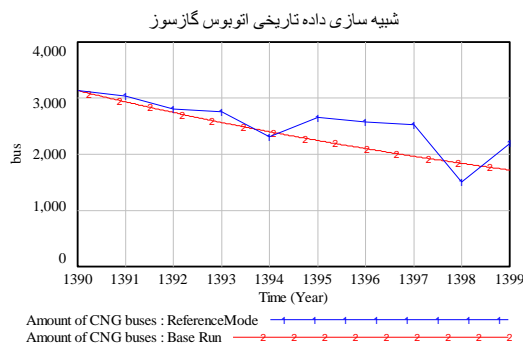


شکل شماره (۸): نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس های گازسوز

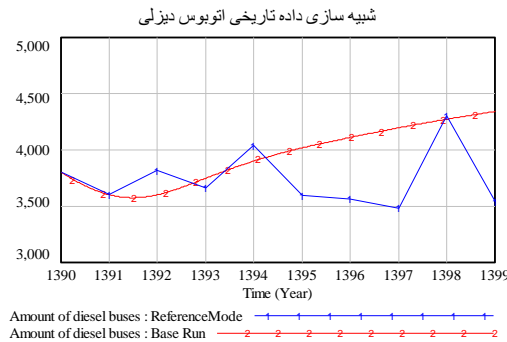


شکل شماره (۹): نتایج آزمون رفتار حدی بر روی تعداد اتوبوس های دیزلی

در آزمون اعتبارسنجی بازسازی رفتار مرجع نتایج شبیه سازی با داده های تاریخی مقایسه می شود و مدل باید بتواند رفتار تغییر متغیرهای اساسی را به درستی شبیه سازی و بازسازی نماید (Sterman, 2000). با مقایسه اطلاعات شبیه سازی و داده های واقعی این مدل توانسته است رفتار متغیرهای اتوبوس های گازسوز (CNG) مطابق شکل شماره ۱۰ و اتوبوس های دیزلی را مطابق شکل شماره ۱۱ با دقت نسبتاً بالایی شبیه سازی کند. لذا اعتبار این مدل از نظر این آزمون نیز مورد تأیید قرار می گیرد.



شکل شماره (۱۰): شبیه سازی با داده های تاریخی اتوبوس های گازسوز



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

۳- نتایج و بحث

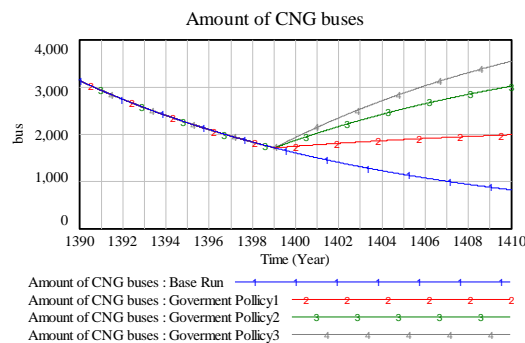
با توجه به برنامه‌های اجرا شده دولت ایران در قبال اتوبوس‌های گازسوز (CNG) و اتوبوس‌های دیزلی که از داده‌های تاریخی اخذ شده از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ (TMICTO, 2021) و جمع‌بندی‌ای که در جلسه با خبرگان امر صورت گرفت حالت جاری و سه سناریوی ارائه‌شده مطابق جدول شماره ۳ بر روی مدل شبیه‌سازی و اجرا شد که نتایج آن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

جدول شماره (۳): سناریوهای شبیه‌سازی شده

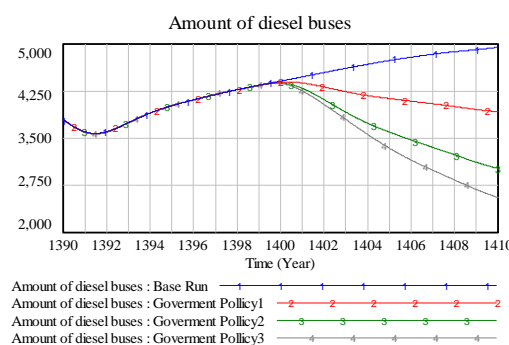
سناریو	شرح
حالت جاری	فرض می‌شود تغییری در پارامترهای مدل صورت نگیرد و مدل بدون هیچ تغییری مطابق با شرایطی که از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ حاکم بوده است تا سال ۱۴۱۰ شبیه‌سازی شود
سناریوی اول	فرض می‌شود حاکمیت هرساله ۱۵۰ دستگاه اتوبوس گازسوز (CNG) به ناوگان حمل‌ونقل اضافه نماید.
سناریوی دوم	فرض می‌شود حاکمیت هرساله 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 در صورتی که حاکمیت در جهت حمایت از توسعه اتوبوس‌های گازسوز اقدامی انجام ندهد، تعداد اتوبوس‌های گازسوز با توجه به مستهلک شدن آنها کاهش قابل توجه یافته و با افزایش یافتن سهم اتوبوس‌های دیزلی آلودگی شهر تهران و یارانه پرداختی بابت انرژی افزایش قابل توجه 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 پیشنهاد شده 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 به تبع آن کاهش آلاینده‌ها 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 کاهش یافته و صرفه‌جویی در پرداخت یارانه برای دولت افزایش می‌یابد. 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 در صورتی که 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 آلاینده‌ها منتشره از این ناحیه افزایش خواهد یافت؛ اما در صورتی که حاکمیت مبتنی بر هر کدام از سناریوهای ۱، ۲ و ۳ اقدام به اضافه کردن اتوبوس‌های گازسوز به ناوگان حمل‌ونقل نماید وضعیت آلاینده‌ها منتشره نسبت به حالت جاری به نسبت بهبود خواهد یافت.

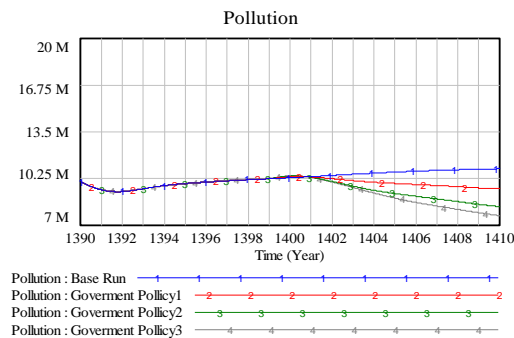


شکل شماره (۱۲): سناریوها برای اتوبوس های گازسوز



شکل شماره (۱۳): سناریوها برای اتوبوس های دیزلی

شکل شماره ۱۴ شبیه سازی سناریوها برای وضعیت انتشار آلاینده های محیط زیستی مجموع اتوبوس های گازسوز و دیزلی را نمایش می دهند.



شکل شماره (۱۴): تأثیر سناریوها بر صرفه جویی بارانه سوخت

به طور کلی می توان نتیجه حالت جاری و سه سناریوی فوق را در جدول شماره ۴ مشاهده کرد. نتایج نشان می دهد اجرای هر کدام از سناریوهای ۱، ۲ و ۳ میزان انتشار آلاینده های منتشره از ناوگان اتوبوس رانی 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 اتوبوس های گازسوز (CNG) در سال ۱۴۱۰	۸۲۵	۱۹۹۳	۳۰۲۱	۳۵۵۰
تعداد اتوبوس های دیزلی در سال ۱۴۱۰	۴۹۴۹	۳۹۲۲	۳۰۱۸	۲۵۵۴
میزان آلاینده های منتشره در سال ۱۴۱۰	۹/۹۳۱/۵۷۱	۸/۲۵۹/۹۰۳	۶/۲۷۵/۴۷۶	۵/۷۵۲/۹۲۶
درصد صرفه جویی بارانه سوخت در سال ۱۴۱۰	%	%۱۸↓	%۳۴↓	%۴۲↓

از نتایج به‌دست‌آمده روشن است که تغییر در نحوه استفاده از انرژی مستلزم تغییر رویه‌هایی است که انرژی تولید می‌کنند. با این حال، 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 پویایی 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 پویا 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 پویا، توسعه و استخراج گردید. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که با افزایش و جایگزین اتوبوس‌های گازسوز (CNG) با دیزلی کاهش آلاینده‌گی 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 آلاینده‌گی 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 از جمله مزایای زیست‌محیطی و صرفه اقتصادی قابل توجه 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 سید 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.

۴- 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). Evaluation of 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 Sadeqh University of Tehran.
31. NIOPDC (2021) *In- National Iranian Oil Products Distribution Company reports*. CNG plan management
32. Ostd 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](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 Dynamics: 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 & Shakoory 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.

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.